การพัฒนาเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

นายเสกสรร สาธุธรรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-347-244-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF THE COMBINED TRANSMISSION AND EMISSION TECHNIQUE FOR COMPUTED TOMOGRAPHY

MR. SEKSAN SATHUTHAM

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology
Department of Nuclear Technology
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-347-244-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
โดย	นาย เสกสรร สาธุธรรม
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย เสกสรร สาธุธรรม : การพัฒนาเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. (DEVELOPMENT OF THE COMBINED TRANSMISSION AND EMISSION TECHNIGUE FOR COMPUTED TOMOGRAPHY) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์, 87 หน้า. ISBN 974-347-244-4.

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีซึ่งใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย โดยปรับปรุงระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากเทคนิคการส่งผ่านรังสีที่มีอยู่เดิมให้เป็นระบบสแกนที่สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งเทคนิคการส่งผ่านรังสีและการแผ่รังสีแกมมา โดยใช้ซีเซียม-137 ความแรง 30 มิลลิคูรี เป็นต้นกำเนิดรังสีแบบเทคนิคการส่งผ่าน และใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาชนิดต่าง ๆ รวม 4 ชนิด บรรจุอยู่ภายในชิ้นงานทดสอบที่ออกแบบไว้รวม 10 ชิ้นเป็นต้นกำเนิดรังสีสำหรับเทคนิคการแผ่รังสี ซึ่งได้แก่ ซีเซียม-137 ความแรง 20 ไมโครคูรี อิริเดียม-192 ความแรง 5 และ 500 ไมโครคูรี เทคนิเซียม-99^{m} ความแรง 180 ไมโครคูรี และไอโอดีน-131 ความแรง 865 ไมโครคูรี ใช้หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 2”x2” จัดระบบวัดรังสีโดยมีอุปกรณ์บังคับลำรังสีให้เป็นรังสีลำแคบ ขนาดลำรังสี 3 มิลลิเมตร เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องที่ควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ระบบนี้สามารถใช้กับชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 30 เซนติเมตร และหนักไม่เกิน 500 กรัม

จากการทดสอบชิ้นงาน 10 ชิ้น โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีร่วมกับการแผ่รังสีพบว่า คุณภาพของภาพโทโมกราฟีที่ได้ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4070485321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: COMPUTED TOMOGRAPHY / GRAMMA CT

SEKSAN SATHUTHAM : DEVELOPMENT OF THE COMBINED TRANSMISSION AND EMISSION TECHNIQUE FOR COMPUTED TOMOGRAPHY. (THESIS TITLE) THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SOMYOT SRISATIT, THESIS COADVISOR : ASSIST.PROF. ATTAPORN PATTARASUMUNT, 87 pp. ISBN 974-347-244-4.

The purpose of this research is to develop the combined transmission and emission technique for computed tomography which would be useful for nondestructive inspection by modifying the available gamma ray transmission scanning system. A 30 mCi Cs-137 gamma source was used as the transmission source, meanwhile a 2 μCi Cs-137, a 5 and a 500 μCi Ir-192, a 180 μCi $Tc\text{-}99^{m}$,an 865 μCi I-131 were filled in 10 test objects used as the emission sources. A 2"x2" Nai(Tl) scintillation detector with 3 mm beam collimator and multichannal analyzer (MCA) were used in measuring the transmitted and emitted photons. The data acquisition system was continuously controlled by microcomputer via the previously developed interface card. The maximum dimension and weight of the specimen that could be tested by this system are 30 cm in diameter and 500 g respectively.

From the 10 specimens testing using the combined transmission and emission technique, quality of the computed tomographic images were found to be satisfactory.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Nuclear technology
Field of study : Nuclear technology
Academic year : 2000

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

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฏ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 2
1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 5
2 แนวคิดและทฤษฎี 6
2.1 หลักการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 6
2.2 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 8
3 การทำงานของระบบสแกนเก็บข้อมูลโดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีแกมมา สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 16
3.1 ระบบวัดรังสีแกมมา 17
3.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา 17
3.1.2 หัววัดรังสีแกมมา 21
3.1.3 ฐานหลอดและภาคขยายส่วนหน้า 22
3.1.4 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง 22
3.1.5 ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) 22
3.1.6 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง 23
3.2 ระบบขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่าน 25
3.2.1 ระบบกลไกขับเคลื่อน 25
3.2.2 อุปกรณ์กำบังและบังคับลำรังสี 26

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ระบบหมุนชิ้นงาน 27
3.4 โปรแกรมควบคุมการทำงานและอุปกรณ์ประกอบการทำงาน 28
4 การทดลองและผลการทดลอง 32
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 32
4.2 การทดลองเก็บข้อมูล โดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีแกมมา สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 32
ชิ้นงานทดสอบที่ 1 34
ชิ้นงานทดสอบที่ 2 36
ชิ้นงานทดสอบที่ 3 43
ชิ้นงานทดสอบที่ 4 46
ชิ้นงานทดสอบที่ 5 48
ชิ้นงานทดสอบที่ 6 50
ชิ้นงานทดสอบที่ 7 52
ชิ้นงานทดสอบที่ 8 54
ชิ้นงานทดสอบที่ 9 56
ชิ้นงานทดสอบที่ 10 58
4.3 การแสดงภาพโทโมกราฟีร่วมกันระหว่างเทคนิคการส่งผ่านและการแผ่รังสี 60
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 62
5.1 สรุปผลการวิจัย 62
5.2 ข้อเสนอแนะ 64
รายการอ้างอิง.....65
บรรณานุกรม 66
ภาคผนวก ก 68
ภาคผนวก ข.....81
ภาคผนวก ค 84
ประวัติผู้เขียน.....87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 วิธีสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีแคบสำหรับเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา .. 7

รูปที่ 2.2 วิธีสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีแคบสำหรับเทคนิคการแผ่รังสีแกมมา 8

รูปที่ 2.3 แสดงระบบพิกัดในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ระนาบ x-y เป็นภาคตัดขวางของชิ้นงาน 9

รูปที่ 2.4 แผนภาพวิธีการแบคโปรเจกชัน (Backprojection) 11

รูปที่ 2.5 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานที่มีต้นกำเนิดรังสีแบบจุด 12

รูปที่ 2.6 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน 13

รูปที่ 2.7 แผนภาพเพื่อคำนวณค่า Correction factor สำหรับการลดทอนของรังสีแกมมา ..14

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบสแกนเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการส่งผ่านและการแผ่รังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 16

รูปที่ 3.2 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 18

รูปที่ 3.3 แสดงสเปกตัมของต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 19

รูปที่ 3.4 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีเทคนิเซียม-99^{m} 20

รูปที่ 3.5 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีไอโดดีน-131 21

รูปที่ 3.6 แสดงหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ 22

รูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพส่วนประกอบภายในเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง 23

รูปที่ 3.8 ระบบกลไกขับเคลื่อน 26

รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์กำบังและบังคับลำรังสีสำหรับหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่านตามลำดับ 27

รูปที่ 3.10 ระบบหมุนชิ้นงานทดสอบที่ประกอบเข้ากับระบบกลไกขับเคลื่อน 27

รูปที่ 3.11 แสดงรูปแบบของรหัสควบคุมที่ใช้ กำหนดการทำงานของไอซี 8255 30

รูปที่ 4.1 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 1 34

รูปที่ 4.2 ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 1 35

รูปที่ 4.3 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 2 36

รูปที่ 4.4 แสดงการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเอ็กเซลในการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีเนื่องจากการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.5 (ก)	ภาพข้อมูลโปรไฟล์ที่ 1 ถึง 8	40
รูปที่ 4.5 (ข)	ภาพข้อมูลโปรไฟล์ที่ 9 ถึง 10	41
รูปที่ 4.6	ภาพโทโมกราฟีจากแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 2	42
รูปที่ 4.7	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 3	43
รูปที่ 4.8 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 3	44
รูปที่ 4.8 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 3	44
รูปที่ 4.9	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 4	46
รูปที่ 4.10 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 4	47
รูปที่ 4.10 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการ ส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 4	47
รูปที่ 4.11	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 5	48
รูปที่ 4.12 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 5	49
รูปที่ 4.12 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 5	49
รูปที่ 4.13	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 6	50
รูปที่ 4.14 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 6	51
รูปที่ 4.14 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 6	51
รูปที่ 4.15	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 7	52
รูปที่ 4.16 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 7	53
รูปที่ 4.16 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการ ส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 7	53
รูปที่ 4.17	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 8	54
รูปที่ 4.18 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 8	55
รูปที่ 4.18 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 8	55
รูปที่ 4.19	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 9	56
รูปที่ 4.20 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 9	57
รูปที่ 4.20 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 9	57
รูปที่ 4.21	แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 10	58
รูปที่ 4.22 (ก)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 10	59
รูปที่ 4.22 (ข)	ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 10	59
รูปที่ 4.23	ภาพโทโมกราฟีที่แสดงร่วมกันจากทั้งสองเทคนิค	60
รูปที่ 4.23	ภาพโทโมกราฟีที่แสดงร่วมกันจากทั้งสองเทคนิค (ต่อ)	61

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

3.1 แสดงการจัดขารับส่งสัญญาณที่พอร์ท J112 ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง 24

3.2 แสดงรายละเอียดของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับไมโครคอมพิวเตอร์ 31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง (non-destructive testing) ที่มีประโยชน์มากวิธีหนึ่งเนื่องจากภาพโทโมกราฟีที่ได้จะแสดงรายละเอียดของภาคตัดขวางของชิ้นงานตัวอย่างช่วยให้สามารถตรวจวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างเหล่านั้นว่าอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์หรือไม่ ภาพโทโมกราฟฟีนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ได้เป็นสองวิธีคือ วิธีการวัดรังสีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสี (Transmission Technique) และเทคนิคการแผ่รังสีออกมาจากชิ้นงาน (Emission Technique)

เทคนิคการส่งผ่านรังสีนั้นใช้หลักการเก็บข้อมูลความแรงรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านชิ้นงานที่อยู่ตรงกลางระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีที่อยู่ตรงข้ามกันเพื่อสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากการหมุนชิ้นงานด้วยมุมต่าง ๆ ดังนั้นภาพโทโมกราฟีที่ได้จึงบอกรูปร่างหรือโครงสร้างภายในของชิ้นงานในลักษณะภาพตัดขวางซึ่งขีดความสามารถของการบอกรายละเอียดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระบบวัดรังสี พลังงานของรังสี และความหนาแน่นของชิ้นงาน

ส่วนอีกเทคนิคหนึ่งคือ เทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน ซึ่งเทคนิคนี้จะใช้สำหรับชิ้นงานที่มีสารกัมมันตรังสีบรรจุอยู่ภายในตัวเอง การสแกนเก็บข้อมูลไปรอบตัวอย่างจะทำให้ได้ข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี (ภาพตัดขวาง) ที่แสดงรูปร่างและตำแหน่งของสารกัมมันตรังสีรวมทั้งความแรงรังสีในลักษณะของโทนสีที่มีระดับความเข้มจางตามค่าความแรงรังสีของสารกัมมันตรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงานบนระนาบที่สนใจ โดยปริมาณรังสีที่หัววัดรังสีวัดได้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงรังสี ความหนาของชิ้นงานและชนิดของวัสดุที่บรรจุอยู่ภายในรวมทั้งตำแหน่งของสารรังสีที่บรรจุอยู่ภายในด้วย แต่จะไม่สามารถบอกรูปร่างหรือโครงสร้างของชิ้นงานเหมือนเทคนิคการส่งผ่านรังสี

สำหรับงานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะพัฒนาเทคนิคการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ทั้งสองเทคนิคร่วมกันเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการสแกนสร้างภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่มีสารรังสีบรรจุอยู่ภายใน ภาพที่ได้จะมีทั้งรายละเอียดของโครงสร้างที่อยู่ภายในชิ้นงาน

ทดสอบและรายละเอียดของรูปร่างและตำแหน่งของสารกัมมันตรังสีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่บรรจุอยู่ภายในชิ้นงานทดสอบด้วย ซึ่งจะมีประโยชน์ในการตรวจสอบชิ้นงานที่มีสารกัมมันตรังสีระดับต่ำ (low level radioactive) หรือภาชนะบรรจุกากกัมมันตรังสี เพื่อใช้ในด้านการวางแผนกำจัดหรือจัดการกับชิ้นงานทดสอบที่บรรจุสารรังสีเหล่านี้ โดยการพัฒนาปรับปรุงจากระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ได้พัฒนาไว้แล้วในภาควิชาฯ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับเทคนิคการส่งผ่านรังสีเพียงเทคนิคเดียวเท่านั้น ให้ระบบสแกนสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคการแผ่รังสีออกมาจากชิ้นงานซึ่งเป็นเทคนิคที่เริ่มศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยนี้ได้ด้วย ซึ่งจะทำให้ระบบมีความสมบูรณ์และใช้งานสแกนเก็บข้อมูลและคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีกับชิ้นงานตัวอย่างต่าง ๆ ได้กว้างขวางและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคและทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคการวัดรังสีแกมมาที่ส่งผ่านชิ้นงานร่วมกับการวัดรังสีแกมมาที่แผ่ออกมาจากชิ้นงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเทคนิคการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับเทคนิคการวัดรังสีที่แผ่ออกมาจากชิ้นงาน
2. ปรับปรุงและออกแบบระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยการใช้หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation detector) และต้นกำเนิดรังสีแกมมา
3. การออกแบบชิ้นงานทดสอบที่เหมาะสมและทดลองสร้างภาพโทโมกราฟี

1.4 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับเทคนิคการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ด้วยเทคนิคการแผ่รังสีออกมาจากชิ้นงานและ การส่งผ่านรังสี

2. ออกแบบและปรับปรุงระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีให้สามารถใช้สแกนเก็บข้อมูลจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีร่วมกับเทคนิคการแผ่รังสีออกมาจากชิ้นงาน
3. ออกแบบชิ้นงานสำหรับการทดสอบ
4. ทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีและปรับปรุงระบบ
5. สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Satoru Kawasaki, Masahiro Kondo, Shigeru Izumi และ Makato Kikuchi ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง Radioactivity Measurement of Drum Package Waste by a Computed Tomography ในปี 1989 ได้ทำการวัดและตรวจสอบถังบรรจุกากรังสี (Low level drum package waste) โดยใช้ Emission Computed Tomography (EMT) และ Transmission Computed Tomography (TMT) วิธีการนี้จะต้องมีความเที่ยงตรงและแม่นยำของกระบวนการเก็บข้อมูลของรังสีแกมมาในถังอย่างมาก โดยใช้หัววัดรังสีแบบ

   ซิลทิเลชันซนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลี่ยม) จำนวน 20 หัววัด และใช้ถัง 200 ลิตร ซึ่งบรรจุต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด (point source) คือ โคบอลต์ 60 ความแรงรังสีประมาณ 3.5 MBq บรรจุลงท่อคอนกรีตก่อนใส่ลงในถังอีกชั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นเป็น Voxel 6 x 6 x 9 แบ่งผลลัพธ์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็น Drum density แสดงค่าความเข้มของแต่ละ Voxel มีค่าตั้งแต่ 0-1.3 g/cubic cm. อีกส่วนหนึ่งเป็น Radioactivity แสดงค่าความแรงรังสีแต่ละ Voxel มีค่าตั้งแต่ 0-8.7 x 105 Bq โดยใช้เวลาในการวัด ECT รวมราว 12.5 นาที

2. H.E.Martz, S.G. Azevedo, J.M. Brase, K.E. Waltjen และ D.J. Schneberk ในปี 1990, ภาพเอกซ์เรย์ Computed Tomography (CT) เป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลายสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยจะแสดงภาพตัดขวาง และรายละเอียดของวัสดุชนิดต่างๆที่ประกอบกันอยู่ภายใน เราใช้ภาพ CT ในการวัดแบบ Quantitative Measurement โดยการสร้างภาพใช้การเคลื่อนที่ของหัววัดและต้นกำเนิดรังสีเพื่อเก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัมจนครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมด เป็นข้อมูลโปรไฟล์ แล้วทำการหมุนวัตถุตัวอย่างด้วยมุมน้อย ๆ แล้วเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีให้สแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ถัดไปจนได้ข้อมูลครบ

180 องศา ก็สามารถคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่มีความละเอียดสูงโดยใช้ตัวบังคับรังสี Collimator ขนาดเล็กมาก (0.5 มิลลิเมตร)

2. มงคล วรรณประภา, พ.ศ. 2536 ได้พัฒนาวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ด้วยเทคนิค Convolution Back Projection โดยใช้ระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 พลังงาน 662 Kev ความแรง 1,110 MBq และใช้หัววัดรังสีแบบซิลทิเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลี่ยม) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เสาคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อหาตำแหน่งและขนาดของเส้นเล็ก ขีดความสามารถในการสแกนจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 20 x 20 เซนติเมตร ซึ่งจำนวน Projection เพียงพอต่อการคำนวณสร้างภาพนั้น เท่ากับ 18 โปรไฟล์ มุมหมุนไปทีละ 10 องศา ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมของการเคลื่อนที่นั้นเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ใช้เวลาเก็บข้อมูลประมาณ 4 ชั่วโมง ข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ จะถูกบันทึกไว้ในแผ่นข้อมูล (Disk) แล้วจึงค่อยนำไปประมวลผล สำหรับภาพโทโมกราฟีสามารถมองเห็นเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8 มิลลิเมตรได้อย่างชัดเจน

4. วัลยา เอี่ยมสุรนันท์, พ.ศ. 2538 ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปแบบคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เพื่อตรวจสอบชิ้นงานอุตสาหกรรม โดยโปรแกรมภาษาซี โดยใช้ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพด้วยเทคนิคคอนโวลูชันแบกโปรเจกชันและเลือกใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan หรือ Ram Lak ทั้งโหมดเทกซ์และโหมดกราฟิก โดยเก็บข้อมูลโปรเจกชันด้วยวิธีการถ่ายภาพเอกซเรย์ของวัตถุตัวอย่างลงบนฟิล์มเอกซเรย์ เก็บข้อมูลด้วยเทคนิคฟิล์ม 52 โปรเจกชัน 231 เรย์ซัม ระยะห่างระหว่างเรย์ซัม 0.5 ม.ม. ค่ามุมที่เปลี่ยนไปแต่ละโปรเจกชันเท่ากับ 3.6 องศา แสดงผลภาพโหมดกราฟิก โดยเลือกความละเอียดของจุดภาพได้ 640x480, 800 x 600, และ 1024 x 768 จุดภาพ ด้วยระดับสี 64 หรือ 256 ระดับ

5. สมยศ ศรีสถิตย์ และ อรรถพร ภัทรสุมันต์, ปี พ.ศ.2538 ได้ทำการวิจัยเรื่องการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดยศึกษาการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี หรือ ภาพตัดขวางของวัตถุโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ลงบนฟิล์มหลายๆ ระนาบ โดยหมุนวัตถุทีละ 3.6 องศา จนได้ภาพอย่างน้อย 180 องศา แล้วนำภาพเอกซ์เรย์ไปอ่านค่าความดำด้วยเครื่องอ่านความดำอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอมพิวเตอร์ บันทึกข้อมูลโพร์ไฟล์ที่อ่านได้ลงบนแผ่นดิสก์แล้วนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ใช้หลักการคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจคชัน โดยใช้ฟิลเตอร์ของ Shepp-Logan ในการคำนวณสร้างภาพ ได้ภาพโทโมกราฟีของวัตถุที่มีความคมชัดและให้รายละเอียดดี

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ได้เทคนิคการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีออกมาจากชิ้นงาน สำหรับการตรวจสอบชิ้นงานที่มีสารรังสีบรรจุอยู่ภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 หลักการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

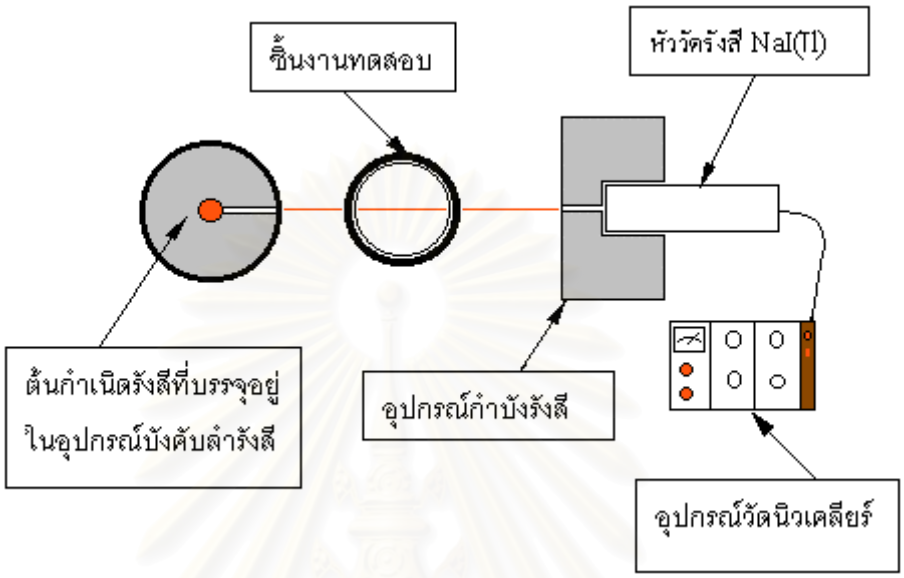
การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการส่งผ่านหรือการแผ่รังสีก็ตาม จะใช้หลักการทะลุผ่านของรังสีต่อชิ้นงาน ซึ่งเมื่อเก็บข้อมูลจากวิธีการต่าง ๆ แล้วจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลผลด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงและแสดงผลเป็นภาพในลักษณะของภาพตัดขวางโดยการเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจำแนกเป็น 3 วิธี คือ

- วิธีสแกนแบบลำรังสีแคบ (narrow beam)
- วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัด (fan beam)
- วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย (cone beam)

ในการวิจัยขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะวิธีสแกนแบบลำรังสีแคบเนื่องจากเป็นวิธีการสแกนแบบที่เหมาะกับการเก็บข้อมูลร่วมกันทั้ง 2 เทคนิค

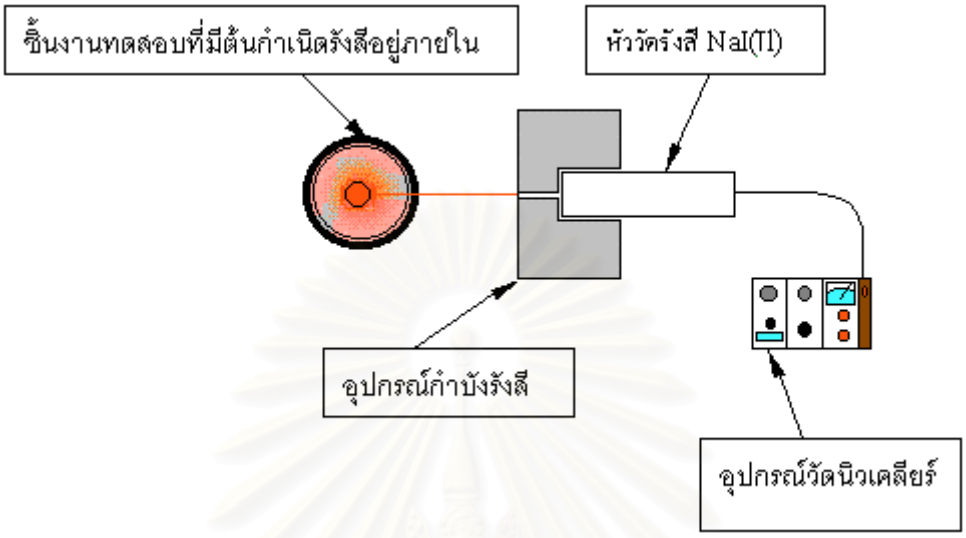
โดยการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบของทั้งเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาและเทคนิคการวัดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาจากชิ้นงานมีรายละเอียดดังนี้

เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา ลักษณะการทำงานของวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบนี้คือการใช้ลำรังสีที่พุ่งออกจากแหล่งกำเนิดรังสีซึ่งจำกัดขนาดให้เป็นลำแคบ ทะลุผ่านวัตถุแล้วตกกระทบวัดหัวรังสีซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามที่จำกัดขนาดลำรังสีเช่นกัน การสแกนด้วยวิธีนี้กำหนดให้วัตถุเคลื่อนที่ผ่านลำรังสีไปจนตลอดความกว้างของวัตถุ จากนั้นวัตถุหมุนไปด้วยมุมน้อยๆ แล้วสแกนย้อนกลับมาที่จุดเดิม ระยะห่างของแต่ละจุดที่สแกนเป็นเส้นตรงขณะทำการวัดรังสี กำหนดให้ห่างกันเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรังสีลำแคบนั้น เรียกปริมาณรังสีแต่ละจุดว่า “เรย์ซัม (ray-sum)” การสแกนผ่านวัตถุต่อการหมุนของวัตถุด้วยมุมน้อยๆ นั้นประกอบไปด้วยหลายๆ เรย์ซัม เรียกว่า “โปรไฟล์ (profile)” หรือ “โปรเจกชัน (projection)” การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์นั้นจะต้องกำหนดให้วัตถุหมุนจากมุม 0 -360 องศาดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วิธีสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีแคบสำหรับเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา

สำหรับเทคนิคการแผ่รังสีแกมมานั้น จะมีลักษณะวิธีเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่คล้ายกัน แต่เป็นการเก็บข้อมูลจากความแรงรังสีที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสีที่มีอยู่ภายในชิ้นงานเอง ที่แผ่กระจายออกสู่หัววัดรังสีที่ถูกจำกัดลำรังสีด้วยตัวบังคับลำรังสี (Collimator) ให้เป็นลำแคบดังในรูปที่ 2.2 การสแกนรอบวัตถุทำเช่นเดียวกับเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาที่ได้กล่าวไปข้างต้นก็จะได้ ข้อมูลโปรไฟล์หรือโปรเจกชันเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.2 วิธีสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีแคบสำหรับเทคนิคการแผ่รังสีแกมมา

2.2 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีทั้งเทคนิคการส่งผ่านและเทคนิคการแผ่รังสีแกมมานั้นมีหลักการคำนวณสร้างภาพคล้ายกันโดยต่างกันที่ที่มาของข้อมูลโปรไฟล์ของแต่ละเทคนิคตามที่ได้กล่าวข้างต้น หลังจากที่ได้ข้อมูลมาแล้ว ทั้งสองเทคนิคสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงซึ่งมีอยู่หลายวิธีได้แก่วิธีแบคโปรเจกชัน (back-projection) วิธีอิทเทอเรชัน (iteration) และวิธีคอนโวลูชันฟิลเตอร์แบคโปรเจคชัน (convolution filter back-projection) เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการคำนวณสร้างภาพ (reconstruction) แบบคอนโวลูชันฟิลเตอร์แบคโปรเจคชันซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

พิจารณาเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา จากแนวความคิดที่ว่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของปริมาณความเข้มของลำรังสีแกมมาเชิงเส้นในวัตถุต่างชนิดกันจะไม่เท่ากันในระนาบที่สนใจ

สามารถหาได้โดยการนำเอาปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุในระนาบต่างๆมาคำนวณสร้างภาพตัดขวาง

รังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสามารถทะลุผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงได้จะเกิดการลดทอนลงทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลง ดังสมการที่ 2.1

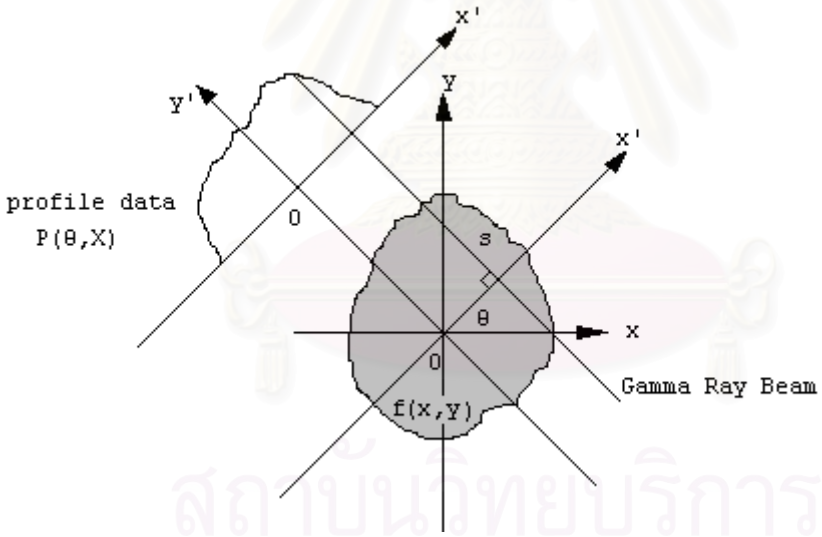
$$I = I_o e^{-\mu X} \qquad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ I_o และ I คือความเข้มของรังสีก่อนและหลังทะลุผ่านชิ้นงาน

μ คือสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

X คือความหนาของชิ้นงาน

หลักการสร้างภาพโทโมกราฟีนั้นพิจารณาจากคุณสมบัติการทะลุผ่านของรังสีแกมมาต่อวัตถุ โดยวัตถุสามารถหมุนรอบตัวเองได้ด้วยมุมน้อยๆ ค่าจำนวนนับ (Count) ของความแรงรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานแต่ละครั้งต่อการหมุนไปด้วยมุมน้อยๆนี้ เรียกว่า “ข้อมูลโปรไฟล์ (profile data) หรือ “ข้อมูลโปรเจกชัน (projection data)” รูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงระบบพิกัดของข้อมูลโปรไฟล์



รูปที่ 2.3 แสดงระบบพิกัดในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ระนาบ x-y เป็นภาคตัดขวางของชิ้นงาน

สมมุติห่นชิ้นวัตถุออกเป็นชิ้นบางๆ แล้วยกมาติดไว้กับกระดาษดังรูปที่ 2.3 ทุกจุดบนระนาบนี้อธิบายด้วยระบบพิกัด x-y รังสีลำแคบพุ่งออกจากต้นกำเนิดรังสีทำมุม θ กับแกน y และมีจุด 0,0 เป็นจุดหมุน แนวแกนของวัตถุหมุนทำมุมกับแนวแกน X รังสีแกมมาลำขนานออกจากต้นกำเนิดรังสีตัดผ่านวัตถุถึงหัววัดรังสีด้วยระยะทาง S กำหนดให้ I_o และ I เป็นความเข้มของ

รังสีแกมมาก่อนและหลังทะลุผ่านวัตถุ ตามลำดับซึ่งการลดลงของความเข้มของรังสีแกมมาเป็นไปตามสมการที่ 2.2 ดังต่อไปนี้

$$I = I_0 \exp\left(-\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\, ds\right) \qquad \text{.....(2.2)}$$

โดยฟังก์ชัน f(x,y) คือ สัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficient) ของรังสีแกมมาที่พลังงานนั้นต่อวัตถุ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนระนาบ (x,y) และจากสมการที่ 2.2 สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$P(\theta,X) = \ln (I_0/ I) = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\, ds \qquad \text{.....(2.3)}$$

ในที่นี้ $P(\theta,X)$ คือ ข้อมูลโปรไฟล์ที่มุมใดๆ ซึ่งข้อมูลแต่ละจุดบนแนวแกน X ของวัตถุที่เกิดจากลำรังสีแกมมาและลำตัดผ่าน เรียกว่า “เรย์ซัม (ray-sum)”

ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากการวัดค่าจำนวนนับของความแรงรังสี (Count) ที่วัดได้จากหัววัดรังสีนั้น ยังไม่สามารถนำไปเป็นข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ จึงต้องมีการปรับแก้ค่าใหม่ (data correction) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลโพรไฟล์ที่มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีแกมมาต่อวัตถุอย่างแท้จริง โดยการปรับแก้ค่าจากความแรงรังสีแบคกราว์ด (background, B) ดังสมการที่ 2.4

$$P'(\theta,X) = \ln \left((I_0 - B) / (I - B)\right) \qquad \text{.....(2.4)}$$

เมื่อประยุกต์ทฤษฎีของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) และการคอนโวลูชัน (convolution) จากสมการที่ 2.4 จึงเขียนรูปสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.5 ดังต่อไปนี้

$$f(x,y) = 1/\pi \int_0^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P'(\theta,X) * H(X-X)'\, dX'\, d\theta \qquad \text{.....(2.5)}$$

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

วิธีการกรองด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan

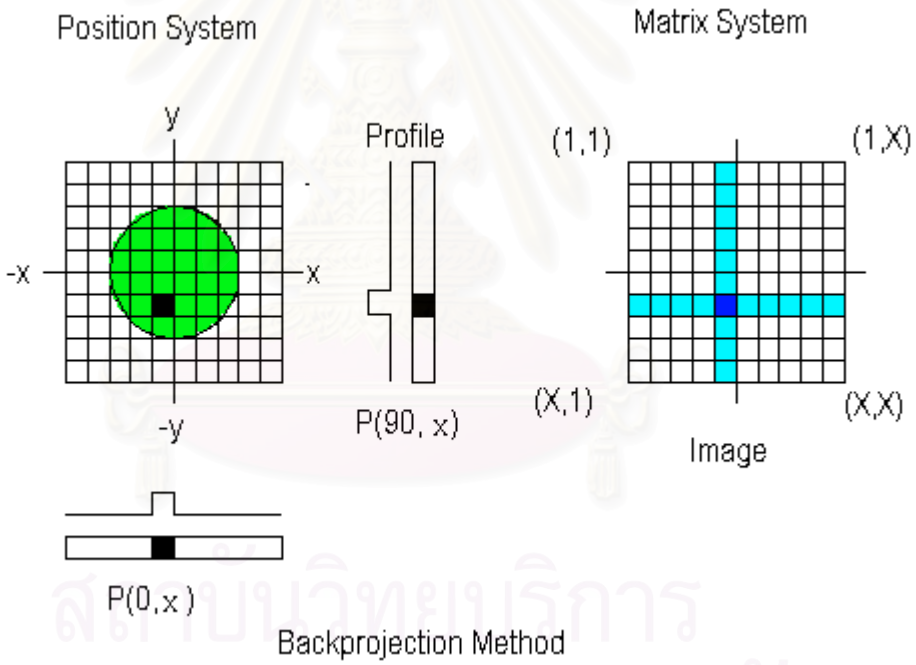
สำหรับการกรองข้อมูลโพรไฟล์ด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันนั้นเป็นการนำข้อมูลโพรไฟล์แต่ละโปรไฟล์มาปรับด้วยการคำนวณจากสามการของ Shepp-Logan ดังต่อไปนี้

$$H(X) = 2 / (\pi^2 d(1 - 4X^2)) \qquad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างเรย์ซัม และ X คือ เลขจำนวนเต็ม ได้แก่ –2,-1,0,1,2,… ดังนั้นเมื่อปรับข้อมูลโปรไฟล์ P(θ,X) โดยการคูณด้วยสมการที่ 2.6 แล้วจึงนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยวิธีแบคโปรเจกชันต่อไป

วิธีการแบคโปรเจกชัน (backprojection)

เมื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากการวัดความเข้มของรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านวัตถุตัวกลางที่มุมต่าง ๆ แล้วนำมาปรับแก้โปรไฟล์ด้วยค่าแบคกราวด์ (background) และเลือกใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan จะได้โปรไฟล์ที่เหมาะสำหรับนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี การสร้างเป็นภาพตัดขวางนั้นมีกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากพอสมควรเพื่อให้เกิดความเข้าใจสามารถกล่าวพอสังเขปดังพิจารณารูปที่ 2.4

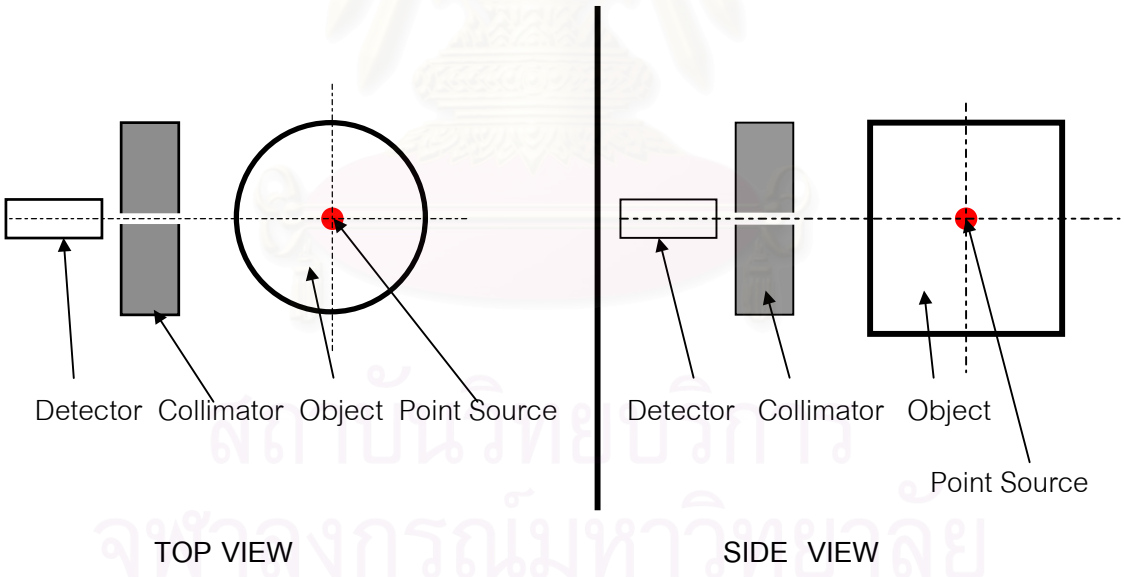


รูปที่ 2.4 แผนภาพวิธีการแบคโปรเจกชัน (Backprojection)

จากรูปทางด้านซ้ายมือจะเห็นชิ้นงานวางอยู่บนระนาบ (x,y) โดยจุดหมุนวางทับจุดกำเนิดของระนาบ ที่ขีดตารางบนระนาบเป็นรูปสี่เลี่ยมจัตุรัส ด้านล้างมีลำรังสีแกมมาทะลุผ่านวัตถุโดยทำมุม 0 องศากับแนวแกนของวัตถุ ดังนั้นจึงได้ข้อมูลโปรไฟล์ของแต่ละมุมเป็น P(θ,X) และ P(90,X) ตามลำดับ เรียกรูปทางด้านซ้ายมือนี้ว่า “ระบบโพสิชัน (position system)” พิจารณารูประนาบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทางด้านขวามือซึ่งแบ่งเป็นตารางที่มีขนาดและจำนวนเท่ากัน

กับรูปทางซ้ายมือ แต่ละจุดบนระนาบกำหนดตำแหน่งโดยเรียงลำดับจากมุมบนด้านซ้าย เริ่มจาก (1,1) สุดขอบทางด้านขวาที่จุด (1,X) สุดขอบซ้ายด้านล่างที่จุด (X,1) และสุดขอบทางด้านขวาล่างที่จุด (X,X) ในที่นี้ X หมายถึง จำนวนเรย์ซัมในหนึ่งโปรไฟล์ เมื่อนำข้อมูลเรย์ซัมแต่ละจุดที่ตรงกัน ณ มุมต่าง ๆมารวมกันก็จะเกิดเป็นภาพขึ้น ระบบที่ทำให้เกิดเป็นภาพโทโมกราฟีทางด้านขวามือเรียกว่า “ระบบเมตริก (matrix system)” ดังนั้นวิธีแบคโปรเจกชันจึงเป็นการแปลงจากระบบโพสิชันไปเป็นระบบเมตริกนั่นเอง

สำหรับเทคนิคการแผ่รังสีแกมมา ต้นกำเนิดรังสีจะอยู่ภายในชิ้นงาน โดยต้นกำเนิดรังสีอาจจะมีลักษณะเป็นต้นกำเนิดรังสีแบบจุด (Point source) แบบเส้น (Line source) หรือแบบปริมาตร (Volume source) แต่เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้วิธีการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ด้วยวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบ และมีการบังคับลำรังสีแล้วทำการสแกนบนระนาบที่สนใจ ดังนั้นเมื่อพิจารณาต้นกำเนิดรังสีแบบจุด ตามรูปที่ 2.5 รังสีแกมมาที่ถูกแผ่ออกทุกทิศทางรอบต้นกำเนิดรังสีจะทะลุผ่านชิ้นงานเข้าสู่หัววัดรังสี



รูปที่ 2.5 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานที่มีต้นกำเนิดรังสีแบบจุด

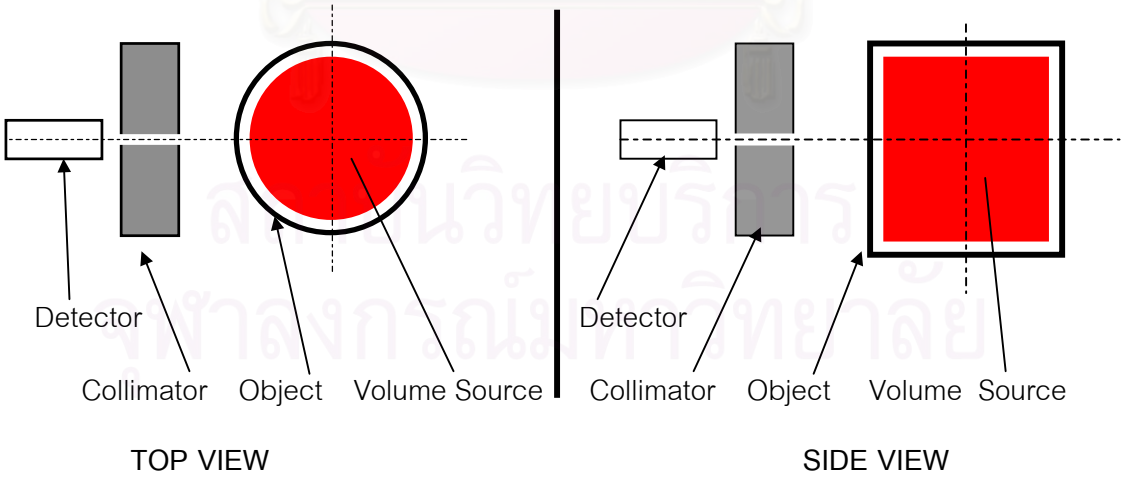
ดังนั้น ความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีที่จุดต้นกำเนิด (A_0), ความเข้มรังสีที่หัววัดหลังจากทะลุผ่านชิ้นงาน (A), ความหนาของชิ้นงาน (X) และค่าสัมประสิทธิการลดทอนรังสี (μ) ของชิ้นงานจะเป็นดังสมการที่ 2.7 คือ

$$A = A_0 e^{-\mu x} \qquad \text{.....(2.7)}$$

และเนื่องจากการจำกัดลำรังสีที่เข้าสู่หัววัดให้เป็นลำแคบ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำรังสีที่คงที่ตลอดการสแกน (คือ 2-3 มิลลิเมตร) และใช้เวลาในการสแกนแต่ละเรย์ซัมเท่ากัน ดังนั้น จะเห็นว่าวิธีการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ทั้งแบบการส่งผ่านรังสีแกมมาและแบบการแผ่รังสีจากชิ้นงานนั้นเหมือนกัน

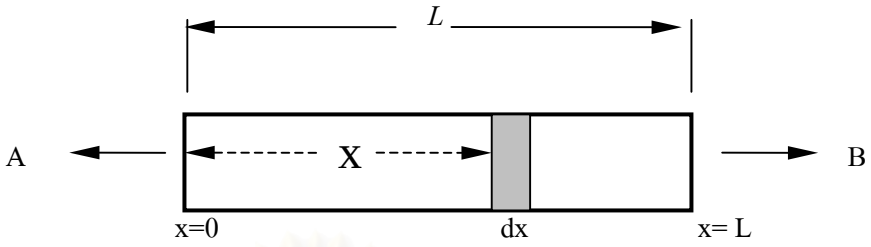
การสแกนเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณสร้างภาพตัดขวางจะสามารถใช้หลักการเดียวกันกับเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นได้เพียงแต่ผลลัพธ์ที่ได้คือความเข้มรังสีในแต่ละตำแหน่งรอบชิ้นงาน ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณสร้างภาพด้วยวิธีการเดียวกับเทคนิคการส่งผ่านรังสีแล้ว จะได้ผลลัพธ์เป็นภาพตัดขวางที่ระนาบที่ทำการสแกน โดยภาพจะแสดงตำแหน่งของจุดต้นกำเนิดรังสี ที่อยู่ภายในชิ้นงานได้นั่นเอง

เมื่อพิจารณาต้นกำเนิดรังสีแบบปริมาตรซึ่งอาจจะหมายถึงวัตถุชิ้นงานที่มีปริมาณของต้นกำเนิดรังสีฝังอยู่เป็นก้อนแล้วมีวัตถุอื่นห่อหุ้มภายนอกหรือชิ้นงานทั้งชิ้นเองเป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมามีการกระจายของรังสีอยู่เท่ากันสม่ำเสมอทั้งชิ้น (uniformly distributed) ตามรูปที่ 2.6 ได้แก่สารต้นกำเนิดรังสีแบบของเหลวหรือผลึกแก้วเป็นต้น



รูปที่ 2.6 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน

และเนื่องจากการสแกนเป็นระนาบนอกวัตถุในระดับใดๆ ที่สนใจจะสามารถเขียนภาพเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาดังรูปที่ 2.7 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 แผนภาพเพื่อคำนวณค่า Correction factor สำหรับการลดทอนของรังสีแกมมา

เมื่อต้นกำเนิดรังสีกระจายในวัตถุอย่างสม่ำเสมอ (Uniformly distributed) ตลอดความกว้าง (L) ให้ความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ L เนื่องจากมีการแผ่กระจายของรังสีแกมมารอบตัว ดังนั้น เมื่อพิจารณาระนาบที่สนใจใดๆ โดยที่แบ่ง L ออกเป็นส่วนเล็กและให้เท่ากับ dx แต่ละ dx ก็มีการแผ่รังสีสม่ำเสมอรอบตัว (Uniformly distributed)

ถ้าให้ความเข้มรังสีของต้นกำเนิดรังสีแกมมานี้เป็น I ดังนั้น ความเข้มรังสีต่อหน่วยความยาวจะเป็น I/L และความเข้มรังสีในช่วง dx เป็น Idx/L เมื่อพิจารณาที่ด้าน A จะได้ความเข้มรังสีเป็นดังนี้

$$I/L \int_0^L e^{-\mu X} dx$$

เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น และเมื่อพิจารณาที่ด้าน B จะได้

$$I/L \int_0^L e^{-\mu (L-X)} dx$$

เมื่ออินติเกรดตลอดความกว้างได้ค่าสัมบูรณ์ (absolute) ของความเข้มรังสีทั้ง 2 ด้านเป็น

$$(I/L\ (1-e^{-\mu L})/\mu)$$

ดังนั้น หมายถึงว่าค่าที่วัดได้ (ด้าน A และ B) ของต้นกำเนิดรังสีนี้จะมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งในที่นี้ควรจะเป็นค่า I ยิ่งถ้าต้นกำเนิดรังสีมีความยาว L หรือ เส้นผ่าศูนย์กลางมากจะยิ่งทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดไปมาก จากการคำนวณข้างต้นจึงได้ค่า factor เพื่อปรับแก้ให้ค่าความเข้มรังสีที่วัดได้เป็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\mu L / (1-e^{-\mu_L})$$

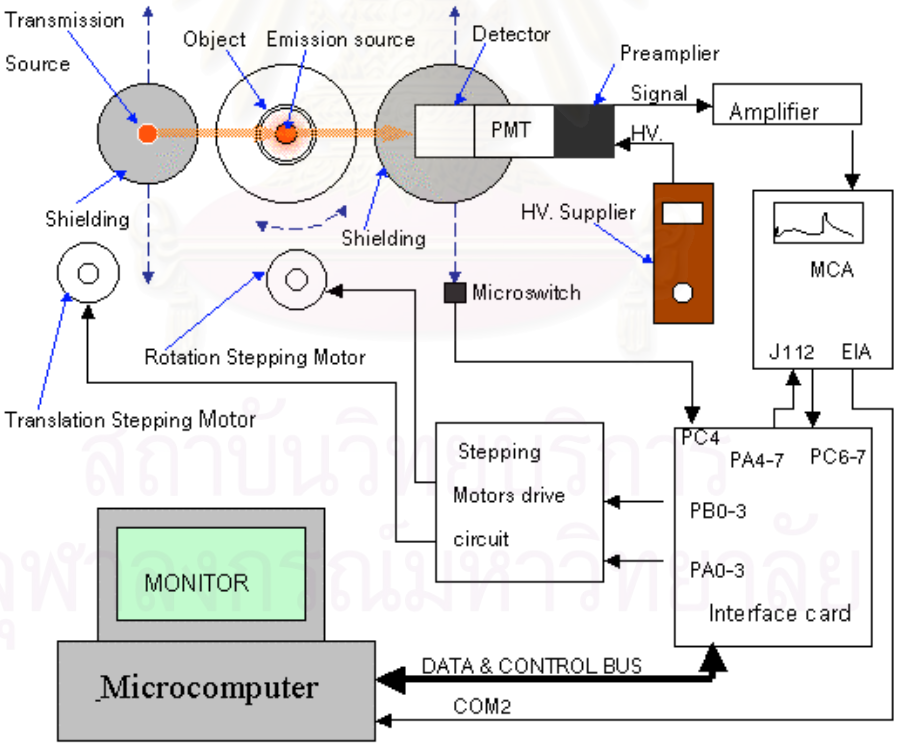
จะเห็นได้ว่า ตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในวัตถุไม่มีผลต่อข้อมูลโปรไฟล์ แต่ข้อมูลดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี (μ) และขนาดของชิ้นงาน ซึ่งต้องมีการปรับแก้แฟคเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทำงานของระบบสแกนเก็บข้อมูลโดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีแกมมาสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ระบบสแกนเก็บข้อมูลโดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับเทคนิคการแผ่รังสีแกมมาสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมากจาก ชุดอุปกรณ์การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน[1] ซึ่งเดิมใช้สแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีเพียงเทคนิคเดียว ปรับปรุงให้สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งสองเทคนิคโดยระบบประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ระบบวัดรังสีแกมมา ระบบขับเคลื่อนหัววัดพร้อมกับต้นกำเนิดรังสีส่งผ่าน ระบบหมุนชิ้นงาน และโปรแกรมควบคุมการทำงานและอุปกรณ์ประกอบซึ่งทำหน้าที่ควบคุมให้แต่ละส่วนทำงานร่วมกันอย่างเหมาะสม ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบสแกนเก็บข้อมูล โดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีแกมมาแสดงดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของระบบสแกนเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการส่งผ่านและการแผ่รังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

จากแผนภาพแสดงส่วนประกอบต่าง ๆทั้งหมดโดยระบบวัดรังสีแกมมาทำหน้าที่วัดความแรงและความเข้มของรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านชิ้นงานออกมาซึ่งมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาทั้ง 2 แห่งคือต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่อยู่ภายในชิ้นงานเอง เพื่อใช้เป็นข้อมูลความเข้มรังสีแกมมาที่แผ่มาจากชิ้นงานซึ่งเป็นเทคนิคการแผ่รังสีแกมมา และต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่อยู่ภายนอกชิ้นงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลความเข้มรังสีแกมมาที่ส่งผ่านชิ้นงานมาซึ่งเป็นเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา โดยแยกตามพลังงานด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ในช่วงเวลาที่กำหนด แล้วส่งข้อมูลความเข้มของรังสีแกมมาในรูปของค่าจำนวนนับรังสีของแต่ละพลังงานไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ขณะที่ระบบขับเคลื่อนหัววัดพร้อมกับต้นกำเนิดรังสีส่งผ่านจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกันทุก ๆตำแหน่งตลอดแนวการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่เป็นแนวเส้นตรงทั้งไปและกลับตามที่โปรแกรมควบคุมการทำงานสั่งการทั้งนี้รวมทั้งระบบหมุนชิ้นงานซึ่งทำหน้าที่หมุนชิ้นงานทดสอบไปที่มุมต่าง ๆตามที่โปรแกรมควบคุมกำหนด โดยสามารถหมุนได้รอบตัวทั้งสองทิศทาง เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของชิ้นงานได้ทั้ง 360 องศา โดยโปรแกรมควบคุมการทำงานและอุปกรณ์ประกอบจะเป็นส่วนสั่งการรับส่งสัญญาณควบคุมและรับส่งข้อมูลจำนวนนับรังสีเข้ามาประมวลผล การแสดงผลข้อมูลแต่ละโปรไฟล์ออกหน้าจอ และบันทึกผลเพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ของทั้งสองเทคนิคต่อไป

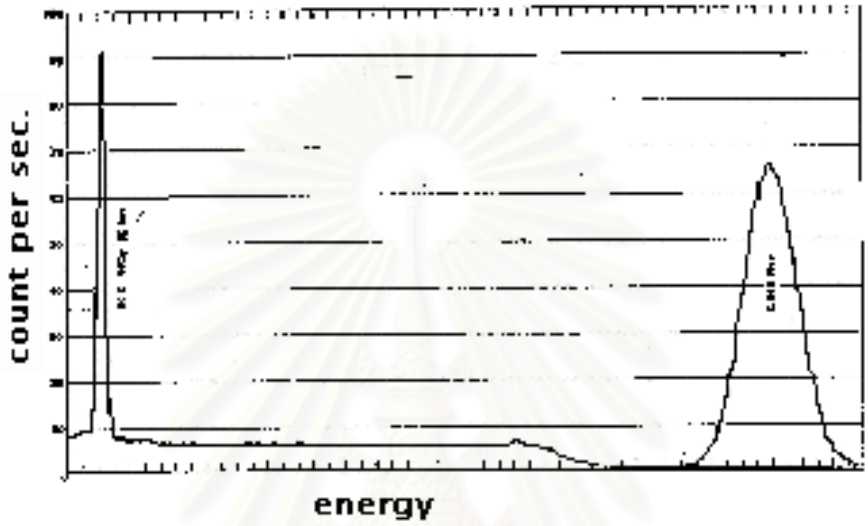
3.1 ระบบวัดรังสีแกมมา

ระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้เป็นแบบระบบวัดรังสีแกมมาหลายพลังงานเพื่อให้สามารถเลือกวัดพลังงานของรังสีที่มาจากต้นกำเนิดรังสีทั้งสองแหล่งได้พร้อมกันโดยระบบวัดมีส่วนประกอบและรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

3.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

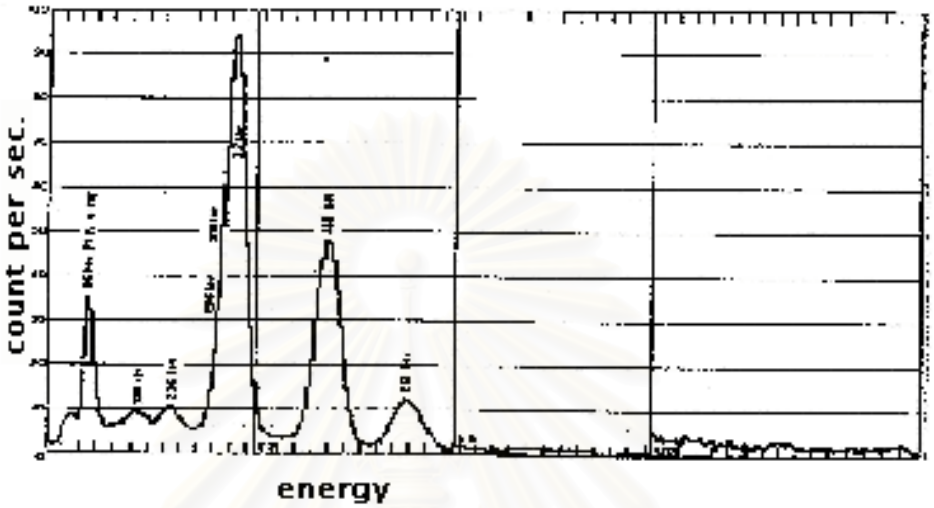
ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 ชนิดคือ ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 (Cs-137) ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 (Ir-192) ต้นกำเนิดรังสีเทคนิเซียม-99^{m} ($Tc-99)^{m}$ และต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 (I-131) ต้นกำเนิดรังสีแกมมาทั้งหมดที่ใช้มีความแรงรังสีแตกต่างกันไป โดยที่ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีส่งผ่านจะมีความแรงรังสีสูงที่สุด และใช้เพียงต้นกำเนิดรังสีชนิดเดียวตลอดการทดลองในงานวิจัยนี้ ขณะที่ต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงานจะมีความแรงรังสีต่ำกว่ามากและมีหลายชนิด เช่น ชนิดบรรจุในแคปซูล (Capsule) โลหะ แบบสารละลาย และแบบเรซิน เพื่อให้สามารถออกแบบชิ้นงานได้หลากหลายมากขึ้น ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ชนิดแคปซูลโลหะให้แกมมาพลังงาน 662 keV (กิโลอิเล็คตรอนโวลท์) ความแรง 30 มิลลิคูรี เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่านดังแสดงแผนภาพสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีในรูปที่ 3.2



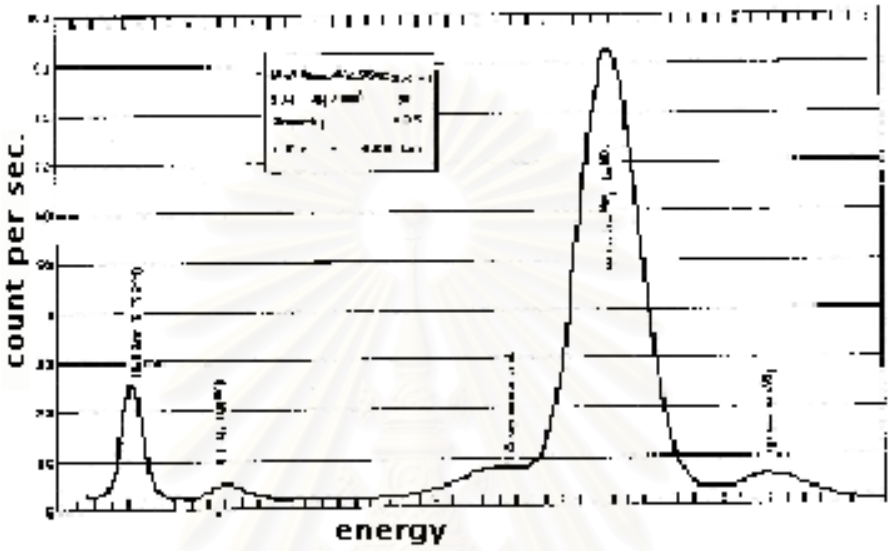
รูปที่ 3.2 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137

2. ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ชนิดเรซิน ให้รังสีแกมมาพลังงาน 662 keV เช่นเดียวกับในข้อ 1 ข้างต้นแต่มีความแรงรังสี 20 ไมโครคูรีใช้วางไว้ในชิ้นงานเพื่อเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของความแรงรังสีที่ปลดปล่อยออกจากชิ้นงานสำหรับเทคนิคการแผ่รังสี
3. ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 ชนิดแคปซูลโลหะ ให้รังสีแกมมาพลังงาน 317 468 และ 613 keV ความแรงรังสี 5 ไมโครคูรี วางไว้ในชิ้นงานทดสอบที่เป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีไม่สูงนักเพื่อเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของความแรงรังสีที่ปลดปล่อยออกจากชิ้นงาน ดังแสดงแผนภาพสเปกตรัมในรูปที่ 3.3 ซึ่งต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 นี้ มีค่าครึ่งชีวิต (Half life) 74.4 วัน



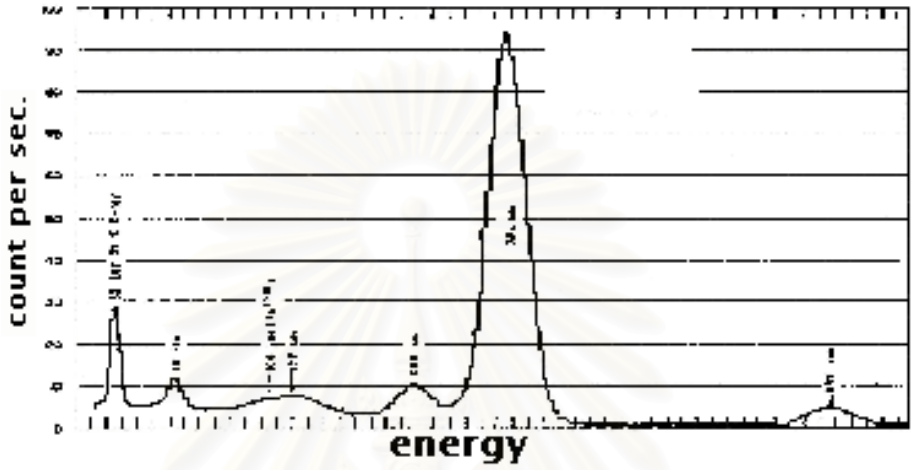
รูปที่ 3.3 แสดงสเปกตัมของต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192

4. ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 ความแรงรังสี 500 ไมโครคูรีเป็นชนิดแคปซูลโลหะ มีรายละเอียดเช่นเดียวกับข้อที่ 2 นำมาใช้วางในชิ้นงานทดสอบที่โครงสร้างภายในมีลักษณะซับซ้อนและเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีสูง เช่น ปูนซีเมนต์ หรือโลหะเป็นต้น
5. ต้นกำเนิดรังสี เทคนิเชียม-99^{m} ชนิดสารละลาย ให้รังสีแกมมาพลังงาน 141 keV ความแรง 180 ไมโครคูรีมีค่าครึ่งชีวิต 6 ชั่วโมงวางไว้ในชิ้นงานทดสอบที่โครงสร้างภายในเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีต่ำเช่นเทียนไขหรืออากาศโดยแสดงแผนภาพของสเปกตรัมในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีเทคนิเซียม-99^{m}

6. ต้นกำเนิดรังสี ไอโอดีน-131 ชนิดสารละลาย ให้รังสีแกมมาพลังงาน 364 keV ความแรง 865 ไมโครคูรี มีค่าครึ่งชีวิต 8 วัน วางไว้ในชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีโครงสร้างภายในเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิการลดทอนรังสีไม่สูงนักเช่นเทียนไขโดยแสดงแผนภาพของสเปกตัมดังในรูปที่ 3.5

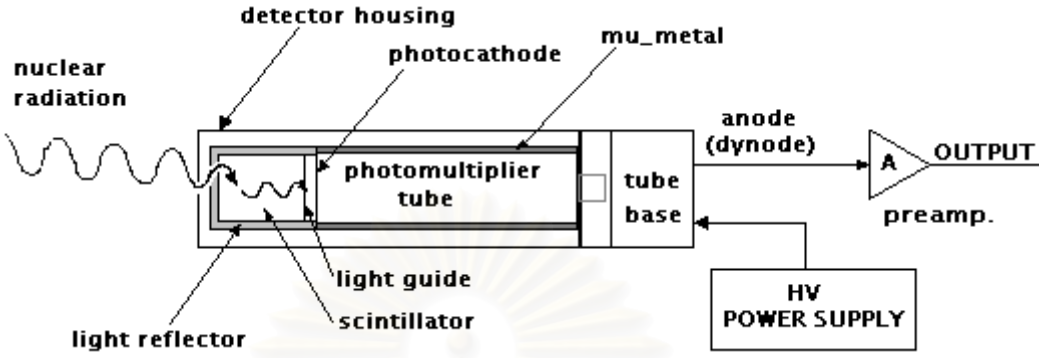


รูปที่ 3.5 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีไอโดดีน-131

3.1.2 หัววัดรังสีแกมมา

เนื่องจากการวัดรังสีแกมมาเป็นแบบที่วัดหลายพลังงาน หัววัดรังสีแกมมาที่ใช้ จึงต้องเป็นชนิดที่มีการตอบสนองที่แปรผันโดยตรงกับพลังงานของรังสีเพื่อให้ระบบวัดสามารถแยกแยะโฟตรอนแต่ละพลังงานได้ ซึ่งหัววัดที่มีคุณสมบัตินี้ได้แก่หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation detector) ซึ่งที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) NaI(Tl) หัววัดรังสีบิสมัทเจอร์มาเนท (Bismuth Germanate:BGO) โดยการทดลองในงานวิจัยนี้ทั้งหมดใช้หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลี่ยม) เนื่องจากหัววัดรังสีชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงและสามารถเก็บข้อมูลความแรงรังสีแกมมาที่ต้องการแยกแยะพลังงานได้ดีพอสมควรถึงแม้ว่าความสามารถในการแยกแยะพลังงาน (energy resolution) จะไม่สูงมากนักแต่ก็เพียงพอสำหรับการวิจัยนี้ซึ่งเป็นการบุกเบิกการเก็บข้อมูลในเทคนิคการแผ่รังสีแกมมา โดยพลังงานที่สนใจนั้นต่างกันเกินกว่า 100 keV ประกอบกับการจัดระบบวัดและการจัดสภาวะการวัดไม่ยุ่งยากจึงเหมาะสมและยังมีขนาด

พอดีกับอุปกรณ์กำบังรังสีที่ทางภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีพัฒนาขึ้นใช้อยู่เดิมหัววัดรังสีโซเดียมไอโอโอด์ที่ใช้เป็นขนาด 2”x2” พร้อมหลอดทวีคูณแสง BICRON รุ่น 2M2/2PB



รูปที่ 3.6 แสดงหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์

3.1.3 ฐานหลอดและภาคขยายส่วนหน้า

ฐานหลอดและภาคขยายส่วนหน้าซึ่งประกอบเข้ากับหลอดทวีคูณแสงของหัววัดรังสีแกมมาทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากหัววัดรังสีให้มีขนาดพอเหมาะสำหรับการส่งผ่านสายนำสัญญาณไปยังภาคขยายสัญญาณ โดยมีศักดาไฟฟ้าสูงป้อนผ่านฐานหลอดเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้หลอดทำงาน ในงานวิจัยนี้ใช้ฐานหลอด ORTEC รุ่น 276

3.1.4 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง

แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงที่ป้อนเข้าฐานหลอดทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในหัววัดรังสีทำให้รังสีแกมมาแต่ละอนุภาคที่ตกกระทบบนหัววัด ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าค่าต่าง ๆ แปรผันตามพลังงานของรังสีแกมมาแต่ละอนุภาคที่มาตกกระทบ แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่ภาคขยายส่วนหน้าเพื่อขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนส่งเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณต่อไป ในงานวิจัยนี้ใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง ORTEC รุ่น 556

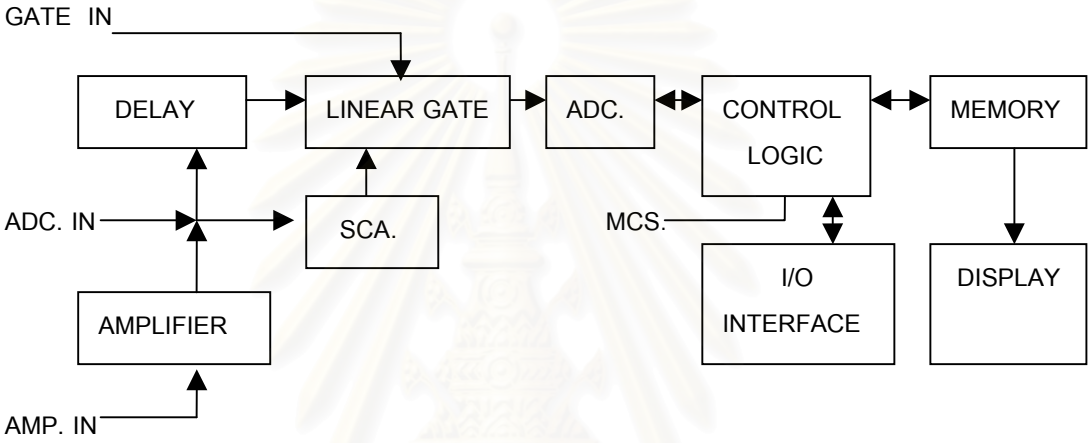
3.1.5 ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier)

ภาคขยายสัญญาณจะรับสัญญาณที่ถูกส่งมาจากภาคขยายส่วนหน้าแล้วจะเปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณให้เป็นรูป Semiqaussioan ที่มีความสูงของสัญญาณแปรผันตามค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัดรังสี แล้วส่งสัญญาณเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องเพื่อให้สามารถเลือกอัตราการขยายสัญญาณและจัดการเก็บข้อมูลนับรังสีของแต่ละพลังงานได้ในช่วง

กว้าง งานวิจัยนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้ภาคขยายสัญญาณภายในเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ซึ่งภาคขยายสัญญาณที่ใช้เป็น ORTEC รุ่น 490A ติดตั้งอยู่บน NIM B/N รุ่น 4001 C

3.1.6 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องเป็นอุปกรณ์หลักในการเก็บข้อมูลของระบบวัดรังสีแกมมา ในงานวิจัยนี้ทำหน้าที่วิเคราะห์แยกแยะข้อมูลค่าจำนวนนับของรังสีออกตามความสูงของสัญญาณที่ได้รับซึ่งความสูงของสัญญาณก็แปรผันตามค่าพลังงานของรังสี สามารถแสดงส่วนประกอบภายในของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพส่วนประกอบภายในเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

จากแผนภาพ สัญญาณขาเข้า ที่มาจากภาคขยายภายนอกซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก จะถูกส่งเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องที่ขา ADC IN สำหรับอีกสองส่วนที่เหลือ คือ AMP.IN และ Gate In นั้นทั้งสองจะใช้ในกรณีที่ต้องการใช้ภาคขยายภายในเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องและต้องการใช้สัญญาณอ้างอิงกับ Linear Gate จากภายนอกตามลำดับ ซึ่งไม่มีใช้ในการวิจัยนี้

สัญญาณที่เข้ามาทาง ADC IN จะถูกแยกไปเป็น 2 ทาง ส่วนแรกแยกไปเข้า ส่วนวิเคราะห์แบบช่องเดียว (Single Channel Analyzer : SCA) ซึ่งในที่นี้ใช้สำหรับตั้งช่องพลังงานต่ำที่ไม่สนใจ เพื่อตัดสัญญาณช่องพลังงานนั้นออก และอีกส่วนแยกไปสู่วงจร delay สัญญาณ ซึ่งจะหน่วงสัญญาณที่เข้ามาชิดกันเกินไป ออกก่อนแล้วป้อนกลับเข้าไปที่ Linear Gate ใหม่

สัญญาณที่เข้าสู่ Linear Gate จะถูกเปรียบเทียบและปรับรูปสัญญาณ เพื่อส่งเข้าสู่ส่วน ADC (Analog to digital Converter) ซึ่งจะทำการแปลงความสูงของสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีค่าเป็นสัดส่วนกับความสูงของสัญญาณขาเข้า แล้วส่งสัญญาณดังกล่าวเข้าสู่ส่วน Control Logic ซึ่งจะสั่งเพิ่มจำนวนนับในส่วน Memory ตามช่องที่อยู่ในหน่วยความจำ สัญญาณ

ที่เข้ามาแต่ละครั้งจะถูกนับเพิ่มในช่องของหน่วยความจำที่สัมพันธ์กับความสูงของสัญญาณขาเข้า แล้วแสดงผลออกหน้าจอเมื่ออยู่ในระหว่างการนับ (Collect) หรือหยุดนับเมื่อครบตามเวลาที่กำหนด รวมทั้งการลบข้อมูลในส่วนความจำทั้งหมด การอ่านข้อมูลออกเป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้ สั่งการได้จากทั้งปุ่มกดบนตัวเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง และการควบคุมจากภายนอกผ่านส่วน I/O Interface โดยใช้สาย 25 pin-female D. style ต่อเข้าที่พอร์ท J112 ซึ่งมีการจัดตำแหน่งขารับส่งสัญญาณดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการจัดขารับส่งสัญญาณที่พอร์ท J112 ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

PIN NUMBER	SIGNAL	NORMAL STATUS	DESCRIPTION
1,2,3	GND	-	GROUND
4	EXT ADV	LOW	MCS EXTERNAL ADVANCE IN
5	EXT TRIG	LOW	MCS ADVANCE TRIGGER IN
6	SCADV	LOW	SAMPLE CHANGER ADVANCE OUT
7	BSYOUT	HIGH	MCA BUSY OUT
8	BSYIN	HIGH	DEVICE BUSY IN
9	COLLECT	HIGH	COLLECT STATUS OUT
10	I/O	HIGH	READOUT STATUS OUT
11	STOPCOL	HIGH	STOP COLLECT IN
12	STRATCOL	HIGH	START COLLECT IN
13	CLRDAT	HIGH	CLEAR DATA IN
15	GATE	LOW	GATE IN
21	AMS	LOW	ABORT MCS SWEEP
22	AOF	LOW	ADDRESS OVERFLOW
23,24	GND	-	GROUND
25	STARTIO	HIGH	START READOUT IN

All Input	All Output
High +2.4 to 5.0 oV or open	High +2.4 to 5.0 V at < 0.4 mA (2.4V)
Low 0.0 to +3.0 V at < 2mA	Low 0.0 to 0.5 V < 0.4 mA
Pulse width > 0.5 μs, except as noted	

จากตารางคำสั่งที่จำเป็นในการสั่งงานเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องสำหรับการสแกนเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี มีอยู่ 4 คำสั่ง คือ คำสั่งหยุดนับ คำสั่งเริ่มนับ คำสั่งลบข้อมูล และคำสั่งอ่านข้อมูลออก ซึ่งเป็นสัญญาณคำสั่งที่เข้าทางขาที่ 11, 12, 13 และ 25 ตามลำดับ ในขณะที่สัญญาณ Output มีอยู่ 2 สัญญาณที่จำเป็นคือ สัญญาณแสดงสถานะไม่

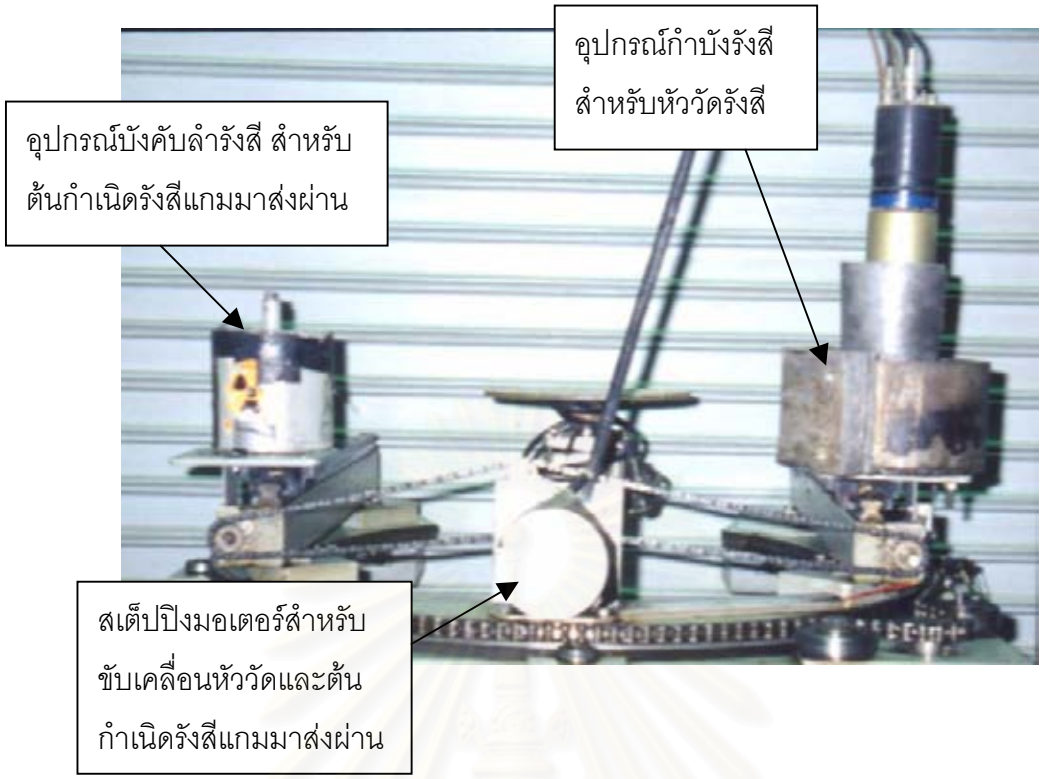
พร้อมทำงาน และสัญญาณแสดงสถานะ การนับ ซึ่งเป็นสัญญาณส่งออกจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องที่ขา 7 และ 9 ตามลำดับ โดยสัญญาณทั้ง Input และ Output ที่ใช้ทั้งหมดมีสถานะปกติเป็น “High” และเมื่อต้องการสั่งการให้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องส่งข้อมูลออกไปยังเครื่องไมโคคอมพิวเตอร์ทำได้โดยการเปลี่ยนสภาวะเป็น “Low” ที่ขา 25 กำหนดให้เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องส่งข้อมูลออกทางพอร์ท EIA ซึ่งเป็นพอร์ทอนุกรม RS-232 ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง ซึ่งต่อเข้ากับพอร์ทอนุกรม 2 (Com2) ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยรายละเอียดการจัดตำแหน่งขารับส่งสัญญาณพอร์ท EIA และการจัดตำแหน่งพอร์ทของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แสดงในภาคผนวก ค. ส่วนรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ส่งออกจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ใช้แบบ ROI Brief ซึ่งเป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟของพลังงานส่วนที่สนใจอย่างย่อ (region of interest : ROI)

3.2 ระบบขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่าน

ระบบขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่านทำหน้าที่ขับให้หัววัดและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่านเคลื่อนที่ไปกลับในแนวระนาบเพื่อส่งรังสีแกมมาผ่านชิ้นงานสำหรับการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยระบบฯจะรับสัญญาณจากไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านแผ่นเชื่อมโยงสัญญาณ (Interfacing card) ควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ให้หมุนไปในทิศทางและตำแหน่งที่ต้องการสแกน โดยระยะของการเคลื่อนที่แต่ละครั้งสำหรับการเก็บข้อมูลเรย์ซัมและระยะเวลาในการเก็บข้อมูลของระบบวัดรังสีแกมมาแต่ละตำแหน่งจะถูกกำหนดโดยโปรแกรมสแกนข้อมูลซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป ระบบขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่านประกอบด้วยสองส่วน คือ

3.2.1 ระบบกลไกขับเคลื่อน ได้แก่ สเต็ปปิงมอเตอร์ เฟือง โซ่ส่งกำลังเป็นต้นดังแสดงในรูปที่ 3.8

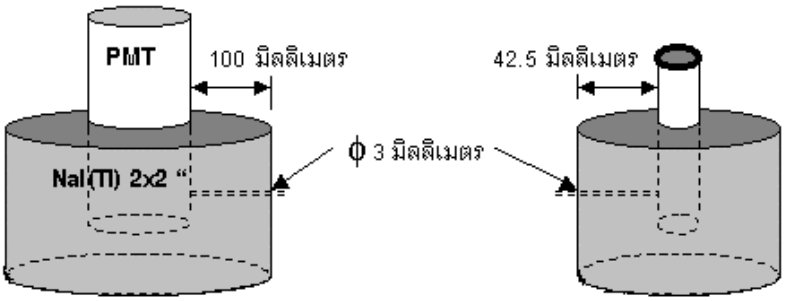
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 ระบบกลไกขับเคลื่อน

3.2.2 อุปกรณ์กำบังและบังคับลำรังสี

เนื่องจากการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของการวิจัยนี้เป็นการสแกนแบบรังสีลำแคบ จึงต้องทำการบังคับลำรังสีจากต้นกำเนิดรังสีแบบจุดซึ่งมีรังสีออกมาทุกทิศทาง ให้เป็นเพียงรังสีลำแคบ ดังนั้นอุปกรณ์บังคับลำรังสีจึงใช้ตะกั่วทรงกระบอก มีรูขนาด 3 มิลลิเมตร ด้านข้างสำหรับบังคับลำรังสีให้เป็นลำแคบดังแสดงรายละเอียดของขนาดและรูปทรงดังในรูป 3.9 ส่วนอุปกรณ์กำบังรังสีซึ่งใช้บรรจุหัววัดรังสีไว้ตรงกลางเพื่อวัดความเข้มของรังสีลำแคบที่ทะลุชิ้นงานออกมาก็มีลักษณะใกล้เคียงกัน มีรูขนาด 3 มิลิเมตร ด้านข้างเพื่อรับข้อมูลของรังสีลำแคบเข้าสู่หัววัดและส่งสัญญาณเข้าสู่ระบบวัดรังสีแกมมา โดยแสดงรายละเอียดของขนาดและรูปทรงดังในรูป 3.9



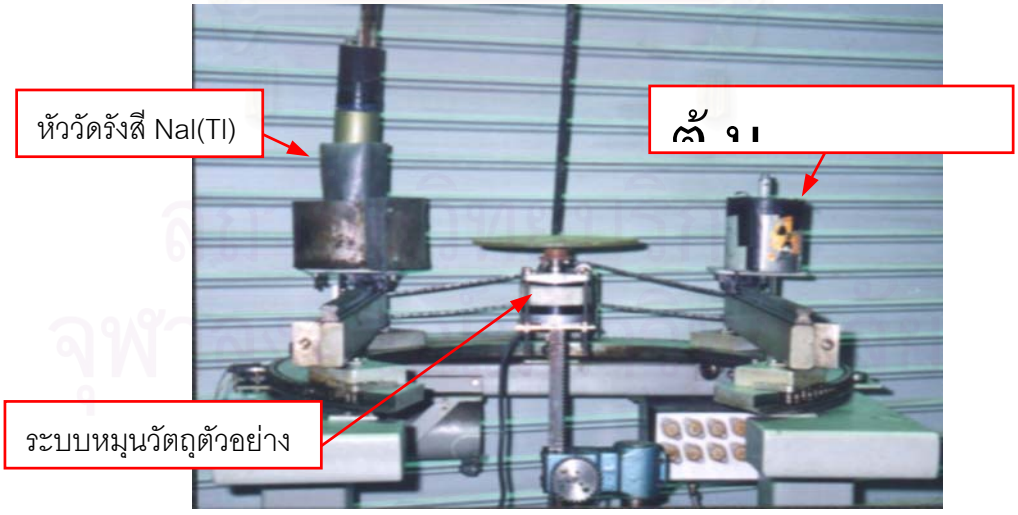
อุปกรณ์กำบังรังสีสำหรับหัววัดรังสี อุปกรณ์บังคับลำรังสีสำหรับต้นกำเนิดรังสีส่งผ่าน

รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์กำบังและบังคับลำรังสีสำหรับหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่านตามลำดับ

3.3 ระบบหมุนชิ้นงาน

ทำหน้าที่หมุนชิ้นงานทดสอบที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีแกมมาชนิดต่างๆ เพื่อให้สามารถสแกนเก็บข้อมูลได้ครบทั้ง 360 องศา และไม่ต้องเข้าตำแหน่งเริ่มต้นในการสแกน สามารถเริ่มสแกนโปรไฟล์แรกได้ทันที ดังแสดงในรูป 3.10

ระบบหมุนชิ้นงานประกอบด้วย สเต็ปปิงมอเตอร์สำหรับหมุนชิ้นงาน และชุดกลไกซึ่งรับสัญญาณควบคุมมาจากไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ



รูปที่ 3.10 ระบบหมุนชิ้นงานทดสอบที่ประกอบเข้ากับระบบกลไกขับเคลื่อน

จากรูปที่ 3.10 เป็นรูปที่ระบบหมุนชิ้นงานถูกประกอบเข้ากับระบบขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่าน สมบูรณ์และพร้อมทำการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์

3.4 โปรแกรมควบคุมการทำงานและอุปกรณ์ประกอบการทำงาน

โปรแกรมควบคุมการทำหน้าที่รับส่งสัญญาณควบคุมและข้อมูลผ่านพอร์ทต่างๆ ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ไปยังระบบขับเคลื่อนและระบบวัดรังสีแกมมา รวมทั้งแสดงผล ประมวลผล และบันทึกผลข้อมูลโปรไฟล์จากการสแกนเพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โปรแกรมที่ใช้เป็นโปรแกรมภาษา BASIC ซึ่งเหมาะสมกับงานที่มีการติดต่อกับอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกได้ง่ายไม่ต้องประกาศตัวแปรมากและตรวจสอบโปรแกรมได้ง่ายอีกด้วย

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนเก็บข้อมูลรังสีมีส่วนของโปรแกรมหลักอยู่ 3 ส่วนคือ

1.โปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
2.โปรแกรมทดสอบการขับเคลื่อน
3.โปรแกรมทดสอบการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์กับเครื่องวิเคราะห์หลายช่อง

โปรแกรมที่ 1 ถึง 3 นั้นเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี โดยในงานวิจัยนี้ได้นำมาปรับปรุงเพียงบางส่วนเท่านั้น เพื่อความเหมาะสม โปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เริ่มต้นจากการตั้งค่าช่วงพลังงานและเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัมแล้วจะสั่งการให้ระบบขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีส่งผ่านเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้นที่มีไมโครสวิทช์เป็นตัวกำหนด หลังจากนั้นก็จะเลื่อนเข้าตำแหน่งสแกนเก็บข้อมูลเรย์ซัมแรก ข้อมูลจากภาคขยายจะเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องเพื่อแสดงผล เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องจะส่งค่าพื้นที่ใต้กราฟของช่วงที่ต้องการเข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ทอนุกรม 2 (COM 2) เพื่อแสดงผลเรย์ซัมแรกบนจอภาพหลังจากครบเวลาที่สั่งให้เก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัมแล้ว จากนั้นก็จะเลื่อนระบบขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีแกมมาไป 2 หรือ 3 มิลลิเมตรเพื่อเก็บข้อมูลเรย์ซัมต่อไปจนครบตามจำนวนที่ต้องการต่อหนึ่งโปรไฟล์ ข้อมูลจะถูกบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณให้หมุนชิ้นงานไปตามองศาที่ต้องการแล้วทำการเก็บข้อมูลของโปรไฟล์ต่อไปตามขั้นตอนเดิมจนครบจำนวนโปรไฟล์ที่ต้องการ ระบบก็จะเลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นเป็นอันเสร็จสิ้นการสแกนเก็บข้อมูล ส่วนโปรแกรมทดสอบระบบขับเคลื่อนและทดสอบการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์กับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องนั้น ใช้

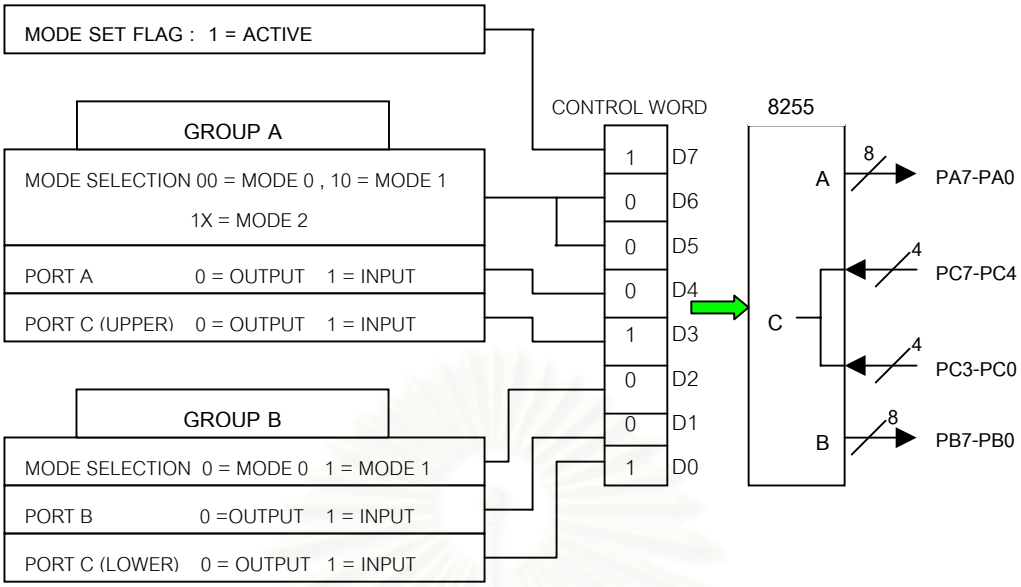
สำหรับทดสอบความพร้อมของอุปกรณ์ทั้งหมดก่อนทำการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ได้แก่การขับเคลื่อนในแต่ละทิศทางของ สเต็ปปิงมอเตอร์แต่ละตัว รวมทั้งทดสอบการติดต่อสั่งการและรับข้อมูลกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องให้ทำงานสัมพันธ์กันกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ก่อนเริ่มสแกนเก็บข้อมูลจริง

สำหรับอุปกรณ์ประกอบการทำงานได้แก่ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด AT 16 บิต แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ และแผ่นวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์

เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ชนิด AT 16 บิต แสดงผลบนจอโมโนโครม โดยในการวิจัยนี้ได้กำหนดการใช้พอร์ท 300H-31FH ซึ่งเป็นพอร์ทว่างที่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ไม่ได้ใช้งาน มาเป็นพอร์ทสำหรับติดต่อกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณดิจิตอลไปยังวงจรขับ สเต็ปปิงมอเตอร์จำนวน 2 ตัวคือสเต็ปปิงมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีแกมมาส่งผ่าน และสเต็ปปิงมอเตอร์สำหรับหมุนชิ้นงาน โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 3.2

แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบขับเคลื่อนและเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง โดยใช้ไอซีหมายเลข 8255 ซึ่งมีพอร์ททั้งหมด 4 พอร์ทคือ พอร์ท A B C และ D พอร์ท A B C ใช้เป็นพอร์ทรับหรือส่งข้อมูล ขณะที่พอร์ท D ใช้เป็นพอร์ทควบคุมซึ่งใช้กำหนดให้พอร์ท A B C เป็นพอร์ทสำหรับรับหรือส่งข้อมูล โดยต้องกำหนดพอร์ทควบคุม (Control code) เข้าที่พอร์ท D รหัสควบคุมเป็นคำสั่งขนาด 8 บิต แต่ละบิตมีความหมายในการควบคุมต่างกัน ดังแสดงในแผนภาพที่ 3.11 ในงานวิจัยนี้ใช้รหัสควบคุม 10001001(137) กล่าวคือ ให้พอร์ท A และ B เป็นพอร์ทส่งข้อมูลออก และพอร์ท C เป็นพอร์ทรับข้อมูลเข้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 แสดงรูปแบบของรหัสควบคุมที่ใช้ กำหนดการทำงานของไอซี 8255

และส่วนสุดท้ายคือวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบเคลื่อนที่ ทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมจากแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณเข้ามาทางไอซีหมายเลข 74244 ซึ่งเป็นไอซีบัฟเฟอร์ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านไปยังทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N2222 จำนวน 4 ตัว สำหรับขับ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หมายเลข 2N3055 จำนวน 4 ตัวเช่นกัน ทั้งนี้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์สามารถรับภาระกระแสไฟที่ผ่านจาก Field coil ของสเต็ปปิงมอเตอร์ซึ่งมี 4 เฟสได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย โดยสัญญาณที่สั่งการมาจากไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสของทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ชุดเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก หมุนแกนของสเต็ปปิงมอเตอร์ ทำให้สเต็ปปิงมอเตอร์สามารถหมุนและขับกลไก เฟืองและโซ่ ไปยังตำแหน่งต่าง ๆได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับไมโครคอมพิวเตอร์

ชื่อพอร์ท	เลขพอร์ท(ของไมโครคอมพิวเตอร์)	ชนิดสัญญาณ	หน้าที่
พอร์ท Aของ IC8255บนแผ่น วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ	300H(768)	สัญญาณขาออก	1.ควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนในแนวระนาบและ 2.ส่งสัญญาณควบคุมเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
พอร์ทB ของ IC8255บนแผ่น วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ	301H(769)	สัญญาณขาออก	ควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่หมุนชิ้นงาน
พอร์ท Cของ IC8255 บนแผ่น วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ	302H(770)	สัญญาณขาเข้า	1.รับสัญญาณจากไมโครสวิทและ 2.รับสัญญาณสถานะจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
พอร์ท Dของ IC8255 บนแผ่น วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ	303H(771)	สัญญาณขาเข้า	รับรหัสควบคุม IC8255

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองเริ่มด้วยการออกแบบและสร้างชิ้นงานทั้งลักษณะของชิ้นงานและต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ในชิ้นงานซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวถึงในการทดลองตัวอย่างต่าง ๆ ต่อไปและในขณะเดียวกันก็จัดระบบการสแกนเก็บข้อมูล หลังจากนั้นสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีทั้งสองเทคนิคเพื่อดูผลลัพธ์ในที่สุด

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

1. หัววัดรังสีแกมมาแบบซิลทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด 2”x2” พร้อมหลอดทวีคูณแสง (PMT) BICRON MODEL 2M2/2PB
2. ฐานหลอด (Tube base) พร้อมภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ORTEC MODEL276 สำหรับหัววัดรังสี
3. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (High voltage power supply) ORTEC MODEL 556 สำหรับหัววัดรังสี
4. ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) ORTEC MODEL 490A
5. NIM BINและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า ORTEC MODEL 4001C
6. เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Muti channel analyzer: MCA) CANBERRA SERIE40

4.2 การทดลองเก็บข้อมูล โดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีแกมมา สำหรับ--คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

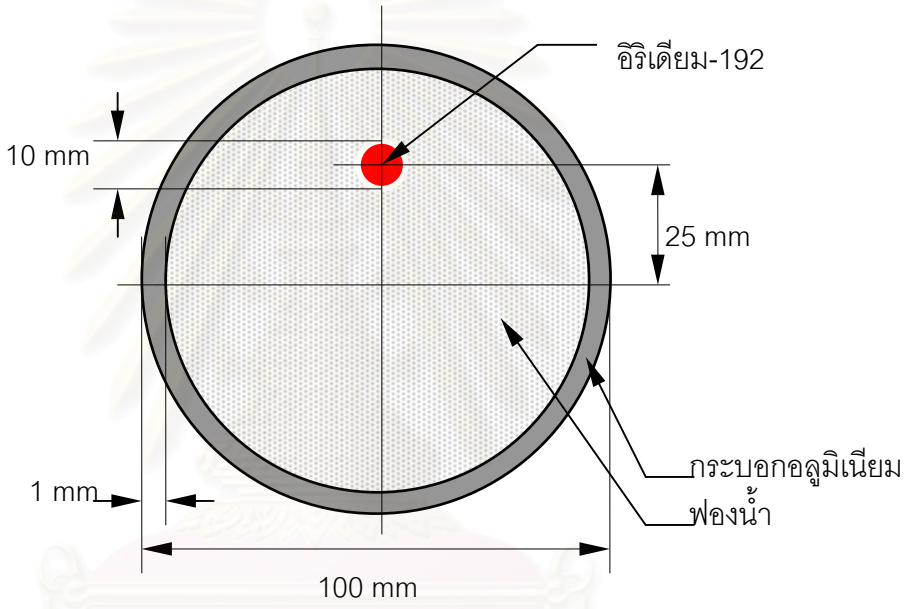
การทดลองเก็บข้อมูลโดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีแกมมาสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนี้มีขั้นตอนในการหาตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีในชิ้นงานทดสอบโดยต้องปลดต้นกำเนิดรังสีสำหรับเทคนิคการส่งผ่านรังสีออกก่อน แล้วสแกนแบบหยาบๆ จนได้ตำแหน่งในแนวดิ่งของต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงาน

จากข้อมูลที่ได้จะนำมาพิจารณาว่าสามารถสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ทั้งสองเทคนิคไปพร้อมกันได้หรือไม่กล่าวคือถ้าพลังงานของรังสีที่ปลดปล่อยจากชิ้นงานไม่ตรงกับพลังงานของรังสีส่งผ่านและมีค่าจำนวนนับรังสีใกล้เคียงหรือไม่แตกต่างกันมากนักก็สามารถดำเนินการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ไปพร้อมกันทั้งสองเทคนิคได้เลยแต่ถ้าพลังงานของรังสีแกมมาที่วัดได้จากทั้งสองแหล่งใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน จะไม่สามารถดำเนินการเพื่อสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ทั้งสองเทคนิคไปพร้อมกันได้ ดังนั้นจำเป็นต้องปลดต้นกำเนิดรังสีที่ใช้สำหรับการส่งผ่านรังสีหรือใช้อุปกรณ์ตัดลำรังสีหรือชัตเตอร์ (Shutter)[3] เพื่อปลดต้นกำเนิดรังสีส่งผ่านออก แล้วสแกนเก็บข้อมูลโดยใช้เทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานก่อน เมื่อเสร็จแล้วจึงนำต้นกำเนิดรังสีที่ปลดไปมาติดตั้งแล้วสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์อีกครั้งหนึ่ง นอกจากนั้นแล้วถึงแม้ว่าต้นกำเนิดรังสีทั้งสองแหล่งจะมีพลังงานไม่ตรงกันแต่มีความแรงรังสีต่างกันมาก ๆก็จะต้องทำการปลดหรือใช้อุปกรณ์ตัดลำรังสีที่มีความแรงรังสีสูงออกก่อนเช่นกันเนื่องจากความแรงรังสีที่กระเจิง (Compton Scattering) จากต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงรังสีสูงจะรบกวนการเก็บข้อมูลจากต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงรังสีต่ำ และทำให้ข้อมูลที่ได้ผิดพลาดหรืออาจจะไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เลย ในงานวิจัยนี้ชิ้นงานบางชิ้นสามารถทำการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์พร้อมกันทั้งสองเทคนิคได้เลย แต่บางชิ้นก็ต้องปลดต้นกำเนิดรังสีส่งผ่านออกก่อนแล้วสแกนเก็บข้อมูลเฉพาะเทคนิคการแผ่รังสีก่อนแล้วหลังจากนั้นจึงสแกนเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีอีกครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นงานทดสอบที่ 1

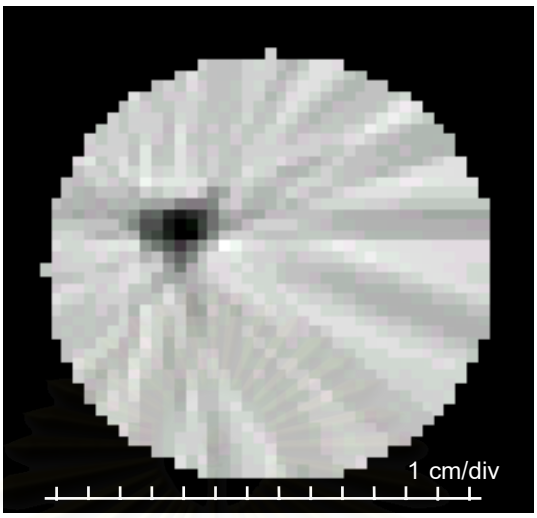
เนื่องจากต้องการทดสอบเป็นการเบื้องต้นว่าวิธีการเก็บข้อมูลและการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานนั้นสามารถใช้วิธีการเดียวกันกับวิธีการวัดรังสีแบบส่งผ่านได้หรือไม่ดังนั้นจึงออกแบบและสร้างชิ้นงานเพื่อทดสอบโดยใช้กระบอกอลูมิเนียมที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยฟองน้ำเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อวางต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 ห่างจากจุดศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 1

การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 3 มิลลิเมตร จำนวน 51 เรย์ซัม หมุนวัตถุด้วยมุม 20 องศา ได้ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมด 9 โปรไฟล์ จะเห็นว่าข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้นั้นเกิดจากการหมุนวัตถุเพียง 180 องศา เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อทดสอบให้มีเงื่อนไขการเก็บข้อมูลเหมือนกับการส่งผ่านรังสีทุกประการ

เมื่อนำข้อมูลโปรไฟล์จากการสแกนด้วยวิธีดังกล่าวมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ด้วยวิธีการ ฟิลเตอร์แบคโปรเจกชันจะได้ภาพดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 1

จากรูปที่ 4.2 สามารถแสดงตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีภายในวัตถุตัวอย่างเป็นลักษณะของต้นกำเนิดรังสีแบบจุดกล่าวคือมีจุดเข้มอยู่ตรงกลางและค่อย ๆจางออกโดยรอบ นอกจากนั้นยังอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง กล่าวคือตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของกระบอกตัวอย่างประมาณ 25 มิลลิเมตร จึงสามารถสรุปได้ว่าภาพโทโมกราฟีจากการปลดปล่อยรังสีจากชิ้นงานทดสอบได้และสามารถแสดงถึงตำแหน่งและรูปร่างของต้นกำเนิดรังสีแบบจุดได้ถูกต้อง

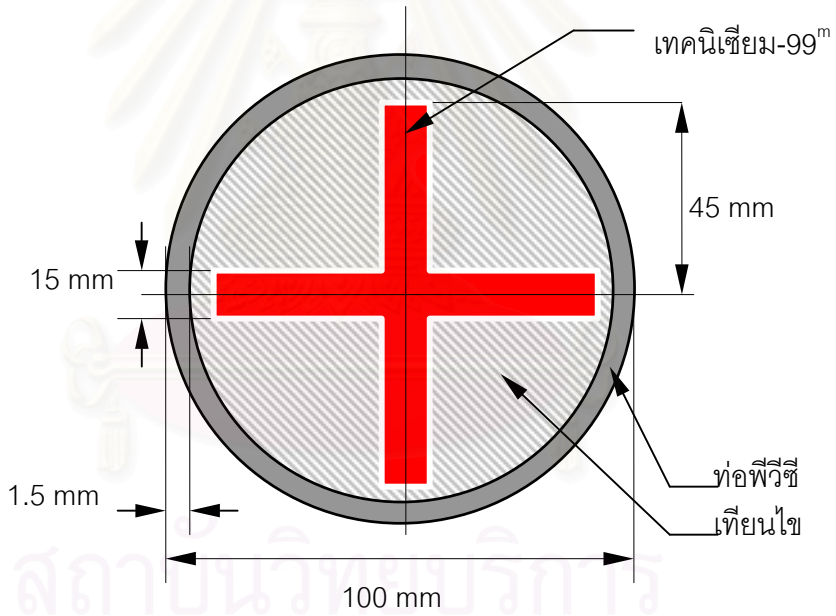
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการคำนวณสร้างภาพด้วยวิธีฟิลเตอร์แบคโปรเจกชันสามารถใช้ได้ผลกับเทคนิคการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากรังสีที่แผ่ออกมาจากชิ้นงานชิ้นงานซึ่งเรียกว่า เทคนิคการแผ่รังสีนั้นได้เช่นเดียวกับเทคนิคการส่งผ่านรังสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นงานทดสอบที่ 2

หลังจากทราบว่าคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการแผ่รังสีจากชิ้นงานสามารถใช้วิธีเช่นเดียวกับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบการส่งผ่านรังสี โดยให้ผลรูปร่างและตำแหน่งของสารรังสีได้แล้ว ดั้งนั้นจึงได้ออกแบบชิ้นงานให้มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยออกแบบชิ้นงานให้บรรจุต้นกำเนิดรังสีเป็นรูปกากบาด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นรูปร่างที่มีความซับซ้อนมากพอสมควรและเหมาะในการทดลองคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

สร้างชิ้นงานโดยใช้ท่อพีวีซีขอบหนา 1.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เป็นภาชนะบรรจุ (หรือเป็นขอบเขตการสแกน) ใช้เทียนไขเทหล่อลงภายในท่อ พีวีซี จัดเรียงไม้อัดเป็นรูปกากะบาด นำมาวางลงตรงกลางขณะเทียนไขยังไม่แข็งตัวแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง แกะไม้อัดรูปกากบาดออกแล้วหยดสารรังสีเทคนิเซียม-99^m ลงไปแทนหลังจากนั้นทำการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จนครบ 360 องศา รอบชิ้นงาน



รูปที่ 4.3 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 2

การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์กำหนดระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเป็น 3 มิลลิเมตร จำนวน 39 เรย์ซัม หมุนชิ้นงานด้วยมุม 22.5 องศา ได้ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมด 16 โปรไฟล์ ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลครบทั้ง 360 องศา แต่เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีที่ใช้มีค่าครึ่งชีวิตสั้นเพียง 6 ชั่วโมง ค่าความแรงรังสีจะอ่อนลงเมื่อเวลาผ่านไป จึงทำให้การวัดค่าความแรงรังสีที่ถูกส่งผ่านชิ้นงานออกมายัง

หัววัดรังสีในโปรไฟล์หลังมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้น เพื่อให้ข้อมูลความแรงรังสีที่ได้ทั้งหมดไม่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ต้องทำการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีเนื่องจากการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้นดังนี้

การคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีเนื่องจากการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น

จากสูตรการคำนวณความแรงรังสีที่เวลาใด ๆ

$$A_{(t)} = A_{(0)} e^{-\lambda t} \quad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ t = เวลาในการเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งใด ๆ ซึ่งสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนจบการสแกนเก็บข้อมูล

$A_{(t)}$ = ความแรงรังสีที่เวลาใด ๆ ในที่นี้คือ ค่าจำนวนนับรังสีที่วัดได้ขณะเวลาใด ๆ

$A_{(0)}$ = ความแรงรังสีเริ่มต้น

และ λ = ค่าสัมประสิทธิ์การสลายตัว (decay constant) ของต้นกำเนิดรังสี โดยที่

$$\lambda = \ln 2 / t_{1/2} \quad \text{..... (4.2)}$$

$t_{1/2}$ = ค่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิดรังสี

ในการทดลองนี้ต้นกำเนิดรังสีเทคนิเซียม-99^m มีค่าครึ่งชีวิต = 6 ชั่วโมง หรือคิดเป็น 21,600 วินาที

ดังนั้น $A_{(0)} = A_{(t)} / e^{-\lambda t}$ .....(4.3)

การคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีในการวิจัยนี้ จะคำนวณหา $A_{(0)}$ โดย t เป็นระยะเวลาเริ่มต้นของแต่ละเรย์ซัม และ $A_{(t)}$ เป็นค่าความแรงรังสีที่วัดได้ขณะ t นั้น ดังนั้น $A_{(0)}$ ที่คำนวณจากสมการที่ (4.3) จะเป็นค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีที่ปรับแก้ค่าแล้วของแต่ละเรย์ซัม

การเก็บข้อมูลเริ่มต้นเรย์ซัมแรกของโปรไฟล์แรกที่เวลา 13.47 นาฬิกา กำหนดระยะเวลาเก็บข้อมูลแต่ละโปรไฟล์เป็น 30 วินาที และจบเรย์ซัมสุดท้ายของโปรไฟล์สุดท้ายเวลา 19.46 นาฬิกา คิดเป็น 5 ชั่วโมง 59 นาทีหรือคิดเป็น 21,540 วินาทีจากการสแกน 39 เรย์ซัม 16 โปรไฟล์ เป็นจำนวน 624 เรย์ซัม ดังนั้น เวลาเฉลี่ยที่รวมเวลาการเก็บข้อมูล การถ่ายโอนข้อมูล และการขับเคลื่อนหัววัดรังสี รวมทั้งได้รวมเวลาการหมุนเปลี่ยนมุมการสแกนขณะเริ่มโปร์ไฟล์ใหม่ไปด้วยแล้ว ซึ่งจะเฉลี่ยเวลาได้เป็น 21,540 ÷ 624 เท่ากับ 34.51 วินาทีต่อเรย์ซัม

การคำนวณทำโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเอ็กเซล (Excell) ซึ่งสะดวกและใช้เวลาการทำโปรแกรมไม่นานนัก ดังมีตัวอย่างในรูปที่ 4.4

	A	B	C	D	E	F
1	Raysum No.	$A_{(t)}$	T	$(-\lambda t)$	$e^{-\lambda t}$	$A_{(0)}$
2	1	1	34.51	-0.001107	0.998893	1
3	2	1	69.02	-0.002215	0.997788	1
4	3	119	103.53	-0.003322	0.996683	119
5	4	207	138.04	-0.00443	0.99558	208
6	5	510	172.55	-0.005537	0.994478	513
7	6	707	207.06	-0.006645	0.993377	712
8	7	742	241.57	-0.007752	0.992278	748
9	8	849	276.08	-0.008859	0.99118	857
10	9	803	310.59	-0.009967	0.990083	811

รูปที่ 4.4 แสดงการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเอ็กเซลในการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสี เนื่องจากการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น

จากรูปที่ 4.4 ในคอลัมน์ (Column) ที่หนึ่ง เป็นจำนวนเรย์ซัมตั้งแต่เรย์ซัมแรกของโปรไฟล์แรกถึงเรย์ซัมสุดท้ายของโปรไฟล์สุดท้าย ถัดมาในคอลัมน์ที่สอง เป็นค่าความแรงรังสีที่อยู่ในรูปจำนวนนับของแต่ละเรย์ซัม ในคอลัมน์ที่สามเป็นเวลาสะสมจากเริ่มต้นจนถึงเรย์ซัมใด ๆ ซึ่งได้มาจากการเอาจำนวนเรย์ซัมคูณด้วยเวลาเฉลี่ยของการสแกนแต่ละเรย์ซัมคือ 34.51 วินาทีในคอลัมน์ที่สี่เป็นค่าคำนวณ $-\lambda t$ โดยค่า λ มีค่าตามสมการที่ 13 โดยใช้ $t_{½}$ เป็น 21,600 วินาที แล้วคูณกับค่า t ในคอลัมน์ที่สาม คอลัมน์ที่ห้าเป็นการคำนวณค่า $e^{-\lambda t}$ คือ นำค่า e (มีค่า 2.72) ยกกำลังด้วยค่าในคอลัมน์ที่สี่ และคอลัมน์สุดท้ายคือคอลัมน์ที่หกเป็นค่าคำนวณ $A_{(0)}$ จากสมการที่ 14 คือ นำค่า $e^{-\lambda t}$ ในคอลัมน์ที่ห้าไปหารออกจากค่า $A_{(t)}$ ที่ในคอลัมน์ที่สอง โดยค่า $A_{(0)}$ นี้จะเป็นค่าจำนวนนับรังสีที่ได้รับการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีที่สลายไปเรียบร้อยแล้ว ต่อจากนั้นนำค่า $A_{(0)}$ ที่ได้ไปทำการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

อนึ่งการสแกนข้อมูลโปรไฟล์ในการทดลองนี้เป็นการสแกนแบบต่อเนื่อง ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัมจริง ๆ แล้วเป็น 30 วินาทีบนเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องซึ่งอาจไม่ตรงกับเวลาจริงแต่ก็คงคลาดเคลื่อนไม่มากนักเป็นเศษส่วนของวินาทีเท่านั้น แต่การคำนวณข้างต้นได้ใช้เวลาเป็นเวลาเฉลี่ยคือ 34.51 วินาที ซึ่งได้รวมเวลาการทำงานต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นไว้ด้วย ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณปรับแก้ด้วยวิธีนี้จึงไม่ใช่เวลาที่แท้จริงของแต่ละเรย์ซัม

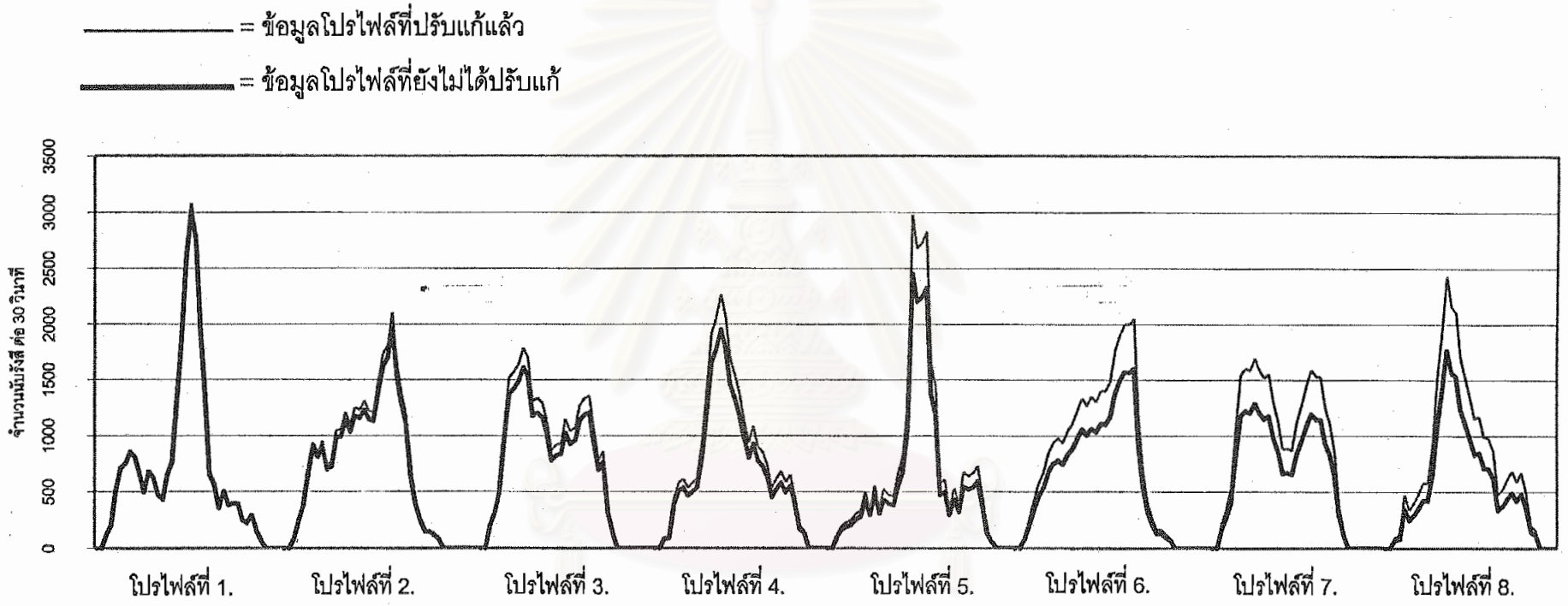
เป็นแบบข้อมูลของเวลาแบบเฉลี่ย ซึ่งการคำนวณให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องจริง ๆจะต้องมีการจับเวลาอย่างละเอียด ทั้งนี้ งานวิจัยนี้เป็นการเริ่มต้นการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคการแผ่รังสีเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟ ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านเวลา แต่ทั้งนี้ผลที่ได้ก็อยู่ในเกณฑ์ดีพอสมควร

โดยข้อมูลโปรไฟล์ทั้งที่ผ่านการคำนวณปรับแก้ค่าแล้วและข้อมูลที่วัดได้จริงที่ยังไม่ผ่านการคำนวณปรับแก้ค่า แสดงในรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข)

จากรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) แสดงข้อมูลโปรไฟล์ของการวัดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกจากชิ้นงานทั้ง 16 โปรไฟล์ แต่ละโปรไฟล์แสดงข้อมูล 2 ชุดคือ ข้อมูลที่ผ่านการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีแล้ว แสดงด้วยเส้นบาง และข้อมูลที่ได้จากการวัด ซึ่งยังไม่ปรับแก้ค่าความแรงรังสีแสดงด้วยเส้นหนา

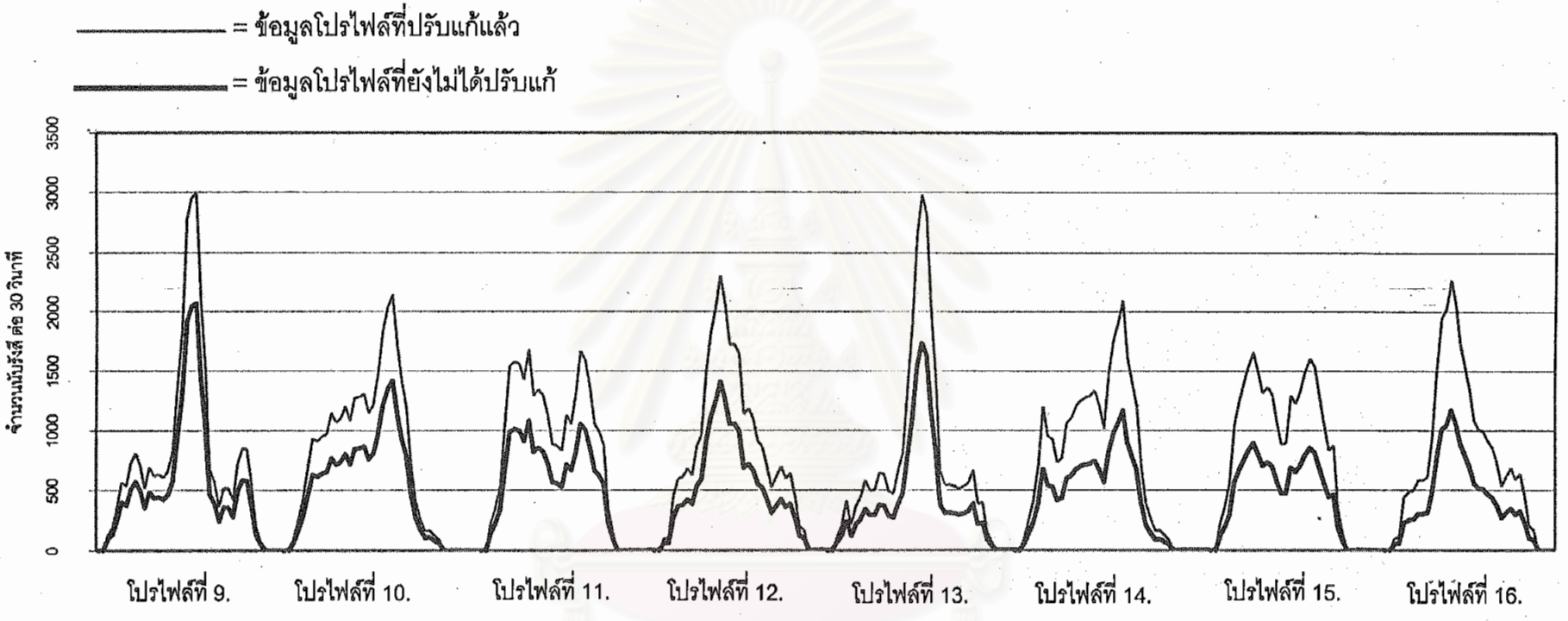
ในรูป 4.5 (ก) เป็นข้อมูลโปรไฟล์ที่ 1 ถึง 8 และรูป 4.5 (ข) เป็นข้อมูลโปรไฟล์ที่ 9 ถึง 16 จะเห็นว่าในโปรไฟล์แรกจะไม่มีความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้ง 2 ชุดมากนักเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บข้อมูลยังไม่มาก เมื่อจำนวนโปรไฟล์เพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงระยะเวลาผ่านไปนานขึ้น ความแตกต่างจะยิ่งมากขึ้น โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งยังไม่ปรับแก้ค่าความแรงรังสี จะต่ำลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะโปรไฟล์ที่ 16 ในรูปที่ 4.5 (ข) ซึ่งเป็นโปรไฟล์สุดท้าย ข้อมูลที่ได้จากการวัดที่ยังไม่ปรับแก้ค่าความแรงรังสีมีค่าความแรงรังสีต่ำกว่าข้อมูลที่ผ่านการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีแล้วราวครึ่งหนึ่ง ทั้งนี้เป็นเพราะระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มโปรไฟล์ที่ 1 จนถึงโปรไฟล์ที่ 16 เป็น 5 ชั่วโมง 59 นาที ซึ่งในตัวอย่างนี้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาชนิดเทคนิเซียม-99^{m} ที่มีค่าครึ่งชีวิต 6 ชั่วโมง ทำให้ข้อมูลที่วัดได้จริงน้อยกว่าข้อมูลที่ผ่านการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีแล้วประมาณครึ่งหนึ่ง ดังนั้นข้อมูลที่จะนำไปคำนวณสร้างภาพจึงต้องคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีซึ่งเป็นข้อมูลความแรงรังสีที่เวลาเดียวกับโปรไฟล์แรกโดยประมาณ หลังจากนี้สามารถนำข้อมูลที่ผ่านการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีแล้วไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีดังแสดงในรูปที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 (ก) ภาพข้อมูลโปรไฟล์ที่ 1 ถึง 8

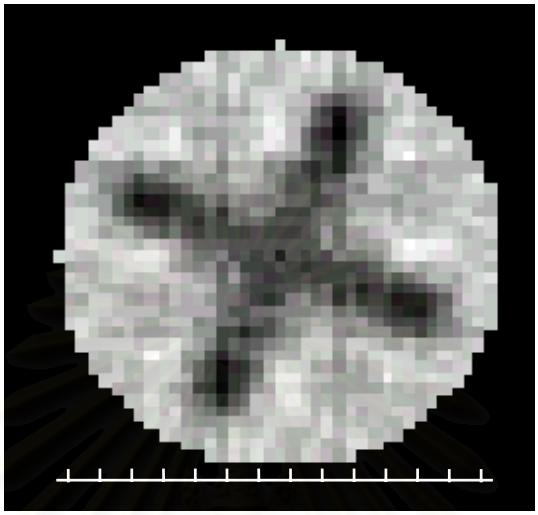
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 (ข) ภาพข้อมูลโปรไฟล์ที่ 9 ถึง 16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ปรับแก้ค่าความแรงรังสีจากการสแกนด้วยวิธีวัดรังสีที่ปลดปล่อยจากชิ้นงานมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพโทโมกราฟีจากแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 2

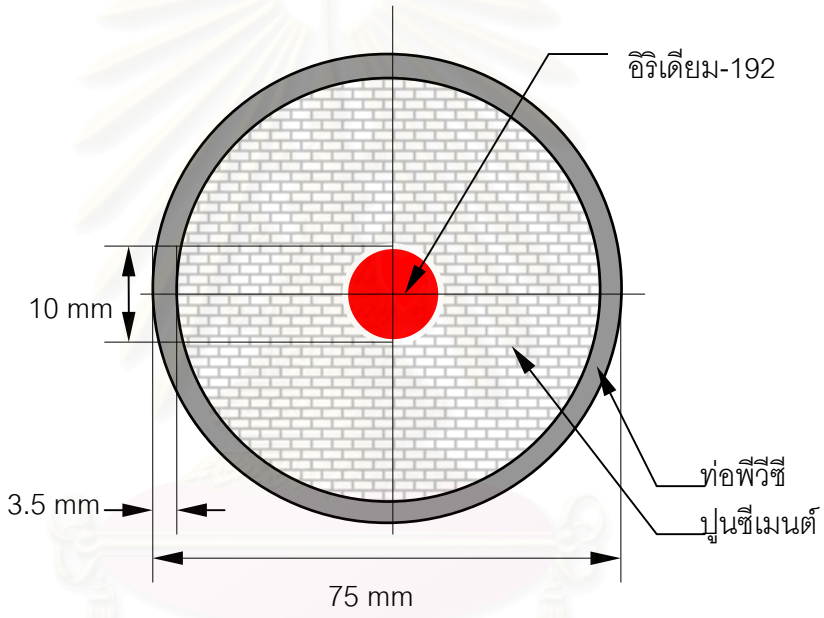
จากการทดลองคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีแผ่รังสีจากชิ้นงานทดสอบที่ 2 พบว่าสามารถสร้างภาพตรงตามลักษณะโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเห็นเป็นรูปกากบาดที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงวัตถุจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นงานทดสอบที่ 3

วัตถุประสงค์เพื่อทดลองสร้างภาพชิ้นงานทดสอบที่มีต้นกำเนิดรังสีแกมมาอิริเดียม-192 ที่ถูกหุ้มด้วยปูนซีเมนต์ จากเทคนิคการวัดรังสีทั้งแบบส่งผ่านและแบบแผ่รังสีจากชิ้นงาน เพื่อใช้ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ทั้งโครงสร้างของภาชนะบรรจุรวมทั้งรูปร่างและตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายใน

ในการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานนั้น ได้ออกแบบชิ้นงานทดสอบโดยใช้ท่อพีวีซีหนา 3.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ภายในบรรจุด้วยปูนซีเมนต์ผสมทรายที่มีอัตราส่วน 1:1 และสอดท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ไว้ตรงกลางสำหรับวางต้นกำเนิดรังสีแกมมาอิริเดียม-192 ดังรูป 4.7



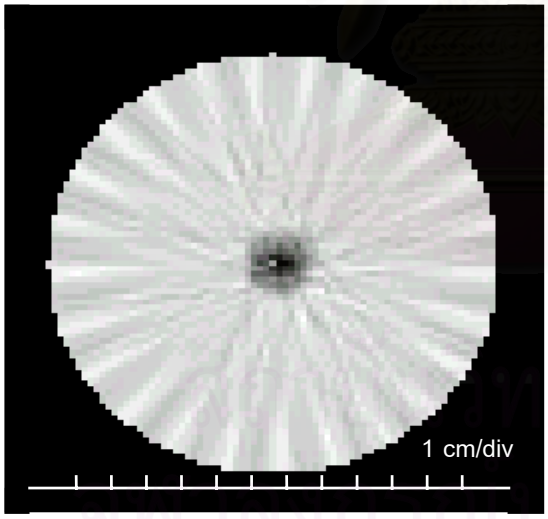
รูปที่ 4.7 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 3

การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากทั้งสองวิธีนั้น สามารถทำการทดลองเก็บข้อมูลไปพร้อมกันได้ โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเป็น 2 มิลลิเมตร สแกนเก็บข้อมูลจำนวน 75 เรย์ซัมต่อโปรไฟล์ และมุมที่หมุนเปลี่ยนไปทีละ 14.4 องศา ดังนั้นจะได้จำนวนโปรไฟล์ทั้งหมดเท่ากับ 25 โปรไฟล์

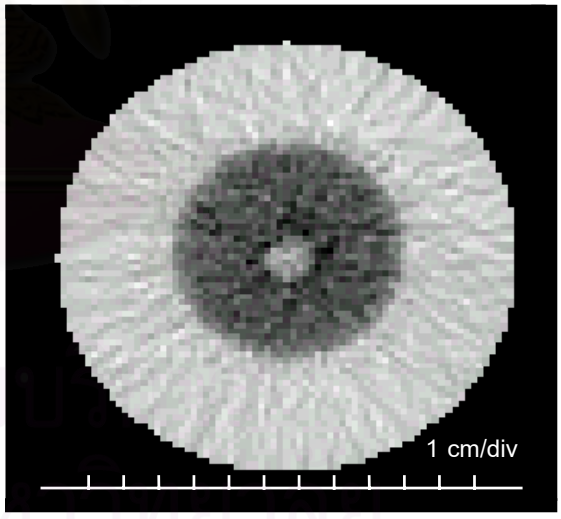
รังสีแกมมาที่เก็บข้อมูลไว้แต่ละเรย์ซัมนั้น กำหนดให้สามารถเลือกพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 ที่อยู่ภายในชิ้นงาน เนื่องจากอิริเดียม-192 ปลดปล่อยรังสีแกมมาจำนวน 3 พลังงาน ได้แก่ 317 468 และ 613 keV ซึ่งการทดลองนี้เลือกวัดรังสีแกมมาที่

พลังงาน 317 keV (55 %) และ 468 keV (27 %) โดยกำหนดช่วงพลังงานเป็น 286-330 keV และ 430-490 keV ตามลำดับดังนั้นข้อมูลโปรไฟล์จากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานจึงมีสองชุด แต่เนื่องจากว่าที่พลังงาน 468 keV นั้นถูกรบกวนด้วยการกระเจิงแบบคอมป์ตันจากพลังงาน 662 keV ของซีเซียม-137 ดังนั้นจึงเลือกเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่พลังงาน 317 keV มาคำนวณสร้างภาพ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว อีกทั้งปริมาณความเข้มของพลังงาน 317 keV ที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 มากกว่าพลังงาน 468 keV ซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพดีกว่า สำหรับข้อมูลโปรไฟล์จากการวัดรังสีแบบส่งผ่านนั้น วัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ที่พลังงาน 662 keV สำหรับตัวอย่างนี้ ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 มีค่าครึ่งชีวิต 74.4 วัน แต่การสแกนเก็บข้อมูลใช้เวลารวม 15 ชั่วโมง 37 นาที ซึ่งผลกระทบจากการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีมีน้อย ในการทดลองนี้จึงไม่ทำการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสี ประกอบกับรูปร่างของต้นกำเนิดรังสีเป็นแบบจุดวางอยู่ตรงกลางชิ้นงานเพียงจุดเดียว จึงไม่มีผลกับการคำนวณสร้างภาพ

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี จะสามารถแสดงภาพตัดขวางของชิ้นงานจากข้อมูลที่ได้จากการแผ่รังสีจากชิ้นงานดังรูปที่ 4.8 (ก) และการส่งผ่านรังสีดังรูปที่ 4.8 (ข)



รูปที่ 4.8 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 3



รูปที่ 4.8 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 3

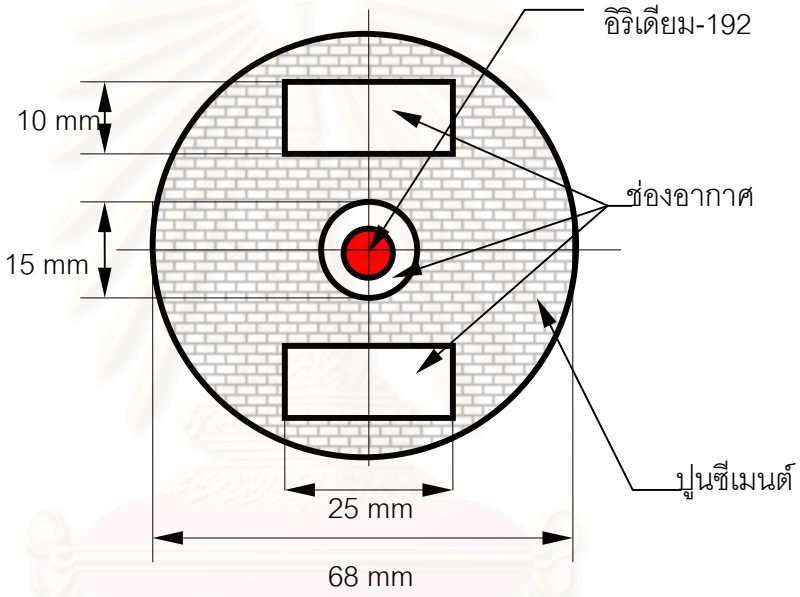
จากรูปที่ 4.8 (ก) เป็นภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการแผ่รังสีจากชิ้นงาน พบว่าตรงกลางภาพมีจุดดำซึ่งเป็นการแผ่รังสีจากต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 โดยจุดดำอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของต้นกำเนิดรังสีซึ่งแสดงถึงความแรงของรังสีสูงสุด ณ จุดศูนย์กลางดังกล่าวและสีดำจะค่อย ๆจางลงโดยรอบที่ระยะห่างออกไปแสดงถึงการลดลงของความแรงรังสีเนื่องจากว่าการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยมุมที่ค่อนข้างโตพอสมควรดังนั้นภาพโทโมกราฟีที่ได้จึงมีรายละเอียดที่ไม่สมบูรณ์มากนัก

สำหรับรูปที่ 4.8 (ข) เป็นภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการส่งผ่านรังสี พบว่าภายในชิ้นงานทดสอบมีจุดขาวซึ่งในที่นี้หมายถึงอากาศและบริเวณที่เป็นวงกลมดำหมายถึงคอนกรีตรูปทรงกระบอกรายละเอียดของภาพสามารถบอกขนาดรูปร่างและตำแหน่งของตัวอย่างรวมทั้งเมื่อพิจารณาจากภาพทั้งสองแล้วสามารถทราบตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีภายในตัวอย่างได้เป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นงานทดสอบที่ 4

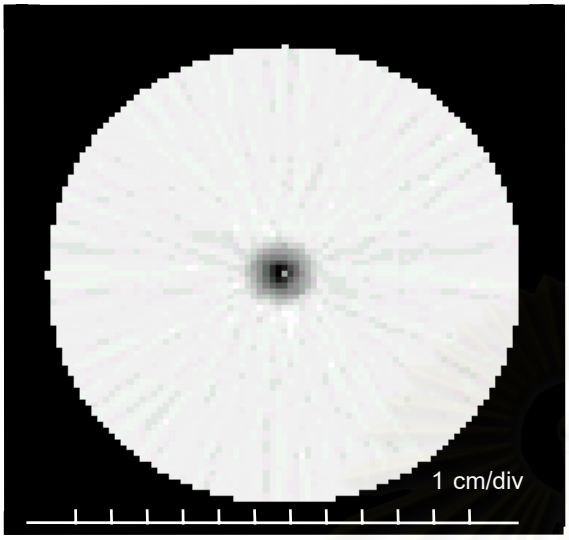
ชิ้นงานทดสอบที่ 4 เป็นชิ้นงานคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 68 มิลลิเมตร โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมทรายอัตราส่วน 1:1 เหมือนชิ้นงานทดสอบที่ผ่านมา ตรงกลางเจาะเป็นรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตรและเจาะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 10 มิลลิเมตร x 25 มิลลิเมตร จำนวน 2 ช่องตรงข้ามกันดังรูปที่ 4.9 ในการทดลองเก็บข้อมูลโปรไฟล์ วางต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 ไว้ในรูตรงกลาง ซึ่งใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีที่แผ่รังสีออกจากชิ้นงานทดสอบ โดยที่ต้นกำเนิดรังสีดังกล่าวบรรจุอยู่ในแคปซูลโลหะชนิดปิดผนึก ดังรูปที่ 4.9



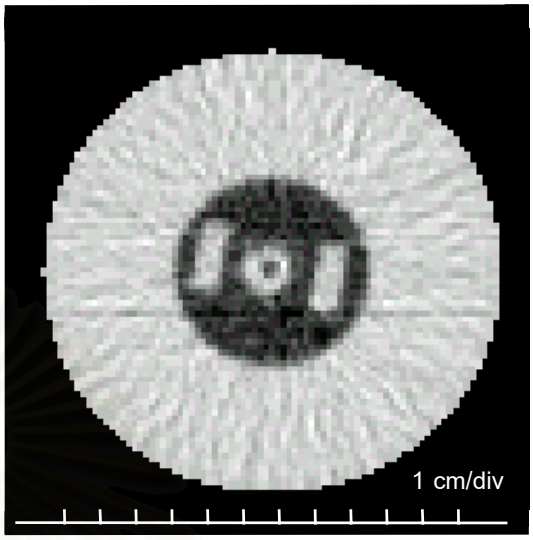
รูปที่ 4.9 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 4

ในการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์พร้อมกันทั้งแบบการวัดรังสีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีและเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเป็น 2 มิลลิเมตร สแกนเก็บข้อมูลจำนวน 81 เรย์ซัมต่อโปรไฟล์และหมุนตัวอย่างด้วยมุมทีละ 7.2 องศา ได้จำนวนโปรไฟล์ทั้งหมด 50 โปรไฟล์ ใช้ต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 สำหรับการวัดแบบปลดปล่อยจากชิ้นงาน และซีเซียม-137 สำหรับวัดแบบส่งผ่านรังสี โดยเลือกช่วงพลังงานเช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่ 3 และไม่จำเป็นต้องคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีด้วยสาเหตุเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่ 3

นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะได้ภาพดังรูปที่ 4.10 ต่อไปนี้



รูปที่ 4.10 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 4



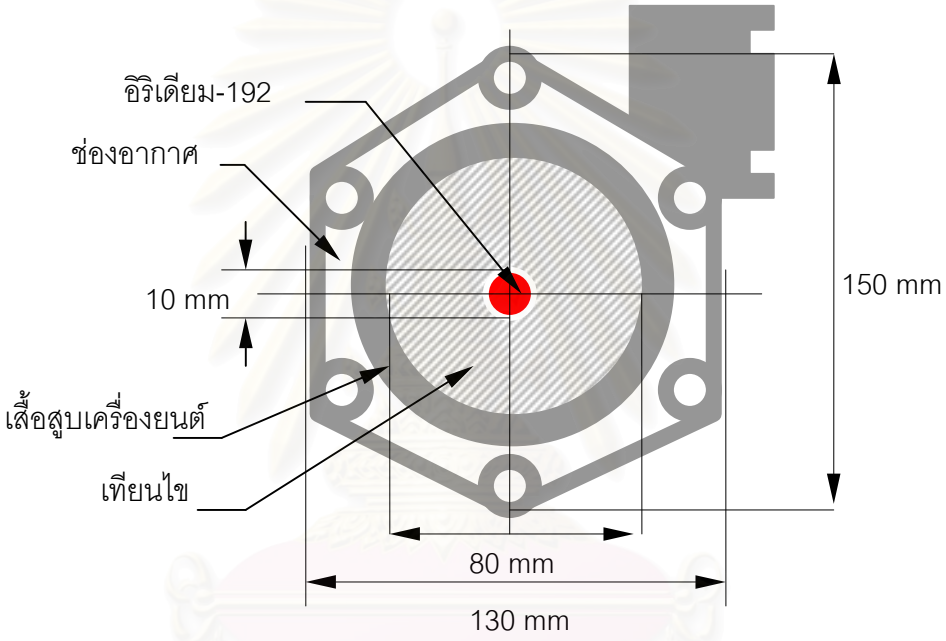
รูปที่ 4.10 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 4

จากรูปที่ 4.10 (ก) เป็นภาพโทโมกราฟีจากการปลดปล่อยรังสีจากชิ้นงานทดสอบที่ 4 โดยบริเวณตรงกลางของชิ้นงานซึ่งเป็นตำแหน่งที่วางต้นกำเนิดรังสีสามารถมองเห็นเป็นจุดสีเข้ม เช่นเดียวกับภาพโทโมกราฟีในรูปที่ 4.9 (ก) ถ้าพิจารณาเพียงสองภาพนี้จะไม่สามารถบอกความแตกต่างกันได้เนื่องจากใช้ต้นกำเนิดรังสีแบบจุดเหมือนกันและวางอยู่ตำแหน่งตรงกลางชิ้นงานเหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาภาพโทโมกราฟีจากการวัดรังสีแบบส่งผ่านประกอบด้วย ก็จะสามารถเห็นถึงความแตกต่างของรายละเอียดภายในของชิ้นงานทั้งสองที่มีต้นกำเนิดรังสีนั้นได้

จากรูปที่ 4.10 (ข) เป็นภาพโทโมกราฟีจากการวัดรังสีแบบส่งผ่าน ที่สังเกตเห็นรูปร่างของภาชนะที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 ได้อย่างชัดเจน และทราบว่าต้นกำเนิดรังสีดังกล่าววางไว้ ณ ตำแหน่งใด ภายในภาพที่มีลักษณะเป็นวงกลมสีดำหมายถึงชิ้นงานทดสอบที่เป็นคอนกรีตและส่วนที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมสีขาวสองรูปหมายถึงช่องสี่เหลี่ยมซึ่งเป็นอากาศซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างไปจากส่วนที่เป็นปูนซีเมนต์อย่างมากจึงเห็นความแตกต่างของโทนสีอย่างชัดเจน ส่วนตรงกลางซึ่งเป็นวงกลมสีขาวเป็นขอบนอกและสีดำเป็นจุดภายในอีกชั้น หมายถึงความแตกต่างระหว่างอากาศและโลหะเหล็กไร้สนิมที่เป็นแคปซูลบรรจุต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192

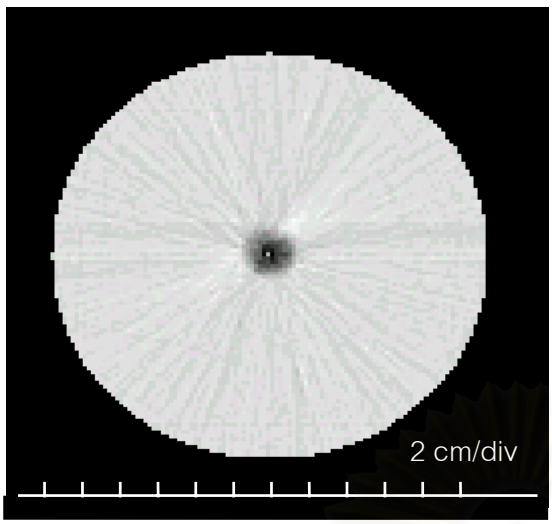
ชิ้นงานทดสอบที่ 5

เนื่องจากการทดสอบชิ้นงานที่ผ่านมานั้น ชิ้นงานมีรูปร่างและความหนาแน่นของตัวกลางภาพในไม่ซับซ้อนมากนัก ดังนั้นชิ้นงานทดสอบที่ 5 จึงใช้ชิ้นงานที่มีภาชนะห่อหุ้มสารรังสีที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยใช้เสื้อสูบของรถจักรยานยนต์ แล้วใช้เทียนไขเทหล่อในช่องว่างตรงกลาง ซึ่งเป็นส่วนของลูกสูบ เพื่อวางต้นกำเนิดรังสีแกมมาอิริเดียม-192 แบบจุด ชิ้นงานนี้จึงมีตัวกลางเป็น 4 ชนิดคือ อากาศ เทียนไข โลหะผสมที่เป็นเสื้อสูบรถจักรยานยนต์ และ แคปซูลโลหะที่บรรจุต้นกำเนิดรังสี

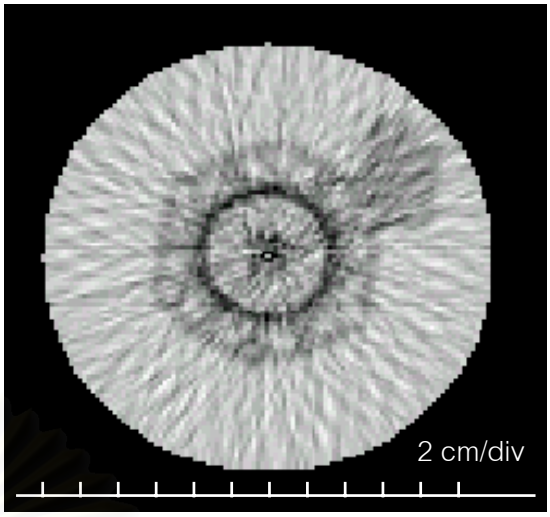


รูปที่ 4.11 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 5

ในการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์พร้อมกันทั้งสองแบบ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเป็น 2 มิลลิเมตร สแกนข้อมูลจำนวน 107 เรย์ซัมต่อโปรไฟล์ หมุนตัวอย่างด้วยมุมทีละ 7.2 องศา ได้จำนวนโปรไฟล์ทั้งหมด 50 โปรไฟล์ ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัม 30 วินาที จึงใช้เวลาในการสแกนเก็บข้อมูลนานมาก (ประมาณ 50 ชั่วโมง) โดยเลือกวัดรังสีที่ช่วงพลังงานเช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่ 3 และไม่คำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสี ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการสแกนเก็บข้อมูลค่อนข้างนาน แต่ค่าความแรงรังสีที่ลดลงมีผลไม่มากนักประกอบกับต้นกำเนิดรังสีเป็นแบบจุดเพียงจุดเดียวในชิ้นงาน ซึ่งภาพโทโมกราฟีทั้งสองวิธีนั้นแสดงไว้ในรูปที่ 4.12 (ก) และ (ข)



รูปที่ 4.12 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 5



รูปที่ 4.12 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 5

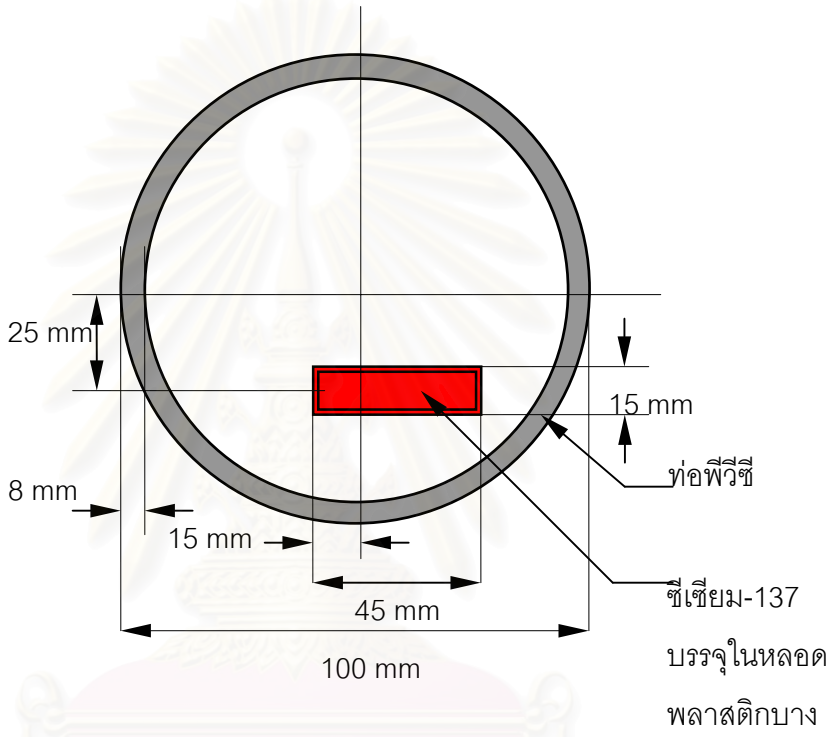
จากรูปที่ 4.12 (ก) เป็นภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน จะสังเกตเห็นว่าการสร้างภาพด้วยเทคนิคนี้ ภาพที่ได้ก็คือการแผ่รังสีของต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงานนั่นเอง ภาพจุดสีดำตรงกลางภาพเป็นบริเวณที่มีความเข้มของรังสีมากที่สุด ส่วนบริเวณถัดไป จะเห็นว่ามีขีดเส้นสีเข้มแผ่ออกไปจากจุดศูนย์กลาง ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดอาติเฟค (artifect)[4] ขึ้นจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

จากรูปที่ 4.12 (ข) เป็นภาพโทโมกราฟีจากการวัดรังสีแบบส่งผ่าน พบว่าเห็นรายละเอียดเฉพาะภาพตัดขวางของเสื้อสูบเครื่องยนต์ซึ่งเป็นโลหะผสมส่วนเทียนไขและอากาศนั้นไม่สามารถแยกกันได้ทั้งนี้เนื่องจากตัวกลางทั้งสองมีความหนาแน่นต่ำเมื่อเทียบกับโลหะ ตรงกลางของชิ้นงานเห็นจุดสีดำเข้มซึ่งก็คือโลหะเหล็กไร้สนิมที่เป็นแคปซูลบรรจุต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192 นั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นงานทดสอบที่ 6

ตัวอย่างนี้ต้องการทดสอบในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีมีรูปร่างเป็นแบบเส้น บรรจุอยู่ภายในชิ้นงาน โดยเลือกต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ชนิดเรซิน โดยบรรจุอยู่ในหลอดพลาสติกบาง (มีความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร) ขนาดความยาว 40 มิลลิเมตร กว้าง 10 มิลลิเมตร วางอยู่ในชิ้นงานชิ้นงานทดสอบที่เป็นท่อพีวีซีหนา 8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ห่างจุดศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.13

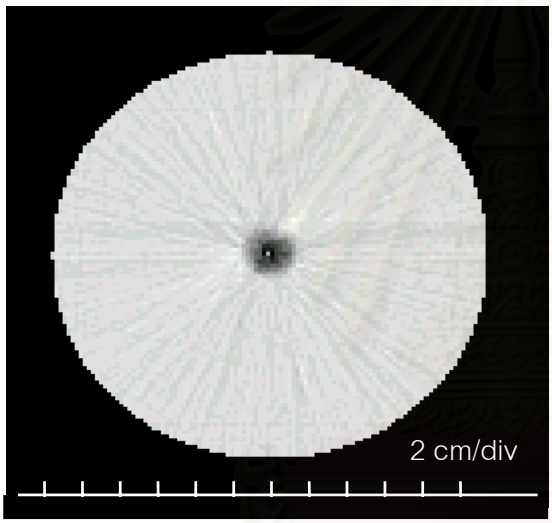


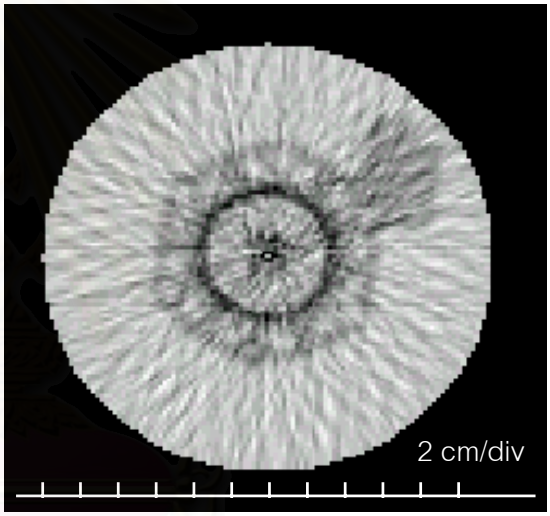
รูปที่ 4.13 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 6

การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อสร้างภาพโทโมกราฟีจากทั้งสองวิธีนั้น กำหนดให้ระยะห่างของการสแกนเก็บข้อมูลระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 2 มิลลิเมตร จำนวนเรย์ซัมต่อโปรไฟล์เท่ากับ 71 เรย์ซัม หมุนตัวอย่างด้วยมุมทีละ 7.2 องศา ได้ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมด 50 โปรไฟล์

ในการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากทั้งสองวิธีนั้นไม่สามารถกระทำในเวลาพร้อมกัน ทั้งนี้เนื่องจากว่าต้นกำเนิดรังสีของการสแกนแบบแผ่จากชิ้นงานและแบบส่งผ่านรังสีเป็นชนิดเดียวกันคือ ซีเซียม-137 ซึ่งให้พลังงานของรังสีแกมมาเท่ากับ 662 keV การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จึงต้องใช้วิธีชัตเตอร์กล่าวคือแยกการสแกนเก็บข้อมูล

เป็น 2 ครั้ง โดยสแกนเก็บข้อมูลความแรงรังสีที่แผ่จากชิ้นงานก่อน กำหนดพลังงานที่สนใจบนเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องที่ 600-700 keV ซึ่งต้องปลดต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ของการสแกนแบบส่งผ่านรังสีออกจากระบบก่อนเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกัน โดยกำหนดให้ระยะห่างของการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 2 มิลลิเมตร จำนวนเรย์ซัมต่อโปรไฟล์เท่ากับ 71 เรย์ซัม หมุนตัวอย่างด้วยมุมทีละ 7.2 องศา ได้ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมด 50 โปรไฟล์ และ ภาพโทโมกราฟีที่ได้แสดงในรูปที่ 4.14 (ก) จากนั้นนำต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 สำหรับการสแกนเก็บข้อมูลแบบส่งผ่านรังสีติดตั้งกลับเข้าสู่ระบบตามเดิม แล้วสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ตามเงื่อนไขเดิมแล้วนำมาคำนวณสร้างภาพ แต่เนื่องจากว่าความแรงรังสีจากเทคนิคการส่งผ่านสูงกว่าเทคนิคการแผ่รังสีมากดังนั้นข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ซึ่งไม่มีการรบกวนจึงไม่มีความเป็นต้องปรับแก้ค่าข้อมูลจากเทคนิคการส่งผ่านโดยภาพโทโมกราฟีที่ได้แสดงในรูปที่ 4.14 (ข)





รูปที่ 4.14 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 6

รูปที่ 4.14 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 6

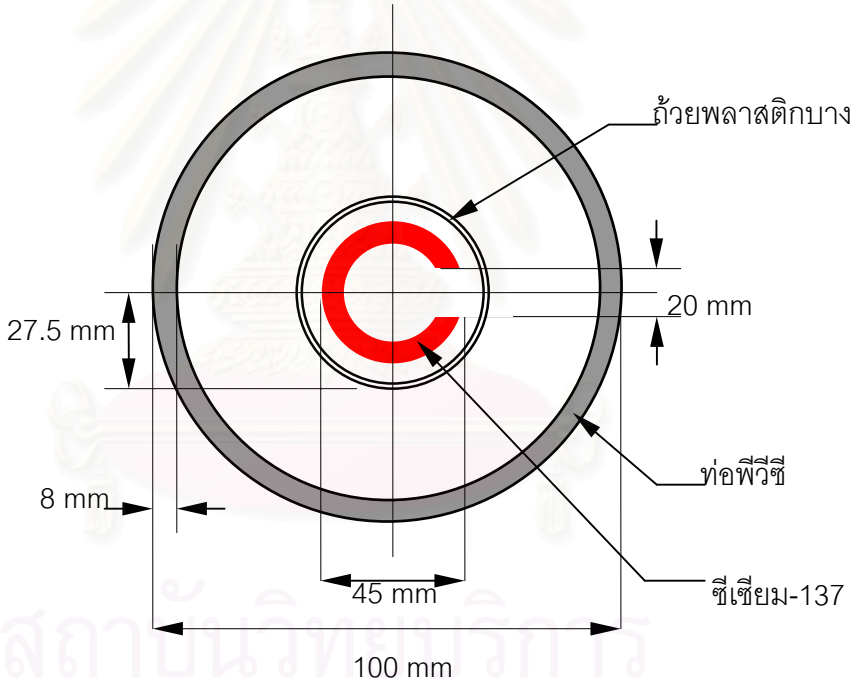
ภาพโทโมกราฟีจากการส่งผ่านรังสีที่ได้จะเห็นเฉพาะขอบท่อพีวีซีที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุเท่านั้นไม่เห็นหลอดพลาสติกบางที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีแบบปลดปล่อยจากชิ้นงานเนื่องจากหลอดพลาสติกบางมากรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีส่งผ่านจึงทะลุได้หมดขณะที่ผนังกระบอกพีวีซีที่หนาถึง 8 มิลลิเมตร ที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุสามารถมองเห็นได้ชัดเจนตามรูปที่ 4.14 (ข)

สำหรับภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน รูปร่างและตำแหน่งภาพที่ได้ถูกต้องตรงกับชิ้นงานตัวอย่างจริง และด้วยการหมุนด้วยมุมที่ละเอียดทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพค่อนข้างดี ตามรูป 4.14 (ก)

ชิ้นงานทดสอบที่ 7

ชิ้นงานนี้เพื่อการทดสอบว่ากรณีต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงานทดสอบมีลักษณะเป็นวงกลมแบบไม่สมบูรณ์ คือ เป็นเพียงส่วนโค้งของวงกลมซึ่งจะคล้ายกับตัวอักษร C หรือ U ซึ่งจะมีประโยชน์กรณีที่มีชิ้นงานทดสอบที่ต้องการตรวจสอบรูปร่างของต้นกำเนิดรังสีที่มีอยู่ภายในชิ้นงาน

การสร้างชิ้นงานทดสอบใช้ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ชนิดเรซินเทใส่ถ้วยพลาสติกบาง (มีความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร) เส้นผ่าศูนย์กลางของถ้วย 55 มิลลิเมตร เทกาวไว้ที่ก้นถ้วยส่วนหนึ่งแล้วปล่อยให้แห้งแล้วจึงค่อยเทต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ลงเพื่อให้เป็นต้นกำเนิดรังสีรูปวงกลมที่ไม่สมบูรณ์ แล้วนำไปวางไว้ในท่อพีวีซีหนา 8 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.15

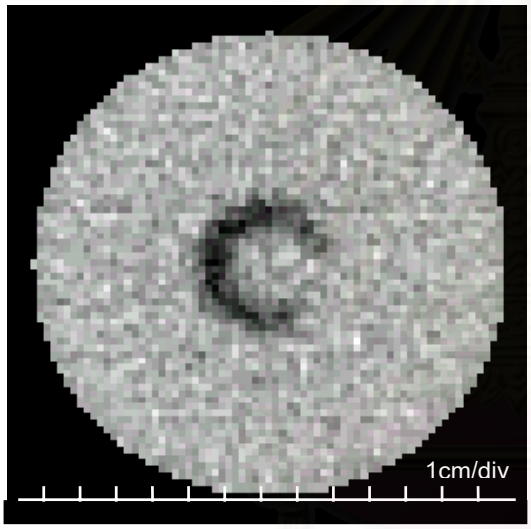


รูปที่ 4.15 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 7

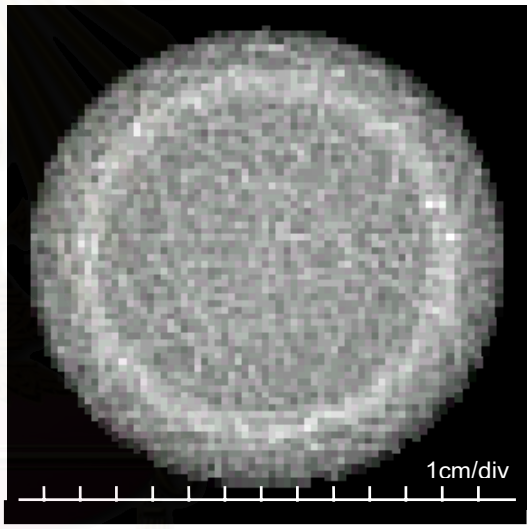
การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากทั้งสองวิธีนั้นดำเนินการเช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่ 7 ทั้งนี้เพราะใช้ต้นกำเนิดรังสีชนิดเดียวกัน กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 2 มิลลิเมตร สแกนเก็บข้อมูลจำนวน 71 เรย์ซัมต่อโปรไฟล์ และหมุนตัวอย่างด้วยมุมทีละ 7.2 องศาได้ข้อมูลโปรไฟล์จำนวน 50 โปรไฟล์

นำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณสร้างภาพ จะได้ภาพโทโมกราฟีจากทั้งสองวิธีดังรูปที่ 4.16 จากรูปที่ 4.16 (ก) เป็นภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน พบว่าบริเวณตรงกลางชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปตัวซี (C) สีดำซึ่งหมายถึงภาพโทโมกราฟีของต้นกำเนิดรังสีที่แผ่ออกมาจากชิ้นงาน มีลักษณะและรูปร่างตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.16 (ข) ซึ่งเป็นภาพโทโมกราฟีจากการวัดรังสีที่ส่งผ่านชิ้นงานร่วมด้วยแล้วจะสามารถบอกถึงตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงานและบอกถึงรูปร่างของชิ้นงานชิ้นงานทดสอบที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีดังกล่าว

ชิ้นงานทดสอบนี้ก็ไม่จำเป็นต้องปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์สำหรับเทคนิคการส่งผ่านเพราะความแรงรังสีสูงกว่าเทคนิคการแผ่รังสีมาก



รูปที่ 4.16 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 7

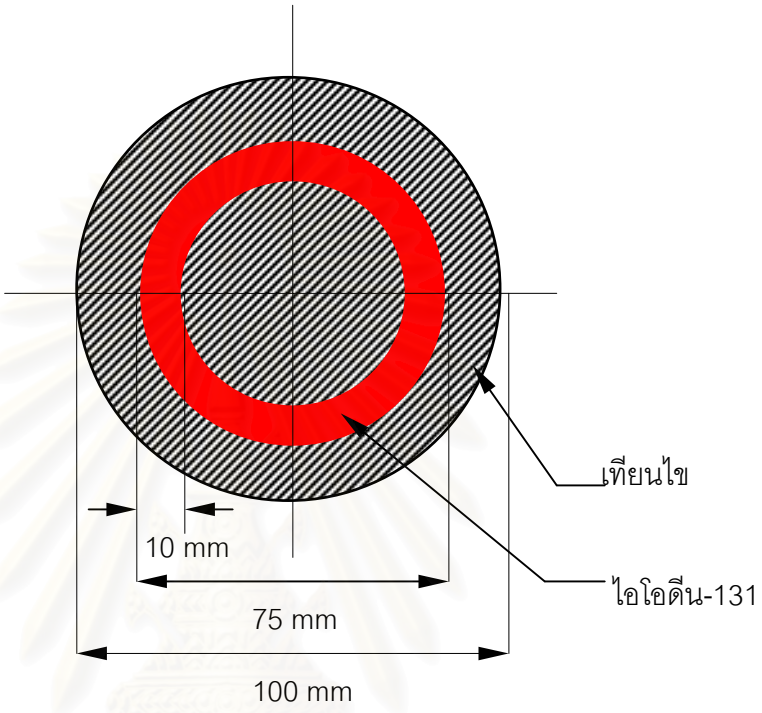


รูปที่ 4.16 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นงานทดสอบที่ 8

ตัวอย่างนี้ทำจากการหล่อเทียนไขแล้วเจาะร่องเป็นวงกลมตรงกลางดังแสดงรูปร่างและขนาดในรูปที่ 4.17 แล้วเติมต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากไอโอดีน-131 ชนิดสารละลายความแรงรังสี 850 ไมโครคูรี โดยหยดลงในร่องวงกลมบนชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 4.17 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 8

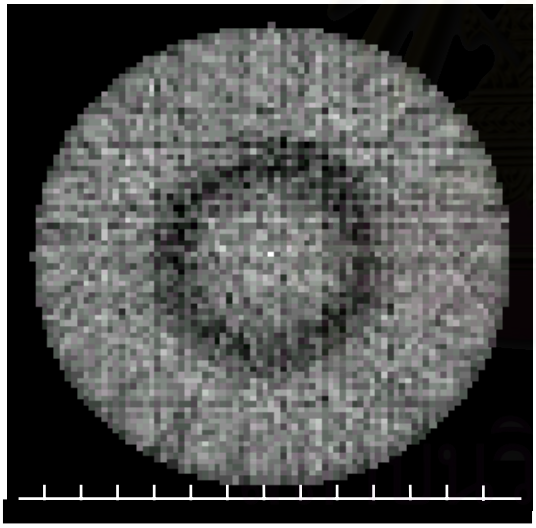
การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 2 มิลลิเมตร จำนวน 81 เรย์ซัมต่อโปรไฟล์หมุนตัวอย่างด้วยมุมทีละ 18 องศาได้ข้อมูลโปรไฟล์จำนวน 20 โปรไฟล์ แล้วใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาไอโอดีน-131 ชนิดสารละลายเป็นต้นกำเนิดรังสีสำหรับเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน ซึ่งในตัวอย่างนี้ก็ต้องใช้วิธีชัตเตอร์ เช่นเดียวกับในชิ้นงานทดสอบที่ 6 และ 7 กล่าวคือ ปลดต้นกำเนิดรังสีแกมมาสำหรับเทคนิคการส่งผ่านรังสีออกก่อน ทั้งนี้ถึงแม้ว่าต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 มีพลังงานของรังสีแกมมาหลักเท่ากับ 364 keV ซึ่งเป็นพลังงานของรังสีที่ปลดปล่อยจากชิ้นงานและถึงจะมีตำแหน่งยอดพีค ห่างจากยอดพีคของซีเซียม-137 คือ 662 keV แต่เนื่องจากไอโอดีน-131 มีความแรงรังสีต่ำขณะที่ความแรงรังสีจากซีเซียม-137 ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องทำการแยกวัดรังสีจากทั้งสองแบบ เช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่ 7 และเนื่องจากต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 มีค่าครึ่งชีวิตสั้น จึงต้องคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีด้วยวิธีการเดียวกับในชิ้นงานทดสอบที่ 2 โดยกำหนดระยะเวลาการเก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัมบนเครื่อง

วิเคราะห์แบบหลายช่องเป็น 35 วินาที แต่เวลาที่ใช้ทั้งหมดสำหรับการเก็บข้อมูล 1,620 โปรไฟล์ เป็น 16 ชั่วโมง 23 นาที หรือ 58,980 วินาที

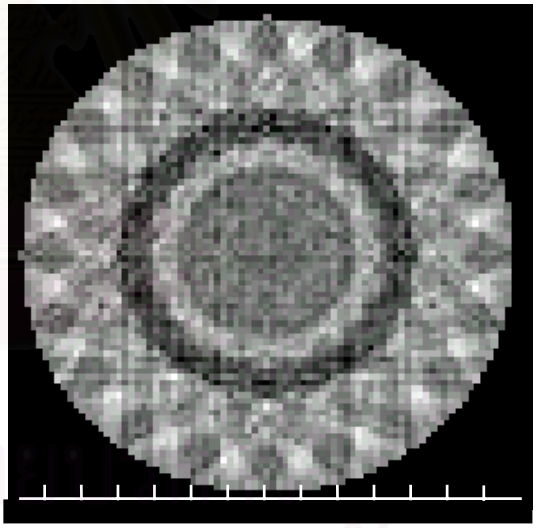
ดังนั้นเวลาเฉลี่ยต่อเรย์ซัมเป็น 56,220 ÷ 1,620 = 36.4 วินาทีและ

ค่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิดรังสี 8 วันหรือ 691,200 วินาที ทำการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีแล้วนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

นำข้อมูลที่ทำการคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีแล้วมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการวัดรังสีสองแบบแสดงในรูปที่ 4.18 จากรูปที่ 4.18 (ก) เป็นภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงาน พบว่ามีการแผ่รังสีจากชิ้นงานตัวอย่างในลักษณะเป็นรูปวงแหวน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากวงแหวนสีดำภายในชิ้นงานเมื่อพิจารณาร่วมกับรูปที่ 4.18 (ข) จากการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยการส่งผ่านรังสีซึ่งเป็นภาพตัดขวางของชิ้นงาน มีรูปร่างเป็นวงกลมสีดำภายในเป็นร่องวงแหวนสีขาวเป็นที่สำหรับใส่ต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 ที่อยู่ในรูปของสารละลาย ภาพโทโมกราฟีดังกล่าวให้รายละเอียดดีพอสำหรับการพิจารณาขนาดและรูปร่างของทั้งชิ้นงานและต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายใน



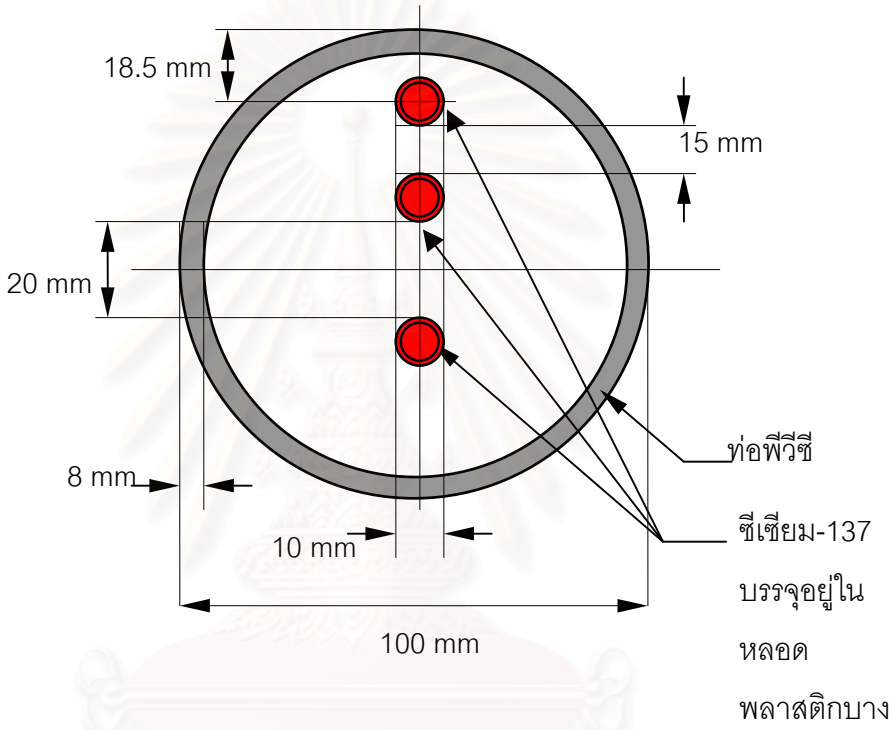
รูปที่ 4.18 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 8



รูปที่ 4.18 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 8

ชิ้นงานทดสอบที่ 9

ชิ้นงานนี้ออกแบบเพื่อทดสอบการแยกแยะรายละเอียดของภาพโทโมกราฟีจากทั้งสองวิธี โดยออกแบบให้ต้นกำเนิดรังสีภายในชิ้นงานวางห่างกันในระยะต่าง ๆใช้ท่อพีวีซีหนา 8 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร เป็นขอบเขตและใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากซีเซียม-137 ชนิดเรซินแบ่งออกเป็น 3 ส่วน บรรจุในหลอดพลาสติกบางที่มีความหนาราว 0.5 มิลลิเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และวางให้ห่างกัน 15 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.19



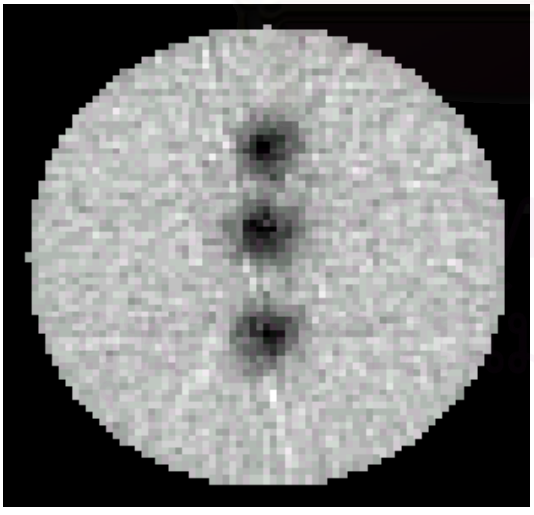
รูปที่ 4.19 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 9

การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์กำหนดให้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 2 มิลลิเมตร และสแกนด้วยจำนวน 71 เรย์ซัมต่อโปรไฟล์ หมุนชิ้นงานด้วยมุมทีละ 7.2 องศา ได้จำนวนโปรไฟล์ทั้งหมด 50 โปรไฟล์ และเนื่องจากต้นกำเนิดรังสีจากการสแกนเก็บข้อมูลทั้งสองวิธีเป็นชนิดเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องแยกสแกนเก็บข้อมูล เช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่ 6 ถึง 8

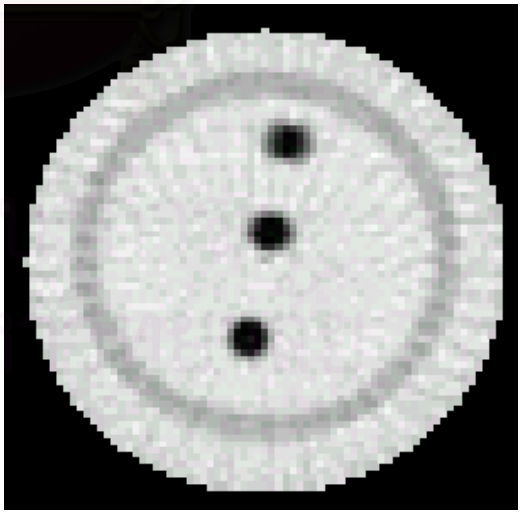
จากรูปที่ 4.20 (ก) เป็นภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานซึ่งพบว่า มีจุดดำจำนวนสามจุดและมีขนาดใกล้เคียงกันวางเรียงกันอยู่ภายในชิ้นงานโดยมีระยะห่างกันแต่ละคู่ต่างกัน (เป็น 15 และ 20 มิลลิเมตร ตามลำดับ) เป็นไปตามชิ้นงานที่สร้างขึ้น มีข้อสังเกตว่าบริเวณรอบจุดดำซึ่งหมายถึงต้นกำเนิดรังสีนั้น มีระดับความเข้มที่ลดลงโดยรอบ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นลักษณะการแผ่รังสีที่ออกมาโดยรอบต้นกำเนิดรังสีดังกล่าว แสดงว่าถ้าต้นกำเนิดรังสีภายใน

ชิ้นงานมีความแรงรังสีสูงระดับความเข้มโดยรอบก็จะกว้างขึ้นซึ่งอาจจะทำให้การแยกแยะของภาพโทโมกราฟีลดลง แต่การสแกนเก็บข้อมูลจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีนั้นจะได้เฉพาะภาพโทโมกราฟีของท่อพีวีซีกลมที่ใช้เป็นขอบเขตซึ่งก็เหมือนกับในชิ้นงานทดสอบที่ 6 ถึง 8 ที่ผ่านมาเท่านั้น จะไม่เห็นตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีที่ใช้หลอดพลาสติกบางเป็นภาชนะบรรจุ เนื่องจากรังสีที่ถูกส่งผ่านมาจากต้นกำเนิดรังสีนั้นทะลุผ่านไปได้หมด ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบภาพโทโมกราฟีกับเทคนิคการแผ่รังสีถึงความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดในการณีที่จัดต้นกำเนิดรังสีวางอยู่ใกล้กันดังเช่นในตัวอย่างนี้ จึงใช้แท่งเหล็กกลมตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เท่ากับขนาดของหลอดพลาสติกบางที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีชนิดเม็ดละเอียด และวางในตำแหน่งเดียวกัน จากนั้นจึงสแกนเก็บข้อมูลและนำข้อมูลโปรไฟล์ไปสร้างภาพโทโมกราฟี

จากรูปที่ 4.20 (ข) เป็นภาพโทโมกราฟีจากการวัดรังสีแบบส่งผ่าน จะสังเกตได้ว่ามีจุดดำเข้มจำนวน 3 จุด ซึ่งเป็นตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงาน สาเหตุที่เป็นจุดสีดำเข้มเนื่องจากท่อเหล็กซึ่งมีความหนาแน่นสูงและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างระหว่างเรย์ซัมส่วนภาพวงแหวนสีดำนั้นหมายถึงขอบของท่อพีวีซี แต่เมื่อพิจารณาตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีทั้งสามจุดจากภาพทั้งสองเทคนิคจะเห็นว่าตำแหน่งที่ปรากฏไม่ตรงกันพอดีทั้งนี้เป็นเพราะมุมที่ใช้เริ่มสแกนของแต่ละเทคนิคคลาดเคลื่อนไปเล็กน้อยซึ่งอาจเป็นเพราะการสดุดของสเต็ปปิงมอเตอร์หรือมีการขยับตำแหน่งระหว่างการปลดต้นกำเนิดรังสีแต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจากทั้งสองวิธีพบว่าเราสามารถแยกแยะรายละเอียดภายในชิ้นงานได้ชัดเจนดี



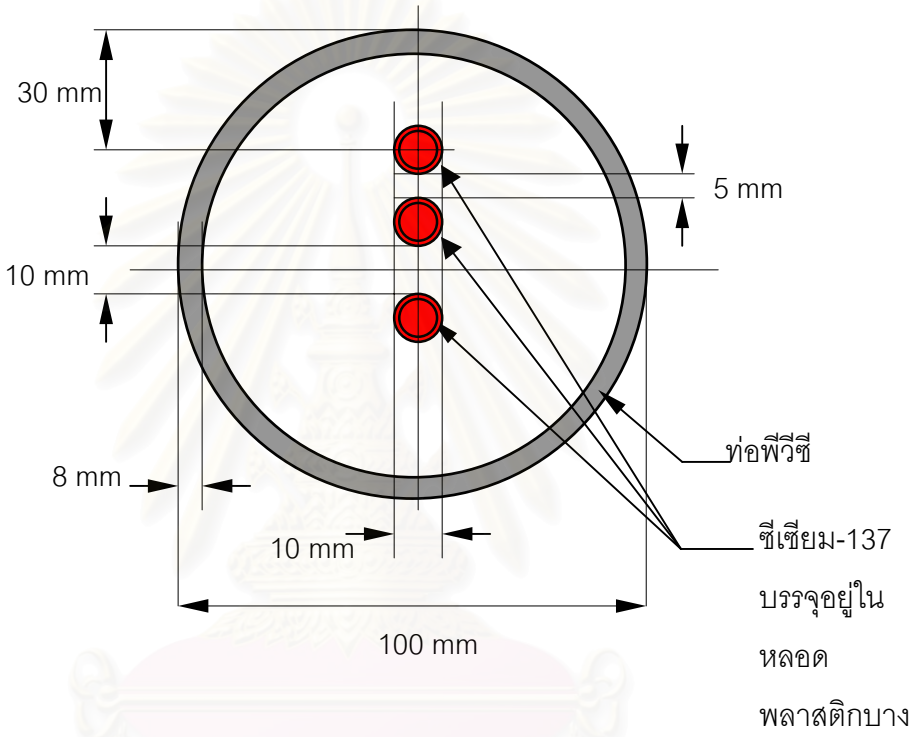
รูปที่ 4.20 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 9



รูปที่ 4.20 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 9

ชิ้นงานทดสอบที่ 10

ชิ้นงานทดสอบนี้ออกแบบเหมือนกับชิ้นงานทดสอบที่ 9 เพียงแต่เลื่อนระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีภายในชิ้นงานให้ชิดกันมากขึ้นทั้งนี้เพื่อต้องการทดสอบความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีอยู่ใกล้กัน โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีแต่ละคู่เป็น 5 และ 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.21

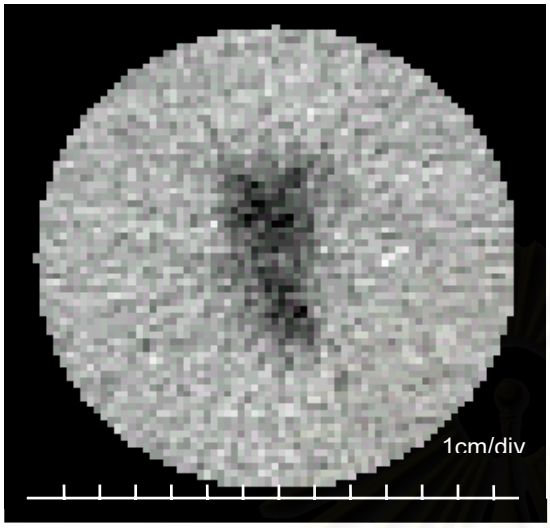


รูปที่ 4.21 แผนภาพของชิ้นงานทดสอบที่ 10

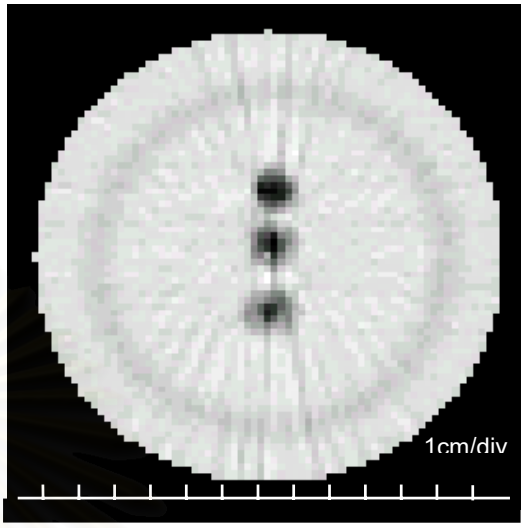
กำหนดให้การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์กระทำเช่นเดียวกับชิ้นงานทดสอบที่ 9 ทุกประการ และได้ภาพโทโมกราฟีจากทั้งสองวิธีดังรูปที่ 4.22 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.22 (ก) เป็นภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีจากชิ้นงานจะพบว่าจุดดำทั้งสามต่อรวมกันจนไม่สามารถแยกแยะออกจากกันได้เพียงแต่ทราบว่ามีต้นกำเนิดรังสีอยู่บริเวณตรงกลางในชิ้นงานเท่านั้นเอง

จากรูปที่ 4.22 (ข) เป็นภาพโทโมกราฟีจากการส่งผ่านรังสี ซึ่งยังสามารถให้รายละเอียดภายในชิ้นงานได้



รูปที่ 4.22 (ก) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 10

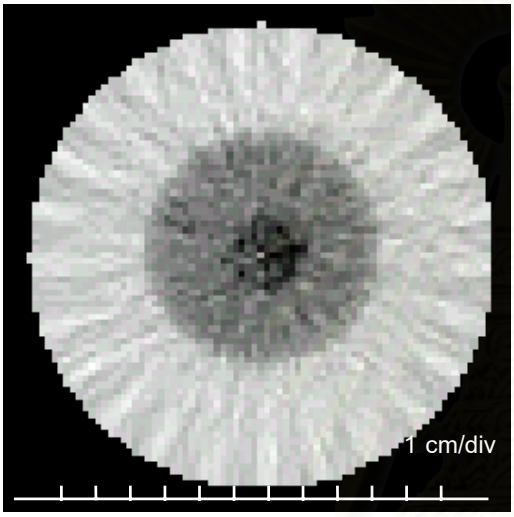


รูปที่ 4.22 (ข) ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีของชิ้นงานทดสอบที่ 10

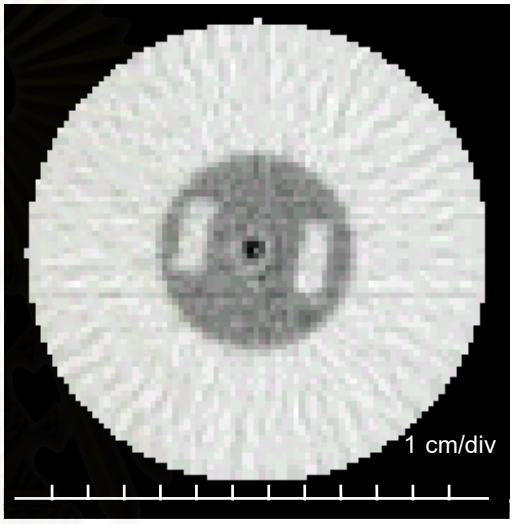
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การแสดงภาพโทโมกราฟีร่วมกันระหว่างเทคนิคการส่งผ่านและการแผ่รังสี

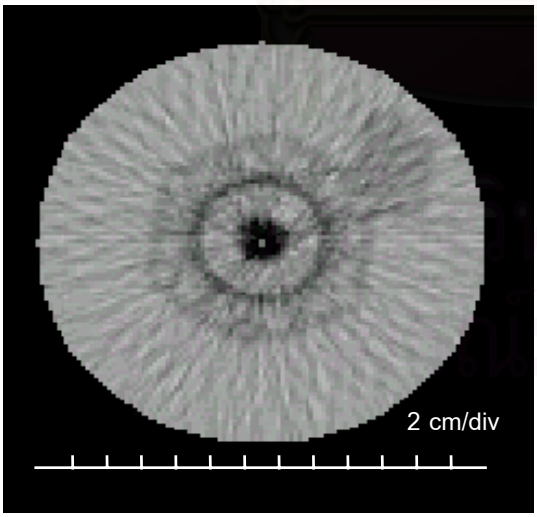
เมื่อได้ภาพโทโมกราฟีจากทั้งสองเทคนิคแล้ว ก่อนที่จะนำทั้งสองภาพมารวมกันจะต้องคำนวณเพื่อปรับเลขซีที (CT Number) ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีให้เป็นข้อมูลตัวเลขที่แสดงค่าระดับความเข้มของสีเทาจากค่า 0-255 ก่อน จากนั้นรายละเอียดของภาพทั้งสองเทคนิคจึงสามารถแสดงให้เห็นพร้อมกันได้ดังแสดงในรูป 4.23 (ก) ถึง (ญ)



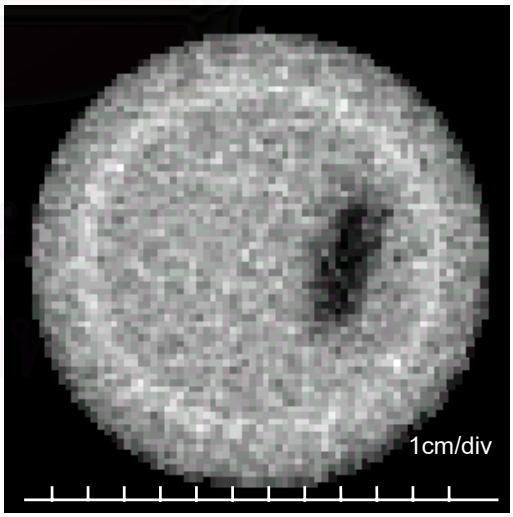
(ก) ชิ้นงานทดสอบที่ 3



(ข) ชิ้นงานทดสอบที่ 4

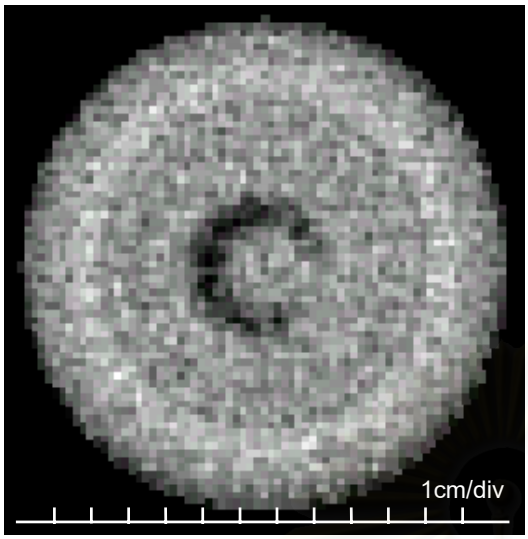


(ค) ชิ้นงานทดสอบที่ 5

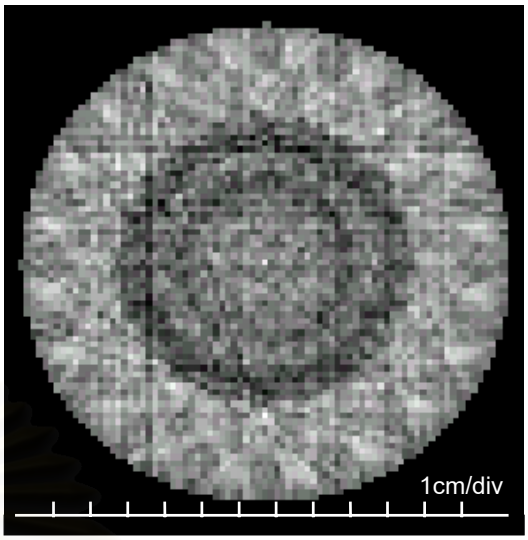


(ง) ชิ้นงานทดสอบที่ 6

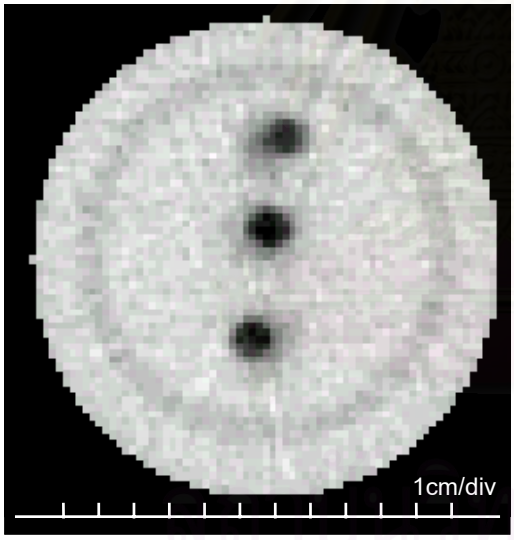
รูปที่ 4.23 ภาพโทโมกราฟีที่แสดงร่วมกันจากทั้งสองเทคนิค



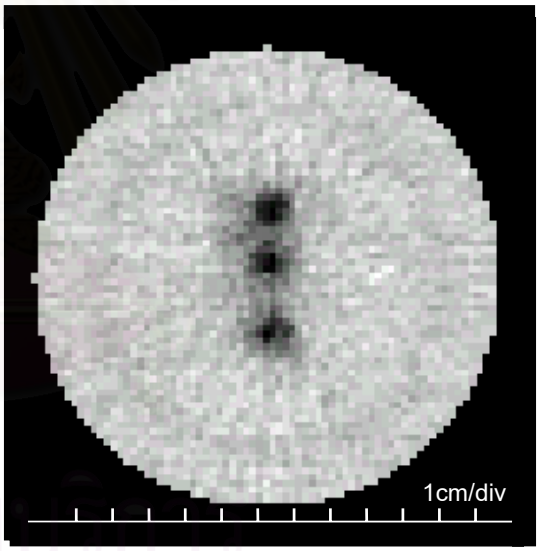
(จ) ชิ้นงานทดสอบที่ 7



(ฉ) ชิ้นงานทดสอบที่ 8



(ช) ชิ้นงานทดสอบที่ 9



(ญ) ชิ้นงานทดสอบที่ 10

รูปที่ 4.23 ภาพโทโมกราฟีที่แสดงร่วมกันจากทั้งสองเทคนิค (ต่อ)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ดังที่ได้อธิบายในแต่ละส่วนมาแล้วนั้น สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การเก็บข้อมูลและการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยเทคนิคการส่งผ่านร่วมกับการแผ่รังสีให้ผลลัพธ์อย่างถูกต้อง และกล่าวได้ว่าการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยเทคนิคการแผ่รังสีซึ่งงานวิจัยนี้สามารถคำนวณสร้างภาพตัดขวางที่แสดงตำแหน่งและลักษณะรูปร่างของต้นกำเนิดรังสีที่อยู่ภายในชิ้นงานได้ถูกต้อง โดยพิจารณาร่วมกับภาพตัดขวางจากเทคนิคการส่งผ่านรังสี เพียงแต่ต้องมีการประยุกต์ และเพิ่มเติมบางส่วนเพื่อความเหมาะสมจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีที่ทางภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้วิจัยและพัฒนาขึ้น

ในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีจากทั้งสองเทคนิคมีความแรงรังสีต่างกันมากๆ และมีพลังงานใกล้เคียงกัน รังสีที่มีความแรงสูงกว่าจะรบกวนระบบวัดของรังสีที่มีความแรงรังสีต่ำกว่า ดังนั้นจึงแก้ไขด้วยการปลดหรือปิดกั้นลำรังสีที่มีความแรงรังสีสูงออก วิธีการนี้จะใช้ในกรณีที่ความแรงรังสีที่ใช้จากทั้งสองเทคนิคต่างกันมากๆ และยังใช้ในกรณีที่ค่าพลังงานของรังสีที่วัดได้จากทั้งสองแหล่งมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน เนื่องจากหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) มีขีดจำกัดในการแยกแยะพลังงาน

การคำนวณปรับแก้ค่าความแรงรังสีที่สลายไปเนื่องจากต้นกำเนิดรังสีมีค่าครึ่งชีวิตสั้น วิธีนี้ทำหลังจากเก็บข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว จึงนำผลไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีซึ่งใช้ในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีสำหรับเทคนิคการแผ่รังสีมีค่าครึ่งชีวิตสั้น เช่นต้นกำเนิดรังสีเทคนิเซียม-99^{m} มีค่าครึ่งชีวิต 6 ชั่วโมง ดังชิ้นงานทดสอบที่ 2 และ 3 และต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 มีค่าครึ่งชีวิต 8วัน ดังชิ้นงานทดสอบที่ 8

การรวมเทคนิคการส่งผ่านเข้ากับการแผ่รังสีสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

วิธีการรวมเทคนิคทั้งสองในงานวิจัยนี้ดำเนินการโดยการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ทั้งเทคนิคการส่งผ่านและการแผ่รังสีไปพร้อมกันในการสแกนครั้งเดียว และเก็บบันทึกข้อมูลแยกตามพลังงานที่วัดได้จากต้นกำเนิดทั้งสองแหล่งดังในชิ้นงานทดสอบที่ 3 ถึง 5 วิธีการนี้ทำได้เมื่อต้นกำเนิดรังสีทั้งสองเทคนิคมีความแรงรังสีไม่ต่างกันมากนัก และค่าพลังงานที่วัดได้ไม่เท่ากันหรือไม่ใกล้กันมากเกินไป แล้วสร้างภาพโทโมกราฟีของแต่ละเทคนิคแยกกันแล้วนำภาพโทโมกราฟีทั้งสองวางซ้อนทับกันด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น[2] ซึ่งสามารถแสดงตำแหน่งของสารรังสีบนภาพโทโมกราฟีได้อย่างชัดเจน แต่การดูภาพให้เข้าใจจะต้องดูภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านและการแผ่รังสีประกอบด้วย

5.1.2 ผลของการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการส่งผ่านรังสี ผลที่ได้ชัดเจนสามารถแสดงรายละเอียดของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี โดยสังเกตได้จากในชิ้นงานทดสอบที่ 5 ซึ่งชิ้นงานเป็นเสื้อสูบรถจักรยานยนต์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ภาพที่ได้สามารถแสดงรายละเอียดภายในได้ดี

ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสี ผลที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากภาพสามารถแสดงรายละเอียด รูปร่างและตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีภายในชิ้นงานได้ โดยภาพจะไม่คมชัดเหมือนภาพจากเทคนิคการส่งผ่านรังสี แต่ภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการแผ่รังสีจะเป็นลักษณะที่มีสีเข้มตรงกลางและจางออกโดยรอบ ซึ่งสื่อความหมายได้อย่างดีว่าเป็นลักษณะของแหล่งกำเนิดรังสีที่มีการแผ่รังสีออกโดยรอบ และตรงกลางมีความแรงรังสีสูง อีกทั้งยังสามารถแสดงรูปร่างต่างๆ เช่น จุด กากบาด วงกลม หรือครึ่งวงกลมเป็นต้น รวมทั้งสามารถแสดงภาพของชิ้นงานทดสอบที่มีต้นกำเนิดรังสีแบบจุดมากกว่า 1 ตำแหน่งดังในชิ้นงานทดสอบที่ 9 ที่มีต้นกำเนิดรังสี 3 จุดเรียงกัน แต่ก็มีความสามารถแสดงภาพได้ในระดับหนึ่งหากวางต้นกำเนิดรังสีใกล้กันมากดังในชิ้นงานทดสอบที่ 10 ที่วางต้นกำเนิดรังสีแบบจุดห่างกัน 5 และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ ผลจากการสร้างภาพของตัวอย่างนี้ แสดงให้ทราบว่า ระบบสแกนเก็บข้อมูลไม่สามารถสร้างภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่มีต้นกำเนิดรังสีวางห่างกัน 10 มิลลิเมตรหรือต่ำกว่าได้ โดยระยะที่ต้นกำเนิดรังสี 2 จุดอยู่ชิดกันที่สุดและยังสามารถเก็บข้อมูลนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้อย่างถูกต้องคือ 15 มิลลิเมตรหรือมากกว่าดังในชิ้นงานทดสอบที่ 9

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยข้อมูลจากเทคนิคการส่งผ่าน ร่วมกับการแผ่รังสีที่ได้พัฒนาขึ้นนี้เป็นงานวิจัยที่น่าสนใจทั้งนี้เพราะเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบที่ให้ผลถูกต้องและสะดวก แต่นับว่ายังมีข้อบกพร่องอยู่บ้างในเรื่องการปฏิบัติ ดังนั้นจึงมีสิ่งที่ควรได้รับการปรับปรุงเพื่อให้การเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพใช้เวลาน้อยลงและให้ได้ภาพโทโมกราฟีของทั้งสองเทคนิคที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้นซึ่งได้แก่

5.2.1 ควรปรับปรุงให้สามารถสร้างภาพแบบสามมิติ โดยเขียนโปรแกรมเปลี่ยนค่าสีหรือค่าซีทีของภาพโทโมกราฟีให้เป็นตำแหน่งบนระบบโคออร์ดิเนต x, y, z เพื่อต่อเชื่อมกับโปรแกรม Computer Aided Design : CAD เพื่อแสดงผลแบบสามมิติได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ดึงดูดความสนใจและใช้แสดงหรือสาธิตได้ดีด้วย

5.2.2 ในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีมีค่าครึ่งชีวิตสั้น ควรเพิ่มระบบบันทึกเวลาในการวัดแต่ละเรย์ซัมเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับแก้การสลายตัวของรังสี

5.2.3 ควรปรับปรุงระบบขับเคลื่อนในแนวดิ่งให้สามารถรับน้ำหนักชิ้นงานวัตถุตัวอย่างได้มากขึ้น ปัจจุบันใช้สเต็ปปิงมอเตอร์ประกอบกับเฟืองและโซ่ เป็นกลไกขับเคลื่อน ซึ่งรับน้ำหนักได้เพียง 500 กรัม ทั้งนี้ควรทดลองใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีกำลังสูง และใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์ควบคุมการขับเคลื่อนในตำแหน่งต่างๆ จะทำให้ระบบมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. สุพร กุลวัฒนันท์ชัย. การพัฒนาระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
2. สมยศ ศรีสถิตย์, อรรถพร ภัทรสุมันต์. การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
3. Kawasaki, S. , and othres. Radioactivity measurement of drum package waste by a computed-tomography technique. International jornal of applied radiation and isotopes. 41 (1990) : 983-987.
4. Curry III, T. , Dowdey, J. and Murry, R., Jr. Christensen's introduction to the physics of diagnostic radiotogy. 3th ed. Philadelphia: Lea and Febiger. 1984.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

มงคล วรรณประภา. การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโม กราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536

มานัส มงคลสุข. พื้นฐานทางฟิสิกส์ของซี.ที. และเอ็ม.อาร์.ไอ. กรุงเทพมหานคร: ไพศาลศิลป์การพิมพ์, 2532

สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, ทับทิม อ่างแก้ว. การส่งประกายแสงย่าน UV จากผลึกวัดรังสี NaI(Tl) ผ่านเส้นใยแสง. วารสารเทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหการ 182 (มีนาคม 2543): 105-112.

ภาษาอังกฤษ

Crouthamel, C.E., Applied Gramma-ray Spectrometry, 2nd edition by F. Adams and R. Dams, Pergamon press, 1970, Hunggady.

Dendy, P.P. and Heaton, B., Physics for Radiologists, Blackwell Scientific, 1987.

Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 2nd edition, John wiley & Sons, 1989, Singapore.

4. Lamarsh, John R., Introduction to Nuclear Engineering. 2nd edition, Addison Wesley, 1982, USA.

5. Yoneda, K. Neutron Computed Tomography Using the Newtron Television System. Research reactor institute: Kyoto University.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนเก็บข้อมูลรังสี

เป็นโปรแกรมภาษา Quick BASIC โดยตัวแปรที่ใช้ทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มดังรายนี้

1. ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรมทั่วไป

AREA(1-3)	สำหรับเก็บข้อมูลพลังงานที่สนใจจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
CR(1-179,1-3)	สำหรับเก็บข้อมูลแต่ละเรย์ซัมตลอดโปรไฟล์ของรังสีแต่ละพลังงาน
QN	สำหรับรับคำตอบแบบจำนวนเต็ม
Q$	สำหรับรับคำตอบแบบตัวอักษร
RMD	สำหรับเก็บค่าหน่วงเวลาการหมุนวัตถุตัวอย่าง
TMD	สำหรับเก็บค่าหน่วงเวลาการขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีส่งผ่าน
SPACE	สำหรับเก็บค่าจำนวนข้อมูลที่ตัดทิ้งก่อนถึงข้อมูลที่ต้องการจากการส่งข้อมูลออกจากเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
CSD	สำหรับเก็บค่าหน่วงเวลาสำหรับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง
NEP	สำหรับเก็บค่าจำนวนพลังงานของรังสีที่ต้องการเก็บข้อมูล
RAYSUM	สำหรับเก็บค่าตำแหน่งเรย์ซัมที่ทำการวัดรังสี

2. ตัวแปรที่เฉพาะโปรแกรมควบคุมการเก็บข้อมูลการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

DFN(1-3)	สำหรับเก็บชื่อไฟล์ข้อมูลของรังสีแต่ละพลังงาน
DSA	สำหรับเก็บค่าจำนวนรอบคำสั่งที่ใช้ในการหมุนวัตถุตัวอย่างไปสู่โปรไฟล์ถัดไป
NPF	สำหรับเก็บค่าจำนวนโปรไฟล์ทั้งหมดที่ทำการเก็บข้อมูล
SPN	สำหรับเก็บโปรไฟล์เริ่มต้น
LPS	สำหรับเก็บค่าจำนวนรอบคำสั่งที่ใช้ขับเคลื่อนหัววัดและต้นกำเนิดรังสีส่งผ่านสู่เรย์ซัมถัดไป
MPS	สำหรับเก็บค่าระยะห่างระหว่างเรย์ซัมหน่วยเป็นมิลิเมตร
SRN	สำหรับเก็บค่าเรย์ซัมเริ่มต้นเมื่อเทียบกับกรณีเก็บข้อมูลโดยใช้จำนวนเรย์ซัมสูงสุด
NRS	สำหรับเก็บค่าจำนวนเรย์ซัมในการเก็บข้อมูลแต่ละไฟล์
X0	สำหรับเก็บค่าเรย์ซัมเริ่มต้นในการเก็บข้อมูลแต่ละโปรไฟล์
X1	สำหรับเก็บค่าแสดงทิศทางในการเก็บข้อมูลแต่ละโปรไฟล์
Y0	สำหรับเก็บค่าพิกัดในแกน Y ของข้อมูลจากเรย์ซัมที่วัดได้ก่อนหน้าหนึ่งเรย์ซัม
Y1	สำหรับเก็บค่าพิกัดในแกน Y ของข้อมูลที่วัดได้ขณะนั้น

```
'******************** DECLARE VARIABLE ********************
DIM AREA(3) AS STRING * 7
DIM CR(179, 3) AS LONG
DIM QN, RMD, TMD, SPACE, CSD, NEP, RAYSUM AS INTEGER
CONST X2 = 240 'Value at normal state of port A

MENU: '******************** MAIN MENU ********************
  CLS : SCREEN 3:
  LINE (0, 0)-(719, 347), , B
  LINE (139, 39)-(580, 279), , B
  LINE (140, 40)-(579, 147), , B
  LOCATE 5, 22: PRINT "DEVELOPMENT OF THE COMBINED TRANSMISSION AND"
  LOCATE 6, 19: PRINT "EMISSION TECHNIQUE FOR COMPUTED TOMOGRAPHY"
  LOCATE 8, 28: PRINT "MR.SEKSAN SATHUTHAM"
  LOCATE 9, 25: PRINT "DEPARTMENT OF NUCLEAR TECHNOLOGY"
  LOCATE 10, 29: PRINT "CHULALONGKORN UNIVERSITY"
  LOCATE 12, 35: PRINT "MAIN MENU"
  LOCATE 14, 30: PRINT "1. SCANNING OBJECT"
  LOCATE 15, 30: PRINT "2. MCA TESTING"
  LOCATE 16, 30: PRINT "3. MOTION TESTING"
  LOCATE 17, 30: PRINT "4. EXIT"
  LOCATE 19, 36: PRINT "CHOOSE:": Q$ = " "
  WHILE INSTR("1234", Q$) = 0
    Q$ = INPUT$(1)
  WEND
  IF Q$ = "1" THEN GOTO SCAN
  IF Q$ = "2" THEN GOTO MCAT
  IF Q$ = "3" THEN GOTO MOTT
  OUT 771, 137: END

SCAN: '******************** SCANNING OBJECT ********************
'******************** Declare variable ********************
  DIM DFN(3) AS STRING * 8
  DIM DSA, NPF, SPN, LPS, MPS, SRN, NRS, FREE, X0, X1, YO, Y1 AS INTEGER
  FREE = 5 'Free step when change translation direction
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
'********************* Input operating description *********************
DO UNTIL Q$ = "Y" OR Q$ = "y"
 CLS
 LOCATE 2, 25: PRINT "OPERATING DESCRIPTION"
 LOCATE 4, 10: PRINT "ROTATION MOTOR DELAY [MIN=500]: "; : INPUT "", RMD
 IF RMD < 500 THEN RMD = 500: LOCATE 4, 40: PRINT RMD
 LOCATE 5, 10: PRINT "TRANSLATION MOTER DELAY [MIN=60]: "; : INPUT "", TMD
 IF TMD < 60 THEN TMD = 60: LOCATE 5, 43: PRINT TMD
 LOCATE 6, 10: PRINT "MCA SERIES (1) 35 (2) 40 :": SPACE = 0
 DO UNTIL SPACE > 0
   LOCATE 6, 37: INPUT "", Q$
   IF Q$ = "1" THEN SPACE = 3
   IF Q$ = "2" THEN SPACE = 2
 LOOP
 LOCATE 6, 40: PRINT "DELAY [MIN=2000]: "; : INPUT "", CSD
 IF CSD < 2000 THEN CSD = 2000: LOCATE 6, 57: PRINT CSD
 LOCATE 7, 10: PRINT "NUMBER OF ENERGY PEAK (1, 2 OR 3):": NEP = 0
 WHILE NEP < 1 OR NEP > 3
   LOCATE 7, 45: INPUT "", NEP
 WEND
 FOR I = 1 TO NEP
   LOCATE 7 + I, 10: PRINT "DATA FILE NAME FROM ENERGY"; I, I / 100
   LOCATE 7 + I, 39: PRINT "[CTDATA"
   LOCATE 7 + I, 47: PRINT "]: "; : INPUT "", DFN(I)
   IF ASC(DFN(I)) = 32 THEN
     I$ = MID$(STR$(I), 2, 1)
     DFN(I) = "CTDATA" + I$: LOCATE 7 + I, 50: PRINT DFN(I)
   END IF
 NEXT I
 LOCATE 7 + I, 10: PRINT "DEGREE per STEP  (7.2, 14.4 OR 36):": DSA = 0
 DO UNTIL DSA > 0
   LOCATE 7 + I, 46: INPUT "", QN
   IF QN = 7.2 THEN DSA = 1
   IF QN = 14.4 THEN DSA = 2
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  IF QN = 36 THEN DSA = 5
LOOP
LOCATE 8 + I, 10: PRINT "NUMBER OF PROFILE [MAX=": QN = 360 / QN
LOCATE 8 + I, 33: PRINT MID$(STR$(QN), 2, 2); : PRINT "]:": NPF = 0
WHILE NPF < 1 OR NPF > QN
  LOCATE 8 + I, 38: INPUT "", NPF
  IF NPF = 0 THEN NPF = QN: LOCATE 8 + I, 37: PRINT QN
WEND
LOCATE 9 + I, 10: PRINT "START AT PROFILE NUMBER [MAX=": SPN = 0
IF NPF = QN THEN
  LOCATE 9 + I, 34: PRINT "1    ": SPN = 1
ELSE
  LOCATE 9 + I, 39: PRINT MID$(STR$(QN - NPF + 1), 2, 2); : PRINT "]:"
  WHILE SPN < 1 OR SPN + NPF > QN + 1
    LOCATE 9 + I, 43: INPUT "", SPN
    IF SPN = 0 THEN SPN = QN - NPF + 1: LOCATE 9 + I, 42: PRINT SPN
  WEND
END IF
LOCATE 10 + I, 10: PRINT "MILIMETER PER STEP (2 OR 3):": LPS = 0: MPS = 0
DO UNTIL LPS > 0
  LOCATE 10 + I, 39: INPUT "", MPS
  IF MPS = 2 THEN LPS = 67
  IF MPS = 3 THEN LPS = 100
LOOP
LOCATE 11 + I, 10: PRINT "START AT RAYSUM NUMBER [MAX=": SRN = 0
LOCATE 11 + I, 38: PRINT MID$(STR$(180 / MPS), 2, 2); : PRINT "]:"

WHILE SRN < 1 OR SRN > 180 / MPS
  LOCATE 11 + I, 43: INPUT "", SRN
  IF SRN = 0 THEN SRN = 1: LOCATE 11 + I, 42: PRINT SRN
WEND
NRS = 1 + 360 / MPS - 2 * SRN
LOCATE 12 + I, 10: PRINT "NUMBER OF RAYSUM :"; : PRINT NRS
LOCATE 14 + I, 20: PRINT "ABOVE DESCRIPTION IS CORRECT (Y OR N):"
WHILE INSTR("NnYy", Q$) = 0
```

```
    Q$ = INPUT$(1): LOCATE 14 + I, 57: PRINT Q$
  WEND
LOOP

OPENFD: '********************* Open file and device *********************
  IF SPN > 1 THEN
    LOCATE 19, 20: PRINT "APPEND DATA TO THE OLD FILE (Y OR N):": Q$ = " "
    WHILE INSTR("NnYy", Q$) = 0
      Q$ = INPUT$(1): LOCATE 19, 58: PRINT Q$
    WEND
  END IF
  IF SPN = 1 OR INSTR("Nn", Q$) = 0 THEN
    FOR I = 1 TO NEP
      ON ERROR GOTO DISKERR
      OPEN DFN(I) FOR OUTPUT AS #I + 1
      CLOSE #I + 1
    NEXT I
  END IF
  OUT 771, 137: OUT 768, X2 'Control port to normal state

DISKERR: '********************* Error handling **********************
  ERRNUM = ERR
  IF ERRNUM > 0 THEN

    BEEP
    SELECT CASE ERRNUM
      CASE 61
        PRINT "DISK IS FULL ..PLEASE REPLACE DISK"
      CASE 64
        PRINT "BAD FILE NAME ..PLEASE RENAME THE FILE"
      CASE 71
        PRINT "DRIVE IS NOT CLOSE ..PLEASE CHECK DRIVE"
      CASE ELSE
        PRINT "ERROR NO"; : PRINT ERRNUM
    END SELECT
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    Q$ = INPUT$(1): GOTO OPENFD
  END IF

'********************* Move to origin point *********************
  LOCATE 20, 20: PRINT "PLEASE CHECK MCA WHEN SETTING ORIGIN"
  OUT 768, 112: OUT 768, X2 'Stop collect in
  GOSUB RESETR: GOSUB RESETT
  X0 = 0: X1 = 1

DATOR: '********************* Detect at origin point *********************
  LOCATE 20 + X0, 20: PRINT "PRESS ANY KEY WHEN MCA READY TO TEST"
  Q$ = INPUT$(1): X0 = 1: RAYSUM = 1
  GOSUB MCAC: GOSUB MCAR
  FOR I = 1 TO NEP
    LOCATE 20 + I, 20: PRINT "ENERGY"; I; "INITIAL AREA"; CR(1, I)
    IF CR(1, I) > 1000000 THEN
      LOCATE 20, 20: PRINT "PLEASE REDUCE MCA MEASURING TIME    "
      GOSUB DATOR
    END IF
  NEXT I

'********************* Select mode *********************
  LOCATE 24, 20: PRINT "OPERATING IN CONTINUOUS MODE (Y OR N):"; : Q$ = " "
  WHILE INSTR("NnYy", Q$) = 0
    Q$ = INPUT$(1): LOCATE 24, 59: PRINT Q$;
  WEND

'********************* Move to starting point *********************
  OUT 769, 3 'Return first rotation step
  FOR ROT = 1 TO SPN
  NEXT ROT
  OUT 769, 0 'Park rotation motor
  OUT 768, X2 + 3: 'Return first translation step
  FOR TRAN = 1 TO SRN + 12 / MPS 'Free distance
    GOSUB TRANSF
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  NEXT TRAN

'********************* Display screen *********************
FOR ROT = 1 TO NPF
  CLS : SCREEN 3
  LINE (3 + 2 * MPS, 49)-(3 + 2 * (360 - (2 * SRN - 1) * MPS), 301), , B
  LOCATE 2, 34 - SRN * MPS / 6: PRINT "PROFILE NUMBER"; ROT
  PRINT "log N": LOCATE 18, 32: PRINT "RAYSUM NUMBER"
  FOR I = 1 TO NEP: LOCATE 18 + I, 32: PRINT "ENERGY"; I; "AREA": NEXT I
  LINE (242, 244)-(450, 274 + 14 * NEP), , B
  FOR I = 1 TO 7
    LOCATE 1 + I * 3, 1: PRINT MID$(STR$(7 - I), 2, 1); "-"
  NEXT I
  PRINT " 0": LOCATE 24, 35 - SRN * MPS / 6: PRINT "Distance (cm)";
  FOR I = 1 TO INT((360 - (2 * SRN) * MPS) / 50)
    LOCATE 23, I * 11: PRINT I * 5
  NEXT I

'********************* Detection and translation *********************
FOR RAYSUM = X0 TO NRS STEP X1 'Step 1 for forward -1 for revert
    GOSUB MCAC: GOSUB MCAR: LOCATE 18, 45: PRINT RAYSUM
    FOR I = 1 TO NEP
      IF CR(RAYSUM, I) < 1 THEN CR(RAYSUM, I) = 1
      LOCATE 18 + I, 45: PRINT CR(RAYSUM, I)
      Y1 = 301 - LOG(CR(RAYSUM, I)) / LOG(10) * 42
      CIRCLE (RAYSUM * 2 * MPS + 3, Y1), I'Plot profile
      IF RAYSUM = X0 THEN
        LOCATE Y1 / 14, 2 + X1 + X0 * MPS / 5: PRINT "Energy"; I
      ELSE
        Y0 = 301 - INT(LOG(CR(RAYSUM - X1, I)) / LOG(10) * 42)
        LINE ((RAYSUM - X1) * 2 * MPS + 3, Y0)-(RAYSUM * 2 * MPS + 3, Y1)
      END IF
    NEXT I
    OUT 768, 208: OUT 768, X2 + 3
    IF RAYSUM = NRS THEN 'Prepare to change translation direction
```

```
      SWAP FREE, LPS
      IF X1 > 0 THEN GOSUB TRANSR ELSE GOSUB TRANSF
      SWAP LPS, FREE
    ELSE
      IF X1 > 0 THEN GOSUB TRANSF ELSE GOSUB TRANSR
    END IF
  NEXT RAYSUM

'********************* Profile saving and rotation *********************
  IF Q$ = "N" OR Q$ = "n" OR Q$ = "R" OR Q$ = "r" THEN
    LOCATE 20, 20: PRINT "CONTINUOUS MODE (Y OR N) OR REPEAT (R):": Q$ = " "
    WHILE INSTR("NnRrYy", Q$) = 0
      Q$ = INPUT$(1): LOCATE 20, 60: PRINT Q$
    WEND
  END IF
  IF Q$ = "R" OR Q$ = "r" THEN
    ROT = ROT - 1
  ELSE
    FOR I = 1 TO NEP
      OPEN DFN(I) FOR APPEND AS #I + 1
      FOR RAYSUM = 1 TO NRS + X0 - 1
        WRITE #I + 1, CR(RAYSUM, I)
      NEXT RAYSUM
      CLOSE #I + 1
    NEXT I
    OUT 769, 3
    IF ROT = NPF THEN
      FOR ROT = 1 TO NPF - 1: GOSUB ROTR: NEXT ROT
    ELSE
      GOSUB ROTL
    END IF
    OUT 769, 0
  END IF
  SWAP X0, NRS: X1 = X1 * -1 'Change translation direction
NEXT ROT
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
'********************* Move back *********************
OUT 768, X2 + 3
FOR TRAN = 1 TO SRN + X0: GOSUB TRANSR: NEXT TRAN
OUT 768, X2: GOTO MENU

MCAT: '********************* MCA TESTING *********************
  CLS : SCREEN 0
  LOCATE 4, 35: PRINT "MCA TESTING"
  LOCATE 6, 30: PRINT "OPERATING DESCRIPTION"
  LOCATE 8, 25: PRINT "MCA SERIES (1) 35 (2) 40 :": SPACE = 0
    DO UNTIL SPACE > 0
      LOCATE 8, 52: INPUT "", QN
      IF QN = 1 THEN SPACE = 3
      IF QN = 2 THEN SPACE = 2
    LOOP
  LOCATE 9, 25: PRINT "COLLECT STATUS DELAY [MIN=3000]: "; : INPUT "", CSD
  IF CSD < 100 THEN SCD = 100: LOCATE 9, 56: PRINT SCD
  LOCATE 10, 25: PRINT "NUMBER OF ENERGY PEAK (1, 2 OR 3):": NEP = 0
    WHILE NEP < 1 OR NEP > 3
      LOCATE 10, 60: INPUT "", NEP
    WEND
  LOCATE 12, 36: PRINT "MCA MENU"
  LOCATE 14, 22: PRINT "1. SET NEW OPERATION  5. CLEAR DATA"
  LOCATE 15, 22: PRINT "2. START COLLECT      6. CHECK COLLECT STATUS"
  LOCATE 16, 22: PRINT "3. STOP COLLECT       7. CHECK BUSY STATUS"
  LOCATE 17, 22: PRINT "4. READOUT DATA       8. EXIT"
  LOCATE 19, 36: PRINT "CHOOSE:": OUT 771, 137: OUT 768, X2
  WHILE INSTR("8", Q$) = 0
    Q$ = INPUT$(1): LOCATE 19, 43: PRINT Q$
    IF Q$ = "1" THEN CLOSE #1: GOTO MCAT
    IF Q$ = "2" THEN OUT 768, 224: OUT 768, X2
    IF Q$ = "3" THEN OUT 768, 112: OUT 768, X2
    IF Q$ = "4" THEN
      GOSUB MCAC: RAYSUM = 1: GOSUB MCAR
```

```
      FOR I = 1 TO NEP
        LOCATE 20 + I, 25: PRINT CR(1, I)
      NEXT I
    END IF
    IF Q$ = "5" THEN OUT 768, 208: OUT 768, X2
    IF Q$ = "6" THEN
      OUT 768, 224: OUT 768, X2
      FOR I = 1 TO CSD: NEXT I 'Collect status delay
      DO UNTIL QN = 64
        QN = 64 AND INP(770)
        LOCATE 21, 25: PRINT "COLLECT STATUS IS LOGIC ON (HIGH)";
      LOOP
      LOCATE 21, 25: PRINT "COLLECT STATUS IS LOGIC OFF (LOW)"; : QN = 0
    END IF
    IF Q$ = "7" THEN
      RAYSUM = 1: GOSUB MCAR
      FOR I = 1 TO CSD: NEXT I
      DO UNTIL QN = 64
        QN = 64 AND INP(770)
        LOCATE 21, 25: PRINT "BUSY STATUS IS LOGIC ON (HIGH)";
      LOOP
      LOCATE 21, 25: PRINT "BUSY STATUS IS LOGIC OFF (LOW)"; : QN = 0
    END IF
  WEND
  GOTO MENU

MOTT: '******************** MOTION TESTING ********************
  CLS : SCREEN 0
  LOCATE 4, 34: PRINT "MOTION TESTING"
  LOCATE 6, 30: PRINT "OPERATING DESCRIPTION"
  LOCATE 8, 24: PRINT "ROTATION MOTOR DELAY [MIN=10]: "; : INPUT "", RMD
  IF RMD < 10 THEN RMD = 10: LOCATE 8, 54: PRINT RMD
  LOCATE 9, 24: PRINT "TRANSLATION MOTOR DELAY [MIN=10]: "; : INPUT "", TMD
  IF TMD < 10 THEN TMD = 10: LOCATE 9, 57: PRINT TMD
  LOCATE 10, 24: PRINT "NUMBER OF REPETITION [MIN=1]: "; : INPUT "", DSA
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  IF DSA < 1 THEN DSA = 100: LOCATE 10, 54: PRINT DSA:
  LOCATE 12, 35: PRINT "MOTION MENU": LPS = DSA
  LOCATE 14, 20: PRINT "1. SET NEW OPERATION  5. TRANSLATE FORWARD"
  LOCATE 15, 20: PRINT "2. ROTATE LEFT        6. TRANSLATE REVERT"
  LOCATE 16, 20: PRINT "3. ROTATE RIGHT       7. TRANSLATE TO ORIGIN"
  LOCATE 17, 20: PRINT "4. ROTATE TO ORIGIN   8. EXIT"
  LOCATE 19, 36: PRINT "CHOOSE:": OUT 771, 137
  WHILE INSTR("8", Q$) = 0
    Q$ = INPUT$(1): LOCATE 19, 43: PRINT Q$
    IF Q$ = "1" THEN GOTO MOTT
    IF Q$ = "2" THEN GOSUB ROTL
    IF Q$ = "3" THEN GOSUB ROTR
    IF Q$ = "4" THEN GOSUB RESETR
    IF Q$ = "5" THEN GOSUB TRANSF
    IF Q$ = "6" THEN GOSUB TRANSR
    IF Q$ = "7" THEN GOSUB RESETT
  WEND
  GOTO MENU

'********************* SUBROUTINE MCA CONTROL *********************
MCAC: '********************* MCA start collect *********************
  DO UNTIL QN = 192
    QN = 192 AND INP(770) 'Busy and collect status in
  LOOP
  OUT 768, 208: OUT 768, X2 'Clear data in
  FOR I = 1 TO CSD: NEXT I
  DO UNTIL QN = 128
    QN = 128 AND INP(770) 'Busy status out
  LOOP
  OUT 768, 224: OUT 768, X2 'Start collect in
  FOR I = 1 TO CSD: NEXT I
  DO UNTIL QN = 64
    QN = 64 AND INP(770) 'Collect status out
  LOOP
  RETURN
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
MCAR: '********************* MCA readout *********************
  OPEN "COM2:9600,n,8,1" FOR INPUT AS #1
  OUT 768, 176: OUT 768, X2 'Start readout in
  FOR I = 1 TO 4'Series35=3,40=4
     INPUT #1, A$
  NEXT I
  FOR I = 1 TO NEP
     FOR J = 1 TO 2'Series35=3,40=2
     INPUT #1, A$
     NEXT J
     AREA(I) = MID$(A$, 32, 8) '(A$, 32, 8)FOR#40/(A$, 32, 7)FOR#35
     CR(RAYSUM, I) = VAL(AREA(I))
  NEXT I
  CLOSE #1
  RETURN

'********************* SUBROUTINE ROTATION *********************
ROTL: '********************* Rotation left *********************
 FOR I = 1 TO DSA
     OUT 769, 3: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
     OUT 769, 6: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
     OUT 769, 12: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
     OUT 769, 9: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
  NEXT I
  RETURN

ROTR: '********************* Rotation right *********************
  FOR I = 1 TO DSA
     OUT 769, 3: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
     OUT 769, 9: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
     OUT 769, 12: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
     OUT 769, 6: FOR J = 1 TO RMD: NEXT J
  NEXT I
  RETURN
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

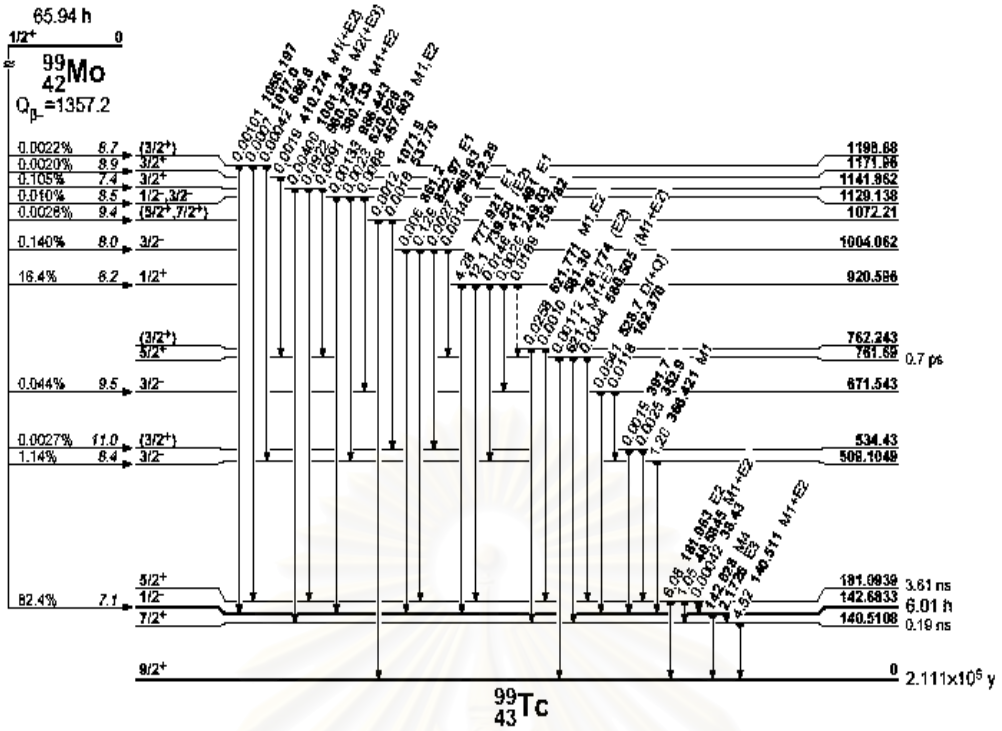
```
'********************* SUBROUTINE TRANSLATION *********************
TRANSF: '********************* Translation forward *********************
  FOR I = 1 TO LPS
    OUT 768, (3 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
    OUT 768, (9 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
    OUT 768, (12 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
    OUT 768, (6 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  NEXT I
  RETURN

TRANSR: '********************* Translation revert *********************
  FOR I = 1 TO LPS
    OUT 768, (3 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
    OUT 768, (6 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
    OUT 768, (12 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
    OUT 768, (9 OR X2): FOR J = 1 TO TMD: NEXT J
  NEXT I
  RETURN

'********************* SUBROUTINE SET ORIGIN POINT *********************
RESETT: '********************* Translation to origin *********************
  OUT 768, (3 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
  A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
  OUT 768, (6 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
  A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
  OUT 768, (12 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
  A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
  OUT 768, (9 OR X2): FOR I = 1 TO TMD: NEXT I
  A = (16 AND INP(770)): IF A = 16 THEN RETURN
  GOTO RESETT

'********************* COMPLETE PROGRAM FOR *********************
'***************TRANSMISSION AND EMISSION SCANNING *********************
```

ภาคผนวก ข

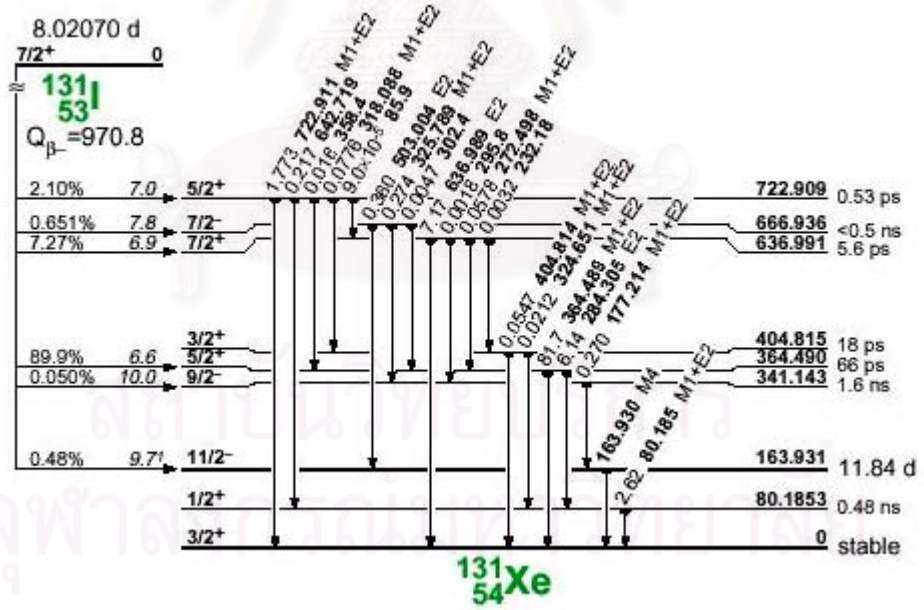
ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

ข. 1 แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของต้นกำเนิดรังสีเทคนิเซียม-99^{m} ไอโอดีน-131 ซีเซียม-137และ อิริเดียม-192

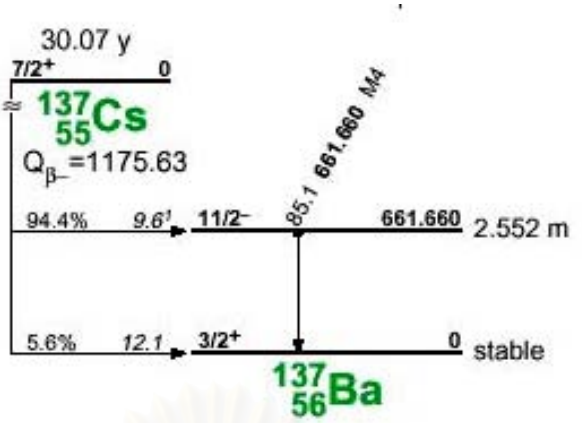
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



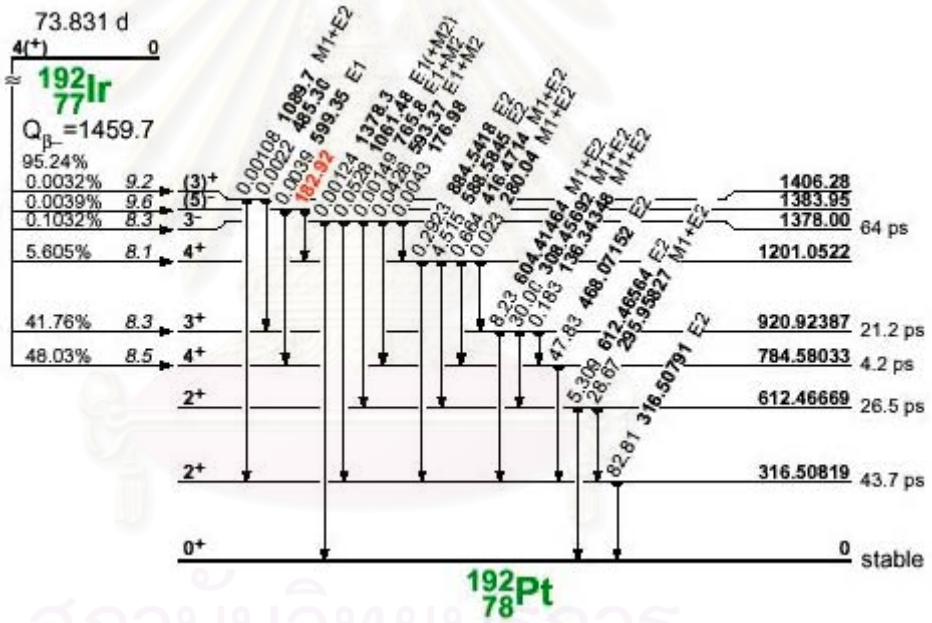
รูปที่ ข.1 แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของต้นกำเนิดรังสีเทคนิเซียม-99^{m}



แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131



แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137



แผนภาพแสดงการสลายตัว (decay scheme) ของต้นกำเนิดรังสีอิริเดียม-192

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การเชื่อมโยงสัญญาณ

ค. 1 ตารางแสดงการจัดตำแหน่งพอร์ตของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

ค. 2 ตารางแสดงการจัดขารับส่งสัญญาณที่พอร์ต EIA ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

ค. 3 แผนภาพแสดงการจัดตำแหน่งขารับส่งสัญญาณและการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างแผ่นวงจรเชื่อมโยง เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องและระบบขับเคลื่อน

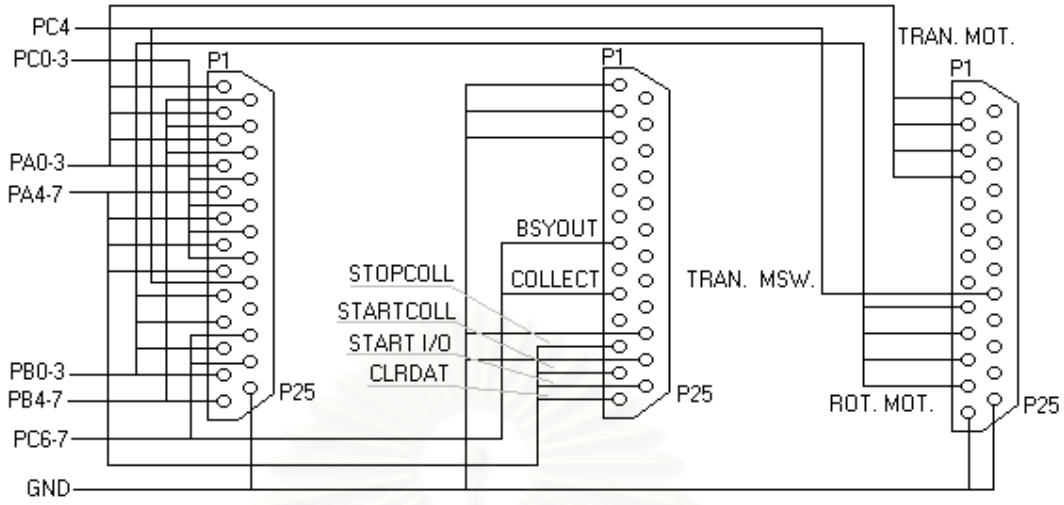
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงการจัดตำแหน่งพอร์ตของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

หมายเลขพอร์ต	การใช้งาน
000-01F	ตัวควบคุมดีเอ็มเอ 1, 8237A-5
020-03F	ตัวควบคุมอินเตอร์รัปต์ 1, 8259 (มาสเตอร์)
040-05F	ตัวควบคุมไทเมอร์เคาน์เตอร์ 8254-2
060-06F	ตัวควบคุมพอร์ตขนาน และคีย์บอร์ด 8042
070-07F	Real time clock, NMI ของระบบ
080-09F	ดีเอ็มเอเพจรีจิสเตอร์ 74LS612
0A0-0BF	ตัวควบคุมอินเตอร์รัปต์ 2, 8259(สเลฟ)
0C0-0DF	ตัวควบคุมดีเอ็มเอ /, 8237A-5
0F0	เคลียร์แมธโครโปรเซสเซอร์
0F1	รีเซตแมธโครโปรเซสเซอร์
0F8-0FF	**แมธโครโปรเซสเซอร์ 80287**
1F0-1FB	
200-207	
278-27F	ฮาร์ดดิสก์
2F8-2FF	เกมอินพุต/ เอาต์พุต
300-31F	เครื่องพิมพ์ขนาน พอร์ต 2
360-36F	เครื่องพิมพ์อนุกรม พอรต์ 2
378-37F	การด์โปรโตไทป์
380-38F	สงวนไว้
3A0-3AF	เครื่องพิมพ์ขนาน พอร์ต 1
3B0-3BF	SDLC ไบต์ซิงโครไนซ์ 1
3C0-3CF	ไบต์ซิงโครไนซ์ 1
3D0-3DF	อแดปเตอร์โมโนโครม และ เครื่งพิมพ์
3F0-3F7	สงวนไว้
3F8-3FF	อแดปเตอร์สี/กราฟฟิกส์
	ตัวควบคุมดิสก์ไดร์ฟ
	พอร์ตอนุกรม 1

ตารางที่ ค.2 แสดงการจัดขารับส่งสัญญาณที่พอร์ต EIA ของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง

PIN	SIGNAL	DESCRIPTION
1	AA	GROUND
2	BA	RECEIVED DATA (IN FROM DEVICE)
3	BB	TRANSMITTED DATA (OUT TO DEVICE)
4	CA	READY TO SEND (IN FROM DEVICE)
5	CB	CLEAR TO SEND (OUT TO DEVICE)
6	CC	DATA SET READY
7	AB	GROUND
8	CF	RECEIVED LINE SIGNAL DETECTOR
11	-	FLAG (IN FROM DEVICE)
18	-	5411 EXTERNAL ENABLE
20	CD	DATA TERMINAL READY
23	-	TTY BOUD SELECT
25	-	BUSY (TO DEVICE)



INTERFACE CARD CONNECTOR J112 CONNECTOR STEPPING MOTOR DRIVER CONNECTOR

รูปที่ ค.3 แผนภาพแสดงตำแหน่งขารับส่งสัญญาณของสายเชื่อมโยงสัญญาณที่เชื่อมโยงแผ่นวงจรเชื่อมโยง สู่เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องและระบบขับเคลื่อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเสกสรร สาธุธรรม เกิดเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2511 ที่อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทเวศร์ เมื่อปีการศึกษา 2534 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้ทำงานกับบริษัท เอกรัฐวิศวกรรม จำกัด และในปี พ.ศ. 2539 ได้เริ่มทำงานกับบริษัท มิตราคม จำกัด จนถึงปัจจุบัน โดยได้เข้าศึกษาต่อที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2540

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย