การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม เพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์
วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

และ

อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์
วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

โครงการวิจัย เลขที่ 134-MRD-2538
ทุนส่งเสริมการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์

จห
วห 15
007932

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพ ฯ

ตุลาคม 2538

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสารฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม
เพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์

วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

และ

อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์

วศ.ม. (นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

โครงการวิจัยเลขที่ 134-MRD-2538

ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ

ตุลาคม 2538

I18CC691 ก.พ. 2542

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีหรือภาพตัดขวางของวัตถุโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ลงบนฟิล์มทีละหลาย ๆ ระนาบ โดยแต่ละระนาบหมายถึงการหมุนวัตถุด้วยมุมที่ละ 3.6 องศา จาก 0 จนถึง 180 องศา เป็นอย่างต่ำ ภาพเอกซเรย์ที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้วจะถูกนำไปอ่านความดำด้วยเครื่องอ่านความดำที่ออกแบบให้ทำงานโดยอัตโนมัติ ควบคุมด้วยระบบไมโครคอมพิวเตอร์และข้อมูลโพรไฟล์ที่อ่านได้ จะถูกบันทึกไว้บนแผ่นดิสก์ ซึ่งพร้อมที่จะนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC รุ่น 80486 DX จอภาพสี VGA วิธีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น ใช้หลักการ คอนโวลูชันฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน (convolution filter backprojection) โดยเลือกใช้ฟิลเตอร์ของ Shepp-Logan ผลการวิจัยพบว่าภาพโทโมกราฟีของวัตถุที่ได้มีความคมชัดและให้รายละเอียดเป็นที่น่าพอใจ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSTRACT

The cross sectional image reconstruction, so called "computed tomography (CT)", using film technique is invastigated. Each object is radiographed at different angles of 3.6 degrees increment from 0 throughout a minimum of a 180 degrees rotation. After film development, the density profiles on films at a desired position are read using an automatic scan densitometer which is controlled by a microcomputer. The density profile data are simultaneously saved on a floppy disk for use in the CT image reconstruction. A software programme for the CT image reconstruction is developed and run on a 80486 DX IBM microcomputer with a VGA color monitor. By using the convolution filter backprojection (CFBP) and Shepp-Logan filter function, the contrast and the definition of the CT images of the test objects are found to be satisfactory.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ประจำภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกแก่งานวิจัยมาด้วยดี และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงมาด้วยดี และขอขอบคุณ นายเชิงชาย สร้อยเพชร ที่ช่วยดัดแปลงและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

คณะผู้วิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ iii
กิตติกรรมประกาศ iv
สารบัญ v
สารบัญภาพ vii

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1
   1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
   1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
   1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย 2

2. ทฤษฎี 3
   2.1 หลักการเก็บข้อมูลโพรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 3
      2.1.1 วิธีสแกนแบบรังสีลำแคบ (narrow beam) 3
      2.1.2 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัด (fan beam) 4
      2.1.3 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย (cone beam) 4
   2.2 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 5
      2.2.1 สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ 5
      2.2.2 การคำนวณสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน 6
      2.2.4 วิธีการกรองด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan 8
      2.2.4 วิธีแบคโปรเจกชัน (backprojection) 8

3. วิธีดำเนินการวิจัย 10
   3.1 การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ 10
      3.1.1 ชุดกำบังรังสีเอกซ์ใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์เพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์ 11

สารบัญ (ต่อ)

3.1.1.1 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ 11

3.1.1.2 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ 12

3.1.2 เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ 13

3.1.2.1 วงจรเชื่อมโยงระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบสแกนอ่านความดำ 14

3.1.2.2 อุปกรณ์สแกนอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ 14

3.2 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 16

3.3 การเก็บข้อมูลโพรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 20

3.3.1 การออกแบบวัตถุตัวอย่างเพื่อทดสอบ 20

3.3.2 การถ่ายภาพรังสีเอกซ์ 23

4. ผลการวิจัย 26

4.1 การปรับแก้ค่าข้อมูลโพรไฟล์ 26

4.2 การกรองข้อมูลโพรไฟล์ด้วยฟิลเตอร์ ฟังก์ชันของ Shepp-Logan 27

4.3 การสร้างภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง 27

4.3.1 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง A 28

4.3.2 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง B 28

4.3.3 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง C 29

4.3.4 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง D 29

4.3.5 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง E 30

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 30

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 32

5.1 สรุปผลการวิจัย 32

5.2 ข้อเสนอแนะ 34

บรรณานุกรม 36

เลขหมู่ จศ
วศ 15
เลขทะเบียน 007932
วัน,เดือน,ปี 14 มี.ค. 40

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 วิธีสแกนเก็บขอ้มูลโพรไฟล์แบบรังสีลำแคบ 3

2.2 วิธีสแกนเก็บข้อมูลโพรไฟล์แบบลำรังสีรูปพัด 4

2.3 วิธีสแกนเก็บข้อมูลโพรไฟล์แบบลำรังสีรูปกรวย 5

2.4 แผนภาพการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ 6

2.5 แผนภาพวิธีการแบคโปรเจกชัน (backprojection) 9

3.1 แผนภาพหลักการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ด้วยเทคนิคฟิล์ม 10

3.2 ชุดอุปกรณ์กำบังรังสีเพื่อการถ่ายภาพด้วยเอกซเรย์ 11

3.3 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ 12

3.4 แผนภาพการทำงานของเครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ 13

3.5 เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์โดยอัตโนมัติ 14

3.6 แผนภาพขั้นตอนการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 17

3.7 เมนูหลักของโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 18

3.8 เมนู INPUT CT DATA 18

3.9 เมนู Display the CT image 19

3.10 ภาพโทโมกราฟีในเมนู Display the CT Image 20

3.11 ภาพของวัตถุตัวอย่าง A 21

3.12 ภาพของวัตถุตัวอย่าง B 21

3.13 ภาพของวัตถุตัวอย่าง C 22

3.14 ภาพของวัตถุตัวอย่าง D 22

3.15 ภาพของวัตถุตัวอย่าง E 23

3.16 ภาพการจัดระบบเพื่อถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ 24

3.17 ภาพของฟิล์มเอกซเรย์ที่ได้จากการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ 25

3.18 ตัวอย่างข้อมูลโพรไฟล์ ณ มุมหนึ่งที่อ่านด้วยเครื่องอ่านความดำ 25

4.1 ข้อมูลโพรไฟล์ที่ผ่านการปรับแก้ค่าแล้ว 26

4.2 ภาพข้อมูลโพรไฟล์ที่ผ่านการกรองด้วยฟิลเตอร์ ฟังก์ชัน ของ Shepp-Logan 27

4.3 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง A 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

4.4 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง B 28
4.5 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง C 29
4.6 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง D 29
4.7 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง E 30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันการประยุกต์เทคนิคนิวเคลียร์เพื่อพัฒนางานทางด้านอุตสาหกรรม [1,2] กำลังมีใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นการถ่ายภาพด้วยรังสี (radiography) หรือ การใช้สารรังสีติดตาม (radiotracer) ซึ่งต่างก็เป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ให้ผลรวดเร็วถูกต้องและแม่นยำ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผู้ตรวจสอบควรต้องมีความรู้ความชำนาญ รวมทั้งมีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี ตลอดทั้งสามารถวิเคราะห์ผลการตรวจสอบได้เป็นอย่างดี ดังเช่น การถ่ายภาพด้วยรังสี ผู้ตรวจสอบจะต้องสามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายรังสีของชิ้นงานตรวจสอบซึ่งเป็นภาพระนาบเดียวให้ได้ แต่สำหรับเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายอีกวิธีหนึ่งที่จะเสนอต่อไปนี้เป็นการถ่ายภาพด้วยรังสีเช่นกัน แต่การถ่ายภาพนั้นจะถ่ายหลาย ๆ ระนาบ แล้วนำข้อมูลความดำที่อ่านได้จากภาพถ่ายเหล่านั้นมาคำนวณสร้างภาพ โดยภาพที่ได้จะเป็นภาพตัดขวางของวัตถุ เราเรียกภาพนั้นว่า "ภาพโทโมกราฟี (tomography)" หลาย ๆ คนคงเคยได้ยินคำว่า "เอกซเรย์คอมพิวเตอร์" มาบ้างแล้ว ซึ่งเป็นเครื่องตรวจสมอง หรือส่วนอื่น ๆ ของร่างกายที่ใช้ในโรงพยาบาล โดยมีวัตถุประสงค์ทางด้านการแพทย์ ส่วนเทคนิคการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี (computed tomography) ทางด้านอุตสาหกรรมนั้นก็มีหลักการที่เหมือนกัน จะแตกต่างกันที่การใช้ปริมาณ และพลังงานของรังสีไม่เท่ากัน โดยปริมาณรังสีที่ใช้ทางด้านการแพทย์นั้นจะถูกจำกัดให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ประจวบกับร่างกายของคนเราประกอบด้วยธาตุเบาเป็นส่วนใหญ่รังสีพลังงานต่ำ ๆ ก็สามารถทะลุผ่านได้ ต่างกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีความหนาแน่นสูงกว่า และประกอบไปด้วยธาตุที่หนักกว่า จึงต้องใช้รังสีพลังงานสูงและปริมาณรังสีมากกว่า สำหรับการที่จะทำให้เกิดเป็นภาพตัดขวาง หรือภาพโทโมกราฟีนั้นต้องมีกรรมวิธีของการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อน เพราะต้องนำข้อมูลไปประมวลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถณะสูง ตลอดทั้งการแสดงภาพทางจอที่มีความละเอียดสูงเช่นกัน ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องมีประสิทธิภาพสูงและราคาแพง ที่สำคัญจะต้องมีโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่พัฒนาให้สามารถใช้งานได้สะดวกและให้ผลที่ถูกต้องรวดเร็ว สำหรับงานวิจัยนี้ได้ประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งประกอบไปด้วยชุดกำบังรังสีที่เจาะช่องเล็ก ๆ ให้ลำรังสีผ่านไปตกกระทบแผ่นฟิล์มที่อยู่ด้านหลังซึ่งสามารถเลื่อนขึ้นลงได้โดยการควบคุมด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ นอกจากนั้นยังมีชุดอ่านข้อมูลความดำของ

ฟิล์มที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอมพิวเตอร์ การออกแบบชุดอุปกรณ์เหล่านี้จะออกแบบให้สามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และคำนึงถึงความสะดวกตลอดทั้งใช้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก แต่ให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูลสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม

1.2.2 เพื่อทดสอบการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดกำบังรังสีเพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

1.3.2 ออกแบบและสร้างชุดควบคุมระบบขับเคลื่อนตลับบรรจุฟิล์มเอกซเรย์และแป้นหมุนวัตถุตัวอย่างด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์

1.3.3 ออกแบบและสร้างชุดสแกนอ่านความดำของแผ่นฟิล์มโดยอัตโนมัติ ควบคุมโดยระบบไมโครคอมพิวเตอร์

1.3.4 พัฒนาโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีบนไมโครคอมพิวเตอร์

1.3.5 ทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง และผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยนี้

1.4.1 ได้เทคนิคใหม่ของการคำนวณสร้างภาพตัดขวางของวัตถุเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

1.4.2 ชุดเครื่องมือ และอุปกรณ์สามารถเคลื่อนย้ายได้ ซึ่งนำไปใช้ในงานภาคสนามได้สะดวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

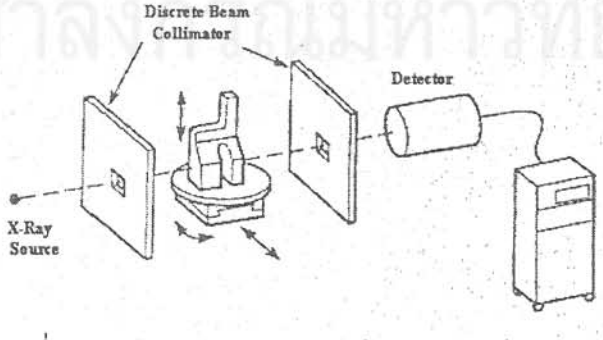
ทฤษฎี

2.1 หลักการเก็บข้อมูลโพรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี [3]

โดยทั่วไปการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น ใช้หลักการทะลุผ่านของรังสีต่อวัตถุตัวอย่าง ซึ่งเมื่อเก็บข้อมูลจากวิธีการต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลผลด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงและแสดงผลเป็นภาพในลักษณะของภาพตัดขวาง ในขั้นแรกจะกล่าวถึงเทคนิคการเก็บข้อมูลโพรไฟล์เพื่อใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีซึ่งสามารถจำแนกวิธีการเป็น 3 วิธี ได้แก่

2.1.1 วิธีสแกนแบบรังสีลำแคบ (narrow beam)

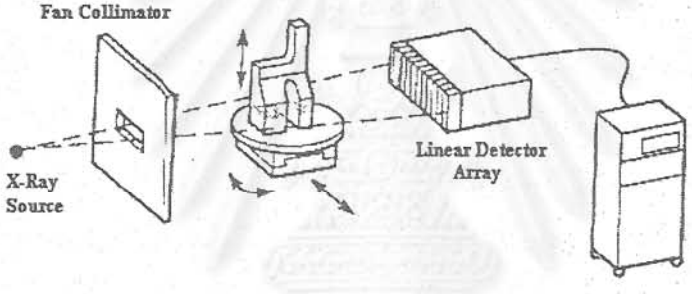
ลักษณะการทำงานของวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบนี้ คือการใช้ลำรังสีที่พุ่งออกจากแหล่งกำเนิดรังสีซึ่งจำกัดขนาดให้เป็นลำแคบ ทะลุผ่านวัตถุแล้วตกกระทบวัดหัวรังสีซึ่งอยู่ด้านตรงกันข้ามและจำกัดขนาดลำรังสีเช่นกัน · การสแกนด้วยวิธีนี้กำหนดให้วัตถุเคลื่อนที่ผ่านลำรังสีไปจนสุดขอบของวัตถุ จากนั้นวัตถุหมุนไปด้วยมุมน้อย ๆ จึงสแกนย้อนกลับมาที่จุดเดิม ระยะห่างของแต่ละจุดที่สแกนเป็นเส้นตรงขณะทำการวัดรังสี กำหนดให้ห่างกันเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรังสีลำแคบนั้น ๆ เรียกปริมาณรังสีแต่ละจุดว่า "เรย์ซัม (ray-sum)" การสแกนผ่านวัตถุต่อการหมุนของวัตถุด้วยมุมน้อย ๆ นั้น ประกอบไปด้วยหลาย ๆ เรย์ซัม เรียกว่า "โพรไฟล์ (profile)" หรือ "โปรเจกชัน (projection)" การสแกนเก็บข้อมูลโพรไฟล์นั้นจะต้องกำหนดให้วัตถุหมุนจากมุม 0 - 180 องศา เป็นอย่างน้อย ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วิธีสแกนเก็บข้อมูลโพรไฟล์แบบรังสีลำแคบ

2.1.2 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัด (fan beam)

เนื่องจากวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบ ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างนานมาก จึงได้มีการพัฒนาวิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัดขึ้นมา เพื่อลดเวลาในการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ให้น้อยลง โดยใช้ลำรังสีเป็นรูปพัด และหัววัดรังสีเป็นแบบแถว (linear detector array) หลักการทำงานจะคล้าย ๆ กับวิธีแรก แตกต่างกันตรงที่เมื่อวัตถุหมุนไปแต่ละครั้งจะสามารถเก็บข้อมูลโพรไฟล์ได้เลย จึงเป็นผลให้วิธีนี้ใช้เวลาน้อยลง ส่วนในการออกแบบสร้างเป็นระบบเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้ สามารถออกแบบให้วัตถุตัวอย่างหมุนรอบตัวเพียงอย่างเดียว โดยต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสียึดอยู่กับที่ และในทางกลับกันก็สามารถออกแบบให้วัตถุตัวอย่างยึดอยู่กับที่ แต่ต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสีหมุนรอบวัตถุ ดังรูปที่ 2.2

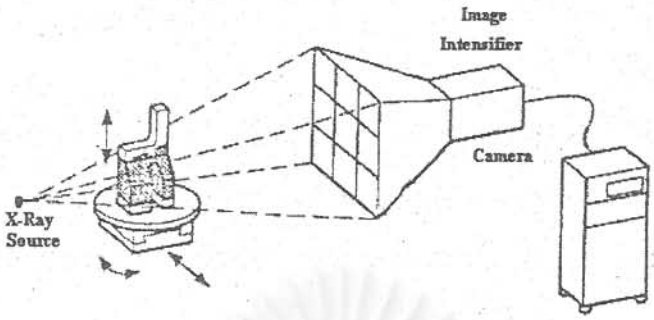


รูปที่ 2.2 วิธีสแกนเก็บข้อมูลแบบลำรังสีรูปพัด

2.1.3 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย (cone beam)

การเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้ เป็นการถ่ายภาพวัตถุซึ่งสามารถทราบรายละเอียดทั้งในแนวแกนนอนกับแกนตั้ง ซึ่งลำรังสีที่ใช้นั้นมีลักษณะเป็นรูปกรวยที่ออกจากต้นกำเนิดรังสี สำหรับส่วนรับข้อมูล หรือหัววัดรังสีนั้นจะมีลักษณะเรียงกันเป็นแถว หลาย ๆ แถว หรืออาจใช้แผ่นเรืองแสงรับภาพโดยมีกล้องโทรทัศน์จับภาพ และแสดงภาพบนจอมอนิเตอร์ การเก็บข้อมูลโพรไฟล์ด้วยวิธีนี้ ใช้เวลาน้อยที่สุดซึ่งอาจเรียกว่า "ระบบโทรทัศน์ (television system)" ดังรูปที่ 2.3

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 วิธีสแกนเก็บข้อมูลแบบลำรังสีรูปกรวย

2.2 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี [3]

เนื่องจากแนวความคิดที่ว่า สัมประสิทธิ์การลดทอนของปริมาณความเข้มของลำรังสีเอกซ์ในวัตถุต่างชนิดกันในระนาบใดระนาบหนึ่งสามารถหาได้โดยการนำเอาปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุในทิศทางต่าง ๆ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธีแบคโปรเจกชัน (Back-Projection) วิธีอิทเทอเรชัน (Iteration) และวิธีคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน (Convolution Filter Back-Projection) เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการคำนวณสร้างภาพ (reconstruction) แบบคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

2.2.1 สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสามารถทะลุผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงได้ ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านวัตถุจะเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับวัตถุ ได้แก่ การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเลกตริก (photoelectric effect) คอมป์ตัน (compton effect) และ แพร์โปรดักชัน (pair production) ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้ความเข้มของลำรังสีเอกซ์ลดลง โดยมีความสัมพันธ์กับสมการที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

$$I = Io\ e^{-\mu x} \qquad (2.1)$$

เมื่อ Io และ I คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์ก่อนและหลังทะลุผ่านตัวกลาง ตามลำดับ

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานใด ๆ ต่อวัตถุตัวกลาง

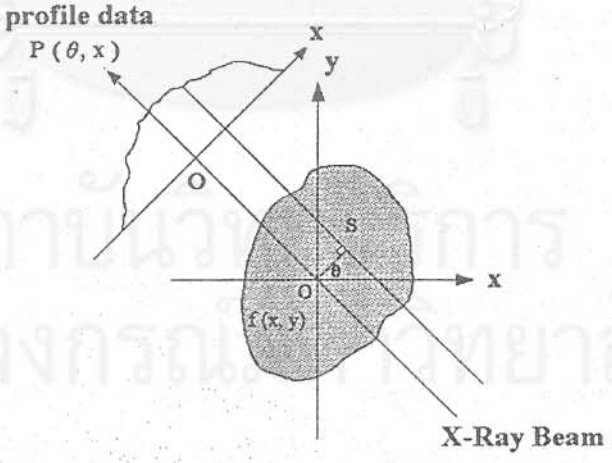
x คือ ความหนาของตัวกลาง

ถ้ากรณีที่ตัวกลางประกอบไปด้วยสารหลาย ๆ ชนิด การดูดกลืนรังสีเอกซ์ในสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังนั้นการคิดคำนวณความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านตัวกลางจึงต้องแบ่งตามค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน และความหนาของตัวกลางออกเป็นส่วน ๆ ดังสมการที่ 2.2

$$I = Io\ e^{-\mu\, dx} \qquad (2.2)$$

2.2.2 การคำนวณสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจึงเริ่มจากสมการการลดทอนของรังสีเอกซ์ที่มีต่อวัตถุตัวกลาง ซึ่งสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์นั้นสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ชั้นสูงโดยพิจารณารูปที่ 2.4 ประกอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 แผนภาพการเก็บข้อมูลโพรไฟล์

หลักการสร้างภาพโทโมกราฟีนั้นพิจารณาจากคุณสมบัติการทะลุผ่านของรังสีเอกซ์ต่อวัตถุ โดยวัตถุสามารถหมุนรอบตัวเองได้ด้วยมุมน้อย ๆ ภาพถ่ายรังสีของวัตถุแต่ละครั้งต่อการหมุนไปด้วยหมุนน้อย ๆ นี้ หมายถึง ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุที่มุมต่าง ๆ กันโดยรอบวัตถุ ข้อมูลความดำที่อ่านได้โดยเครื่องอ่านความดำบนฟิล์มเอกซเรย์ของแต่ละภาพ เรียกว่า "ข้อมูลโพรไฟล์ (profile data) หรือ "ข้อมูลโปรเจกชัน (projection data)" รูปที่ 2.4 แสดงหลักการของการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ โดยการกำหนดให้วัตถุวางบนระนาบ (x,y) และมีจุด 0 เป็นจุดหมุน แนวแกนของวัตถุหมุนทำมุมกับแนวแกน X รังสีเอกซ์ลำขนานออกจากต้นกำเนิดรังสีตัดผ่านวัตถุถึงแผ่นฟิล์มด้วยระยะทาง s จากรูปที่ 2.4 กำหนดให้ Io และ I เป็นความเข้มของรังสีเอกซ์ก่อนและหลังทะลุผ่านวัตถุ ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของความเข้มของรังสีเอกซ์เป็นไปตามสมการที่ 2.3 ดังต่อไปนี้

$$I = Io \exp\left[-\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\, ds \right] \qquad (2.3)$$

โดยฟังก์ชัน f(x,y) คือ สัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficint) ของรังสีเอกซ์ที่พลังงานนั้นต่อวัตถุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนระนาบ (x,y) และจากสมการที่ 2.3 สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.4 ดังต่อไปนี้

$$P(\theta, X) = \ln\left[\frac{Io}{I} \right] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\, ds \qquad (2.4)$$

ในที่นี้ $P(\theta, X)$ คือ ข้อมูลโพรไฟล์ที่มุมใด ๆ ซึ่งข้อมูลแต่ละจุดบนแนวแกน X ของวัตถุที่เกิดจากลำรังสีเอกซ์แต่ละเส้นตัดผ่าน เรียกว่า "เรย์ซัม (ray-sum)"

ข้อมูลโพรไฟล์ที่ได้จากการอ่านความดำบนแผ่นฟิล์มนั้น ยังไม่สามารถนำไปเป็นข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ จึงต้องมีการปรับแก้ค่าใหม่ (data correction) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลโพรไฟล์ที่มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ต่อวัตถุอย่างแท้จริง โดยการปรับแก้ค่าจากความแรงรังสีพื้นฐาน (background, B) ดังสมการที่ 2.5

$$P'(\theta, X) = \ln\left[\frac{Io - B}{I - B}\right] \qquad (2.5)$$

เมื่อประยุกต์ทฤษฎีของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) และการคอนโวลูชัน (convolution) จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 จึงเขียนรูปสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.6 ดังต่อไปนี้

$$f(x,y) = \frac{1}{\pi}\int_{o}^{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} P'(\theta,X) \circledcirc H(X-X')\, dX'\, d\theta \qquad (2.6)$$

โดยฟังก์ชัน H(X) คือ ฟิลเตอร์ฟังก์ชัน (filter function) ในที่นี้เลือกใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp & Logan [4] วิธีการคำนวณแบบนี้เรียกว่า "คอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน" (convolution filter backprojection)

2.2.3 วิธีการกรองด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan [4]

สำหรับการกรองข้อมูลโพรไฟล์ด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันนั้นเป็นการนำข้อมูลโพรไฟล์แต่ละโพรไฟล์มาปรับด้วยการคำนวณจากสมการของ Shepp-Logan ดังต่อไปนี้

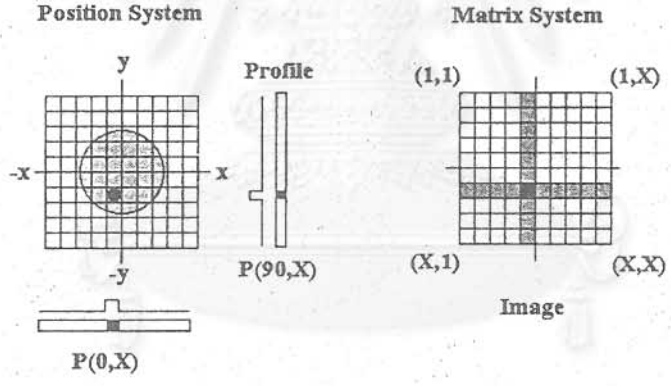
$$H(X) = 2 / [\pi^2 d(1 - 4X^2)] \qquad (2.7)$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างเรย์ซัม (ในที่นี้เท่ากับ 0.5 มม) และ X คือ เลขจำนวนเต็ม ได้แก่ 0,1,2..... ดังนั้นเมื่อปรับข้อมูลโปรไฟล์ P(θ,X) โดยการคูณด้วยสมการที่ 2.7 แล้วจึงนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยวิธีแบคโปรเจกชันต่อไป

2.2.4 วิธีการแบคโปรเจกชัน (backprojection)

เมื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์จากการวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านวัตถุตัวกลางที่มุมต่าง ๆ แล้วนำมาปรับแก้โพรไฟล์ด้วยค่าแบคกราวด์ (background) และเลือกใช้ฟิลเตอร์ ฟังก์ชัน ของ Shepp-Logan จะได้โพรไฟล์ใหม่ที่เหมาะสำหรับนำไปคำนวณสร้างภาพตัดขวาง การที่จะสร้างเป็น

ภาพนั้นมีกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากพอสมควร เพื่อให้เกิดความเข้าใจพอสังเขป พิจารณารูปที่ 2.5 จากรูปทางด้านซ้ายมือจะเห็นวัตถุตัวอย่างวางอยู่บนระนาบ (x,y) โดยจุดหมุนวางทับจุดกำเนิดของระนาบ ที่ขีดตารางบนระนาบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตรัส ด้านล่างมีลำรังสีเอ็กซ์ทะลุผ่านวัตถุโดยทำมุม 0 องศากับแนวแกนหมุนของวัตถุ ด้านขวามีลำรังสีเอกซ์ทะลุผ่านวัตถุทำมุม 90 องศากับแนวแกนหมุนของวัตถุ ดังนั้นจึงได้ข้อมูลโพรไฟล์ของแต่ละมุมเป็น P(0,X) และ P(90,X) ตามลำดับ เรียกรูปทางด้านซ้ายมือนี้ว่า "ระบบโพสิชัน (position system)" พิจารณารูประนาบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทางด้านขวามือซึ่งแบ่งเป็นตารางที่มีขนาดและจำนวนเท่ากันกับรูปทางขวามือ แต่ละจุดบนระนาบกำหนดตำแหน่งโดยเรียงลำดับจากมุมบนด้านซ้าย เริ่มจาก (1,1) สุดขอบทางด้านขวาที่จุด (1,X) สุดขอบซ้ายด้านล่างที่จุด (X,1) และสุดขอบทางด้านขวาล่างที่จุด (X,X) ในที่นี้ X หมายถึง จำนวนเรย์ซัมในหนึ่งโพรไฟล์ เมื่อนำข้อมูลเรย์ซัมแต่ละจุดที่ตรงกัน ณ มุมต่าง ๆ มารวมกันก็จะเกิดเป็นภาพขึ้นมา ระบบที่ทำให้เกิดเป็นภาพโทโมกราฟีทางด้านขวามือเรียกว่า "ระบบเมตริก (matrix system)" ดังนั้นวิธีแบคโปรเจกชันจึงเป็นการแปลงจากระบบโพสิชันไปเป็นระบบเมตริกนั่นเอง



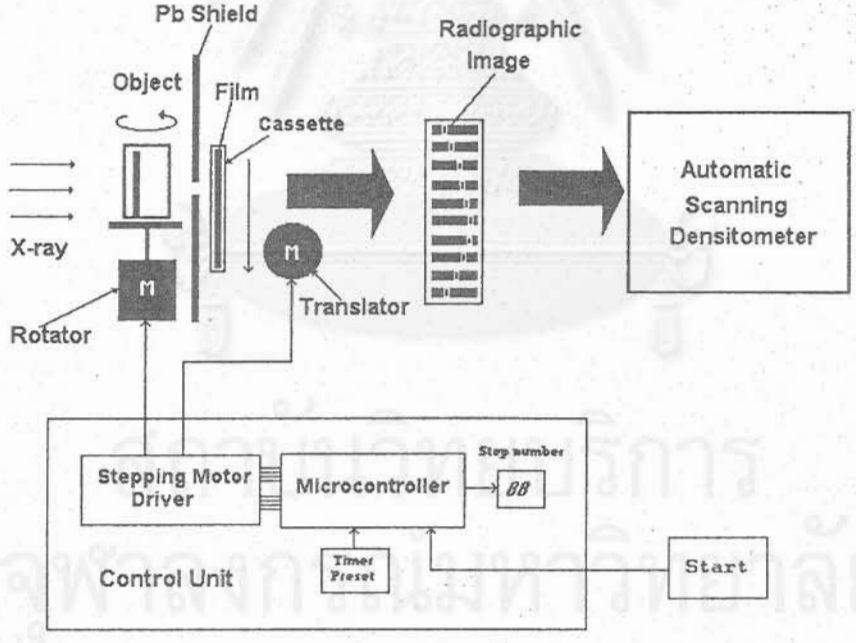
รูปที่ 2.5 แผนภาพวิธีการแบคโปรเจกชัน (backprojection)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ ได้แบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี และการทดลองสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์

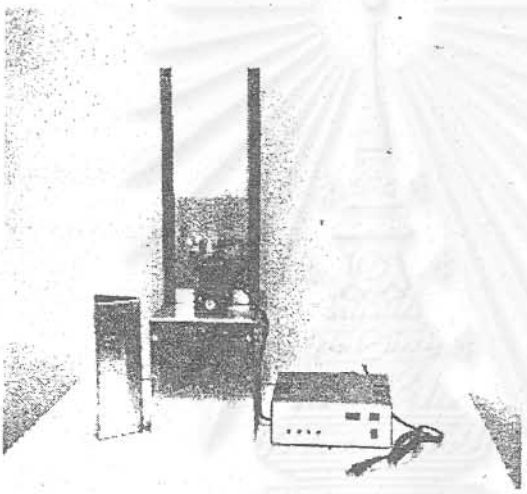
ชุดเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบทั้งระบบกล และระบบบอิเลกทรอนิกส์ซึ่งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดและแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.1 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพหลักการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ด้วยเทคนิคฟิลม์

3.1.1 ชุดกำบังรังสีสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์

ชุดกำบังรังสีสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ออกแบบให้วัตถุตัวอย่างวางอยู่บนแป้นหมุนที่ขับเคลื่อนด้วยสเต็ปปิงมอเตอร์ และติดตั้งไว้ที่ด้านหน้าของแผ่นตะกั่วกำบังรังสีโดยเจาะช่องขนาด 8 ซม. x 0.8 ซม. เพื่อให้รังสีเอกซ์ลอดผ่านไปยังฟิล์ม ด้านหลังมีตลับอลูมิเนียมซึ่งบรรจุฟิล์มเอกซเรย์ขนาด 8.5 ซม. x 30.5 ซม. สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ในแนวดิ่งด้วยการขับเคลื่อนของสเต็ปปิงมอเตอร์ (ดังรูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์กำบังรังสีเพื่อการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

การเคลื่อนที่ของตลับบรรจุฟิลม์และการหมุนของวัตถุตัวอย่างจะถูกควบคุมโดยชุดควบคุม (control unit) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมให้การเคลื่อนที่ของตลับบรรจุฟิล์มสัมพันธ์กับการหมุนของวัตถุตัวอย่างในขณะถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ชุดควบคุมที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

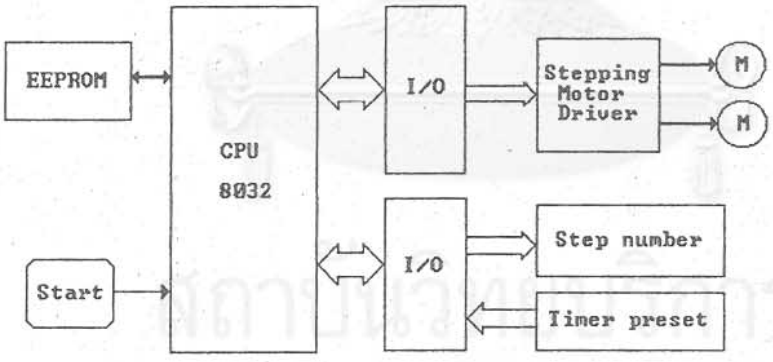
3.1.1.1 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ (Stepping motor driver)

ในการหมุนวัตถุตัวอย่างเป็นมุมเล็ก ๆ นั้น จำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งการของหมุนได้แน่นอน ในงานวิจัยนี้ใช้สเต็ปปิงมอเตอร์แบบสี่เฟส ที่มีความละเอียดของสเต็ปเท่ากับ 1.8 องศา โดยวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ได้ถูกออกแบบให้สามารถขับกระแสให้เฟสต่าง ๆ ของมอเตอร์ได้อย่างเพียงพอ ส่วนการขับ จะเป็นแบบ สองเฟส หรือ full step โดยสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม

สเต็ปปิงมอเตอร์สำหรับการเลื่อนตลับฟิล์มและการหมุนวัตถุตัวอย่างจะถูกส่งมาจากระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.1.2 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller system)

ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของตลับบรรจุฟิล์มและการหมุนของวัตถุตัวอย่าง โดยส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ ระบบนี้จะควบคุมให้ตลับบรรจุฟิล์มเคลื่อนที่ไปครั้งละ 1 ซม. พร้อม ๆ กับการหมุนของวัตถุตัวอย่างไปเป็นมุมทีละน้อย โดยสามารถเลือกมุมของการหมุนได้เป็นครั้งละ 3.6 หรือ 7.2 องศา ตามความเหมาะสม และยังทำหน้าที่ควบคุมเวลาในการถ่ายภาพแต่ละภาพเพื่อให้เหมาะกับชนิดของฟิล์มที่ใช้และวัตถุตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ โดยสามารถตั้งเวลาได้จากหน้าปัทม์ของชุดควบคุม การเริ่มต้นการทำงานของระบบสามารถควบคุมได้จากระยะไกลผ่านทางสายทั้งนี้เพื่อลดอันตรายจากการได้รับรังสี ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8032 และใช้ภาษาเบสิกในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยโปรแกรมควบคุมจะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำแบบ E^2PROM บนแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สะดวกในการปรับปรุงและแก้ไข แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์แสดง (ดังรูปที่ 3.3)



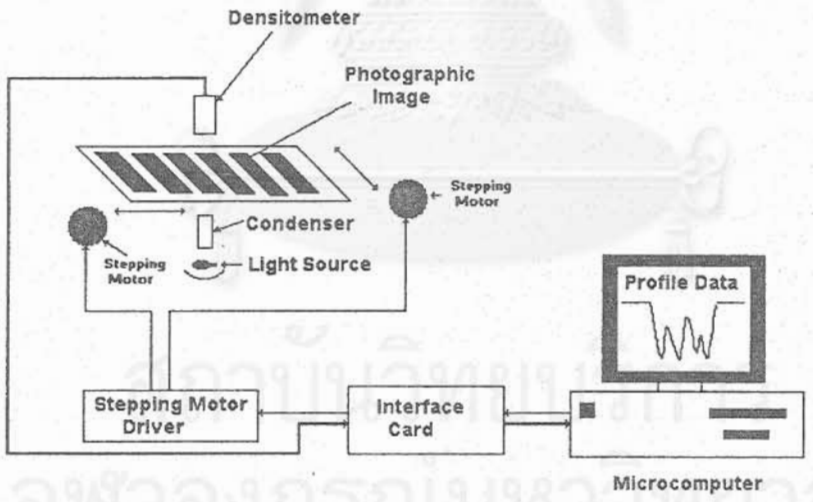
รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์สำหรับเก็บข้อมูลโพรไฟล์เพื่อนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น จะต้องถ่ายภาพวัตถุในแต่ละมุมจนได้ภาพอย่างน้อยครบ 180 องศา เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการคำนวณสร้างภาพ มิฉะนั้นภาพที่ได้จะมีคุณภาพไม่เพียงพอสำหรับการตรวจสอบ ชุดกำบังรังสีเพื่อใช้ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ฟิล์มแต่ละแผ่นสามารถถ่าย

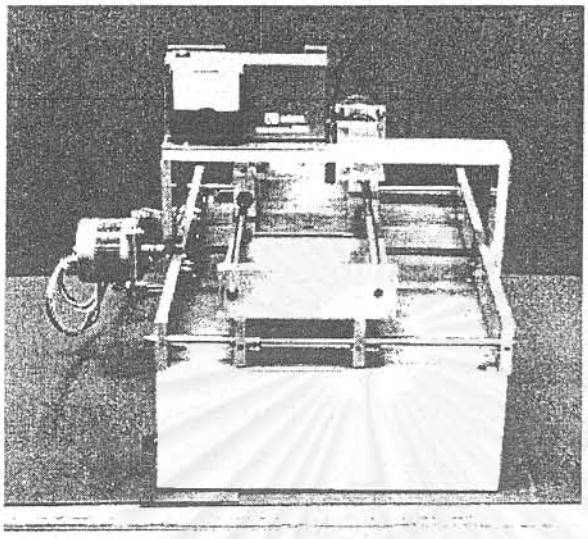
ภาพได้ 26 ภาพ ดังนั้นถ้าเลือกการหมุนของวัตถุไปเป็นมุมทีละ 3.6 องศา จะต้องใช้ฟิล์ม 2 แผ่น แต่ถ้าเลือกการหมุนของวัตถุไปเป็นมุมทีละ 7.2 องศา ใช้ฟิล์มเพียงแผ่นเดียวก็จะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

3.1.2 เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ

เมื่อนำฟิล์มที่ถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์ไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ภาพบนฟิล์มที่ปรากฏจะมีความดำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุตัวอย่าง ความดำที่เกิดขึ้นนี้จะแปรผันตามความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุนั้น ความดำที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นฟิล์มนี้สามารถอ่านได้โดยใช้เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะทำหน้าที่สแกนอ่านความดำบนภาพแต่ละภาพตรงตำแหน่งที่ต้องการสร้างภาพโทโมกราฟีทีละแถวจนครบทุกภาพ การทำงานของเครื่องอ่านนี้เป็นแบบอัตโนมัติควบคุมโดยไมโครคอมพิวเตอร์ ความดำที่อ่านได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขแล้วเก็บลงในหน่วยความจำสำรองของไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อการคำนวณสร้างภาพต่อไป



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของเครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 3.5 เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ

เครื่องอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัตินี้ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญคือ

3.1.2.1 วงจรเชื่อมโยงระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบสแกนอ่านความดำ

วงจรเชื่อมโยงระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และระบบสแกนอ่านความดำ จะทำหน้าที่ส่งสัญญานควบคุมจากไมโครคอมพิวเตอร์ไปยังวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ สำหรับควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนแผ่นฟิล์มเอกซเรย์เพื่ออ่านความดำบนภาพแต่ละภาพตรงตำแหน่งที่ต้องการสร้างภาพโทโมกราฟี นอกจากนี้ยังทำหน้าที่แปลงสัญญานอานาลอกที่ได้จากอุปกรณ์อ่านความดำให้เป็นสัญญานเชิงตัวเลข เพื่อแสดงข้อมูลโพรไฟล์บนจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์และเก็บบันทึกลงหน่วยความจำถาวรเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

3.1.2.2 อุปกรณ์สแกนอ่านความดำฟิล์มเอกซเรย์แบบอัตโนมัติ

ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ อุปกรณ์กลสำหรับควบคุมการเลื่อนขึ้นของของแผ่นฟิล์ม ต้นกำเนิดแสง และ อุปกรณ์อ่านความดำ ตามลำดับ โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์

ทำหน้าที่ขับสเต็ปปิงมอเตอร์ที่ใช้ในการเลื่อนแผ่นฟิล์มเอกซเรย์ที่ต้องการอ่านความดำ โดยจะรับสัญญานจากวงจรเชื่อมโยงระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบสแกนอ่านความดำ การขับจะเป็นแบบ สองเฟส หรือ full step เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำบังรังสีเพื่อการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

อุปกรณ์กลสำหรับเลื่อนแผ่นฟิล์มเอกซเรย์

ทำหน้าที่เลื่อนแผ่นฟิล์มเอกซเรย์เพื่ออ่านความดำบนภาพแต่ละภาพ โดยสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการสร้างภาพโทโมกราฟีได้ซึ่งประกอบด้วยสเต็ปปิงมอเตอร์ 2 ตัวสำหรับการเคลื่อนที่ในสองทิศทาง ระบบกลที่ใช้เป็นแบบขับเคลื่อนโดยตรงผ่าน ball screw เพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ต้นกำเนิดแสง

ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับใช้ในการอ่านความดำบนแผ่นฟิล์ม โดยใช้หลอดฮาโลเจนขนาดเล็กเป็นต้นกำเนิดแสง มีเลนส์เว้าที่ทำด้วยแผ่นโลหะขัดเงาทำหน้าที่สะท้อนแสงและใช้ระบบเลนส์รวมแสงไปที่ตำแหน่งฟิล์มที่จะทำการอ่าน แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสำหรับหลอดฮาโลเจนที่ใช้เป็นแบบศักดาไฟฟ้าคงที่เพื่อทำให้แสงที่ได้คงที่ตลอดเวลา โดยมีพัดลมระบายอากาศลดอุณหภูมิบริเวณหลอดทำให้สามารถเปิดใช้งานได้ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ๆ

อุปกรณ์อ่านความดำ (Densitometer)

ทำหน้าที่อ่านความดำที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นฟิล์ม โดยจะมีรูรับแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร อยู่ชิดกับแผ่นฟิล์มเพื่อให้มีรีโซลูชันดีที่สุด แล้วใช้เส้นใยนำแสง (fiber optic) นำแสงที่วัดได้ไปยังอุปกรณ์วัดแสงอีกทีหนึ่งเพื่อให้แสงที่วัดได้มีการสูญเสียน้อยที่สุด อุปกรณ์นี้จะอ่านความดำออกมาในหน่วย optical density (OD) สัญญานที่ได้นี้จะถูกส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์โดยผ่านวงจรแปลงสัญญานอานาลอกให้เป็นสัญญานเชิงตัวเลข

I18006947

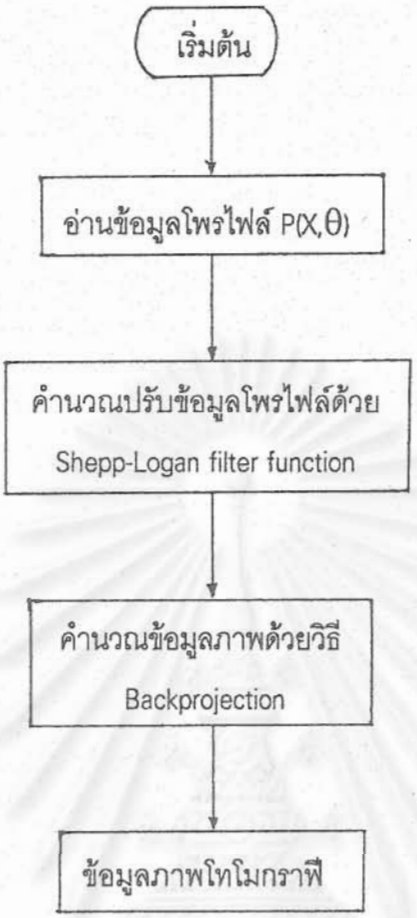
3.2 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

โปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น นับว่าเป็นหัวใจสำคัญต่อการแสดงผลของงานวิจัย ดังนั้นภาพโทโมกราฟีที่แสดงบนจอมอนิเตอร์จึงต้องให้รายละเอียดที่ดี สามารถนำมาประเมินและวิเคราะห์ผลได้ทันที การพัฒนาโปรแกรมจึงต้องใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขีดความสามารถสูง ซึ่งสามารถคำนวณข้อมูลขนาดใหญ่ได้ในเวลารวดเร็ว และแสดงผลภาพด้วยจอมอนิเตอร์ที่มีความละเอียดสูง (high resolution) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้คือ IBM PC รุ่น 80486 จอภาพ VGA ขึ้นไป สำหรับภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคือ ภาษาซี

โปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนี้ได้ออบแบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการคำนวณสร้างภาพ (reconstruction) ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน (convolution filter backprojection) อีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนของการแสดงผลภาพทางจอมอนิเตอร์สี ซึ่งแสดงระดับสีได้ 64 ระดับ ความละเอียดของจุดภาพสามารถเลือกได้เป็น 640 x 480 จุด และ 1024 x 768 จุด ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่หนึ่ง การคำนวณสร้างภาพ เป็นส่วนที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์นำข้อมูลโพรไฟล์ที่อ่านเข้าไปในหน่วยความจำซึ่งจัดเตรียมไว้มาคำนวณ โดยขั้นแรกข้อมูลโพรไฟล์จะถูกปรับให้เหมาะสมด้วยฟิลเตอร์ ฟังก์ชัน ของ Shepp-Logan จากนั้นนำข้อมูลโพรไฟล์ที่ได้มาคำนวณข้อมูลภาพด้วยวิธีแบคโปรเจกชัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของวัตถุนั้น ๆ ดังหัวข้อที่ 2.2.3 ที่ได้อธิบายไว้แล้ว รูปที่ 3.6 เป็นแผนภาพการทำงานของขั้นตอนการคำนวณสร้างภาพ

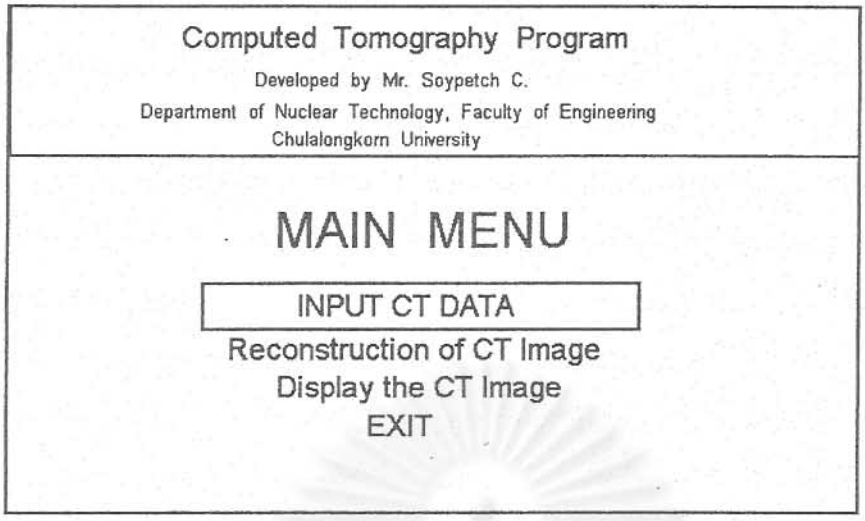
ส่วนที่สอง การแสดงผลภาพโทโมกราฟี เมื่อคำนวณข้อมูลภาพตามวิธีการคำนวณดังกล่าวแล้ว ข้อมูลที่ได้จะถูกจัดลำดับให้แสดงระดับความดำที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลของข้อมูลภาพ โดยในที่นี้กำหนดให้ผลของข้อมูลภาพที่มีค่ามากที่สุดมีระดับความดำมากที่สุด และข้อมูลภาพที่มีค่าน้อยรองลงมาระดับสีก็จะจางลงตามลำดับ



รูปที่ 3.6 แผนภาพขั้นตอนการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

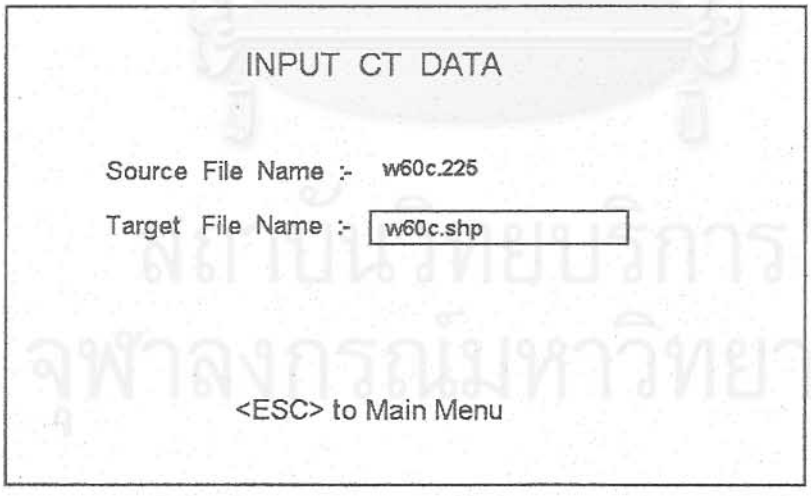
เมื่อเริ่มรัน (run) โปรแกรมก็จะปรากฏเมนูหลักให้เลือกอยู่ 4 เมนู ซึ่งสามารถเลือกโดยการกดปุ่มลูกศรขึ้น-ลง แล้วกดคีย์ <Enter> ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งประกอบไปด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 เมนูหลักของโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

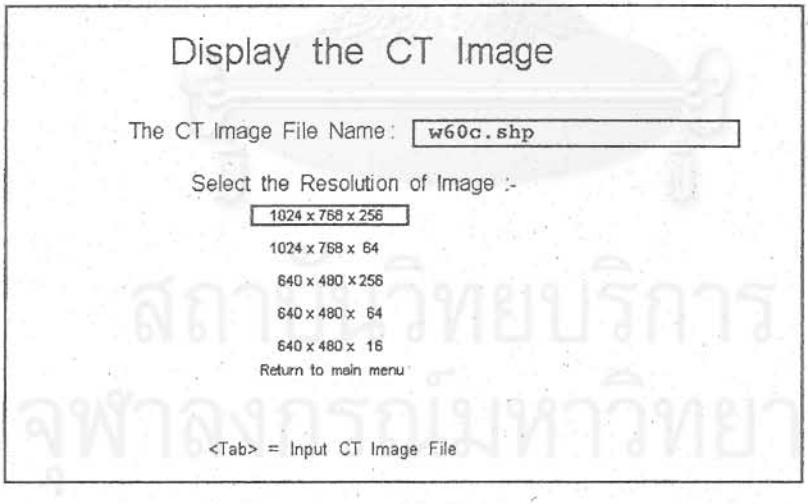
จากรูปที่ 3.7 เมื่อเลือกเมนูย่อย INPUT CT DATA แล้วกดคีย์ <Enter> จะเข้าไปสู่เมนูย่อยดังกล่าว โดยภายในเมนูนี้จะถามชื่อของไฟล์ข้อมูล (Source File name) และชื่อของไฟล์ผลการคำนวณ (Target File name) เมื่อพิมพ์ชื่อไฟล์ข้อมูล และชื่อไฟล์ผลการคำนวณแล้วกดคีย์ <Enter> จากนั้นก็จะกลับมาสู่เมนูหลักอีกครั้งเมื่อกดคีย์ <ESC> ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เมนู INPUT CT DATA

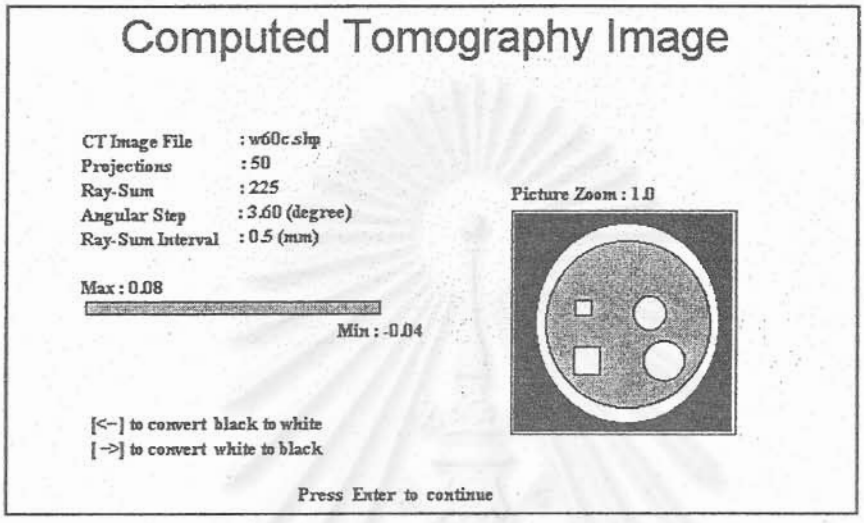
จากนั้นให้เลื่อนลูกศรลงเพื่อเลือกเมนูการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี (Reconstruction 0f CT Image) แล้วกดคีย์ <Enter> โปรแกรมก็จะอ่านไฟล์ข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำแล้วคำนวณโดยขั้นแรกข้อมูลโพรไฟล์ทั้งหมดจะผ่านการกรอง (filtation) ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า "การคอนโวลูชัน (convolution)" โดยเลือกใช้ฟิลเตอร์ของ Shepp-Logan ได้เป็นโพรไฟล์ใหม่ จากนั้นข้อมูลโพรไฟล์ดังกล่าว ก็จะผ่านกระบวนการสร้างภาพที่เรียกว่า "แบคโปรเจกชัน (Backprojection)" กระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมานี้เรียกว่า "คอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน (Convolution filter backprojection)" ระยะเวลาของการคำนวณขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์และขนาดของข้อมูลโพรไฟล์ โดยขนาดของข้อมูลโพรไฟล์ขึ้นอยู่กับจำนวนโพรไฟล์ และจำนวนเรย์ซัม ในที่นี้จำนวนโพรไฟล์ต้องไม่เกิน 60 โพรไฟล์ และจำนวนเรย์ซัมก็ไม่เกิน 256 เรย์ซัม

เมื่อคำนวณสร้างภาพแล้วก็สามารถเลือกเมนู Display the CT Image เพื่อแสดงผลภาพโทโมกราฟี โดยภายในเมนูนี้จะถามชื่อไฟล์ของผลการคำนวณ อาจพิมพ์ชื่อไฟล์ที่ต้องการแสดงผลภาพ เพราะในขณะที่คำนวณข้อมูลผลการคำนวณจะถูกบันทึกเก็บไว้ภายใต้ชื่อไฟล์ข้อมูลผลการคำนวณ แต่ถ้าเป็นการคำนวณต่อเนื่องจากเมนู Reconstruction of CT Image ก็ไม่จำเป็นต้องพิมพ์ชื่อไฟล์ดังกล่าว อาจเลื่อนลูกศรขึ้นลงเพื่อเลือกความละเอียดของจอภาพแล้วกดคีย์ <Enter> ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เมนู Display the CT Image

ผลภาพของภาพโทโมกราฟีจะแสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งเลือกความแตกต่างของระดับสีได้หลายแบบจาก 16 และ 64 ระดับ ในโทนสีเทา และสามารถเปลี่ยนจากขาวเป็นดำ หรือดำเป็นขาวได้โดยกดคีย์ลูกศรซ้าย-ขวา หรือ ล่าง-บน ขึ้นอยู่กับการเลือกโหมดความละเอียดของจอภาพ



รูปที่ 3.10 ภาพโทโมกราฟี ในเมนู Display the CT Image

3.3 การเก็บข้อมูลโพรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

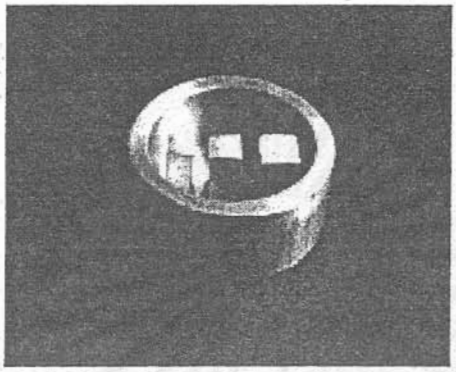
สำหรับส่วนของการเก็บข้อมูลโพรไฟล์เพื่อการสร้างภาพโทโมกราฟี ได้ออกแบบวัตถุตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบความถูกต้อง และถ่ายภาพรังสีเอกซ์ของแต่ละข้อมูลโพรไฟล์จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การออกแบบวัตถุตัวอย่างเพื่อทดสอบ

เนื่องจากระบบถ่ายภาพเพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์ได้ออกแบบให้ฟิล์มที่บรรจุภายในตลับอะลูมินัมซึ่งเลื่อนลงทีละ 1 ซม. ได้จำนวนโพรไฟล์ทั้งหมด 26 โพรไฟล์ ดังนั้นการกำหนดให้วัตถุหมุนไปด้วยมุมทีละ 3.6 องศา จึงต้องใช้แผ่นฟิล์มเอกซเรย์ จำนวน 2 แผ่น ดังนั้นในการทดสอบเบื้องต้นจึงได้ออกแบบวัตถุตัวอย่างเป็น 5 ตัวอย่าง ได้แก่

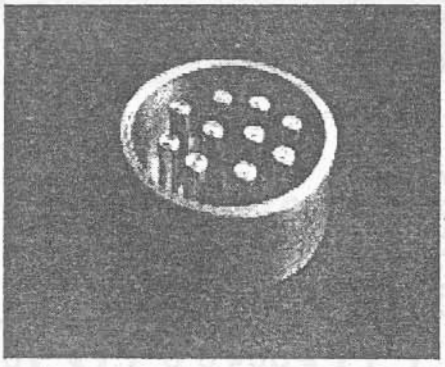
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง A เป็นท่ออะลูมินัมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. มีขอบหนา 5 มม. ภายในบรรจุแท่งอะลูมินัมรูปทรงสี่เหลี่ยมตันจำนวน 3 แท่ง ขนาด 10x10 มม. 8x8 มม. และ 6x6 มม. จัดเรียงห่างกัน 5 มม. ดังรูปที่ 3.11



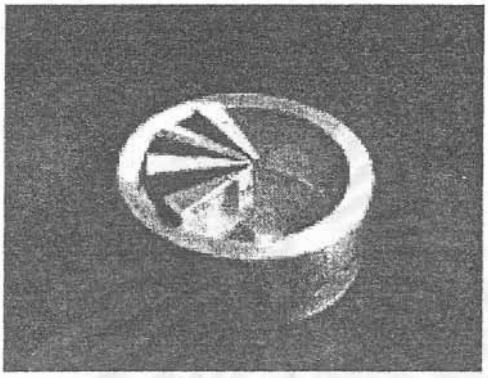
รูปที่ 3.11 ภาพของวัตถุตัวอย่าง A

ตัวอย่าง B เป็นท่ออะลูมินัมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ขอบหนา 3 มม. ภายในบรรจุด้วยแท่งอะลูมินัมรูปทรงกระบอกตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. จำนวน 10 แท่ง จัดเรียงกันดังรูปที่ 3.12



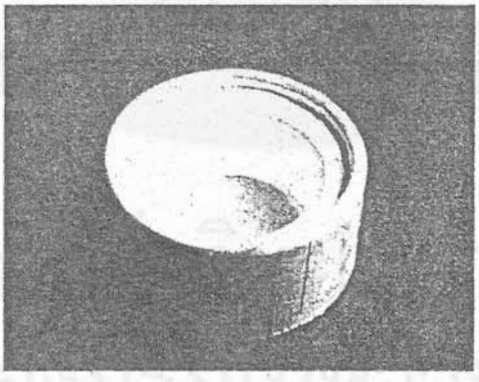
รูปที่ 3.12 ภาพของวัตถุตัวอย่าง B

ตัวอย่าง C เป็นท่ออะลูมินัมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ขอบหนา 5 มม. ภายในบรรจุด้วยแท่งอะลูมินัมรูปทรงสามเหลี่ยมตัน ด้านฐานยาว 5 มม. ด้านข้างยาวด้านละ 20 มม. จำนวน 4 แท่ง จัดเรียงดังรูปที่ 3.13



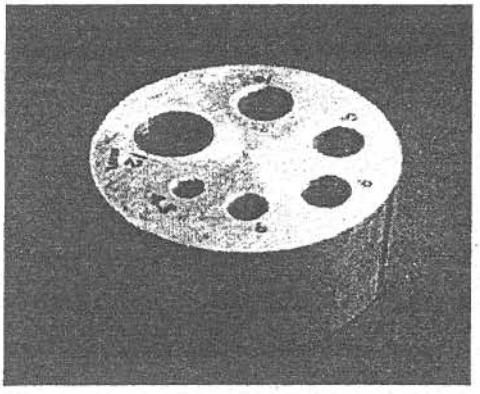
รูปที่ 3.13 ภาพของวัตถุตัวอย่าง C

ตัวอย่าง D เป็นท่ออะลูมินัมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มม. ขอบหนา 3 มม. ที่ผนังภายในฉาบด้วยปูนพลาสเตอร์หนาประมาณ 5 มม. ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.14 ภาพของวัตถุตัวอย่าง D

ตัวอย่าง E เป็นอะลูมินัมรูปทรงกระบอกตัน เจาะเป็นรูขนาดต่าง ๆ กันจำนวน 6 รู ได้แก่ 12, 10, 9, 8, 6 และ 4.5 มม. เรียงกันดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ภาพของวัตถุตัวอย่าง E

3.3.2 การถ่ายภาพรังสีเอกซ์

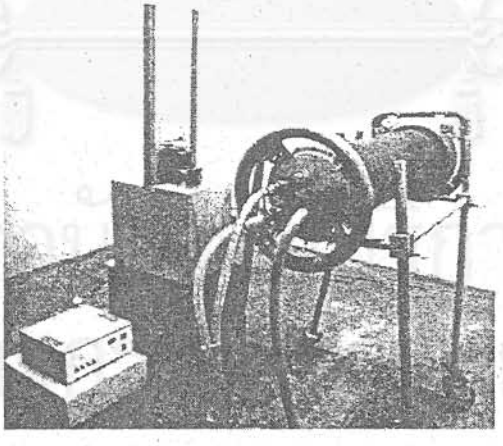
ในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์นั้น มีหลักการพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย ซึ่งหมายถึง ความคมชัด และความแตกต่างระหว่างขาวกับดำที่เหมาะสม ดังต่อไปนี้

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ผลิตพลังงานได้สูงสุด 200 กิโลโวลท์ (kV) และกระแสสูงสุดเท่ากับ 8 มิลลิแอมแปร์ (mA) สามารถตั้งเวลาในการฉายรังสีเอกซ์ได้นาน 12 นาที (min) ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุนั้น จะต้องพิจารณาถึงความหนาของวัตถุ ถ้าวัตถุมีความหนามากก็จะต้องปรับพลังงานของรังสีเอกซ์ให้สูงพอเหมาะ กล่าวคือ จะต้องให้รังสีทะลุผ่านวัตถุไปบางส่วนเพื่อให้ตกกระทบแผ่นฟิล์มเอกซเรย์ และจะมีบางส่วนถูกดูดกลืนในวัตถุโดยภายในวัตถุจะมีความหนาไม่เท่ากัน ส่วนที่หนามากก็จะดูดกลืนรังสีได้มากรังสีก็ทะลุผ่านได้น้อย ส่วนที่บางก็จะดูดกลืนรังสีได้น้อยรังสีก็ทะลุผ่านได้มาก รังสีที่ตกกระทบแผ่นฟิล์มทำให้เกิดความดำบนฟิล์มแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นภาพขึ้นมา โดยวัตถุส่วนที่หนากว่าจะทำให้ฟิล์มดำน้อยกว่าวัตถุส่วนที่บางกว่า ดังนั้นการถ่ายภาพรังสีเอกซ์เพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์ในงานวิจัยนี้จึงออกแบบให้วัตถุวางบนแป้นหมุนซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าของชุดกำบังรังสีเอกซ์ที่ทำด้วยแผ่นตะกั่วหนาเพื่อกั้นไม่ให้รังสีเอกซ์ส่วนที่ไม่ต้องการผ่านไปตกกระทบแผ่นฟิล์ม แต่จะเจาะช่องไว้ขนาด 8 ซม. x 0.8 ซม. ในตำแหน่งด้านหลังวัตถุเพื่อให้รังสีที่ทะลุผ่านวัตถุไปตกกระทบแผ่นฟิล์ม นอกจากพลังงานของรังสีเอกซ์แล้วยังมีตัวแปรอีกสองอย่างที่มีผลอย่างมากต่อความดำบนฟิล์ม ได้แก่ กระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการฉายรังสีเอกซ์ ซึ่งก็คือปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบแผ่นฟิล์มภายในระยะเวลาที่กำหนด มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์-นาที (mA-min)

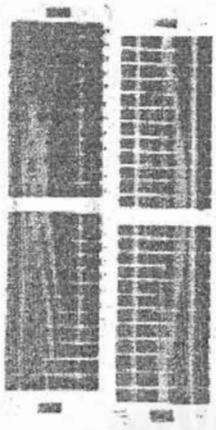
ระยะทาง ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงแผ่นฟิล์มนั้นมีผลต่อความคมชัดของภาพถ่าย ทั้งนี้เพราะว่าจุดโฟกัสของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์มีขนาดโตกว่าที่จะถือว่าเป็นจุดได้ การวางต้นกำเนิดรังสีจะต้องให้มีระยะห่างที่พอเหมาะ ทั้งนี้เพราะว่าถ้าวางห่างจากแผ่นฟิล์มมากเกินไป ปริมาณรังสีที่ตกกระทบแผ่นฟิล์มก็จะน้อยทำให้ต้องใช้เวลาในการฉายรังสีนานขึ้น แต่ถ้าวางไว้ใกล้กันเกินไปภาพถ่ายบนฟิล์มก็จะเบลอ (blur) คือไม่คมชัด ถึงแม้นจะใช้เวลาฉายรังสีสั้นก็ตาม

ฟิล์มเอกซเรย์ ฟิล์มเป็นส่วนที่บันทึกภาพถ่ายรังสีไว้ได้อย่างถาวร ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบอีกข้อหนึ่งของการถ่ายภาพด้วยรังสี เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยวิธีอื่น ๆ ฟิล์มเอกซเรย์ที่ผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้ว เราเรียกว่า "ราดิโอกราฟ (radiograph)" การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ส่วนใหญ่จะใช้แผ่นเปลี่ยนรังสีให้เป็นอิเลกตรอน (converter screen) 2 แผ่น ประกบหน้าและหลังของแผ่นฟิล์ม ทั้งนี้เพื่อช่วยลดเวลาในการฉายรังสีเอกซ์ลง หรือเป็นการเพิ่มความแตกต่างระหว่างขาวกับดำ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น การจัดระบบเพื่อการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ดังที่ได้ออกแบบไว้แสดงในรูปที่ 3.16 และฟิล์มเอกซเรย์ที่ผ่านการล้างฟิล์มมาแล้วแสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งสามารถสังเกตเห็นแถบดำหลาย ๆ แถบ โดยแต่ละแถบก็คือ โพรไฟล์ หรือภาพที่เกิดจากการหมุนวัตถุไปด้วยมุมทีละ 3.6 องศา

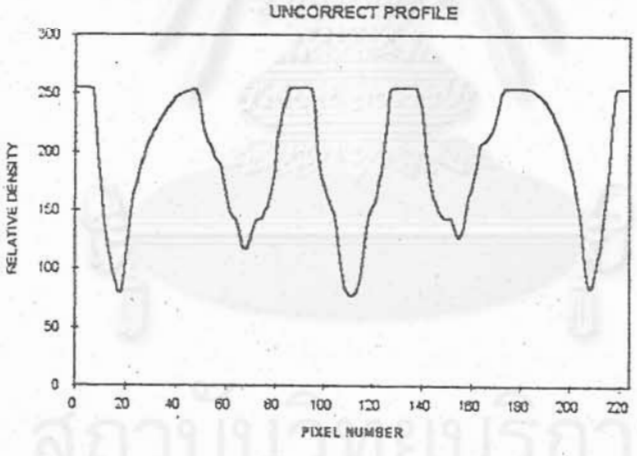


รูปที่ 3.16 ภาพการจัดระบบเพื่อถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์



รูปที่ 3.17 ภาพของฟิล์มเอกซเรย์ที่ได้จากการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

ฟิล์มเอกซเรย์ที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ดังรูปที่ 3.17 เมื่อนำไปอ่านความดำด้วยเครื่องอ่านความดำโดยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น จะได้ข้อมูลโพรไฟล์ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งแกนนอนหมายถึง ระยะความกว้างของวัตถุ ส่วนแกนตั้งหมายถึง ค่าความดำของฟิล์มเอกซเรย์



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างข้อมูลโพรไฟล์ ณ มุมหนึ่งที่อ่านด้วยเครื่องอ่านความดำ

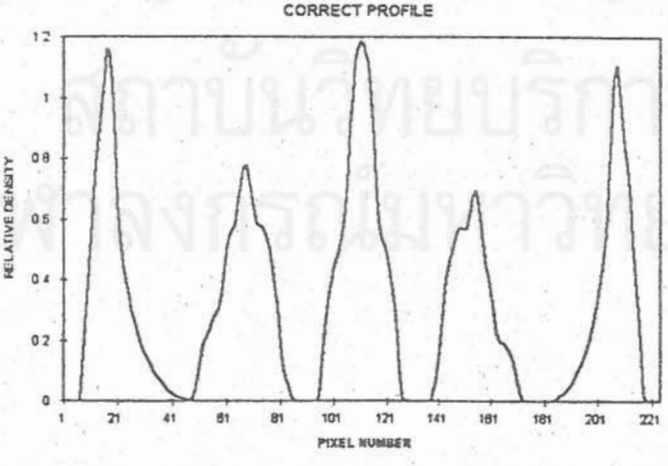
บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการทดลองที่ผ่านมาเป็นการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ รวมทั้งการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฟิล์มบันทึกภาพ เมื่อได้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุที่ออกแบบไว้ตามต้องการแล้ว จากนั้นนำไปอ่านความดำด้วยเครื่องอ่านความดำโดยอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบไมโครคอมพิวเตอร์ ได้ข้อมูลโพรไฟล์แต่ยังไม่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ จะต้องมีการปรับแก้ค่าโพรไฟล์ใหม่เพื่อให้ได้ค่าข้อมูลโพรไฟล์ที่มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ต่อวัตถุเสียก่อนจึงนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

4.1 การปรับแก้ค่าข้อมูลโพรไฟล์ (profile data correction)

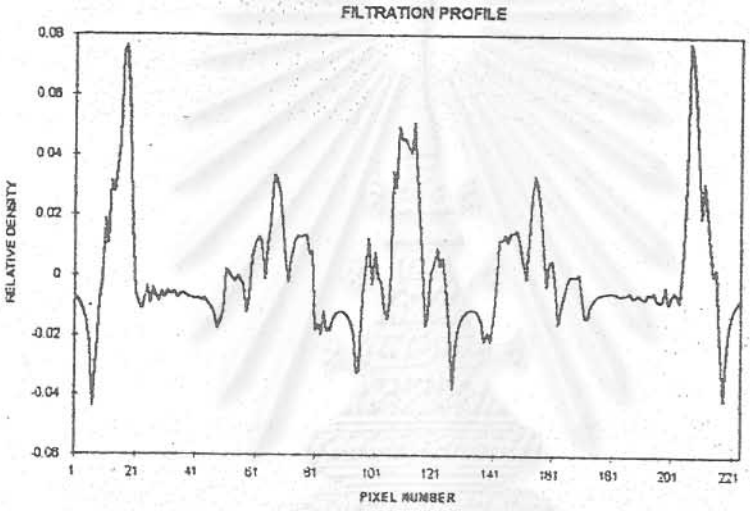
ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ลงบนฟิล์มเอกซเรย์ด้วยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนั้น ฟิล์มเอกซเรย์ที่บรรจุอยู่ภายในตลับอะลูมินัม ซึ่งจะเลื่อนลงโดยมีความสัมพันธ์กับการหมุนของวัตถุในขณะที่ฉายรังสีรังสีเอกซ์ และรังสีเอกซ์บางส่วนจะทะลุผ่านแผ่นตะกั่วกำบังรังสีไปตกกระทบแผ่นฟิล์ม ทำให้ฟิล์มดำเพิ่มขึ้น ซึ่งเราเรียกรังสีส่วนเกินนี้ว่า "รังสีพื้นฐาน (background)" ดังนั้นในการปรับแก้ค่าข้อมูลโพรไฟล์จะต้องวัดค่าความดำบนฟิล์มที่เกิดจากความแรงรังสีพื้นฐาน เพื่อนำมาปรับแก้ค่าข้อมูลโพรไฟล์ดังสมการที่ 2.5 ซึ่งจากรูปที่ 3.18 จะได้ข้อมูลโพรไฟล์ที่ผ่านการปรับแก้ค่าแล้วดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ข้อมูลโพรไฟล์ที่ผ่านการปรับแก้ค่าแล้ว

4.2 การกรองข้อมูลโพรไฟล์ด้วยฟิลเตอร์ ฟังก์ชันของ Shepp-Logan

จากข้อมูลโพรไฟล์ที่ผ่านการปรับแก้ค่าแล้วนั้นจะได้ข้อมูลที่จะต้องนำไปคำนวณด้วยโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เมื่อโปรแกรมอ่านไฟล์ข้อมูลเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำแล้ว ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกคำนวณด้วยสมการการกรองของ Shepp-Logan ด้วยเทคนิคการคอนโวลูชัน ได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่จะคำนวณต่อด้วยวิธีแบคโปรเจกชัน ดังรูปที่ 4.2

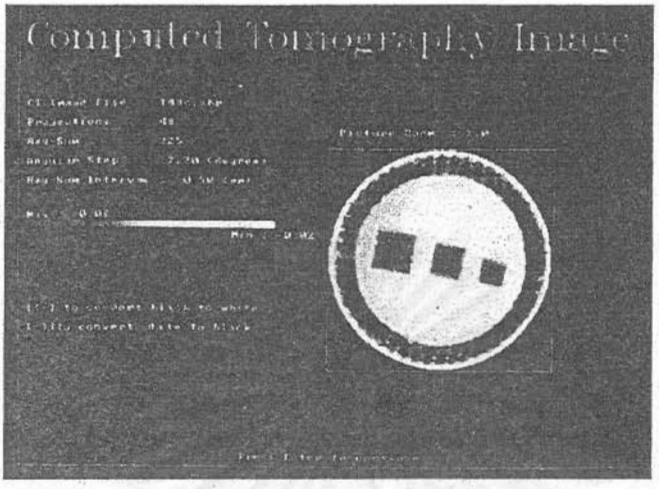


รูปที่ 4.2 ภาพข้อมูลโพรไฟล์ที่ผ่านการกรองด้วยฟิลเตอร์ ฟังก์ชัน ของ Shepp-Logan

4.3 การสร้างภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง

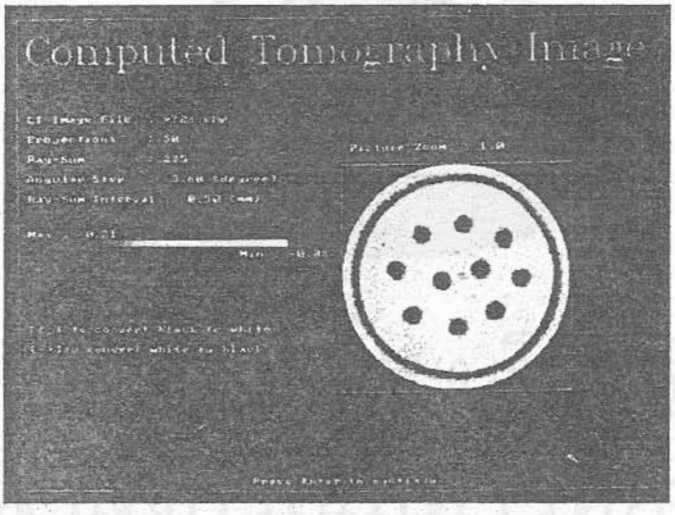
ตามที่ได้ออกแบบวัตถุตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแล้วนั้น ได้ออกแบบวัตถุตัวอย่างเป็น 5 ชนิด ซึ่งเมื่อถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และนำไปอ่านข้อมูลโพรไฟล์แล้วคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ได้ภาพดังต่อไปนี้

4.3.1 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง A แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.3



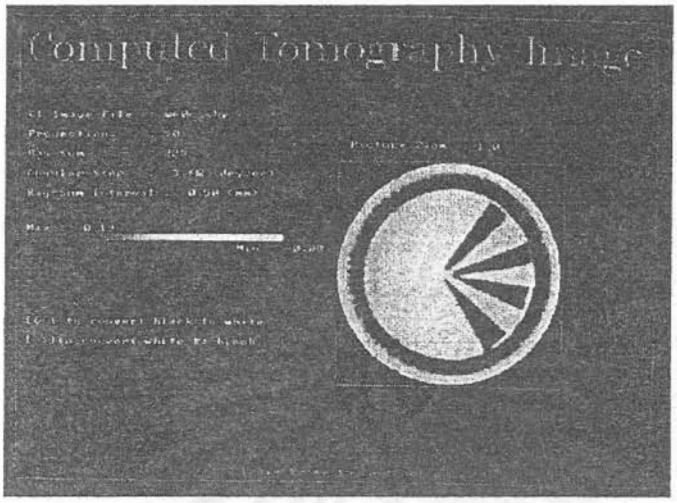
รูปที่ 4.3 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง A

4.3.2 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง B แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.4



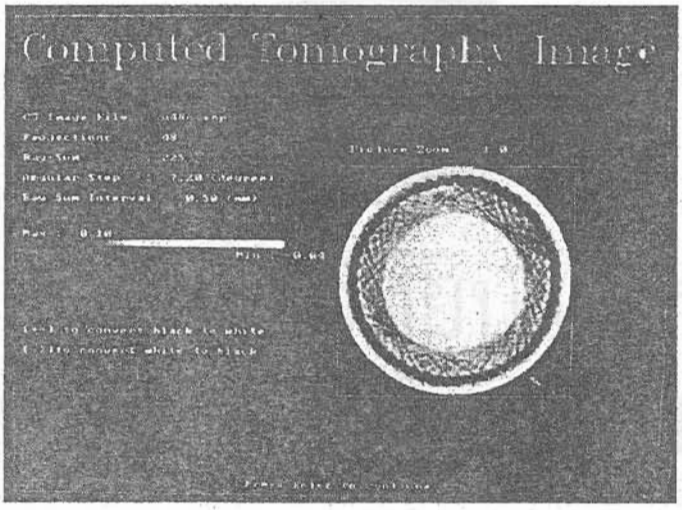
รูปที่ 4.4 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง B

4.3.3 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง C แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.5



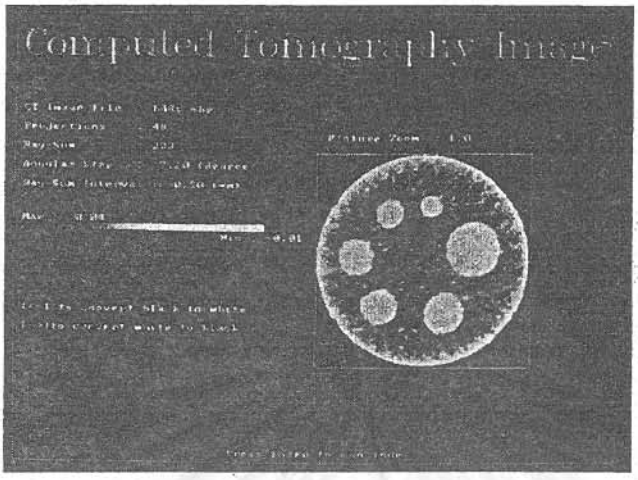
รูปที่ 4.5 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง C

4.3.4 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง D แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง D

4.3.5 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง E แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง E

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถพบได้ว่า การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มนั้นให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งนี้เพราะว่าเป็นเทคนิคที่สามารถให้รายละเอียดของภาพตัดขวางของวัตถุชิ้นงานที่ชัดเจน ถึงแม้ว่าวิธีการเก็บข้อมูลโพรไฟล์ค่อนข้างยุ่งยากอยู่บ้างก็ตาม และการนำข้อมูลโพรไฟล์ไปผ่านกระบวนการคำนวณที่ซับซ้อน โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาให้สามารถแสดงผลภาพออกมา ภาพโทโมกราฟีที่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.3 จนถึงรูปที่ 4.8 นั้นเป็นที่แสดงให้เห็นถึงภาพภายในของวัตถุชิ้นงานโดยสามารถเห็นรายละเอียดของโครงสร้างภายในโดยไม่ต้องทำลายชิ้นงานให้เกิดความเสียหายแต่อย่างใด

จากรูปที่ 4.3 เราสามารถมองเห็นวงแหวนสีดำรอบนอกซึ่งก็คือ ท่ออะลูมินัมรูปทรงกระบอก ภายในเป็นสี่เหลี่ยม 3 ขนาด สีดำ ซึ่งก็คือแท่งอะลูมินัมรูปทรงสี่เหลี่ยมตัน และมีขนาดต่าง ๆ กัน โดยส่วนที่เป็นสีขาวคือ อากาศ ภาพที่ได้มีความคมชัดและให้รายละเอียดที่ดี

จากรูปที่ 4.4 พบว่ามองเห็นภาพตัดขวางของแท่งอะลูมินัมจำนวนทั้งหมด 10 แท่ง ซึ่งมีขนาดเท่ากันหมดโดยถูกล้อมรอบด้วยท่ออะลูมินัม ภาพตัดขวางที่ได้ให้รายละเอียดที่ดี ทั้งนี้เพราะว่าข้อมูลโพรไฟล์ที่เก็บได้นั้นแยกความแตกต่างของส่วนหนาและบางของวัตถุอย่างชัดเจน

จากรูปที่ 4.5 เป็นภาพตัดขวางของวัตถุที่เรียกว่า "Siemens star" ซึ่งสามารถตรวจสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีได้ดี เพราะจะสังเกตุเห็นว่าภายในท่ออะลูมินัม มีแท่งสามเหลี่ยมที่มีปลายแหลม ถ้าภาพมีความคมชัดที่ดีเราจะสามารถมองเห็นความแหลมคมของยอดสามเหลี่ยมได้อย่างชัดเจน แต่ถ้ามองเห็นยอดแหลมไม่ชัดเจนก็แสดงว่าคุณภาพของยังไม่ดีพอ จากภาพตัดขวางที่ได้นี้สามารถมองเห็นยอดแหลมอย่างชัดเจน แสดงว่าคุณภาพของภาพโทโมกราฟีที่ได้ดีพอสมควร

จากรูปที่ 4.6 เป็นภาพตัดขวางของท่ออะลูมินัมที่สามารถมองเห็นปูนพลาสเตอร์ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะความหนาแน่นของอะลูมินัมมีมากกว่าปูนพลาสเตอร์ จึงมองเห็นว่าภาพของท่ออะลูมินัมมีความเข้มมากกว่าภาพของปูนพลาสเตอร์ซึ่งสีจางกว่า

จากรูปที่ 4.7 เราจะมองเห็นส่วนที่เป็นวงกลมสีขาว ซึ่งก็คือรูที่เจาะขนาดต่าง ๆ กัน โดยส่วนที่เป็นสีดำคือ เนื้ออะลูมินัมซึ่งมีความดำไม่ค่อยสม่ำเสมอนัก ทั้งนี้เป็นเพราะข้อมูลโพรไฟล์ที่เก็บได้ แยกความแตกต่างของส่วนที่หนากับบางของแท่งอะลูมินัมไม่ชัดเจน หรือแท่งอะลูมินัมอาจหนาเกินไปสำหรับการปรับพลังงานของรังสีเอกซ์ขณะถ่ายภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยที่ได้ดำเนินการมาตั้งแต่การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ จนกระทั่งทำการทดลองและได้ภาพโทโมกราฟีของวัตถุชิ้นงานออกมา ซึ่งเป็นเทคนิคอีกแบบหนึ่งของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

5.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ออกแบบนั้น สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและมีขนาดกระทัดรัด สะดวกแก่การนำไปใช้ในภาคสนามเพราะมีน้ำหนักเบา ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ชุดกำบังรังสี ได้ออกแบบมาเพื่อใช้ในการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์ ประกอบด้วย แผ่นตะกั่วกำบังรังสีเอกซ์หนาประมาณ 1 ซม. ด้านหน้าและหลังประกบด้วยแผ่นอะลูมินัมหนาด้านละ 1 มม. มีขนาดความสูง 81 ซม. กว้าง 21 ซม. น้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัม ที่ตำแหน่งสูงจากฐาน 30 ซม. เจาะช่องขนาด 8 ซม. x 0.8 ซม. ด้านหน้าติดตั้งแป้นหมุนวัตถุตัวอย่างซึ่งสามารถปรับระดับสูงต่ำได้ ด้านหลังติดตั้งตลับอะลูมินัมขนาด 8.5 ซม. x 30.5 ซม. ซึ่งภายในบรรจุฟิล์มเอกซเรย์ การหมุนของแป้นหมุนและการเลื่อนขึ้นลงของตลับบรรจุฟิล์มนั้น ควบคุมด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์

ชุดควบคุมด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ ออกแบบเป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมทำด้วยแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 21 ซม. ยาว 25 ซม. และหนา 10 ซม. มีน้ำหนักประมาณ 4 กิโลกรัม ภายในประกอบด้วยแผงวงจรอิเล็กทรอนิค และไมโครโปรเซสเซอร์ชิฟ (microprocessor chip) ระบบนี้ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ 2 ตัว คือ ควบคุมการหมุนของแป้นหมุนวัตถุตัวอย่าง และควบคุมการเลื่อนขึ้นลงของตลับบรรจุฟิล์ม ซึ่งทั้งสองอย่างนี้จะทำงานสัมพันธ์กันโดยเริ่มจากการเปิดเครื่องด้วยสวิทเปิด-ปิดแล้วกดปุ่มทดสอบการหมุนซ้าย-ขวาของแป้นหมุน ตั้งเวลาการเลื่อนลงของตลับฟิล์มแล้วกดปุ่ม <exit> ซึ่งทำให้ตลับฟิล์มเลื่อนขึ้นไปยังจุดสูงสุด จากนั้นกดปุ่ม

เริ่มต้น (start) ตลับฟิล์มจะเลื่อนลงมายังตำแหน่งเริ่มต้นของการถ่ายภาพ ขณะเดียวกันแป้นหมุนก็จะหมุนวัตถุตัวอย่างไปด้วยหมุน 3.6 องศา แต่เพื่อความปลอดภัยจากรังสีเอกซ์ได้ต่อสายยาวปุ่มเริ่มต้น ให้สามารถกดได้ที่ระยะห่างจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ สำหรับในการทดลองนี้ได้ออกแบบให้ผู้ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์กดปุ่มเริ่มต้นอยู่ด้านนอกของห้องเอกซเรย์ โดยจัดให้ชุดกำบังรังสีทั้งหมดอยู่ภายในห้องเอกซเรย์ ระยะเวลาของการเลื่อนลงของตลับฟิล์มขึ้นอยู่กับการตั้งเวลาบนชุดควบคุม และการเลื่อนลงของตลับฟิล์มหนึ่งครั้งวัตถุก็จะหมุนไปหนึ่งครั้ง จนครบ 26 ครั้ง ก็จะได้ภาพเอกซเรย์จำนวน 26 ภาพต่อแผ่นฟิล์มหนึ่งแผ่น เมื่อนำแผ่นฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้วจากนั้นจึงนำไปอ่านข้อมูลความดำด้วยเครื่องอ่านความดำโดยอัตโนมัติ

เครื่องอ่านความดำโดยอัตโนมัติ การอ่านความดำบนฟิล์มอาศัยหลักการทะลุผ่านของแสง ซึ่งถ้าฟิล์มดำมากแสงก็ผ่านได้น้อย และถ้าฟิล์มดำน้อยหรือจาง แสงก็จะผ่านได้มาก ดังนั้นเครื่องอ่านความดำที่ได้ออกแบบนี้ จึงนำเอาเครื่องอ่านความดำของฟิล์มหรือที่เรียกว่า "เดนซิโตมิเตอร์ (densitometer)" มาพัฒนาให้สามารถอ่านความดำบนแผ่นฟิล์มได้โดยอัตโนมัติ โดยออกแบบให้เครื่องอ่านความดำติดตั้งอยู่คนละด้านกับต้นกำเนิดแสงบนชุดเลื่อนแผ่นฟิล์ม ซึ่งแผ่นฟิล์มจะอยู่ระหว่างกลาง เมื่อลำแสงจากด้านล่างทะลุผ่านฟิล์มไปสู่ช่องรับแสงของเครื่องอ่านความดำก็จะได้ค่าความดำซึ่งเป็นผลจากค่าลอก (log) ของอัตราส่วนของแสงหลังผ่านและก่อนผ่านฟิล์ม ทำให้ค่าความดำไม่มีหน่วย แผ่นฟิล์มจะถูกควบคุมให้เลื่อนทั้งแนวแกน x และแนวแกน y ค่าของความดำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (digital) และส่งไปที่ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งได้สร้างแผงวงจรเชื่อมโยงรับข้อมูลแล้วแสดงผลข้อมูลโพรไฟล์บนจอมอนิเตอร์ทันทีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่ออ่านข้อมูลโพรไฟล์ครบทั้งชุดแล้ว จากนั้นจึงนำข้อมูลโพรไฟล์ไปผ่านกระบวนการปรับแก้ค่า แล้วจึงนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

5.1.2 โปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

โปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถใช้รันบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM รุ่น 80486 DX จอภาพสี VGA ขึ้นไป โดยมีการจำกัดขนาดของข้อมูลโพรไฟล์ซึ่งจะต้องไม่เกิน 60 โพรไฟล์ และไม่เกิน 256 เรย์ซัม แต่ก็นับว่ามีขีดความสามารถในการคำนวณข้อมูลที่มีขนาดใหญ่เพียงพอแล้ว และเนื่องจากพัฒนาด้วยภาษาซี จึงทำให้การคำนวณใช้เวลาน้อย และแสดงผลภาพได้อย่างรวดเร็วและมีความละเอียดสูง สำหรับข้อมูลโพรไฟล์นั้นจะต้องเป็นข้อมูลชนิดข้อมูลแอสกี (ASCII) โดยส่วนหัวจะต้องกำกับด้วยชื่อข้อมูลโพรไฟล์ (Source File) จำนวนโพรไฟล์ (Number of profile) จำนวนเรย์ซัม (Number of ray-sum) ระยะของ

เรย์ซัม (Ray-sum interval) และมุมที่หมุนเปลี่ยนไป (Angular Step) แล้วต่อด้วยข้อมูลโพรไฟล์ ส่วนไฟล์ผลการคำนวณ (Target File) จะถูกบันทึกเก็บไว้ทันทีหลังจากการคำนวณสิ้นสุด และสามารถเรียกกลับไปแสดงภาพในภายหลังได้โดยไม่ต้องคำนวณใหม่ โดยขนาดของไฟล์ผลการคำนวณจะใช้เนื้อที่มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของเรย์ซัม ทั้งนี้เพราะภาพโทโมกราฟีที่แสดงนั้นจะแสดงเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนจอมอนิเตอร์ซึ่งแต่ละด้านยาวเท่ากับจำนวนเรย์ซัม ดังนั้นถ้าจำนวนเรย์ซัมมากขนาดข้อมูลที่ใช้ก็จะมากตามไปด้วย ในทางตรงกันข้ามถ้าจำนวนเรย์ซัมน้อยขนาดข้อมูลที่ใช้ก็จะน้อยเช่นกัน

5.1.3 การทดลองสร้างภาพโทโมกราฟี

ในการทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีของทั้งวัตถุตัวอย่างที่สร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบความถูกต้องกับชิ้นงานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้น ปรากฏว่าสามารถแสดงภาพโทโมกราฟีที่ให้ละเอียดและความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับของจริง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นวัตถุที่ต้องการตรวจสอบจะต้องมีขนาดจำกัดตามที่ได้ออกแบบไว้ ตลอดทั้งต้องเลือกวัตถุที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงที่พลังงานของรังสีเอกซ์สามารถทะลุผ่านได้อย่างพอเหมาะเพื่อให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่มีความคมชัดและให้รายละเอียดสูง ดังนั้นคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าวส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งคือการเลือกวิธีการคำนวณที่เหมาะสม รวมทั้งการเลือกใช้ฟิลเตอร์ ฟังก์ชัน ซึ่งจากการเลือกใช้วิธีการคำนวณแบบ คอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน และใช้ฟิลเตอร์ ฟังก์ชัน ของ Shepp-Logan นั้นให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการตรวจแบบไม่ทำลายโดยวิธีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มนั้น เป็นเทคนิคใหม่สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งการออกแบบชุดเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูลโพรไฟล์นั้นยังต้องมีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะคุณภาพของภาพโทโมกราฟีย่อมขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพเอกซเรย์ของวัตถุชิ้นงานบนฟิล์มเอกซเรย์ ดังนั้นจึงขอเสนอแนะวิธีการปรับปรุงงานวิจัยดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรพัฒนาและปรับปรุงชุดกำบังรังสีเอกซ์เพื่อใช้ในการถ่ายภาพเอกซเรย์ให้สามารถใช้ถ่ายภาพเอกซเรย์ของวัตถุชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจจะออกแบบให้ใช้กับฟิล์มเอกซเรย์ที่มีขนาดกว้างขึ้นและแผ่นตะกั่วกำบังรังสีก็กว้างขึ้น เพื่อให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวางขึ้น

5.2.2 การถ่ายภาพเอกซเรย์ของวัตถุชิ้นงานแต่ละโพรไฟล์ ไม่ควรให้รังสีเอกซ์ไปรบกวนต่อฟิล์มเอกซเรย์ในส่วนที่ไม่ต้องการถ่าย กล่าวคือ ในขณะฉายรังสีเอกซ์ไปยังวัตถุชิ้นงานที่โพรไฟล์หนึ่งโดยขณะที่จะเปลี่ยนไปอีกโพรไฟล์หนึ่งตลับฟิล์มจะเลื่อนลง 1 ซม. จากนั้นวัตถุชิ้นงานจึงจะหมุนไปด้วยมุม 3.6 องศา ทำให้เกิดภาพเอกซเรย์ของโพรไฟล์เก่าในโพรไฟล์ใหม่ ถึงแม้ว่าระยะเวลาในการทำให้เกิดภาพดังกล่าวบนฟิล์มจะสั้นก็ตาม แต่ก็อาจมีผลต่อความคมชัดของภาพถ่ายเอกซเรย์บ้างเล็กน้อย เพื่อตัดปัญหาที่จะเกิดขึ้นควรมีแผ่นตะกั่วที่หนาเพียงพอต่อการกำบังรังสีเอกซ์ไม่ให้ตกกระทบแผ่นฟิล์มในบริเวณดังกล่าวระหว่างการเปลี่ยนโพรไฟล์ โดยทำเป็นชัทเตอร์ (shutter) เพื่อเปิด-ปิด ณ ตำแหน่งช่องสี่เหลี่ยมที่เจาะให้ลำรังสีเอกซ์ซึ่งทะลุผ่านวัตถุชิ้นงานไปตกกระทบฟิล์มเอกซเรย์ โดยชัทเตอร์จะปิดขณะตลับฟิล์มเลื่อนลงและเปิดเมื่อตลับฟิล์มหยุดนิ่ง

5.2.3 ควรปรับปรุงเครื่องอ่านความดำโดยอัตโนมัติให้สามารถอ่านข้อมูลโพรไฟล์ด้วยหัวอ่านที่มีลักษณะเรียงกันเป็นแถวยาวและมีระยะห่างระหว่างเรย์ซัมน้อย ๆ ทั้งนี้เพื่อจะได้อ่านความดำจากแต่ละโพรไฟล์เพียงครั้งเดียวโดยไม่ต้องสแกนอ่านทีละจุดทำให้ใช้เวลาในการอ่านข้อมูลโพรไฟล์เร็วขึ้นและให้รายละเอียดดีขึ้นอีกด้วย สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลโพรไฟล์ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ให้รายละเอียดดียิ่งขึ้น

5.2.4 สำหรับโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ควรพัฒนาให้สามารถคำนวณข้อมูลโพรไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและใช้เวลาในการคำนวณน้อยลง ตลอดทั้งภาพโทโมกราฟีที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ก็ควรปรับปรุงให้สามารถเลือกปรับช่วงข้อมูลภาพได้ ทั้งนี้เพราะว่าการแสดงภาพโทโมกราฟีนั้น ได้มีการแบ่งช่วงของข้อมูลภาพออกเป็นหลายช่วง เช่น แบ่ง 64 ช่วงจากน้อยไปมากให้เท่ากับระดับสี 64 ระดับ จากดำไปถึงขาว โดยแบ่งจากช่วงค่าข้อมูลภาพสูงสุด (maximum CT value) ไปถึงช่วงค่าข้อมูลภาพต่ำสุด (minimum CT value) ดังนั้นการปรับช่วงของค่าข้อมูลภาพจึงควรที่จะให้ผู้ใช้สามารถเลือกค่าข้อมูลภาพสูงสุดและต่ำสุดได้ จะทำให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่ให้รายละเอียดตามที่ต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

1. T SUMITRA, S SRISATIT, A PATTARASUMUNT, N CHANKOW and M WANNAPRAPA, "A Moblie Computed Tomography Unit for Inspecting Reinforced Concrete columns", 9th Pacific Basin Nuclear Conferece, Sydney, Australia, 1-6 May 1994.

2. P WELLS, J R DAVIS, M J MORGAN, S S SOM, J GRANT, N BENCL and D S SKERRET, "Industrial Non-destructive Testing and Evaluation Using X-ray and Gamma-ray Computed Tomography", 9th Pacific Basin Nuclear Conferece, Sydney, Australia, 1-6 May 1994.

3. Collected paper of research activities on neutron radiography in Japan, Research Reactor Institue, Kyoto University, 1990.

4. Anil K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall. Inc., 1989.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย