

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติในงานอุตสาหกรรม



นายวัชร สุขคะ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

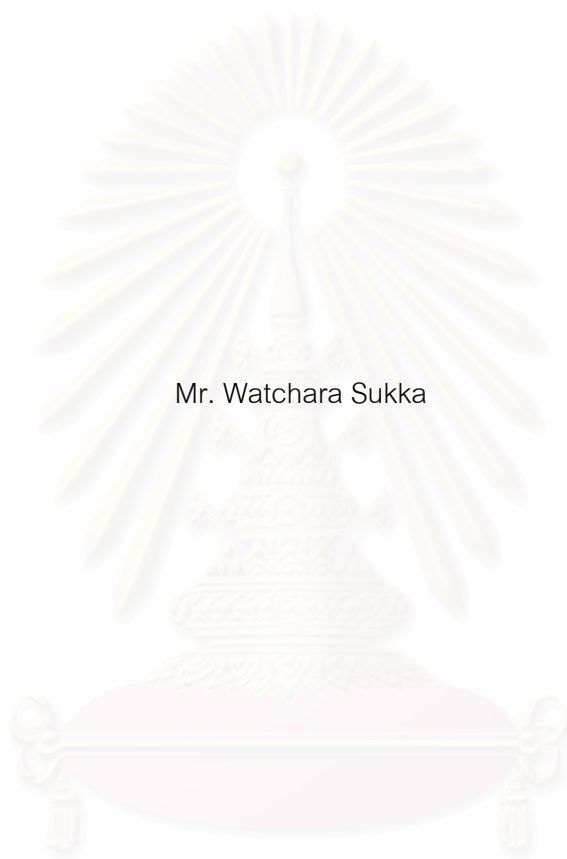
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1609-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF THREE DIMENSIONAL INDUSTRIAL COMPUTED TOMOGRAPHY PROGRAM



Mr. Watchara Sukka

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1609-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติในงานอุตสาหกรรม
โดย	นายวัชร สุขคะ
สาขาวิชา	นิเวศวิทยเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์เนเรศร์ จันทร์ขาว)

วัชร สุขคะ : การพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติในงานอุตสาหกรรม. (DEVELOPMENT OF THREE DIMENSIONAL INDUSTRIAL COMPUTED TOMOGRAPHY PROGRAM) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.สมยศ ศรีสถิตย์ 75หน้า. ISBN 974-53-1609-1.

โปรแกรมสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติในงานอุตสาหกรรม ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะเก็บบันทึกภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างที่มุมต่างๆ ในรูปไฟล์วิดีโอแบบ AVI ลงบนฮาร์ดดิสก์ จากนั้นจะแปลงข้อมูลภาพในบริเวณที่เลือกให้เป็นข้อมูลโปรไฟล์เชิงตัวเลข จากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกคำนวณสร้างภาพ และแสดงภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์

สำหรับการทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ชิ้นงานที่ออกแบบขึ้น และชิ้นงานอุตสาหกรรมบางชนิด พบว่าโปรแกรมสามารถแสดงภาพโทโมกราฟีสามมิติของชิ้นงานดังกล่าวได้ด้วยคุณภาพที่น่าพอใจ โดยสามารถเปลี่ยนมุมมอง และเลือกแสดงผลในช่วงเลขซีทีต่างๆ ได้ตามต้องการ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4470527421 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: THREE DIMENSION / COMPUTED TOMOGRAPHY / VOLUME RENDER / PROGRAM

WATCHARA SUKKA : DEVELOPMENT OF THREE DIMENSIONAL INDUSTRIAL  
COMPUTED TOMOGRAPHY PROGRAM. THESIS ADVISOR : ASST.  
PROF.ATTAPORN PATTARASUMUNT, THESIS COADVISOR : ASSOC.  
PROF.SOMYOT SRISATIT, 75 pp. ISBN 974-53-1609-1.

Three dimensional industrial computed tomography program was developed for non-destructive testing purpose. The developed program collected X-ray radiographic image at various angles and saved onto a harddisk in the AVI video file format, the selected region of the saved images then converted into digital profile data. All data were then reconstructed and displayed in three dimensional radiographic image on microcomputer display.

For the reliability test of the program using some designed and industrial specimens was found that the developed program could display three dimensional computed tomography images with satisfactory quality and was able to change the view point and was able to choose the CT number ranges.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้เขียนจึงขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำตลอดมาทั้งด้านงานวิจัย และขั้นตอนการเขียนวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ ที่ให้คำปรึกษาทางด้านโปรแกรม และอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ขับสตีปิงมอเตอร์ สำหรับหมุนชิ้นงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่อำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีจากกล้องวีดิทัศน์ นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณต่อคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ แนวคิดในการแก้ปัญหา ให้แก่ข้าพเจ้าในการทำงานวิจัย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อทุนในการสนับสนุนงานวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีทุกท่าน ที่ให้กำลังใจ กำลังใจ และคำแนะนำดีๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะไม่สามารรถสำเร็จได้ ถ้าปราศจาก บิดา และมารดา ของข้าพเจ้าที่ให้ความรัก และสนับสนุนทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้าอย่างดีเสมอมา ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณ และแสดงความกตัญญูมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 แนวคิดและทฤษฎี.....	5
2.1 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....	5
2.2 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	17
3 ระบบเก็บข้อมูล และ โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	27
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.2 การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโม กราฟีโดยใช้ระบบ โทรทัศน์.....	27
3.3 การพัฒนาโปรแกรมเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโม กราฟี .....	31
4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรม และผลการทดสอบ.....	48
4.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบ.....	48
4.2 การทดสอบการเปลี่ยนมุมมองของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	53
4.3 การทดสอบการปรับค่าความทึบแสงของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	56
4.4 การทดสอบการปรับสีของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	66
4.5 การทดสอบสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติของชิ้นงานอุตสาหกรรมบางชนิด....	67

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการวิจัย วิเคราะห์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	70
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	70
5.2 วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	71
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	72



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ณ

ตาราง	หน้า
4.1 แสดงภาพของเลขชี้กำลังที่กำหนดให้ไปรงใส.....	57
4.2 แสดงภาพของวัตถุ B ในค่าความทึบแสงช่วงต่างๆ.....	64



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญภาพ

ญ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 แสดงลักษณะการแสดกนเก็บข้อมูลในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....	6
2.2 ภาพถ่ายด้วยรังสีโดยใช้ระบบโทรทศน์พร้อมทั้งตัวอย่างข้อมูลโปรเจกชัน.....	8
2.3 ภาพถ่ายด้วยรังสีขณะไม่มีชิ้นงานทดสอบและตัวอย่างข้อมูลโปรไฟล์.....	8
2.4 ภาพ dark current พร้อมทั้งตัวอย่างข้อมูลของ dark current.....	9
2.5 ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากการปรับแก้ค่าด้วยวิธี Shading correction.....	9
2.6 แผนภาพการสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีแบ็กโปรเจกชัน.....	10
2.7 แผนภาพการแปลงฟูเรียร์ 1 มิติของฟังก์ชันภาพฉาย เทียบกับการแปลงฟูเรียร์ 2 มิติของฟังก์ชันเดิมตามแนวภาพฉายที่ตัดผ่านจุดกำเนิด.....	13
2.8 แสดงผลตอบสนองความถี่ และทางเวลาของ.....	15
2.9 แผนภาพการสร้างภาพด้วยวิธีแบ็กโปรเจกชันหลังจากนำข้อมูลโปรไฟล์มาผ่านการคำนวณด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชัน.....	16
2.10 แผนภาพการสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติโดยนำภาพโทโมกราฟีมาเรียงซ้อนกัน.....	17
2.11 แผนภาพแสดงพิกัดที่ใช้ในระหว่างการเรนเดอร์ปริมาตร.....	18
2.12 แผนผังไปป์ไลน์ของการเรนเดอร์.....	18
2.13 แผนภาพแสดงการคำนวณค่า $c_{\lambda}(X_{\lambda})$ และ $\alpha(X_{\lambda})$ โดยใช้โครลิเนียร์อินเทอโปลเลชัน.....	19
2.14 แผนภาพการสะท้อนแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงด้วยมุมตกกระทบต่างกัน.....	21
2.15 แผนภาพปริมาณการสะท้อนแสงแบบสเปคตรัม.....	21
2.16 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงแบบสเปคตรัมเมื่อค่า n มีค่าจากน้อยไปมาก.....	22
2.17 แสดงกราฟการคำนวณค่าความทึบแสงจากโครงสร้างของพื้นผิวที่มีค่าเดียวกัน.....	24
2.18 แสดงกราฟการคำนวณค่าความทึบแสงจากการกำหนดขอบเขตพื้นผิว.....	26
3.1 ระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทศน์.....	28
3.2 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม.....	29
3.3 แผนภาพระบบหมุนวัตถุตัวอย่าง.....	30
3.4 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์.....	31
3.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมเก็บข้อมูล และคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	32
3.6 แผนผังการติดต่อกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณผ่านชุดคำสั่งของ VFW.....	33
3.7 ขั้นตอนการทำงานขณะเริ่มเข้าสู่หน้าต่างหลัก.....	34
3.8 แผนผังการเก็บข้อมูลไฟล์ชนิด AVI.....	35
3.9 แผนผังการทำงานของไลบรารี Inpout32.dll.....	36

ภาพประกอบ	หน้า
3.10 แผนผังการแปลงไฟล์วีดิโอชนิด AVI เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขในการคำนวณสร้างภาพ.....	37
3.11 แสดงผังการปรับแก้ข้อมูลด้วยวิธี Shading correction.....	38
3.12 แผนผังการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	39
3.13 หน้าต่างโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	40
3.14 แผนภาพแสดงรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมผ่านไลบรารี VTK.....	40
3.15 แผนผังแสดงการใช้งานไลบรารี VTK ในการเรนเดอร์เชิงปริมาตร.....	41
3.16 แผนผังการทำงานในการแสดงผลการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	42
3.17 แผนผังการหมุนวัตถุ 3 มิติในโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ.....	43
3.18 หน้าต่างสำหรับตั้งค่าความทึบแสงของแต่ละเลขซีที.....	44
3.19 แผนผังการตั้งค่าความทึบแสงในแต่ละเลขซีที.....	45
3.20 หน้าต่างสำหรับตั้งค่าสีของแต่ละเลขซีที.....	46
3.21 หน้าต่างสำหรับเลือกสีสำหรับค่าซีทีที่เลือกไว้.....	46
3.22 แผนผังการตั้งค่าสีในแต่ละเลขซีที.....	47
4.1 แผนภาพ และภาพถ่ายของชิ้นงาน A.....	48
4.2 ภาพ 3 มิติของชิ้นงาน A.....	49
4.3 แผนภาพ และภาพถ่ายของชิ้นงาน B.....	50
4.4 ภาพ 3 มิติของชิ้นงาน B.....	51
4.5 แผนภาพ และภาพถ่ายของชิ้นงาน C.....	52
4.6 ภาพ 3 มิติของชิ้นงาน C.....	53
4.7 แสดงมุมมองต่างๆ ของชิ้นงาน A เมื่อหมุนไปทางขวามือครั้งละ 60 องศา.....	54
4.8 แสดงมุมมองต่างๆ ของชิ้นงาน A เมื่อหมุนขึ้นครั้งละ 90 องศา.....	55
4.9 ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน C ก่อนและหลังการปรับค่าสี.....	67
4.10 กระบอกลูกสูบที่ใช้เป็นวัตถุการทดลองสร้างภาพ 3 มิติ.....	67
4.11 ภาพโทโมกราฟี 3 มิติของกระบอกสูบรถจักรยานยนต์.....	68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี (Computed Tomography, CT) เป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายตัวอย่าง (Nondestructive Testing, NDT) วิธีหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในทางการแพทย์ และในทางอุตสาหกรรม โดยจะทำการตรวจวัดรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุที่ตำแหน่งมุมต่าง ๆ รอบวัตถุ แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีซึ่งจะได้ข้อมูลเชิงตัวเลขออกมา จากนั้นแทนข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยเฉดสีเทาที่ต่างกัน ผลจากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะได้ภาพตัดขวางของวัตถุ แต่การสร้างภาพโทโมกราฟียังมีข้อจำกัดอยู่คือ ภาพที่ได้เป็นเพียงภาพตัดขวาง เท่านั้นในงานบางลักษณะที่ต้องการตรวจสอบวัตถุทั้งชิ้น โดยมองในรูปของปริมาตรยังไม่สามารถทำได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ โดยการนำภาพโทโมกราฟีในแต่ละระนาบมาเรียงซ้อนกัน และเชื่อมแต่ละระนาบเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นรูปของปริมาตรของวัตถุ ซึ่งภาพที่ได้จะทำให้มองเห็นภาพโดยรวมของวัตถุได้ดีกว่าภาพในระนาบเดียว

ปัญหาของการสร้างภาพโทโมกราฟีทั้งในแบบ 2 มิติ และแบบ 3 มิติ คือขั้นตอนการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณสร้างภาพ เนื่องจากจะต้องทำการเก็บข้อมูลของรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุในแนวระนาบที่มุมต่าง ๆ โดยในกรณีของภาพแบบ 2 มิติ การที่จะได้ภาพคุณภาพดีต้องให้ระยะห่างระหว่างจุดบนระนาบ และมุมที่เคลื่อนมีค่าน้อย ๆ ส่วนในกรณีของภาพในแบบ 3 มิติ ยังต้องคำนึงถึงระยะห่างระหว่างระนาบที่รังสีผ่านวัตถุด้วย ซึ่งทำให้ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเป็นเวลานานจากระบบเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทรมอสโคกราฟีสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ทางภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีพัฒนาขึ้น<sup>[1]</sup> โดยใช้ฉากเรืองรังสี (Fluorescent Screen) เป็นอุปกรณ์รับภาพที่เกิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แล้วใช้กล้องโทรมอสโคกราฟีต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อแปลงข้อมูลภาพในแต่ละจุด ณ ตำแหน่งที่เลือกเพื่อสร้างภาพโทโมกราฟีให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถเก็บข้อมูลของวัตถุตัวอย่างที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว และยังสามารถ นำข้อมูลดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติได้ โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลน้อย จึงได้มีแนวความคิดในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ ขึ้นมา โดยโปรแกรมจะทำงานบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์

และใช้ภาษา C++ ในการพัฒนาโปรแกรม นอกจากนี้ยังใช้งานร่วมกับไลบรารีที่มีผู้พัฒนาไว้แล้ว ได้แก่ VTK (Visualization Toolkit) ซึ่งเป็นกลุ่มฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลในงาน 3 มิติที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยโปรแกรมที่ได้จะสามารถคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ จากข้อมูลที่เก็บมาได้จากเทคนิคดังกล่าว

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาโปรแกรมสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติสำหรับงานอุตสาหกรรม บนไมโครคอมพิวเตอร์ ภายใต้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติสำหรับงานอุตสาหกรรม บนไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษา C++
2. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการเลือกแสดงส่วนที่ต้องการ และเปลี่ยนมุมมองได้
3. ทดสอบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ด้วยเทคนิคโทมัทสัน จากตัวอย่างที่ออกแบบ และตัวอย่างในงานอุตสาหกรรมบางชนิด

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติ
2. พัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติ
3. ออกแบบชิ้นงานทดสอบ และเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคโทมัทสัน เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
4. ทดสอบและปรับปรุงโปรแกรมเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้โปรแกรมสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบสามมิติสำหรับงานอุตสาหกรรมซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบ โดยไม่ทำลายได้อย่างสะดวก และมีประสิทธิภาพ

## 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วีระวัฒน์ ประกอบผล (2536) พัฒนาระบบเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทมัทสันสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยอาศัยการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และใช้กล้องโทมัทสันถ่ายภาพของวัตถุที่มุมต่าง ๆ จากฉากเรืองรังสีแล้วทำการบันทึกลงแถบวีดิทัศน์ จากนั้นนำไปแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำงานร่วมกับวงจรแปลงสัญญาณภาพ โดยสามารถเลือกสร้างภาพโทโมกราฟีที่ตำแหน่งใด ๆ ของวัตถุได้ โดยระบบนี้สามารถใช้ได้กับวัตถุตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 1000 กรัม และเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 ซม.

2. เริงชาย สร้อยเพชร (2540) ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาซอฟต์แวร์คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ เป็นการพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้เทคนิคคอนโวลูชันแบ็กโปรเจกชัน (Convolution Backprojection) โดยนำข้อมูลโปรไฟล์มาจากการแปลงข้อมูลภาพจากเทคนิคโทมัทสันให้เป็นภาพแบบ PCX แล้วใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นอ่านค่าออกมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

3. A.V. Bronnikov และ D. Killian (2542) ทำการวิจัยเรื่อง 3D Tomography of Turbine Blades โดยสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติของใบพัดกังหันที่ใช้เครื่องกำเนิดพลังงาน โดยระบบการจัดเก็บข้อมูลโปรไฟล์จะใช้หลอดรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัส (microfocus X-ray tube) เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ และใช้ image intensifier เชื่อมต่อกับกล้อง CDD เป็นส่วนวัดรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านวัตถุออกมา ซึ่งภาพที่ได้สามารถเห็นรอยบกพร่องของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

4. M. Simon และ C. Sauerwein (2543) ทำการวิจัยเรื่อง Quality control of Light Metal Castings by 3D Computed Tomography โดยพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานอุตสาหกรรม โดยนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ออกแบบโดยโปรแกรมประเภท CAD เพื่อหาความบกพร่องของรูปทรง และสิ่งเจือปนภายในชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ นอกจากนี้ยังสามารถวาดภาพของชิ้นงานที่ต้องการ โดยไม่ต้องไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรม CAD ในการออกแบบใหม่

5. M. Rossi, F. Casali และ D. Romani (2543) วิจัยเรื่อง Investigation of Small Egyptian Mummies by 3D Computed Tomography โดยเป็นการร่วมมือระหว่าง มหาวิทยาลัย Bologna กับพิพิธภัณฑ์ทางโบราณคดี Bologna ในประเทศอิตาลีทำการศึกษา ชนิดของวัสดุ โครงสร้าง และเทคโนโลยีที่ใช้ ในการสร้างวัตถุโบราณของชาวอียิปต์ 3500 ปี ซึ่งใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีแบบดิจิทัล (Digital Radiography, DR) ร่วมกับการสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ โดยใช้หลอดไมโครโฟกัสเอกซเรย์ 200 KVP เป็นต้นกำเนิดรังสีเป็นลักษณะรูปกรวย ผ่านวัตถุ และตกกระทบบนแผ่น  $Gd_2O_2S$   $40 \times 30$  ซม<sup>2</sup> เพื่อแปลงรังสีเป็นแสง จากนั้นจะใช้กล้อง EBCCD (Electron Bombarded Charge Coupled Device) ความละเอียด 1024x512 พิกเซล 24 บิต ทำหน้าที่เป็นเครื่องตรวจวัดรังสีแบบ 2 มิติแปลงข้อมูลเพื่อเข้าสู่คอมพิวเตอร์

6. ประสิทธิ์ สิริทิพย์ศรี (2544) พัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรม สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรศัพท์ โดยเป็นการอาศัยการเฉลี่ยกันของ ข้อมูลหลายๆ จำนวนที่จุดภาพ และโปรเจกชันเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งทำให้ภาพ โทโมกราฟีที่ได้ออกมา มีค่า pixel noise ลดลง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎี

#### 2.1 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเป็นวิธีตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่แสดงผลออกมาเป็นภาพตัดขวางของวัตถุในระนาบสองมิติ โดยแต่ละจุดของภาพจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (linear attenuation coefficient)<sup>[2]</sup> ของวัตถุนั้น ดังนั้นการเข้าใจในหลักการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะต้องเข้าใจลักษณะของการลดทอนของรังสีเมื่อทะลุผ่านวัตถุต่างๆ ก่อน

##### 2.1.1 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ (linear attenuation coefficient of X-Ray)

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง และเป็นพวกรังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (ionizing radiation) ในการทำอันตรกิริยากับตัวกลางจะมีอยู่ 3 รูปแบบที่สำคัญคือ การเกิดโฟโตอิเล็กทริก (photo electric effect), การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (compton scattering) และการเกิดแพร์โปรดักชัน (pair production) โดยโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาในแต่ละรูปแบบ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และพลังงานของรังสีเอกซ์

ในขณะที่รังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง จะทำอันตรกิริยากับตัวกลางทำให้ปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านออกมามีน้อยลง ซึ่งปริมาณที่ลดลงเป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) ดังสมการที่ 2.1

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots(2.1)$$

เมื่อ  $I$  = ปริมาณรังสีหลังผ่านตัวกลางที่มีความหนา  $x$

$I_0$  = ปริมาณรังสีก่อนผ่านตัวกลาง

$\mu$  = สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น

$x$  = ความหนาของตัวกลางที่รังสีทะลุผ่าน

ในสมการที่ 2.1 จะแสดงรังสีที่ทะลุผ่านตัวกลางเพียงชนิดเดียวเท่านั้น แต่ในวัตถุทั่วไปมักจะประกอบด้วยตัวกลางหลายชนิดผสมกันอยู่ ถ้าเราจะแบ่งตัวกลางตัวกลางเป็นแถบ



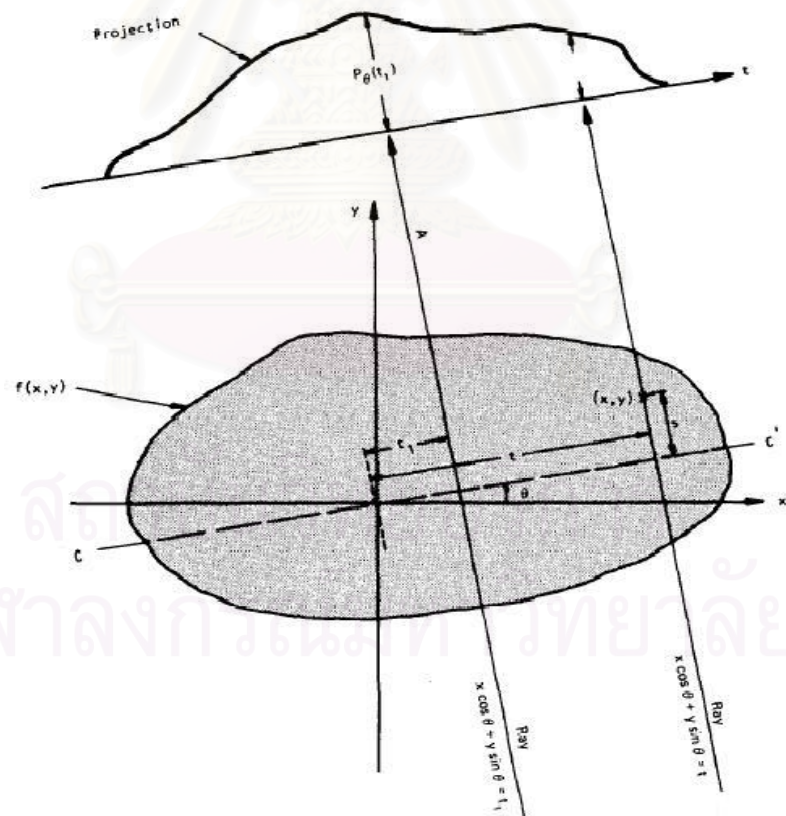
เล็ก ๆ จนสามารถประมาณได้ว่า แถบเล็ก ๆ ที่มีความหนาเท่า ๆ กันนี้ ประกอบด้วยตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกันตลอด ซึ่งเราสามารถเขียนค่าของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นให้อยู่ในรูปของการอินทิเกรตเชิงเส้น (line integral) ทำให้ปริมาณของรังสีที่ทะลุผ่านตัวกลางหลายชนิดเป็น

$$I = I_0 e^{-\int \mu(x) dx} \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ  $\mu(x)$  เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นที่ตำแหน่ง  $x$  ใด ๆ ในวัตถุ

### 2.1.2 การเก็บข้อมูลสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

จากการที่ภาพโทโมกราฟีแสดงถึงสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น ดังนั้นการเก็บข้อมูลจึงต้องเก็บข้อมูลของรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุออกมา โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีได้ด้านตรงกันข้ามกับต้นกำเนิดรังสี ซึ่งวัตถุที่ต้องการตรวจสอบวางอยู่ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการสแกนเก็บข้อมูลในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี<sup>[3]</sup>

ในรูปที่ 2.1 เมื่อกำหนดระนาบตัดขวางของวัตถุด้วยพิกัด  $(x, y)$  และกำหนดพิกัด  $(t, s)$  เป็นพิกัดของลำรังสีที่เดินทางผ่านวัตถุ โดย  $t$  จะแสดงระยะของลำรังสีเทียบจุดกำเนิด และ  $s$

แสดงเส้นทางของรังสีในวัตถุ ในมุม  $\theta$  ใด ๆ ที่พิกัด  $(x,y)$  กระทบกับ  $(t,s)$  ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการที่ 2.2 ใหม่ให้อยู่ในรูปของการอินทิเกรตเชิงเส้นได้เป็น

$$P_{\theta}(t) = \ln \frac{I_0}{I} = \int_{(\theta,t)} \mu(x,y) ds \quad \dots(2.3)$$

$$\text{โดยที่} \quad x \cos \theta + y \sin \theta = t$$

เทอมของ  $P_{\theta}(t)$  ในสมการที่ 2.3 เป็นผลรวมของค่า  $\mu(x,y)$  ตามเส้นทางของรังสีลำแคบในตำแหน่ง  $t$  ซึ่งทำมุม  $\theta$  หรือเรียกว่าเรย์ซัม (raysum) เมื่อทำการสแกนเก็บข้อมูลเรย์ซัมตามแนว  $t$  จะได้กลุ่มข้อมูลของเรย์ซัมที่มุม  $\theta$  หนึ่ง ๆ ซึ่งเราเรียกว่าโพรไฟล์ (profile) หรือ โปรเจกชัน (projection)

การเก็บข้อมูลโพรไฟล์ด้วยเทคนิคโทรทัศน์ ค่าความเข้มของรังสีจะอยู่ในรูปของความเข้มของจุดภาพที่แสดงบนหน้าจอแสดงผล (monitor)<sup>[2]</sup> เนื่องจากอุปกรณ์รับภาพมักมีสัญญาณรบกวนเช่น dark current ดังนั้นข้อมูลโพรไฟล์ที่ได้ต้องผ่านการปรับแก้ค่า เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ในตัวกลาง โดยใช้วิธี shading correction ดังแสดงในสมการที่ 2.5

$$P_S(x_i, y_i) = \ln \left( \frac{I_0(x_i, y_i) - D(x_i, y_i)}{I(x_i, y_i) - D(x_i, y_i)} \right) \quad \dots(2.4)$$

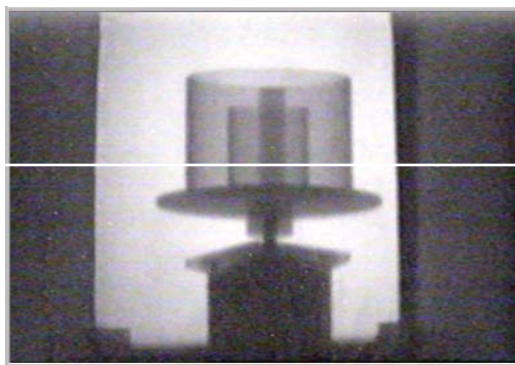
เมื่อ  $P_S(x_i, y_i)$  = ข้อมูลโพรไฟล์หลังปรับแก้แล้ว

$I_0(x_i, y_i)$  = ข้อมูลโพรไฟล์ในขณะที่ไม่มีการฉายรังสีทดสอบ

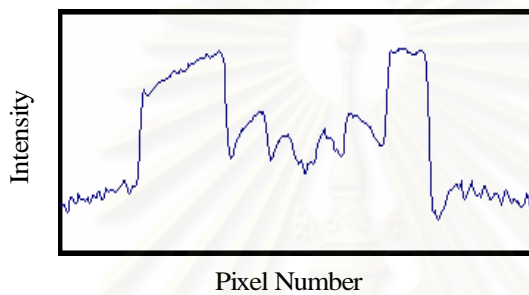
$I(x_i, y_i)$  = ข้อมูลโพรไฟล์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่มีรังสีทดสอบ

$D(x_i, y_i)$  = ค่า dark current หรือข้อมูลขณะยังไม่เปิดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าการแก้ค่าโพรไฟล์ต้องทำการแก้ค่าตำแหน่งต่อตำแหน่ง โดยที่  $I(x_i, y_i)$  จะทำการเก็บข้อมูลในแต่ละโปรเจกชันจากการถ่ายภาพวัตถุด้วยรังสี ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ส่วนค่า  $I_0(x_i, y_i)$  จะได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีในขณะที่ไม่มีการฉายรังสี และค่า  $D(x_i, y_i)$  หาได้โดยการเก็บข้อมูลตำแหน่งต่าง ๆ บนจอภาพในขณะที่ยังไม่เปิดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และไม่มีวัตถุวางอยู่ ในภาพที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 จะแสดงตัวอย่างข้อมูลของ  $I(x_i, y_i)$ ,  $I_0(x_i, y_i)$  และ  $D(x_i, y_i)$  ตามลำดับ ส่วนค่าของ  $P_S(x_i, y_i)$  หรือข้อมูลหลังจากที่นำมาแก้ค่าด้วยวิธี shading correction แล้วจะแสดงในรูปที่ 2.5



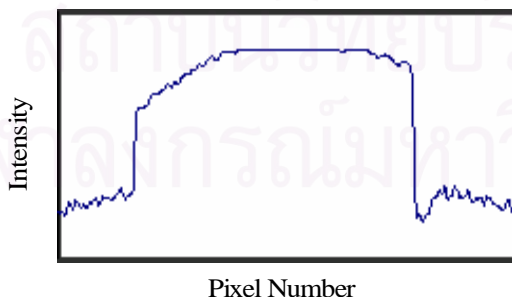
← ตำแหน่งที่เก็บข้อมูล



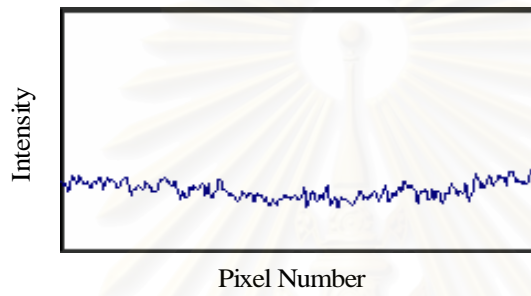
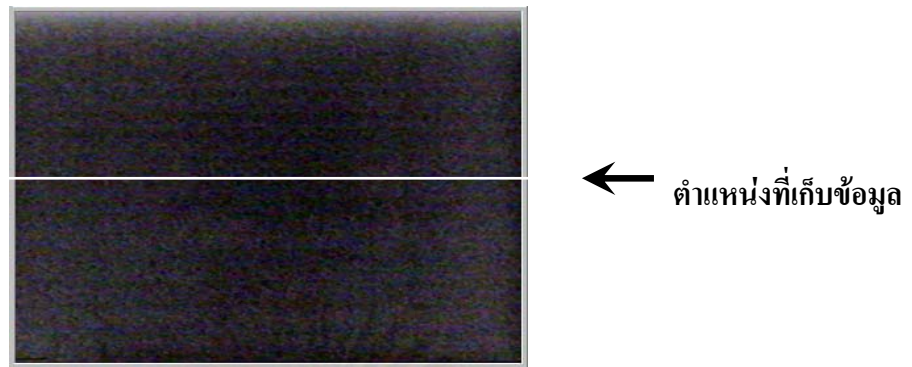
รูปที่ 2.2 ภาพถ่ายด้วยรังสีโดยใช้ระบบโทรทัศน์พร้อมทั้งตัวอย่างข้อมูลโปรเจกชัน<sup>[2]</sup>



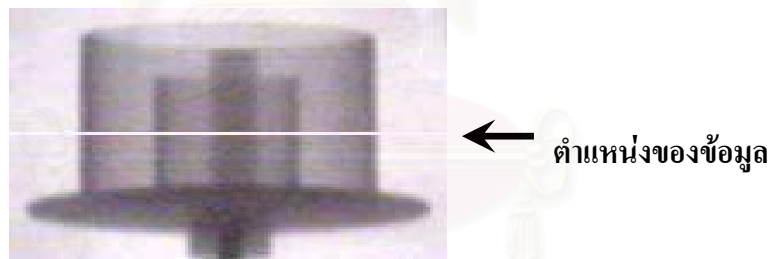
← ตำแหน่งที่เก็บข้อมูล



รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายด้วยรังสีขณะไม่มีชิ้นงานทดสอบและตัวอย่างข้อมูลโปรไฟล์<sup>[2]</sup>



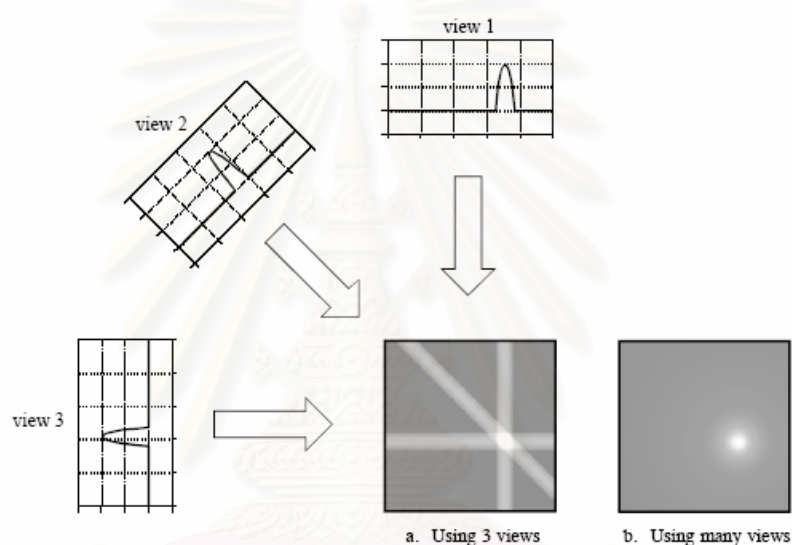
รูปที่ 2.4 ภาพ dark current พร้อมทั้งตัวอย่างข้อมูลของ dark current<sup>[2]</sup>



รูปที่ 2.5 ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากการปรับแก้ค่าด้วยวิธี Shading correction<sup>[2]</sup>

### 2.1.3 วิธีการแบ็กโพรเจกชัน (Back Projection Method)

วิธีการแบ็กโพรเจกชันเป็นวิธีคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยนำชุดข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บได้จากมุมต่าง ๆ กัน มาทำการฉายย้อนกลับไปยังมุมเดิม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 โดยภาพทางด้านซ้ายจะแสดงการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ในมุมต่าง ๆ ส่วนทางด้านขวาจะแสดงวิธีการฉายภาพของข้อมูลโปรไฟล์ย้อนกลับเพื่อทำการสร้างภาพโทโมกราฟี



รูปที่ 2.6 แผนภาพการสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีแบ็กโพรเจกชัน<sup>[4]</sup>

ภาพโทโมกราฟีที่เกิดจากวิธีแบ็กโพรเจกชันในรูปที่ 2.6 นั้นจะเกิดจากการรวมตัวของค่าเรย์ซัมที่มุมต่าง ๆ ทำให้ บริเวณที่ฉายผ่านวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าบริเวณนอกวัตถุ ซึ่งทำให้เกิดเป็นภาพของวัตถุเด่นชัดขึ้นมา

จากรูปที่ 2.6 จะพบว่าบริเวณขอบวัตถุจะมองเห็นได้ไม่ชัดเจนเนื่องจาก การรวมตัวของค่าเรย์ซัมในมุมต่าง ๆ ไม่เพียงแต่รวมตัวกันบริเวณที่เป็นวัตถุเท่านั้น รวมตัวกันตามแนวที่ฉายย้อนกลับทำให้บริเวณ โดยรอบของขอบวัตถุมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ไขข้อมูลเพื่อให้เห็นขอบของวัตถุชัดเจนยิ่งขึ้น

### 2.1.4 วิธีฟิลเตอร์แบ็กโปรเจกชัน (Filter Back Projection Method)

วิธีฟิลเตอร์แบ็กโปรเจกชัน เป็นวิธีการสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เป็นพื้นฐาน<sup>[2]</sup> เมื่อพิจารณาการแปลงฟูเรียร์ของฟังก์ชัน  $\mu(x,y)$  เป็น  $F(X,Y)$

$$F(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x, y) e^{-i(Xx+Yy)} dx dy \quad \dots(2.5)$$

เขียนฟังก์ชัน  $\mu(x,y)$  ให้อยู่ในรูป  $\mu(t,s)$  โดยที่แกน  $t$  ทำมุม  $\theta$  กับแกน  $x$  ของระนาบ การแปลงฟูเรียร์  $F(X,Y)$  ในสมการที่ 2.6 จะได้เป็น

$$F(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mu(t, s) e^{-i[X(t \cos \theta - t \sin \theta) + Y(t \sin \theta + t \cos \theta)]} dt ds$$

$$F(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mu(t, s) e^{-i[tX \cos \theta - tX \sin \theta + tY \sin \theta + tY \cos \theta]} dt ds$$

เมื่อกำหนดให้

$$T = X \cos \theta + Y \sin \theta$$

$$S = X \sin \theta - Y \cos \theta$$

จะได้

$$F(X, Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mu(t, s) e^{-i(tT+sS)} dt ds \quad \dots(2.6)$$

$$F(X, Y) = F_{\theta}(T, S)$$

โดยสมการที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าค่า  $\mu_{\theta}(t,s)$  ที่หมุนจาก  $\mu(x,y)$  เป็นมุม  $\theta$  ฟังก์ชันของการแปลงฟูเรียร์  $F(T,S)$  ก็จะหมุนจาก  $F_{\theta}(X,Y)$  เป็นมุม  $\theta$  เช่นกัน

พิจารณาการแปลงฟูเรียร์  $S_{\theta}(T)$  ของสมการที่ 2.3

$$S_{\theta}(T) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{\theta}(t) e^{-j2\pi tT} dt \quad \dots(2.7)$$

เมื่อพิจารณาที่มุม  $\theta = 0$  การแปลงฟูเรียร์ของ  $\mu(x,y)$  จะพบว่าในโดเมนความถี่ค่า  $Y = 0$  ซึ่งจะได้เป็น

$$F(X,0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x,y) e^{-j2\pi Xx} dx dy \quad \dots(2.8)$$

$$F(X,0) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x,y) dy \right] e^{-j2\pi Xx} dx \quad \dots(2.9)$$

ในวงเล็บของสมการเป็นโปรเจกชันตามแนวแกน  $x$  ดังนั้นในสมการที่ 2.3 อาจเขียนได้ว่า

$$P_{\theta=0}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x,y) dy \quad \dots(2.10)$$

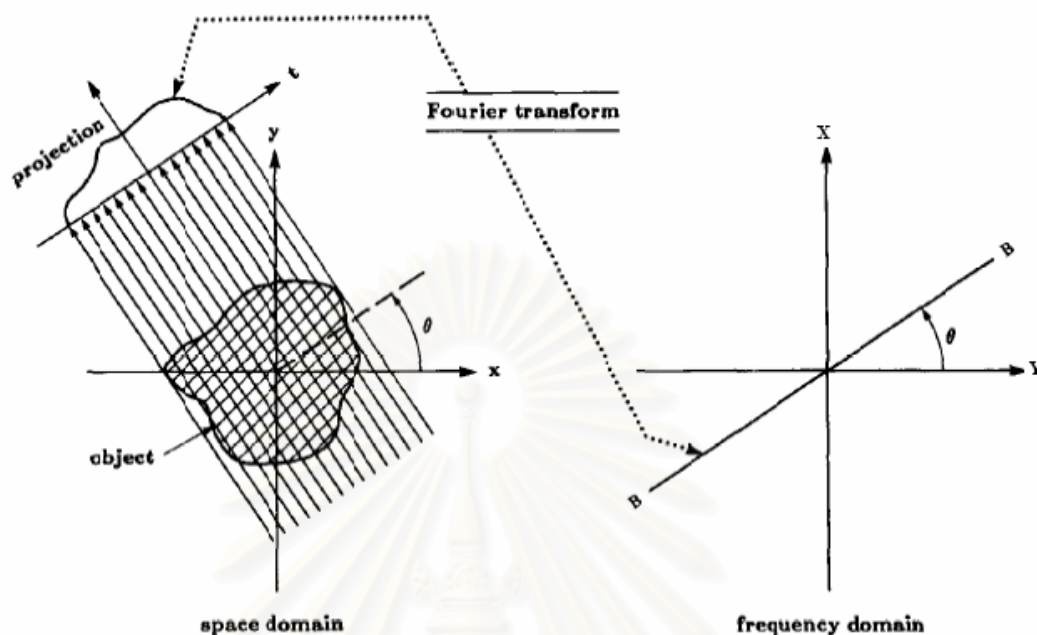
แทนสมการที่ 2.10 ลงในสมการที่ 2.9 จะได้

$$F(X,0) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{\theta=0}(x) e^{-j2\pi Xx} dx \quad \dots(2.11)$$

ด้านขวาของสมการที่ 2.11 จะแสดงการแปลงฟูเรียร์ 1 มิติของโปรเจกชัน  $P_{\theta=0}$  เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 2.3 ซึ่งเป็นโปรเจกชันในแนวนอนของการแปลงฟูเรียร์ 2 มิติจะพบว่า

$$F(X,0) = S_{\theta=0}(X) \quad \dots(2.12)$$

สมการที่ 2.12 คือทฤษฎีโปรเจกชัน-สไลซ์ (Projection-slice theorem) ซึ่งกล่าวว่าฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์ 1 มิติของฟังก์ชันภาพฉาย คือฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์ 2 มิติของฟังก์ชันเดิมตามแนวภาพฉายที่ตัดผ่านจุดกำเนิด<sup>[3]</sup>



รูปที่ 2.7 แผนภาพการแปลงฟูเรียร์ 1 มิติของฟังก์ชันภาพฉาย เทียบกับการแปลงฟูเรียร์ 2 มิติของฟังก์ชันเดิมตามแนวภาพฉายที่ตัดผ่านจุดกำเนิด<sup>[3]</sup>

ดังนั้นหากมีข้อมูลฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์ของภาพฉายจำนวนอนันต์มุม ก็จะสามารถทราบค่า  $F(X, Y)$  ทุกจุดบนระนาบ  $(X, Y)$  ซึ่งเราสามารถคำนวณกลับเป็น  $\mu(x, y)$  โดยใช้การแปลงฟูเรียร์ผกผันดังนี้

$$\mu(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(X, Y) e^{i(Xx + Yy)} dx dy \quad \dots(2.13)$$

สมการที่ (2.13) สามารถเขียนให้อยู่ในระบบพิกัดเชิงมุมได้เป็น

$$\mu(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\theta, T) e^{iR(x \cos \theta + y \sin \theta)} T dT d\theta \quad \dots(2.14)$$

โดยที่  $F(\theta, T)$  เทียบเคียงได้กับฟังก์ชัน  $F_0(T, S)|_0$  ซึ่งจากทฤษฎีโปรเจกชัน-สไลซ์ (Projection-slice theorem) ก็คือ  $P(\theta, T)$  และด้วยคุณสมบัติการหมุนแบบสมมาตร เราทราบว่า  $F(\theta, T)$  มีค่าเท่ากับ  $F(\theta \pm \pi, -T)$  ดังนั้น



$$\mu(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^\pi \int_{-\infty}^\infty P(\theta, T) e^{iT} |T| dT d\theta \quad \dots(2.15)$$

สมการที่ (2.15) พบว่าเป็นสมการที่ไม่มีขอบเขตจำกัด (Unbounded function) เนื่องจากค่าของ  $|T|$  มีค่าลู่ออก (diversion)<sup>[2]</sup> เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่จะพบว่าภาพส่วนใหญ่จะมีสัดส่วนสัญญาณกับสิ่งรบกวน (Signal to Noise Ratio, SNR) ต่ำที่ความถี่สูง ทำให้เกิดการขยายสิ่งรบกวนขึ้น

ดังนั้นค่าของ  $|T|$  ควรจะต้องถูกจำกัดด้วยค่า ๆ หนึ่งโดยฟังก์ชันการกรอง (filter function)  $H(T) = |T|b(T)$  โดยที่

$$b(T) = \begin{cases} 1 & \text{where } |T| \leq T_0 \\ 0 & \text{where } |T| > T_0 \end{cases} \quad \dots(2.16)$$

กำหนดให้ช่วงห่างของการเก็บข้อมูลตามแนวขวาง (Lateral sampling) มีค่าเป็น  $a$  ดังนั้น จากทฤษฎีบทการสุ่มตัวอย่าง (Sampling theorem) จะได้ว่า

$$T_0 = 2\pi f_{\max} = \frac{\pi}{a} \quad \dots(2.17)$$

ในการจำกัดขอบเขตจะใช้ฟังก์ชันการกรองของ Ramachandran หรือเรียกว่า Lam-Rak โดยที่

$$H(T) = |T| \text{rect}\left(\frac{T}{2T_0}\right) \quad \dots(2.18)$$

เมื่อ  $h(t)$  เป็นการแปลงฟูเรียร์ผกผันของ  $H(T)$  สามารถเขียนในรูปไม่ต่อเนื่อง  $h(t_k = ak)$  เมื่อ  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$  ได้เป็น

$$h(0) = \frac{\pi}{2a^2}$$

$$h(t_k) = -\frac{2}{\pi k^2 a^2} \quad \text{เมื่อ } k \text{ เป็นเลขคี่} \quad \dots(2.19)$$

$$h(t_k) = 0 \quad \text{เมื่อ } k \text{ เป็นเลขคู่}$$

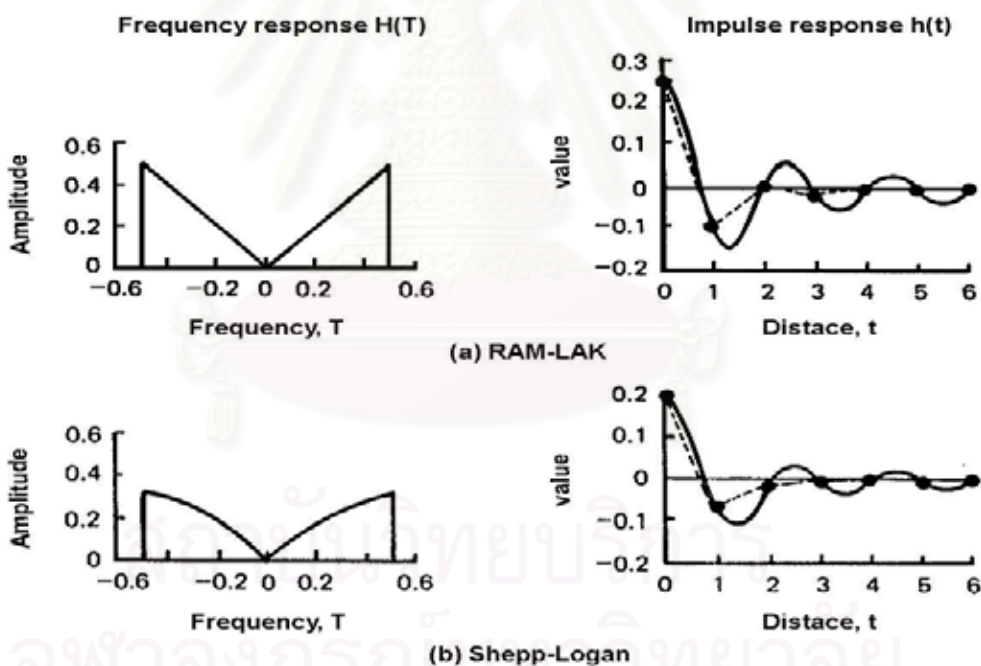
สมการที่ 2.19 เป็นฟิลเตอร์ฟังก์ชันที่มีลักษณะแหว่งมาก ต่อมา Shepp และ Logan ได้เสนอฟิลเตอร์ฟังก์ชันที่มีการแหว่งน้อยลงซึ่งทำให้ภาพโทโมกราฟีดีขึ้นดังสมการ

$$H(T) = |T| \operatorname{sinc}\left(\frac{T}{2T_0}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{T}{2T_0}\right) \quad \dots(2.20)$$

การแปลงฟูเรียร์ผกผัน  $h(t)$  ในสมการ 2.20 เขียนในรูปไม่ต่อเนื่อง  $h(t_k = ak)$  เมื่อ  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$  ได้เป็น

$$h(t_k) = -\frac{4}{\pi a^2 (4k^2 - 1)}, \quad k=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1) \quad \dots(2.21)$$

โดยผลตอบสนองทางเวลาและความถี่แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงผลตอบสนองความถี่ และทางเวลาของ (a) ฟังก์ชันการกรอง Lam-Lak

(b) ฟังก์ชันการกรอง Shepp-Lagan<sup>[5]</sup>

สมการที่ (2.15) เมื่อใช้ทฤษฎีคอนโวลูชัน (Convolution) จะได้สมการการสร้างภาพโทโมกราฟี (Reconstruction formula) เป็น

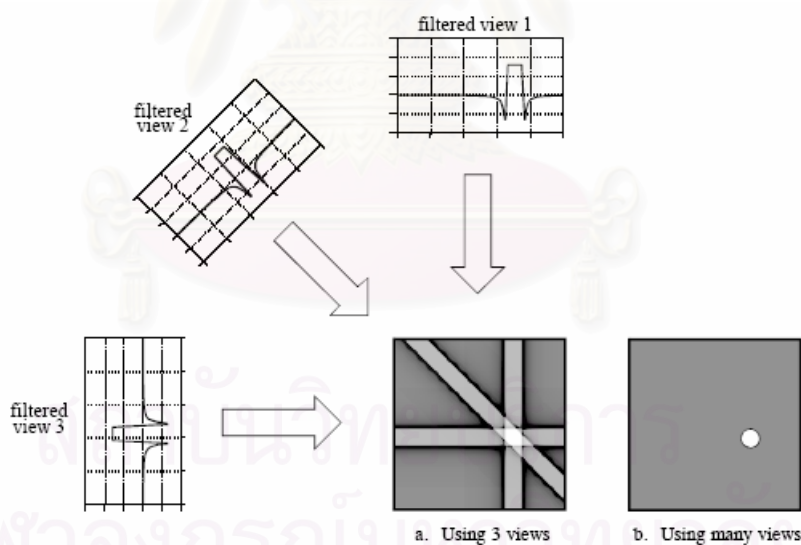
$$\mu(x, y) = \frac{1}{2\pi^2} \int_0^\pi \int_{-\infty}^\infty P(\theta, \tau) \otimes h(x \cos \theta + y \sin \theta - \tau) d\tau d\theta \quad \dots(2.22)$$

สมการที่ (2.22) สามารถประมาณแบบไม่ต่อเนื่องของการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีฟิลเตอร์แบ็กโปรเจกชัน โดยสามารถเขียนได้เป็น

$$\mu(x, y) = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N P(\theta_j, t_k) \bullet h(x \cos \theta_j + y \sin \theta_j - t_k) \quad \dots(2.23)$$

เมื่อ M คือ จำนวนมุมของการเก็บข้อมูล หรือจำนวน โปรไฟล์  
N คือ จำนวนจุดของการสแกนเก็บข้อมูลในหนึ่งโปรไฟล์

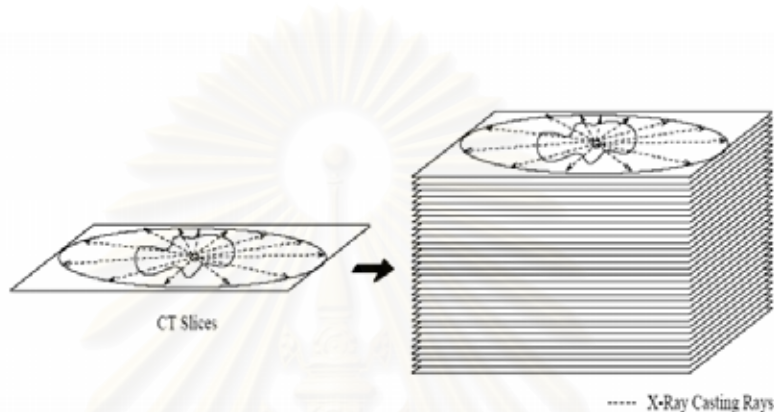
เมื่อนำข้อมูล โปรไฟล์จากการสแกนมาผ่านการคำนวณด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชัน การคำนวณนี้จะเป็นการปรับข้อมูลให้สามารถแยกแยะรายละเอียดของข้อมูลให้เห็นเด่นชัดมากขึ้น



รูปที่ 2.9 แผนภาพการสร้างภาพด้วยวิธีแบ็กโปรเจกชันหลังจากนำข้อมูล โปรไฟล์มาผ่านการคำนวณด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชัน<sup>[4]</sup>

## 2.2 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ (3 dimensional computed tomography)

ข้อจำกัดของภาพโทโมกราฟีโดยทั่วไป ที่แสดงผลออกมาเป็นภาพตัดขวางของวัตถุในระนาบสองมิติเท่านั้น จึงได้มีการคิดวิธีการสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติขึ้น โดยการนำภาพโทโมกราฟีในแต่ละระนาบมาวางเรียงซ้อนกันเป็น 3 มิติ



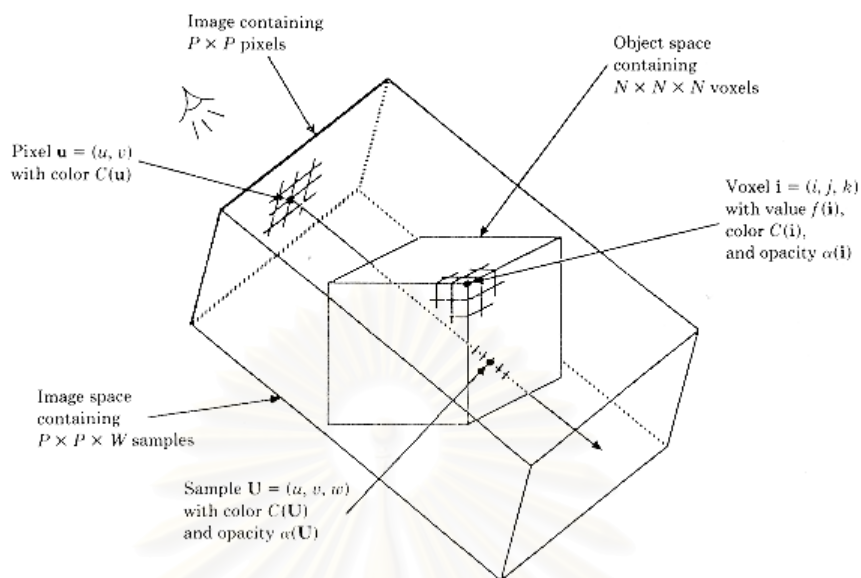
รูปที่ 2.10 แผนภาพการสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติโดยนำภาพโทโมกราฟีมาเรียงซ้อนกัน<sup>[6]</sup>

ข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้นจะถูกกำหนดสีและวางเรียงกันเป็นภาพ ซึ่งเรียกว่าพิกเซล (pixel ซึ่งมาจากคำว่า picture element)<sup>[7]</sup> ในขณะที่ข้อมูลเชิงตัวเลขของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติจะเรียงตัวกันเป็นปริมาตรใน 3 มิติจะเรียกว่าว็อกเซล (voxel มาจาก volume element)<sup>[7]</sup>

### 2.2.1 การเรนเดอร์ปริมาตรด้วยวิธีเรย์แคสติง (Volume Render with Ray-Casting Method)

เนื่องจากข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่เรียงอยู่ใน 3 มิติ ในขณะที่แสดงผลจะแสดงภาพบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งอยู่ในระนาบ 2 มิติ ดังนั้นข้อมูลจะต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่าการเรนเดอร์ (render) ซึ่งปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้การเรนเดอร์ปริมาตร (volume render) โดยจะมองแต่ละว็อกเซลเป็นลักษณะปริมาตรที่มีคุณสมบัติของสี และความทึบแสงแตกต่างกันในแต่ละค่าตัวเลข จากนั้นจะใช้หลักการเรย์แคสติงในการสร้างภาพให้ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

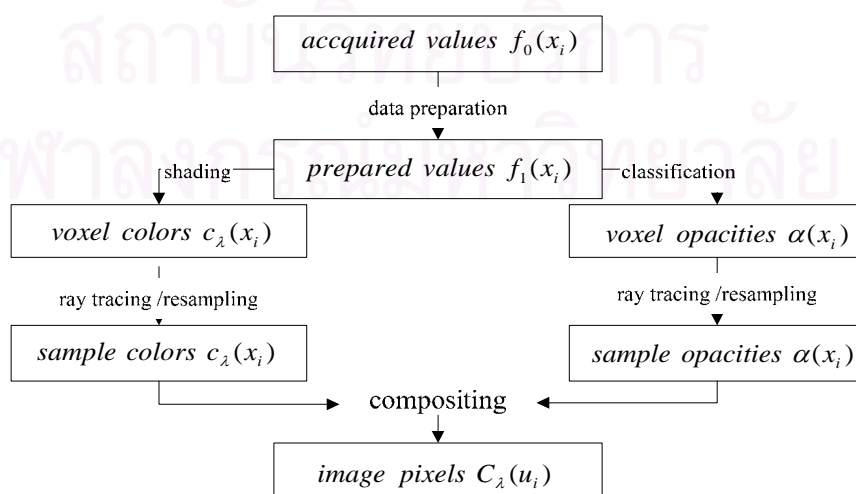
โดยหลักการของเรย์แคสติง ทุก ๆ พิกเซลของภาพเกิดจากการที่มีรังสีทะลุผ่านเข้าไปในข้อมูลว็อกเซล โดยนำค่าคุณสมบัติทั้งทางสี และความทึบแสงมาทำการอินเทอโพลเทกัน จากนั้นก็จะทำการรวมกับทุกว็อกเซลที่รังสีเดินทางผ่าน และรวมเข้ากับสีของฉากหลังด้วย



รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงพิกัดที่ใช้ในระหว่างการเรนเดอร์ปริมาตร<sup>[8]</sup>

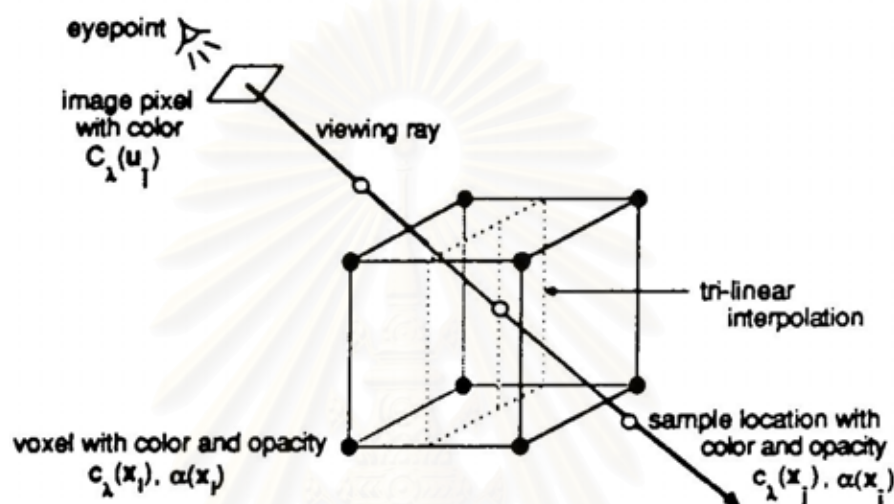
## 2.2.2 ไปป์ไลน์ของการเรนเดอร์ (Rendering pipeline)

ไปป์ไลน์ของการเรนเดอร์ปริมาตรสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.12 โดยเริ่มจากการนำอาร์เรย์ของข้อมูลว็อกเซล  $f_0(X_i)$  ที่ตำแหน่ง  $X_i = (x_i, y_i, z_i)$  มาผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล ซึ่งจะได้ข้อมูลว็อกเซลเป็น  $f_1(X_i)$  จากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะผ่านเข้าไปในกระบวนการให้แสงเงา (shading) โดยจะได้ค่าสีของแต่ละว็อกเซล  $C_\lambda(X_i)$  เมื่อ  $\lambda = r, g, b$  ในขณะที่เดียวกันข้อมูลชุดเดียวกันนี้ก็จะเข้าสู่กระบวนการแยกแยะประเภท (classification) เพื่อให้ได้ค่าความทึบแสงของว็อกเซล  $\alpha(X_i)$



รูปที่ 2.12 แผนผังไปป์ไลน์ของการเรนเดอร์<sup>[9]</sup>

จากนั้นรังสีจะทำการฉายเข้าไปในอาร์เรย์ทั้งสองชุดออกไปยังจุดสังเกต ซึ่งแต่ละรังสีเวกเตอร์ของสี  $c_\lambda(X_i)$  และของความทึบแสง  $\alpha(X_i)$  โดยที่ตำแหน่ง  $X_i = (x_i, y_i, z_i)$  จะถูกคำนวณจากการเลือกค่าว็อกเซลที่แปดที่อยู่โดยรอบของตำแหน่ง  $X_i$  มาทำการไตรลิเนียร์อินเทอร์โพลชัน (trilinear interpolation) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนภาพแสดงการคำนวณค่า  $c_\lambda(X_i)$  และ  $\alpha(X_i)$  โดยใช้ไตรลิเนียร์อินเทอร์โพลชัน<sup>[9]</sup>

สุดท้ายเมื่อได้ค่าของ  $c_\lambda(X_i)$  และ  $\alpha(X_i)$  ทุกจุดตามเส้นทางที่รังสีทะลุผ่านก็นำค่าทั้งหมดโดยเรียงจากหลังไปข้างหน้าทำการลิเนียร์อินเทอร์โพลชัน (linear interpolation) และรวมเข้ากับค่าของสีพื้นหลัง  $c_{bkg,\lambda}$  ที่มีลักษณะทึบแสง (ค่า  $\alpha_{bkg}=1$ ) จะได้ค่าสีของรังสี  $C_\lambda(U_i)$  หนึ่งค่าซึ่งจะแทนหนึ่งพิกเซลในรูปภาพที่ตำแหน่ง  $U_i = (u_i, v_i)$

โดยในหลักการของลิเนียร์อินเทอร์โพลชันค่าของสี  $C_{out,\lambda}(U_i)$  ของรังสีที่ออกมาเกี่ยวข้องกับค่าของสี  $C_{in,\lambda}(U_i)$  ที่เขามากับค่า  $c_\lambda(X_i)$  และ  $\alpha(X_i)$  ดังสมการ

$$C_{out,\lambda}(U_i) = C_{in,\lambda}(U_i)(1 - \alpha(X_i)) + c_\lambda(X_i)\alpha(X_i) \quad \dots(2.24)$$

ดังนั้นค่าของ  $C_\lambda(U_i)$  จะสามารถหาได้จาก

$$C_\lambda(U_i) = \sum_{k=0}^K \left( c_\lambda(x_i, y_j, z_k) \alpha(x_i, y_j, z_k) \prod_{m=k+1}^K (1 - \alpha(x_i, y_j, z_m)) \right) \quad \dots(2.25)$$

### 2.2.3 กระบวนการทำให้แสงเงา (Shading procedure)

ภาพบนระนาบ 2 มิติบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ (image synthesis) ข้อมูลบนระบบ 3 มิตินั้น ภาพที่ออกมาไม่สามารถแยกแยะรูปทรงของวัตถุ 3 มิติออกมาได้ จึงต้องผ่านกระบวนการให้แสงเงากับวัตถุเหล่านี้ เพื่อให้สามารถมองเห็นพื้นผิว หรือ ขอบมุม ซึ่งจะทำให้ภาพที่แสดงออกมา ดูแล้วมีมิติมากขึ้น

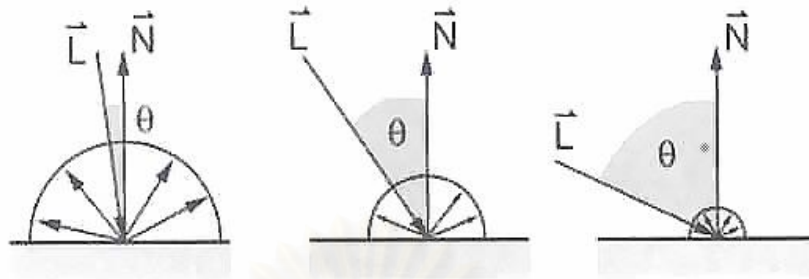
ในการให้แสงเงากับวัตถุ ต้องทราบพฤติกรรมการสะท้อนของแสงที่ตกลงบนพื้นผิวของวัตถุในทิศทาง และปริมาณต่าง ๆ จากนั้นนำมาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคำนวณ สมการดังกล่าวเรียกว่า รูปแบบการส่องสว่าง (illumination model)<sup>[10]</sup> โดยวัตถุแต่ละชนิดก็จะมีรูปแบบการส่องสว่างที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุนั้น แต่ในการเรนเดอร์ปริมาตร จะใช้รูปแบบการส่องสว่างของ ฟง (Phong Illumination model)<sup>[9]</sup> เนื่องจากง่าย และรวดเร็ว โดยจะแบ่งเป็นแสงที่สะท้อนออกมาเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

$$I_{\text{reflect}} = I_{\text{ambient}} + I_{\text{diffuse}} + I_{\text{specular}} \quad ..2.26$$

ในการคำนวณรูปแบบการส่องสว่าง จะเป็นการคำนวณสำหรับแสงสีเดียว (monochromatic illumination model)<sup>[10]</sup> ดังนั้นในระบบสีแบบ RGB จะต้องทำการคำนวณทั้งหมด 3 ครั้ง คือสำหรับสีแดง (R) , สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B)

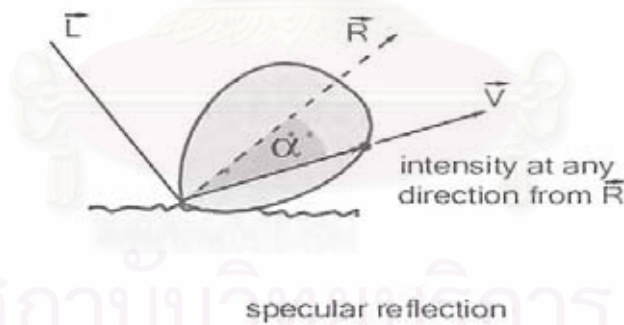
แสงส่วนแรกที่สะท้อนออกมาจากแสงที่มีอยู่ล้อมรอบ (ambient component) ถูกสร้างขึ้นเพื่อทดแทนแสงที่สะท้อนมาจากพื้นผิวอื่นรอบตัวมัน (global illumination) ซึ่งไม่ได้เป็นแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง เพื่อลดเวลาในการคำนวณ โดยการเพิ่มปริมาณแสงบนทุกจุดของพื้นผิวของวัตถุ ด้วยปริมาณที่เท่ากัน

ส่วนที่สองเป็นส่วนที่สะท้อนออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง (local illumination) รูปแบบการสะท้อนตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าพื้นผิววัตถุจะสะท้อนแสงออกไปทุกทิศทางรอบตัวมันด้วยปริมาณที่เท่ากัน (perfect diffuse) จึงทำให้ปริมาณแสงสะท้อนไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางการมอง แต่จะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงเท่านั้น



รูปที่ 2.14 แผนภาพการสะท้อนแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงด้วยมุมตกกระทบต่างกัน<sup>[10]</sup>

ส่วนสุดท้ายเป็นการสะท้อนที่มีลักษณะของสเปคตรัม (specular component) โดยในรูปแบบนี้ไม่ใช้การสะท้อนแบบสเปคตรัมโดยสมบูรณ์ (non perfect specular) ดังนั้นภาพที่ได้อาจไม่สมจริงมากนัก เนื่องจากค่าบางส่วนที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่ามาจากประสบการณ์ไม่ใช่ทฤษฎีคำนวณ (empirical) และไม่คำนึงถึงการเคลื่อนของสี (color shift) ทำให้แสงที่สะท้อนมีสีตามแสงตกกระทบเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากไม่ซับซ้อน และใช้เวลาในการคำนวณน้อย



รูปที่ 2.15 แผนภาพปริมาณการสะท้อนแสงแบบสเปคตรัม<sup>[10]</sup>

จากแสงสะท้อนทั้ง 3 ส่วนสามารถสร้างสมการเพื่อใช้ในการบอกรูปแบบการส่องสว่างของวัตถุ 3 มิติได้เป็น

$$C_{\lambda}(x_i) = C_{a,\lambda} k_{a,\lambda} + C_{p,\lambda} [k_{d,\lambda} (\vec{N}(x_i) \cdot \vec{L}) + k_{s,\lambda} (\vec{N}(x_i) \cdot \vec{H})^n] \quad \dots(2.27)$$



เมื่อ  $C_\lambda =$  ส่วนประกอบของสีลำดับที่  $\lambda$  ของว็อกเซล  $x_i$  โดย  $\lambda = r, g, b$

$C_{a,\lambda} =$  ส่วนประกอบของสีลำดับที่  $\lambda$  ของแสงที่อยู่ล้อมรอบ

$C_{p,\lambda} =$  ส่วนประกอบของสีลำดับที่  $\lambda$  ของแสงจากแหล่งกำเนิดแสงขนาน

$k_{a,\lambda} =$  สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่อยู่ล้อมรอบของสี  $\lambda$

$k_{d,\lambda} =$  สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงของสี  $\lambda$

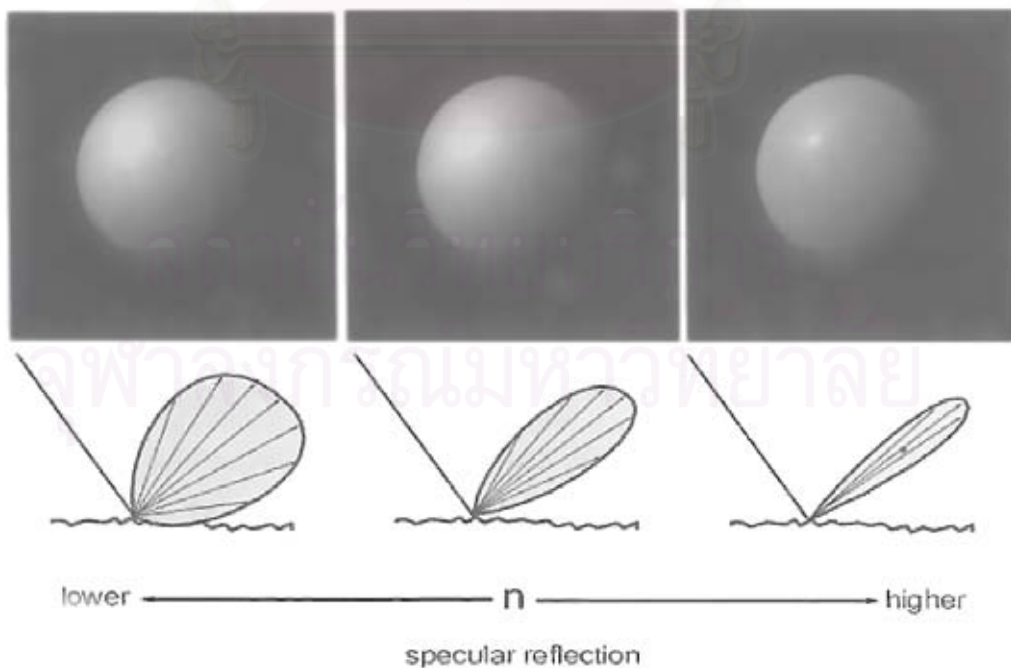
$k_{s,\lambda} =$  สัมประสิทธิ์การสะท้อนแบบสเปคตรัมของสี  $\lambda$

$\vec{N}(x_i) =$  นอร์มัลเวกเตอร์ของว็อกเซล  $x_i$

$\vec{L} =$  เวกเตอร์ที่แสดงทิศทางแสงที่ตกกระทบ

$\vec{H} =$  เวกเตอร์แสดงตำแหน่งที่สว่างที่สุด (highlight)

ในส่วนของค่าของ  $n$  นั้นจะใช้ในการกำหนดเพื่อควบคุมให้เกิดการสะท้อนแสงแบบสเปคตรัมโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 โดยถ้ามีค่าน้อยแสงสะท้อนก็จะกระจายตัวมาก แต่ถ้ามีค่ามากจะทำให้แสงกระจายตัวน้อย



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงแบบสเปคตรัมเมื่อค่า  $n$  มีค่าจากน้อยไปมาก<sup>[10]</sup>

เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่ใช้แบบขนานดังนั้นค่า  $\bar{L}$  จึงเป็นค่าคงที่ นอกจากนั้น

$$\vec{H} = \frac{\vec{V} + \bar{L}}{|\vec{V} + \bar{L}|} \quad \dots(2.28)$$

เมื่อ  $\vec{V}$  = นอร์มัลเวกเตอร์แสดงทิศทางของตำแหน่งสังเกต

เนื่องจากใช้โปรเจกชันแบบตั้งฉาก  $\vec{V}$  และ  $\vec{H}$  ที่กลายเป็นค่าคงที่ด้วยสุดท้ายจะได้  
นอร์มัลเวกเตอร์ของพื้นผิวเป็น

$$\vec{N}(x_i) = \frac{\nabla f(x_i)}{|\nabla f(x_i)|} \quad \dots(2.29)$$

เมื่อ เกรเดียนท์ของเวกเตอร์  $\nabla f(x_i)$  เป็นการประมาณค่าจากตัวดำเนินการ

$$\nabla f(x_i) = \nabla f(x_i, y_j, z_k) \approx \quad \dots(2.30)$$

$$\left[ \begin{array}{l} \frac{1}{2} (f(x_{i+1}, y_j, z_k) - f(x_{i-1}, y_j, z_k)), \\ \frac{1}{2} (f(x_i, y_{j+1}, z_k) - f(x_i, y_{j-1}, z_k)), \\ \frac{1}{2} (f(x_i, y_j, z_{k+1}) - f(x_i, y_j, z_{k-1})) \end{array} \right]$$

#### 2.2.4 กระบวนการแยกแยะ (Classification procedure)

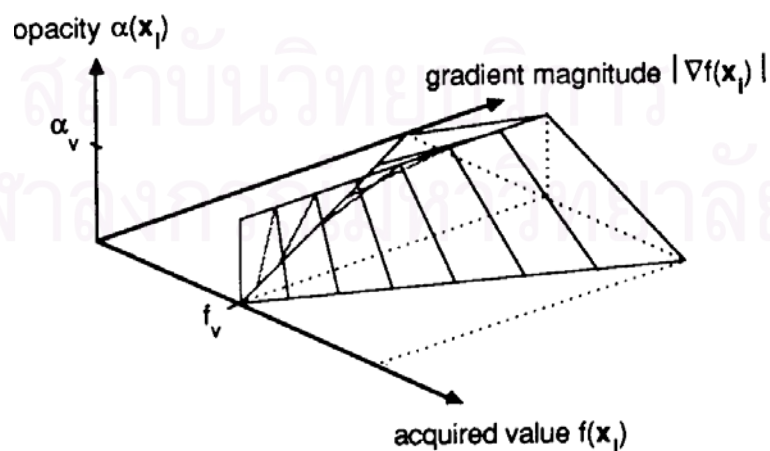
การกำหนดค่าของความทึบแสงให้เข้ากับค่าของข้อมูลโทโมกราฟี ทำได้โดยผ่าน  
กระบวนการแยกแยกพื้นผิว โดยเริ่มจากพิจารณาการเรนเดอร์โครงร่างพื้นผิวที่มีค่าเดียวกัน  
(isovalue contour surfaces) จากนั้นจึงพิจารณาการเรนเดอร์ขอบเขตของพื้นผิว (region boundary  
surfaces)

### 2.2.4.1 การพิจารณาโครงร่างพื้นผิวที่มีค่าเดียวกัน (Isovalue contour surfaces)

ในการพิจารณาการเรนเดอร์โครงร่างพื้นผิวที่มีค่าเดียวกันนั้นเริ่มต้น จะกำหนดค่าความทึบแสง  $\alpha_v$  ให้กับว็อกเซลที่มีค่า  $f_v$  และกำหนดค่าความทึบแสงของว็อกเซลอื่น ๆ ให้เป็นศูนย์ เพื่อหลีกเลี่ยงเอเลียซอาทิแฟ็คท (alias artifact) จึงควรกำหนดว็อกเซลที่มีค่าใกล้เคียง  $f_v$  ให้ใกล้เคียงกับค่า  $\alpha_v$  ด้วย นอกจากนี้ในการให้ภาพที่ออกมาเป็นที่น่าพอใจความหนาของบริเวณที่เปลี่ยนแปลงจะต้องคงที่ตลอดทั้งปริมาตร ซึ่งสามารถเลียนแบบพฤติกรรมนี้ได้โดยกำหนดค่าความทึบแสงลดลงเหมือนกับการเลื่อนออกจากค่าที่เลือกไว้ ที่อัตราส่วนผกผันกับขนาดเกรเดียนท์เวกเตอร์ที่ตำแหน่งนั้น

$$\alpha(x_i) = \alpha_v \begin{cases} 1 & \text{ถ้า } |\nabla f(x_i)| = 0 \text{ และ } f(x_i) = f_v \\ 1 - \frac{1}{r} \frac{|f_v - f(x_i)|}{|\nabla f(x_i)|} & \text{ถ้า } |\nabla f(x_i)| > 0 \\ & \text{และ } f(x_i) - r|\nabla f(x_i)| \leq f_v \leq f(x_i) + r|\nabla f(x_i)| \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad \dots(2.31)$$

เมื่อ  $r$  เป็นความหนาของว็อกเซลบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลง และค่าของเกรเดียนท์เวกเตอร์ใช้ตัวดำเนินการที่ได้จากขั้นตอนการให้แสงเงาโดยกราฟของ  $\alpha(x_i)$  เป็นฟังก์ชันของ  $f(x_i)$  และ  $|\nabla f(x_i)|$  โดยค่าของ  $f_v$ ,  $\alpha_v$  และ  $r$  แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงกราฟการคำนวณค่าความทึบแสงจากโครงร่างของพื้นผิวที่มีค่าเดียวกัน<sup>[9]</sup>

กรณีที่มีโครงร่างจากค่าเดียวกันมากกว่าหนึ่งโครงร่างในหนึ่งภาพที่แสดงผลออกมาเราสามารถแยกการคำนวณ จากนั้นนำแต่ละค่ามารวมกัน โดยค่าที่เลือก  $f_{v_n}$  เมื่อ  $n=1, \dots, N$  และ  $N \geq 1$  ค่าความทึบแสง  $\alpha_{v_n}$  และความหนาของบริเวณที่เปลี่ยนแปลง  $r_n$  โดยใช้สมการที่ 2.31 ค่ารวม  $\alpha_n(x_i)$  จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาคำนวณ โดยใช้ความสัมพันธ์

$$\alpha_{tot} = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - \alpha_n(x_i)) \quad ..(2.32)$$

#### 2.2.4.2 การพิจารณาการเรนเดอร์ขอบเขตของพื้นผิว (Region boundary surfaces)

การสร้างพื้นผิวที่มาจากค่าเดียวกันนั้นยังมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากในบางกรณีที่ต้องการแสดงข้อมูลที่ประกอบด้วยวัสดุสองชนิดคือชนิด A และ B มีค่า  $f_{vA}$  และ  $f_{vB}$  ตามลำดับ โดยที่ค่า  $f_{vA} < f_{vB}$  ถ้าข้อมูลที่ได้รับมาเพื่อสร้างว็อกเซลมีค่า  $f(x_i)$  ซึ่ง  $f_{vA} \leq f(x_i) \leq f_{vB}$  คุณลักษณะของวัสดุชนิด B อาจจะแสดงในทุกว็อกเซลที่มีค่าน้อยกว่า  $f_{vB}$  เนื่องจากไม่มีค่าขีดเริ่มที่มากกว่า  $f_{vA}$  เพื่อบ่งบอกว่าเป็นบริเวณของวัสดุ B และค่าขีดเริ่มใกล้ค่า  $f_{vA}$  เพื่อบ่งบอกว่าบริเวณนั้นเป็นข้อมูล หรือสัญญาณรบกวน

ในการพิจารณาขอบเขตของพื้นผิว ให้สมมุติฐานว่าในข้อมูลที่ต้องการนำมาแสดงนั้นประกอบด้วยตัวเลขต่าง ๆ ที่แสดงถึงชนิดของวัสดุนั้น ซึ่งแต่ละชนิดมีวัสดุนิดอื่นที่เกี่ยวข้องกันอย่างมากที่สุดสองชนิด และเมื่อเรียงลำดับชนิดของวัสดุตามเลขซีที (CT number) จะได้ว่าวัสดุที่อยู่ติดกันเป็นวัสดุที่มีเลขซีทีติดกันด้วย โดยทั่วไปแล้วให้วัสดุ N ชนิด มีค่าเลขซีที  $f_{v_n}$  เมื่อ  $n=1, \dots, N$  โดย  $N \geq 1$  ซึ่ง  $f_{v_m} < f_{v_{m+1}}$  เมื่อ  $m = 1, \dots, N-1$  ดังนั้นจะไม่มีวัสดุที่มีเลขซีทีเป็น  $f_{v_{n1}}$  เกี่ยวข้องกับ  $f_{v_{n2}}$  เมื่อ  $|n1-n2| > 1$

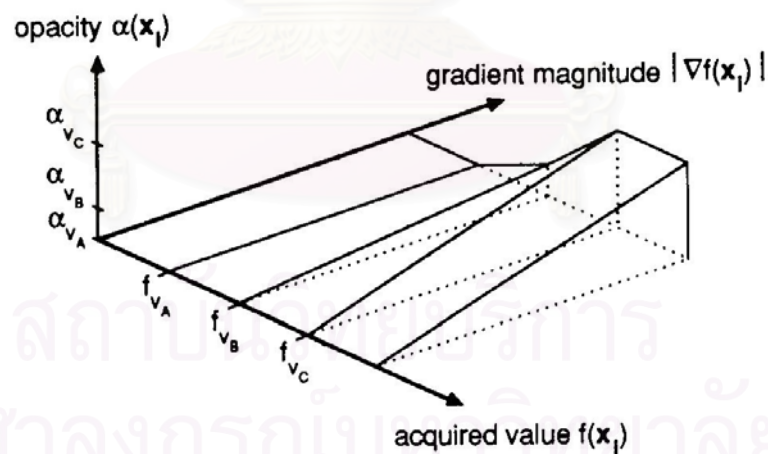
ถ้าหลักเกณฑ์นี้ถูกต้อง วัสดุแต่ละชนิดจะสามารถกำหนดค่าความทึบแสงได้ และการกำหนดความสัมพันธ์ในการแปลงค่าความทึบแสง กับเลขซีทีเป็นแบบเชิงเส้น กล่าวคือถ้าว็อกเซลมีค่าเลขซีที  $f_{v_n}$  สัมพันธ์กับ  $\alpha_{v_n}$  และค่า  $f_{v_{n+1}}$  สัมพันธ์กับ  $\alpha_{v_{n+1}}$  แล้วค่าของเลขซีทีที่อยู่ระหว่างนั้น ก็จะมีค่าทึบแสงอยู่ระหว่างนั้นด้วย สังเกตว่าทุกว็อกเซลจะถูกกำหนดเป็นค่าความทึบแสงที่ไม่เท่ากับศูนย์ มีผลเกิดบริเวณบาง ๆ ปรากฏออกมาด้วย ซึ่งไม่สามารถแยกแยะได้ว่าว็อกเซลเป็นบริเวณนั้นส่วนหนึ่งของขอบเขตที่ใด

การซ้อนทับกันของพื้นผิวของวัสดุยังสามารถทำให้เกิดการรวมกันของเลขชี้กำลังที่สูงขึ้น จึงควรกำจัดความทึบแสงของวัสดุที่อยู่ภายใน ขณะเดียวกันก็เน้นค่าความทึบแสงของบริเวณรอบพื้นผิว โดยกำหนดระดับความทึบแสงซึ่งคำนวณจากขนาดของเกรเดียนท์เวกเตอร์ ณ ตำแหน่งนั้น

เมื่อรวมดำเนินการทั้งสองเข้าด้วยกันจะให้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\alpha(x_i) = |\nabla f(x_i)| \begin{cases} \alpha_{v_{n+1}} \left( \frac{f(x_i) - f_{v_n}}{f_{v_{n+1}} - f_{v_n}} \right) + \alpha_{v_n} \left( \frac{f_{v_{n+1}} - f(x_i)}{f_{v_{n+1}} - f_{v_n}} \right) & \text{ถ้า } f_{v_n} \leq f(x_i) \leq f_{v_{n+1}} \\ 0 & \text{กรณีอื่น} \end{cases} \quad \dots(2.33)$$

เมื่อ  $n=1, \dots, N-1, N \geq 1$  ค่าของเกรเดียนท์เวกเตอร์ใช้ตัวดำเนินการที่ได้จากขั้นตอนการให้แสงเงาโดยกราฟของ  $\alpha(x_i)$  เป็นฟังก์ชันของ  $f(x_i)$  และ  $|\nabla f(x_i)|$  สำหรับวัสดุทั้งสามชนิดคือ A, B และ C ซึ่งมีค่า  $f_{v_A}, f_{v_B}, f_{v_C}, \alpha_{v_A}, \alpha_{v_B}$  และ  $\alpha_{v_C}$  แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงกราฟการคำนวณค่าความทึบแสงจากการกำหนดขอบเขตพื้นผิว<sup>[9]</sup>

### บทที่ 3

## ระบบเก็บข้อมูล และโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

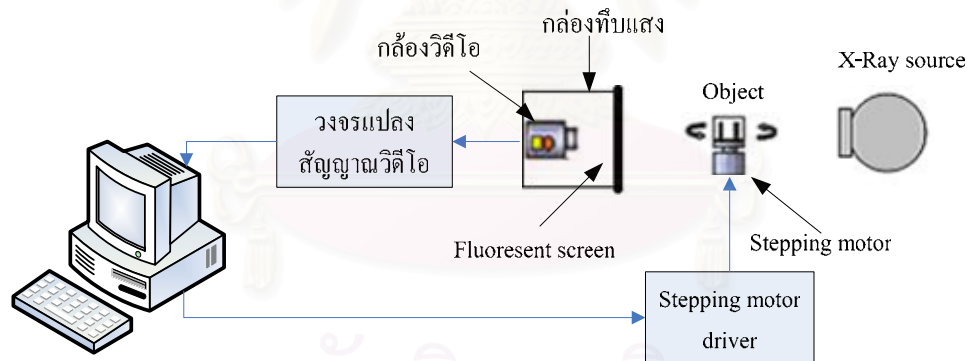
- 3.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 200 kV 8 mA ANDREX Model CMA 402
- 3.1.2 ฉากเรืองรังสีเอกซ์ (Fluorescent Screen)
- 3.1.3 กล้องทึบแสง
- 3.1.5 กล้องวิดีโอ (CCD Camera)
- 3.1.6 คอมพิวเตอร์ ที่ใช้หน่วยประมวลผล Intel Pentium4 2.0 GHz และหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) 256 Mbytes
- 3.1.7 วงจรแปลงสัญญาณวิดีโอ (Video Capture Box) ของ GrandTec รุ่น Grand AV USB 2.0
- 3.1.8 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor) ชนิด 4 เฟส ขนาด 6 โวลต์ 1.2 แอมแปร์ต่อเฟส และความละเอียดในการหมุน 1.8 องศาต่อสเต็ป
- 3.1.9 วงจรขับสเต็ปป์มอเตอร์และกำเนิดสัญญาณเสียง

### 3.2 การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทัศน์

ระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทัศน์มีแผนภาพการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นอาศัยการถ่ายภาพรังสีของวัตถุ โดยฉายรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ผ่านวัตถุตัวอย่างไปกระทบกับฉากเรืองรังสี เพื่อกระตุ้นให้สารเรืองรังสีให้ปล่อยแสงออกมาทำให้เกิดเป็นภาพขึ้นบนฉาก จากนั้นกล้องวิดีโอจะรับภาพจากฉากเรืองรังสี โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกบรรจุไว้ภายในกล่องทึบแสงสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอจะถูกส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางแผ่นวงจรแปลงสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพ (video signal) ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอก ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้สามารถประมวล และแสดงผลบนจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็จัดเก็บภาพให้อยู่ในรูปไฟล์วิดีโอรูปแบบ AVI (audio-video interleaved) หลังจากได้ข้อมูลที่โปรเจกชัน

แรกแล้วโปรแกรมจะส่งสัญญาณผ่านพอร์ตขนาน เพื่อสั่งให้สเต็ปมอเตอร์หมุนวัตถุตัวอย่างไปทีละมิลลิเมตร โปรแกรมจะทำการหมุนวัตถุตัวอย่างและเก็บข้อมูลภาพในโปรเจกชันถัดไปจนกระทั่งได้ข้อมูลครบทุกโปรเจกชันตามจำนวนที่ตั้งไว้บนโปรแกรม แล้วจึงบันทึกข้อมูลที่ได้ทั้งหมดลงบนฮาร์ดดิสก์ และเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของ dark current และข้อมูลโปรไฟล์ของภาพถ่ายรังสีขณะไม่มีวัตถุตัวอย่าง ในรูปแบบ AVI เช่นเดียวกันเพื่อใช้ในการปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธี Shading correction

ข้อมูลวิดีโอในรูปแบบของ AVI นั้นมีลักษณะเหมือนกับการนำภาพมาเรียงต่อกัน ดังนั้นจึงสามารถเลือกจับภาพแต่ละโปรไฟล์จากไฟล์วิดีโอ เพื่อเลือกช่วงในการเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นในการสร้างภาพโทโมกราฟี 3 มิติ จากนั้นแปลงภาพบริเวณที่เลือกให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขจนครบทุกโปรไฟล์ จากนั้นก็นำไฟล์วิดีโอของภาพขณะไม่มีวัตถุตัวอย่าง และ dark current มาแปลงเป็นข้อมูลตัวเลข หลังจากปรับแก้ข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็สามารถนำข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติโดยใช้วิธีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 2 มิติ ทุก ๆ ชั้นที่ทำการเลือก แล้วนำมาเรียงต่อกัน



รูปที่ 3.1 ระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทัศน์

จากหลักการข้างต้นสามารถแบ่งการทำงานของระบบออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ระบบหมุนวัตถุตัวอย่าง และ ไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการเก็บข้อมูล

### 3.2.1 ระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

ระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เป็นระบบเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยรังสีของวัตถุและสร้างสัญญาณภาพสำหรับส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ โดยส่วนประกอบของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์มีดังนี้

### 3.2.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในทางอุตสาหกรรม สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ในช่วง 60 ถึง 200 กิโลโวลต์ ปรับกระแสได้สูงสุดไม่เกิน 8 มิลลิแอมแปร์ และตั้งเวลาเปิดเครื่องได้สูงสุด 12 นาทีต่อครั้ง ภาพของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม แสดงดังในรูปที่ 3.2



หลอดต้นกำเนิดรังสีเอกซ์



ชุดควบคุมต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

รูปที่ 3.2 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม

### 3.2.1.2 ฉากเรืองรังสี (Fluorescent screen)

ฉากเรืองรังสี สำหรับงานวิจัยนี้เป็นฉากชนิดซิงค์สไฟด์ เมื่อรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านวัตถุตัวอย่างมาตกกระทบ สารเรืองรังสีจะถูกกระตุ้นและปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตรออกมา ภาพบนฉากเรืองรังสีอาศัยความแตกต่างของปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุมาตกกระทบ โดยจุดที่มีความเข้มของรังสีมากความสว่างบนฉากเรืองรังสีก็จะสูง แต่ถ้าความเข้มของรังสีที่ตกกระทบน้อยความสว่างก็จะต่ำ

### 3.2.1.3 ระบบถ่ายภาพ



สำหรับงานวิจัยนี้ใช้กล้องวิดิทัศน์ชนิดซีซีดี (Charge-Coupled Device; CCD) รับภาพจากฉากเรืองรังสี ภาพดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพ โดยกล้องวิดิทัศน์แล้วส่งสัญญาณภาพไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ ระบบถ่ายภาพทั้งหมดประกอบอยู่ในกล่องที่บแสงภายใน ทาสีดำเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก และการสะท้อนแสงภายใน

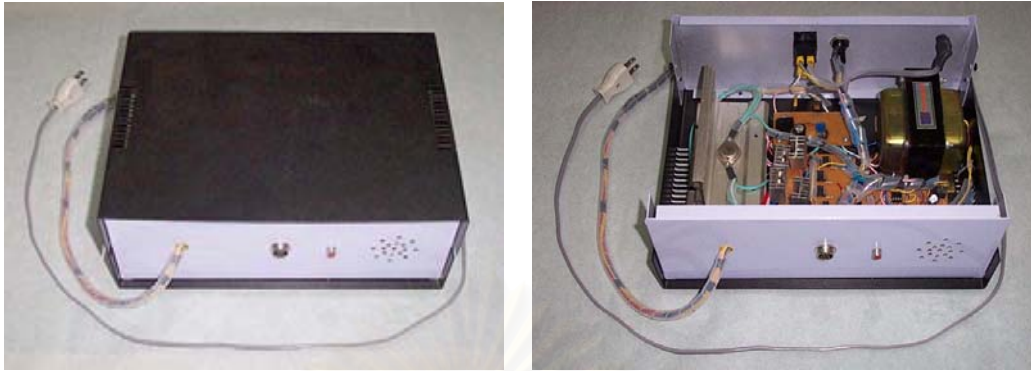
### 3.2.2 ระบบหมุนวัตถุตัวอย่าง

ระบบหมุนวัตถุตัวอย่าง ใช้หมุนวัตถุด้วยสเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor) โดยสั่งการหมุนผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ของไมโครคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพระบบหมุนวัตถุตัวอย่าง<sup>[2]</sup>

สเต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ 4 เฟส ความละเอียดในการหมุนเท่ากับ 1.8 องศาต่อสเต็ป ต้องการแหล่งกำเนิดแรงดันขนาด 6 โวลต์ และใช้กระแส 1.2 แอมแปร์ต่อเฟส การจ่ายกระแสให้แก่เฟสต่าง ๆ เป็นแบบการกระตุ้นสองเฟส (two phase excitation หรือ full step) โดยให้วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์จ่ายกระแสให้แก่ขดลวดของสเต็ปปีงมอเตอร์ครึ่งละสองเฟส ตามสัญญาณควบคุมที่ส่งมาจากไมโครคอมพิวเตอร์ และมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงป้อนไฟเลี้ยงให้แก่ทั้งสองวงจร โดยภาพของวงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรจับสแต็ปิงมอเตอร์<sup>[2]</sup>

### 3.2.3 ไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ

ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้หน่วยประมวลผลกลาง Intel Pentium4 2.0 GHz หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ขนาด 256 Mbytes พร้อมทั้งวงจรแปลงสัญญาณวิดีโอ (Video Capture Box) ของ GrandTec รุ่น Grand AV USB 2.0 โดยทำหน้าที่ ควบคุมการหมุนของสแต็ปิงมอเตอร์ แสดงภาพจากระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แปลงข้อมูลเป็นจากระบบถ่ายภาพเป็นไฟล์วิดีโอ และแปลงข้อมูลจากไฟล์วิดีโอเป็นข้อมูลตัวเลข

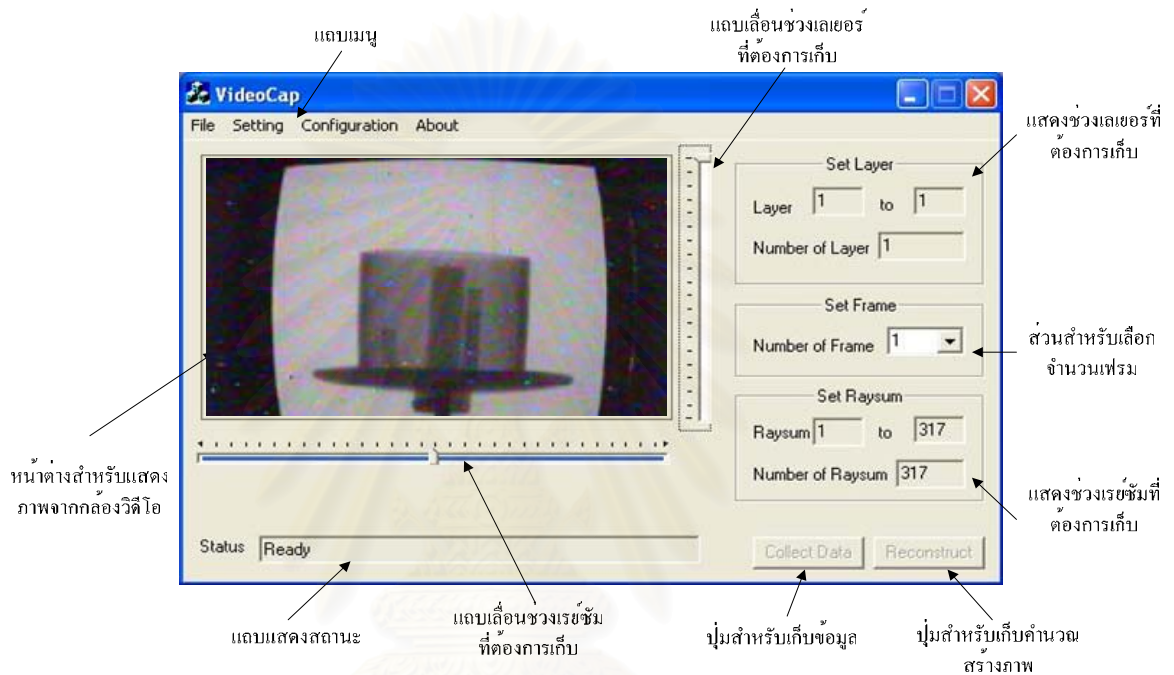
### 3.3 การพัฒนาโปรแกรมเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งการทำงานเป็น 4 ขั้นตอนคือ การรับค่าจากกล้อง CCD แปลงเป็นไฟล์วิดีโอชนิด AVI, การแปลงไฟล์วิดีโอไปเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข, การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ และการแสดงผล

ขั้นตอนดังกล่าว โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล และคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ โปรแกรมอีกส่วนหนึ่งจะเป็นโปรแกรมสำหรับแสดงภาพ 3 มิติที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ โดยทั้ง 2 โปรแกรมทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ซึ่งพัฒนาด้วย ภาษา C++

#### 3.3.1 โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล และคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณภาพจากวงจรแปลงสัญญาณวิดีโอ แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการแปลงเป็นไฟล์ในรูปแบบ AVI ส่งสัญญาณควบคุมไปยัง วงจรจับเสต็ปมิงมอเตอร์ แปลงไฟล์ข้อมูลวิดีโอเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อใช้คำนวณสร้างภาพ และ คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยหน้าต่างหลักแสดงในรูปที่ 3.5

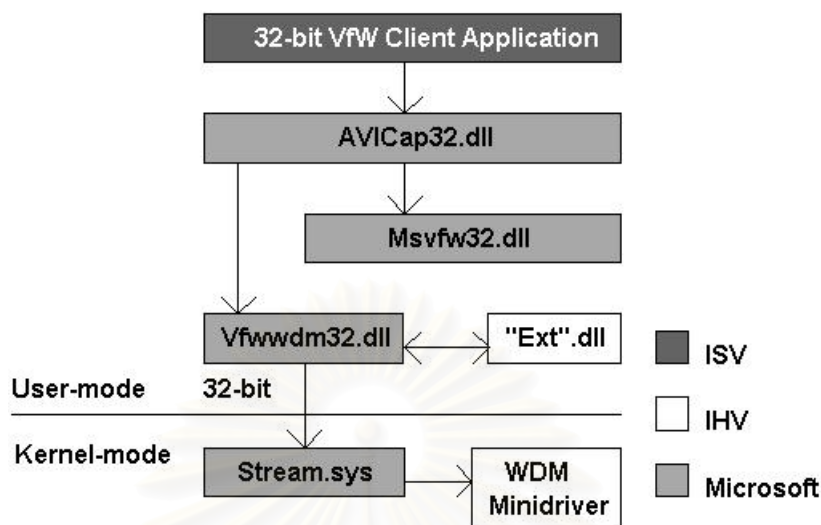


รูปที่ 3.5 หน้าต่างหลักของโปรแกรมเก็บข้อมูล และคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

### 3.3.1.1 การแปลงข้อมูลสัญญาณภาพวิดีโอเป็นไฟล์วิดีโอชนิด AVI

การแปลงข้อมูลเป็นไฟล์วิดีโอชนิด AVI ก่อน แทนการรับสัญญาณวิดีโอ แล้ว แปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขในทันที มีข้อดีคือเราสามารถนำข้อมูลจากไฟล์ AVI ที่เก็บบันทึกไว้มา ใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ในภายหลังได้

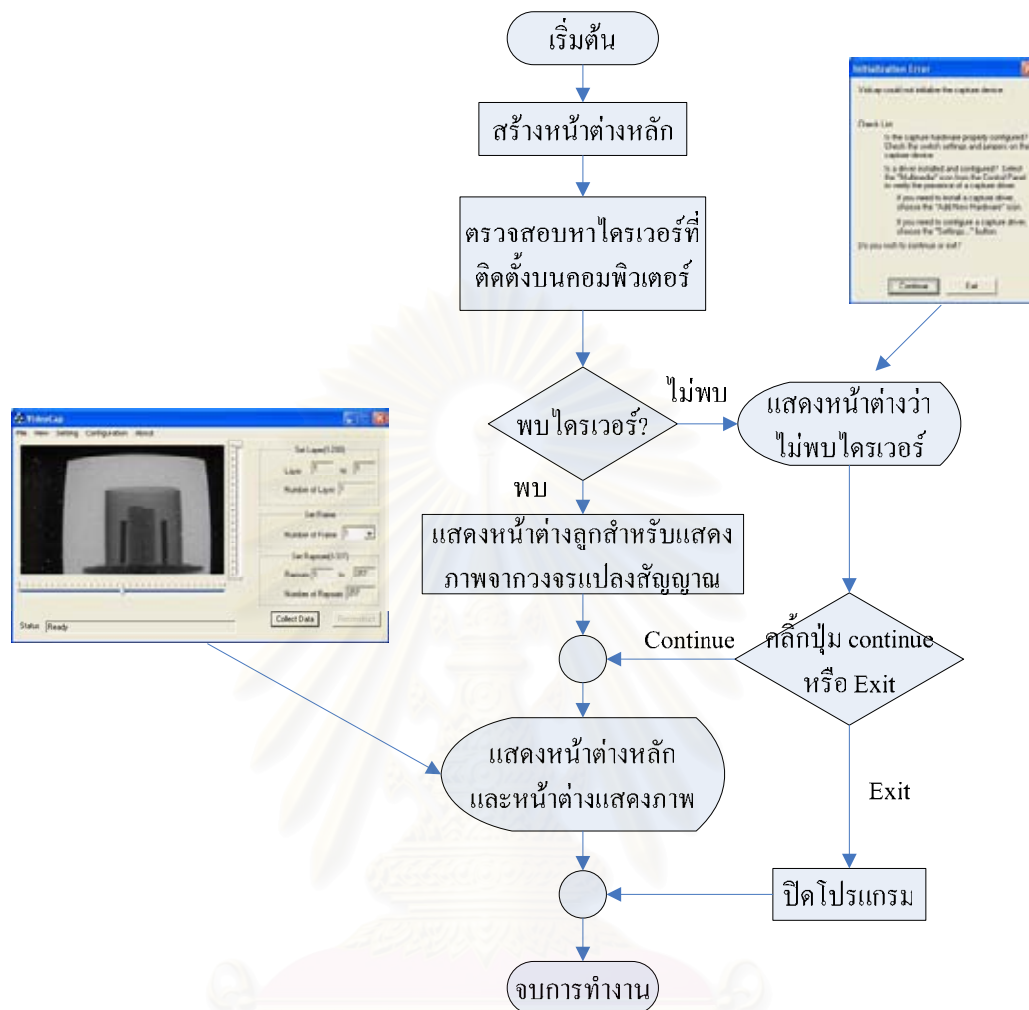
ปัญหาอย่างหนึ่งในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับวงจรแปลงสัญญาณวิดีโอ ไม่ว่าจะ เป็นการเชื่อมต่อผ่านการ์ดแบบ PCI หรือผ่านพอร์ต USB คือความแตกต่างกันของฮาร์ดแวร์ และรูปแบบการติดต่อของสัญญาณในผู้ผลิตแต่ละราย ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่สามารถใช้ งานกับวงจรแปลงสัญญาณวิดีโอจากผู้ผลิตรายอื่นได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวบริษัท ไมโครซอฟท์ ผู้สร้างระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ได้พัฒนาชุดคำสั่งมาตรฐานที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์เหล่านี้ ซึ่งมี ชื่อเรียกว่า Video for Windows (VfW) โดยมีการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังการติดต่อกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณผ่านชุดคำสั่งของ VFW<sup>[11]</sup>

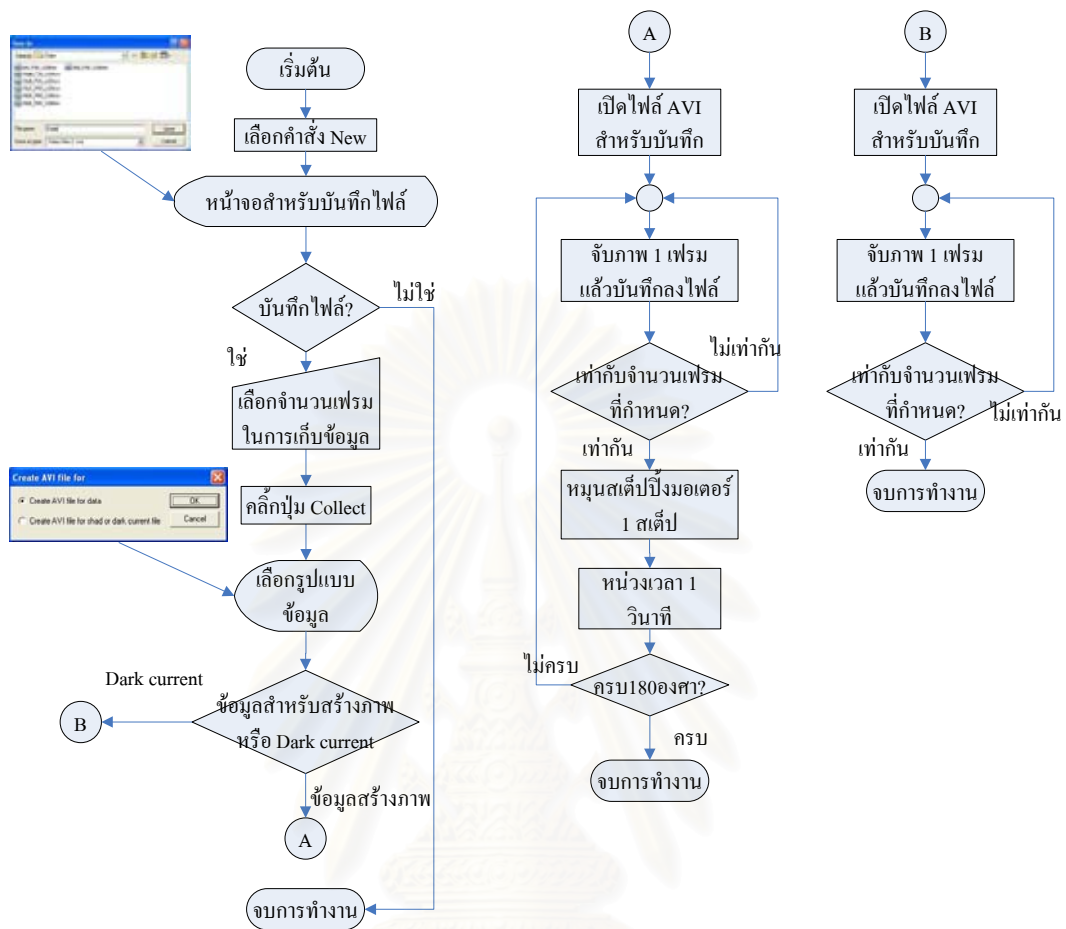
เมื่อพัฒนาโปรแกรมที่ติดต่อกับวงจรแปลงสัญญาณวิดีโอ (32bit VFW Client Application) จะทำงานผ่าน AVICap32.dll จากนั้นจึงส่งต่อไปยัง Vfwwdm32.dll เพื่อติดต่อกับชุดคำสั่งเพิ่มเติมจากอุปกรณ์ (“Ext”.dll) และไดรเวอร์ของผู้ผลิตอุปกรณ์รายนั้น ๆ ดังนั้นหน้าที่ของผู้ผลิตอุปกรณ์แปลงสัญญาณวิดีโอ จะต้องเขียนชุดคำสั่งเพิ่มเติมและไดรเวอร์จากอุปกรณ์ให้ตรงตามมาตรฐานที่ทางไมโครซอฟท์กำหนด

การเริ่มต้นของโปรแกรมจะต้องตรวจสอบหาไดรเวอร์ของวงจรแปลงสัญญาณทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่บนคอมพิวเตอร์ ถ้าพบโปรแกรมจะสร้างหน้าต่างลูกสำหรับแสดงภาพจากกล้องวิดีโอ และสร้างตัวควบคุมอื่น ๆ เพื่อรอการสั่งการไปที่หน้าต่างหลักดังรูปที่ 3.5 แต่หากไม่พบไดรเวอร์โปรแกรมจะแสดงกล่องข้อความให้เลือกว่าจะทำงานต่อหรือไม่ ถ้าเลือก “Continue” โปรแกรมจะรอการสั่งการที่หน้าต่างหลักโดยไม่สามารถแสดงภาพจากแผ่นวงจรรับภาพได้ และถ้าเลือก “Exit” โปรแกรมจะปิดหน้าต่างทั้งหมดพร้อมกับออกจากโปรแกรม



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานขณะเริ่มเข้าสู่หน้าต่างหลัก

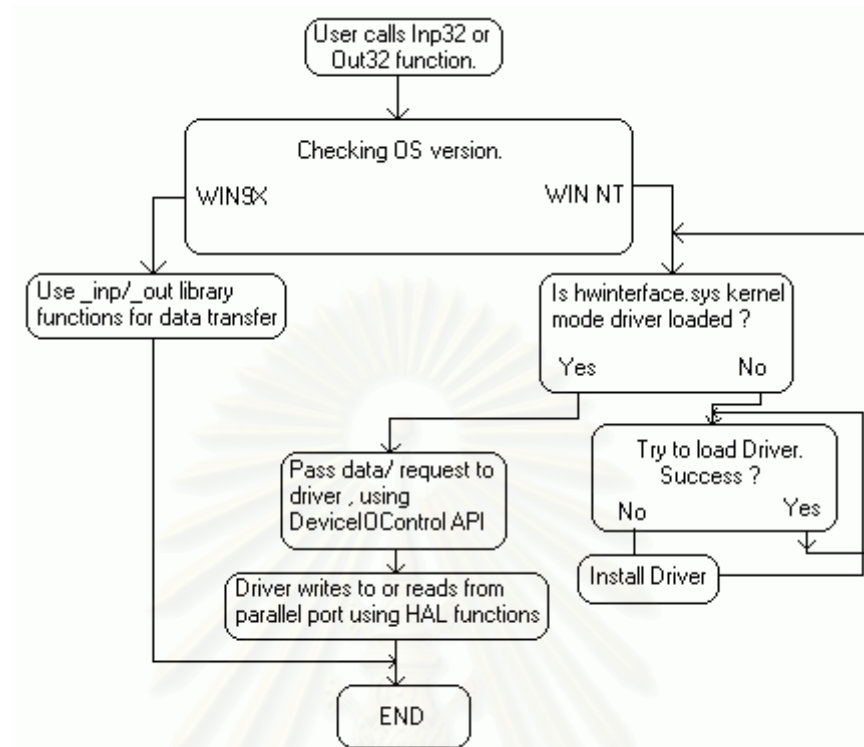
หลังจากเข้าสู่หน้าต่างหลัก ในการเก็บข้อมูลเป็นไฟล์วิดีโอชนิด AVI ให้เลือกที่ File ที่แถบเมนูบาร์จากนั้นเลือก New จากนั้นจะปรากฏหน้าจอสำหรับตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก เมื่อกำหนดชื่อไฟล์ที่จะบันทึก และเลือกชนิดไฟล์เป็น AVI คลิกที่ปุ่ม **Collect Data** เพื่อบันทึกข้อมูล โดยจะขึ้นหน้าจอให้เลือกว่าต้องการบันทึกสำหรับเก็บเป็นข้อมูลสร้างภาพ หรือสำหรับในกรณีไม่มีวัตถุตัวอย่าง และ dark current ถ้าเลือกเก็บข้อมูลสร้างภาพ โปรแกรมจะจับภาพตามจำนวนเฟรมที่ตั้งไว้ลงในไฟล์วิดีโอชนิด AVI จากนั้นก็หมุนสแต็ปปิงมอเตอร์ไปอีก 1 สเต็ป และทำการเก็บข้อมูลเหมือนเดิมจนได้ภาพในทุก ๆ มุม ในขณะที่ถ้าเลือกเก็บข้อมูลสำหรับกรณีที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง และ dark current นั้นมีขั้นตอนการเก็บที่เหมือนกัน โดยจะจับภาพตามจำนวนเฟรมที่ตั้งไว้ แต่ไม่มีการหมุนสแต็ปปิงมอเตอร์



รูปที่ 3.8 แผนผังการเก็บข้อมูลไฟล์ชนิด AVI

การหมุนสแต็ปปีงมอเตอร์ คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณจากพอร์ต เครื่องพิมพ์ โดยทั่วไปเราสามารถ ใช้ คำสั่ง `_Inp()` และ `_Outp()` ใน โปรแกรมเพื่อส่ง และรับข้อมูลจากพอร์ต เครื่องพิมพ์ตามลำดับ ซึ่งสามารถใช้งาน ได้กับระบบปฏิบัติการ DOS, Windows95, Windows98 และ WindowsMe แต่ในกรณีของ WindowsNT, Windows2000 และ WindowsXP จะไม่สามารถ ใช้คำสั่งดังกล่าวได้เนื่องจาก WindowsNT จะทำงานบน เคอร์เนล โหมด (Kernel Mode) ซึ่งจะ ยับยั้งการทำงานของชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการรับ และส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ภายนอกทั้งหมด ขณะที่ Windows98 ทำงานบนยูสเซอร์ โหมด (User Mode) ซึ่งสามารถใช้งานคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการ รับ และส่งข้อมูลได้

ในการแก้ปัญหาจะต้องสร้าง ไดรเวอร์ ในการติดต่อกันพอร์ตเครื่องพิมพ์ที่ทำงาน บน โหมดเคอร์เนล ซึ่งเป็นงานที่ยุ่งยาก ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ใช้ไลบรารี `Inpout32.dll` ซึ่ง พัฒนาโดย Jan Axelsons โดยมีผังการทำงานดังรูปที่ 3.9

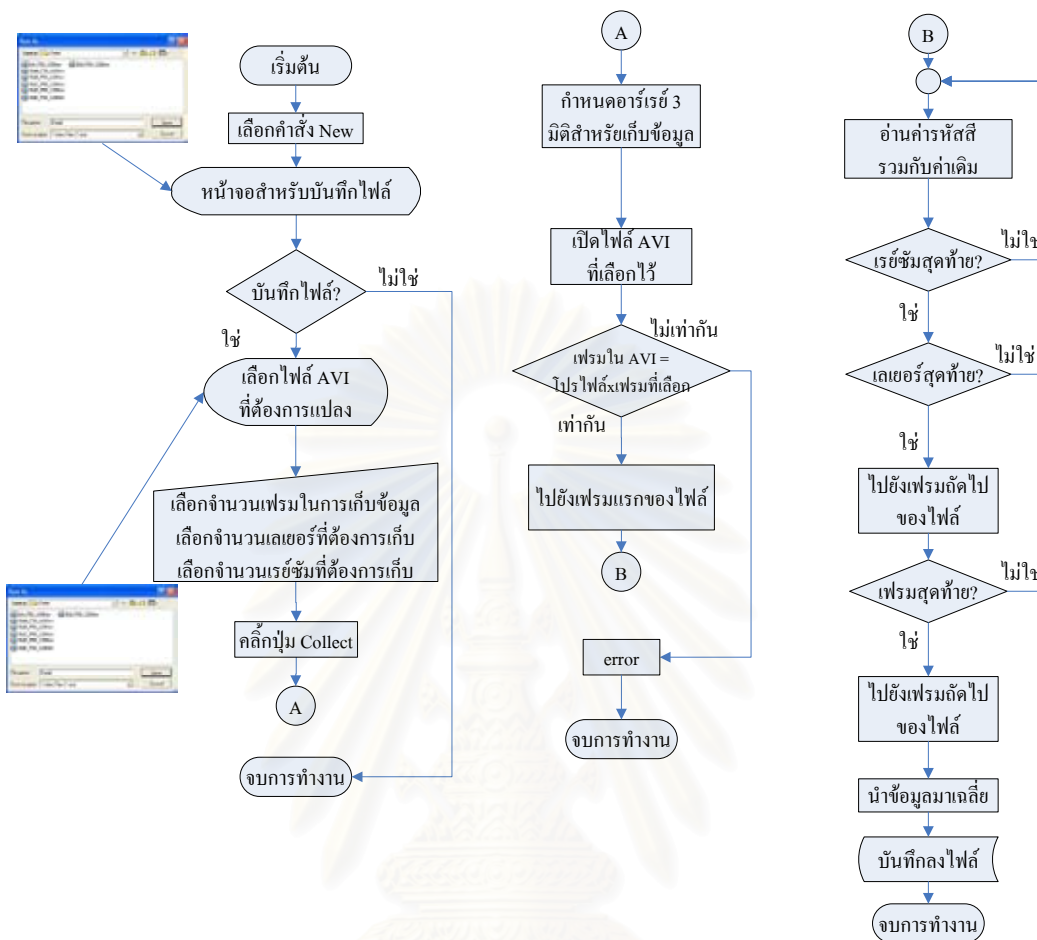


รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของไลบรารี Inpout32.dll<sup>[12]</sup>

ในการใช้งานจะใช้คำสั่ง Inp32() และ Out32() ในการรับ และส่งข้อมูลจากพอร์ตเครื่องพิมพ์ตามลำดับ โดยจะตรวจสอบระบบปฏิบัติการถ้าเป็น Windows98 คำสั่ง \_inp() และ \_out() ถูกเรียกใช้งาน ในกรณีของ WindowsNT จะทำการตรวจสอบว่ามีไดรเวอร์อยู่ในระบบหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะทำการติดตั้งใหม่ แล้วจึงทำการรับส่งข้อมูล

### 3.3.1.2 การแปลงไฟล์วิดีโอชนิด AVI เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขในการคำนวณสร้างภาพ

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี จะใช้ข้อมูลตัวเลขในการคำนวณ ดังนั้นเราจึงจะต้องนำไฟล์วิดีโอ ซึ่งเป็นลักษณะของไฟล์รูปภาพมาแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข ในการเก็บข้อมูลให้ไปที่เมนู File จากนั้นเลือกที่ New จะปรากฏหน้าจอสำหรับตั้งชื่อ ไฟล์ที่ต้องการบันทึกเมื่อกำหนดชื่อไฟล์ที่จะบันทึกโดยเลือกชนิดไฟล์เป็น DAT เลือกช่วงที่ต้องเก็บข้อมูลกดที่ปุ่ม Collect Data เพื่อบันทึกข้อมูล โดยจะขึ้นหน้าจอสำหรับเลือกไฟล์วิดีโอชนิด AVI ที่ต้องการแปลงเป็นข้อมูล โปรแกรมจะสร้างอาร์เรย์ 3 มิติสำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราว จากนั้นจะเริ่มตั้งแต่ละเฟรมมาทำการเก็บค่ารหัสสีแต่ละจุดในช่วงที่เลือกไว้นามาแปลงเป็นตัวเลข แล้วนำมาเก็บไว้ในอาร์เรย์และนำข้อมูลมาเฉลี่ย แล้วเก็บไว้ในไฟล์ที่ตั้งชื่อไว้



รูปที่ 3.10 แผนผังการแปลงไฟล์วิดีโอชนิด AVI เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขในการคำนวณสร้างภาพ

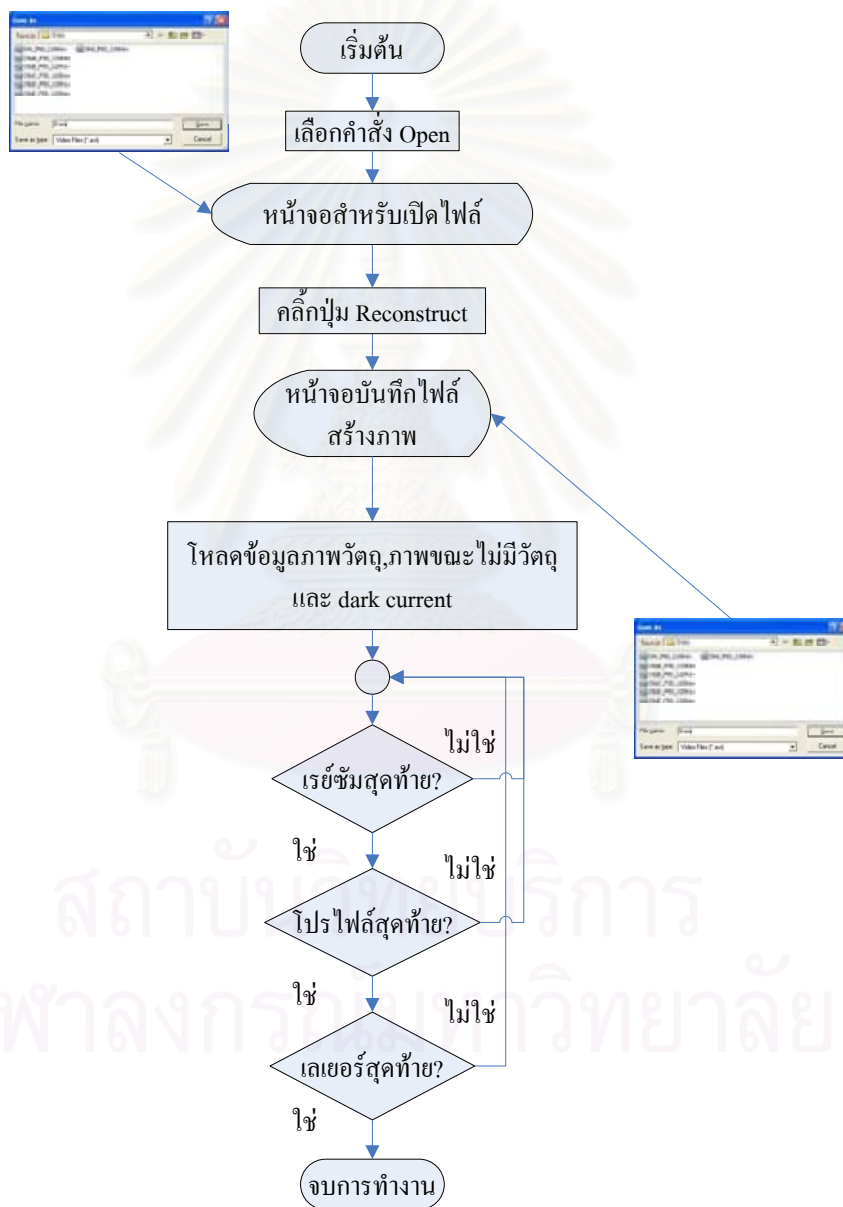
### 3.3.1.3 การแปลงไฟล์วิดีโอชนิด AVI เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขขณะไม่มีวัตถุตัวอย่าง และ dark current

การแปลงข้อมูลจากไฟล์วิดีโอชนิด AVI เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขในขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง และ dark current มีวิธีการแปลงข้อมูลที่เหมือนกัน โดยเลือกที่ File ที่แถบเมนูบาร์ จากนั้นเลือก New จากนั้นจะปรากฏหน้าจอสำหรับตั้งชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึก เมื่อกำหนดชื่อไฟล์ที่จะบันทึก และเลือกชนิดไฟล์เป็น SHD หรือ DRK เพื่อเก็บข้อมูลในขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง และ dark current ตามลำดับ คลิกที่ปุ่ม **Collect Data** เพื่อบันทึกข้อมูล โปรแกรมจะสร้างอาร์เรย์ 2 มิติสำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราว จากนั้นจะเริ่มดึงแต่ละเฟรมมาทำการเก็บค่ารหัสสีแต่ละจุดตลอดทั้งเฟรมนำมาแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข แล้วนำมาเก็บไว้ในอาร์เรย์จากนั้นจึงนำข้อมูลมาเฉลี่ย แล้วจึงนำข้อมูลไปเก็บไว้ในไฟล์ที่ตั้งไว้

### 3.3.1.4 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ



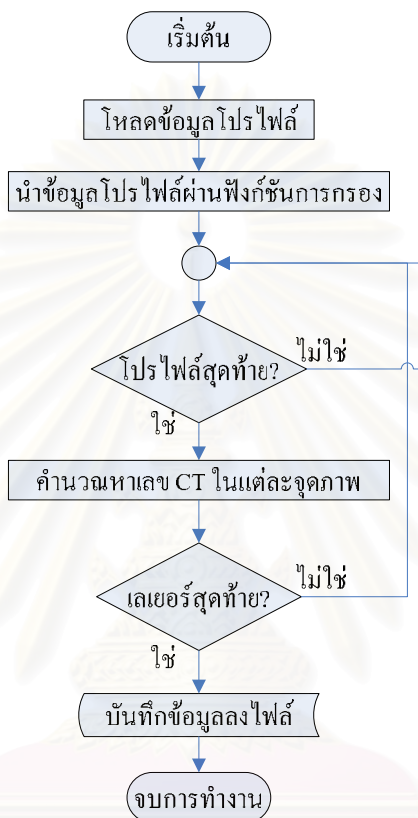
การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติก่อนการสร้างภาพจะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลก่อนด้วยวิธี Shading correction โดยนำ ข้อมูล dark current และข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยรังสีขณะไม่มีวัตถุ ( $V_0$ ) เป็นข้อมูลที่ใช้ในการปรับแก้ โดยเลือกที่ Setting ที่แถบเมนูบาร์ จากนั้นเลือก Shading สำหรับกำหนดไฟล์ข้อมูลในขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง และเลือก Dark Current สำหรับข้อมูล dark current โดยใช้สมการที่ 2.4 ในการปรับแก้



รูปที่ 3.11 แสดงผังการปรับแก้ข้อมูลด้วยวิธี Shading correction

หลังจากการปรับแก้ด้วยวิธี Shading correction ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จะถูกนำไปผ่านฟังก์ชันการกรองโดยจะใช้ฟังก์ชัน Shepp&logan เพื่อปรับปรุงข้อมูลโปรไฟล์ และนำมา

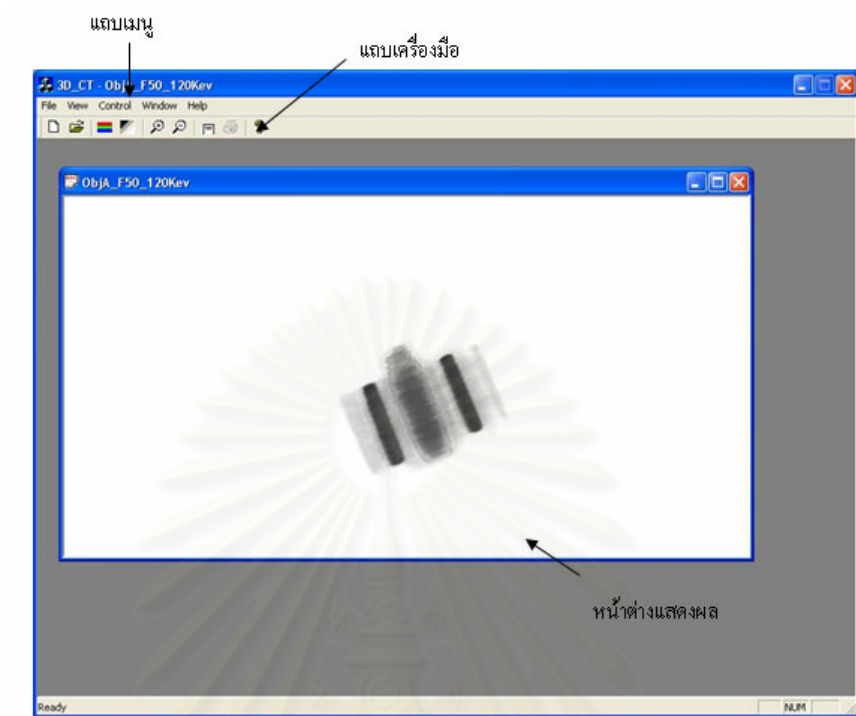
คำนวณหาค่าเลขชี้กำลัง ในแต่ละจุดภาพจะได้ภาพโทโมกราฟีใน 1 เลเยอร์ จากนั้นจึงดำเนินการสร้างภาพโทโมกราฟีในทุกเลเยอร์ จะได้ข้อมูลภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้นั้นที่ก๊อกลงไฟล์



รูปที่ 3.12 แผนผังการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

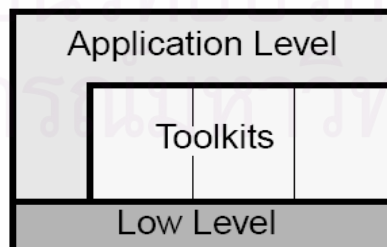
### 3.3.2 โปรแกรมแสดงภาพ 3 มิติที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่นำข้อมูลจากการคำนวณสร้างภาพมาแสดงผล โดยสามารถปรับเปลี่ยนมุมมอง เปลี่ยนค่าของสี และค่าความทึบแสงในแต่ละค่าของเลขชี้กำลัง



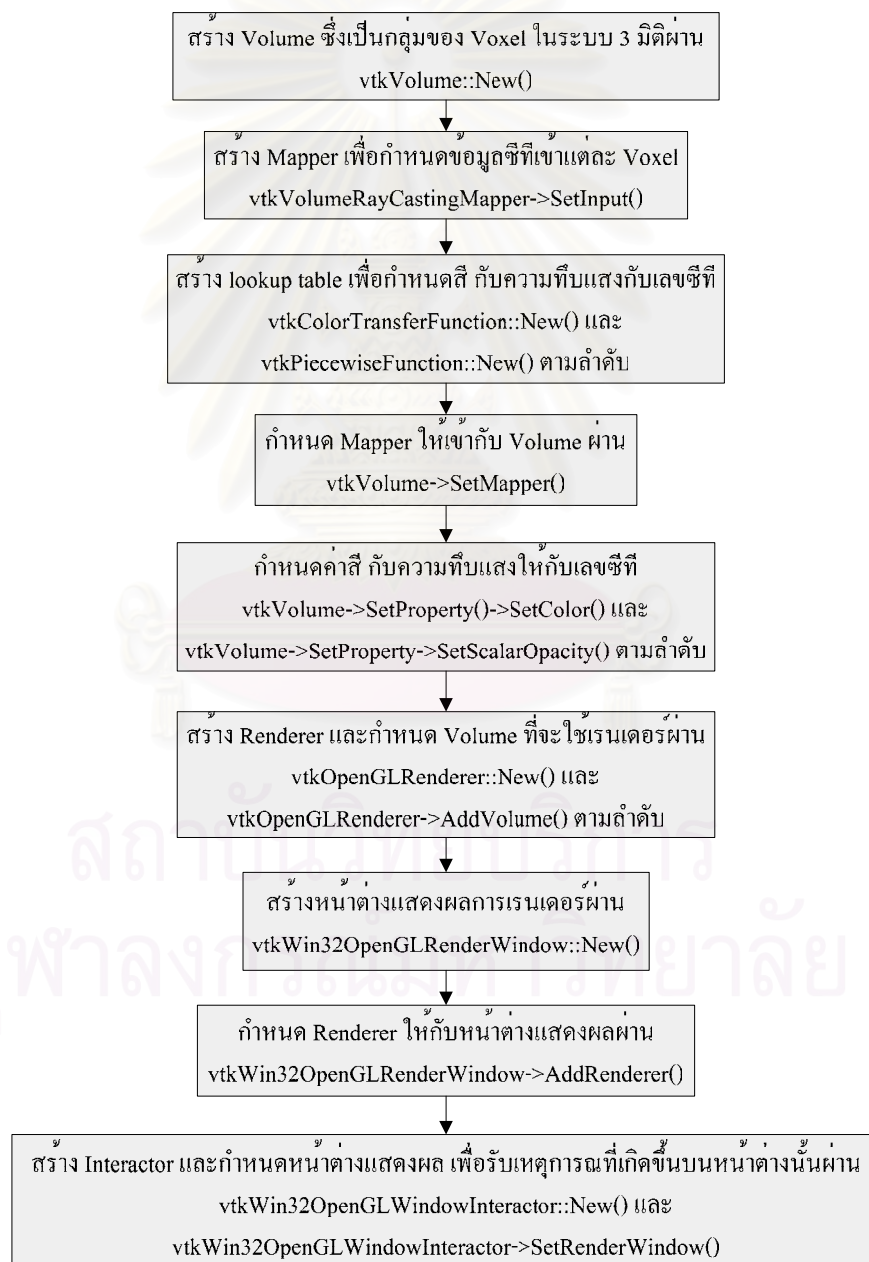
รูปที่ 3.13 หน้าต่างโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

ขั้นตอนการทำงานในประมวลผลข้อมูล 3 มิติทั้งการเรนเดอร์ภาพ, การเปลี่ยนมุมมอง, การกำหนดคุณสมบัติของสี และความทึบแสงของว็อกเซลในแต่ละค่าของเลขชี้ที่จะดำเนินการผ่าน Visualization ToolKit (VTK) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์แบบเปิดเผยซอร์สโค้ด (open source) ในการประมวลผลทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก และการประมวลผลภาพโดยประกอบด้วยคลาสไลบรารีที่เป็นภาษา C++ โดยพัฒนาจากนักวิจัยทั่วโลก และได้รับการสนับสนุนจากบริษัท Kitware Inc สามารถทำงานทั้งบนระบบปฏิบัติการและวินโดวส์ทั้งหมด



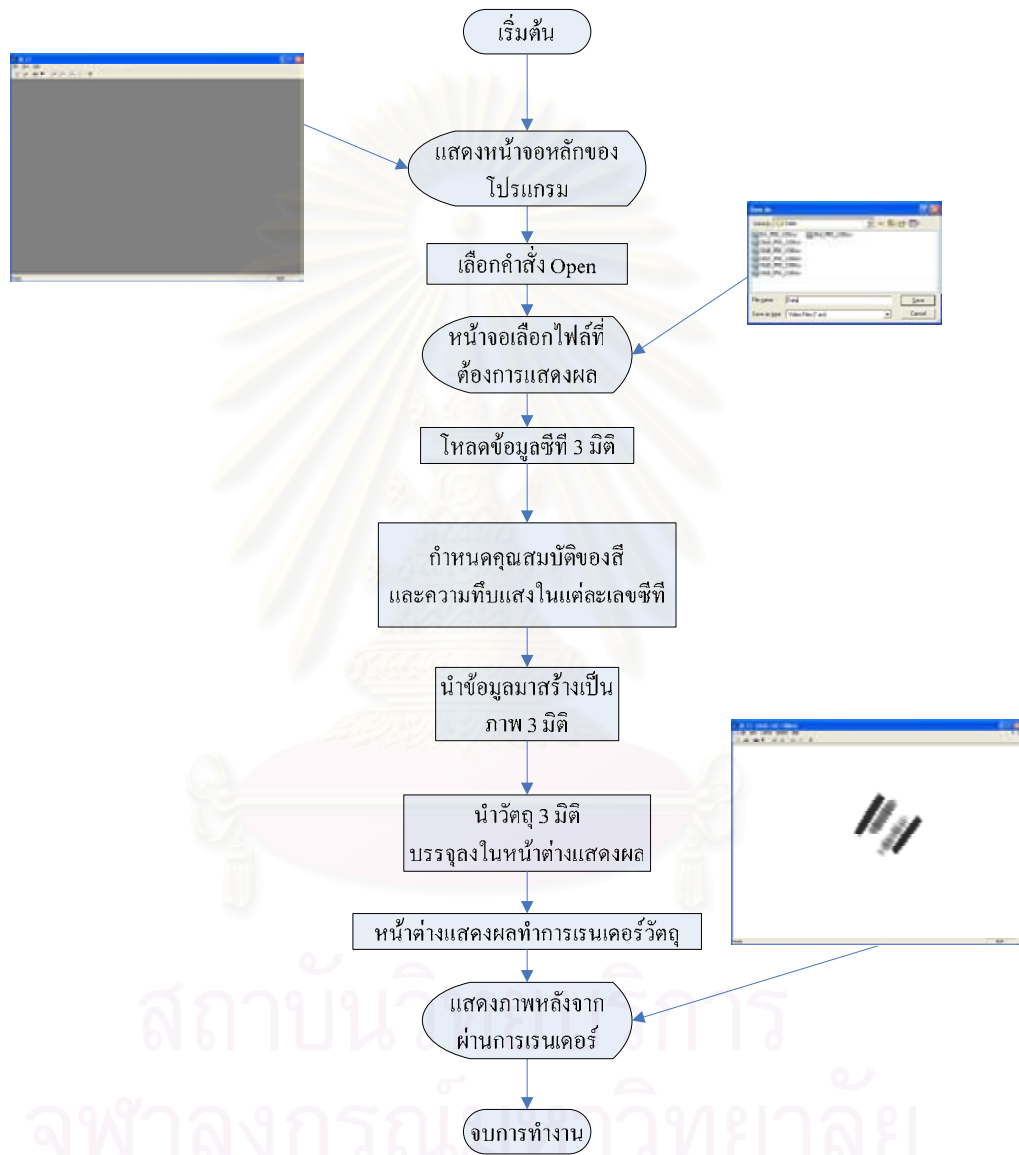
รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมผ่านไลบรารี VTK

ในส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น (Application Level) เมื่อมีการเรียกใช้คำสั่งประมวลผล 3 มิติของไลบรารี VTK (Toolkits) หน้าที่ของไลบรารีมีหน้าที่ในการติดต่อกับอุปกรณ์ระดับล่าง (Low Level) ของคอมพิวเตอร์เช่น หน่วยความจำ, การ์ดแสดงผล ฯลฯ เพื่อใช้ในการประมวลผลงาน 3 มิติซึ่งผู้พัฒนาไม่จำเป็นต้องติดต่อกับอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งช่วยเพิ่มความเร็วในการพัฒนาโปรแกรม โดยการเรียกใช้งานไลบรารี VTK เพื่อใช้ในการเรนเดอร์เชิงปริมาตรแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนผังแสดงการใช้งานไลบรารี VTK ในการเรนเดอร์เชิงปริมาตร

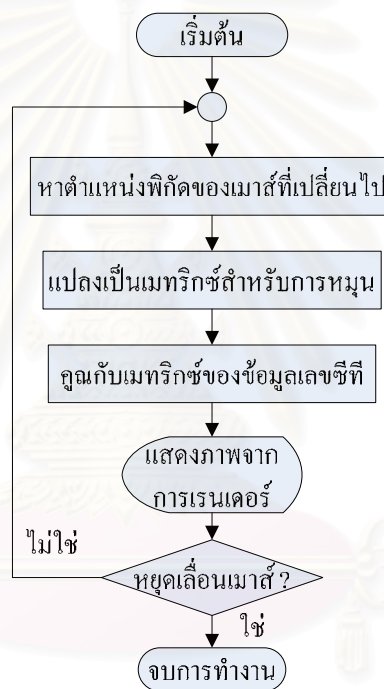
ในการแสดงผลภาพ 3 มิติต้องสร้างหน้าต่างสำหรับการแสดงผล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมากำหนดคุณสมบัติทางสี และความทึบแสงในแต่ละเลขชี้กำลัง และนำมาสร้างเป็นวัตถุ 3 มิติ ซึ่งจะถูกแสดงผ่านหน้าต่างสำหรับแสดงผลโดยทำการเรนเดอร์วัตถุ 3 มิติ



รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานในการแสดงผลการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ


### 3.3.2.1 การควบคุมการเปลี่ยนมุมมองของวัตถุในโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

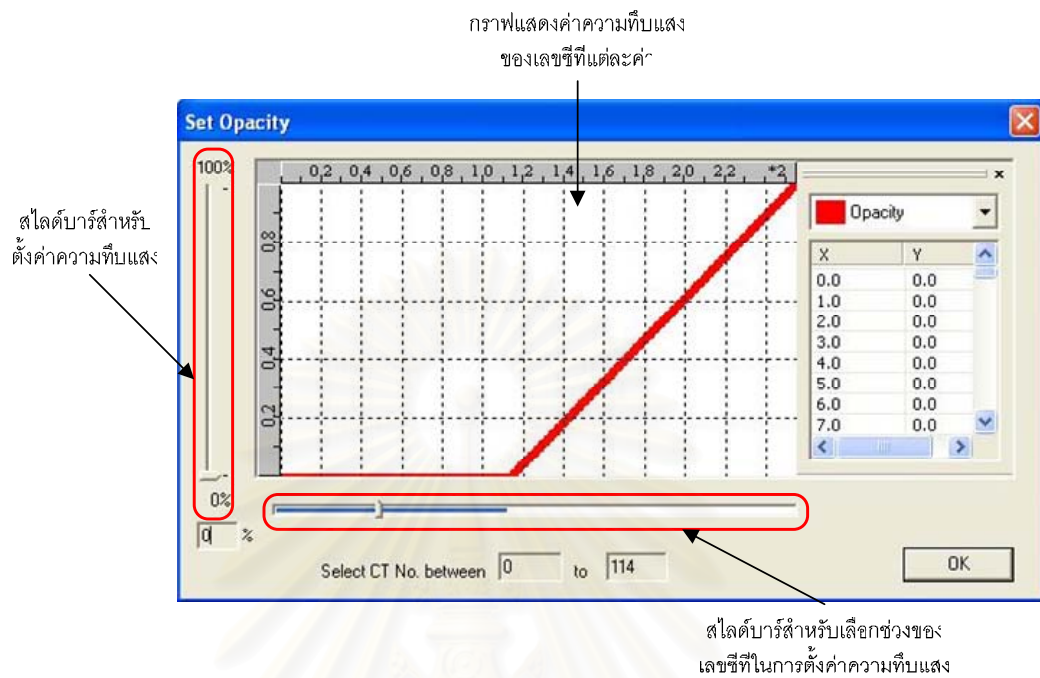
การเปลี่ยนมุมมองของวัตถุ 3 มิติในโปรแกรมแสดงภาพ 3 มิติสามารถคลิกปุ่มซ้ายมือของเมาส์ค้างไว้บนหน้าจอแสดงภาพ จากนั้นทำการเลื่อนเมาส์ไปทิศทางต่าง ๆ ซึ่งวัตถุจะหมุนไปทางทิศเดียวเมาส์ที่เคลื่อนที่ไป โดยที่มุมในการหมุนคำนวณจากตำแหน่งของเมาส์ที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 3.17 แผนผังการหมุนวัตถุ 3 มิติในโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

### 3.3.2.2 การกำหนดค่าความทึบแสงของแต่ละเลขซีทีในโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

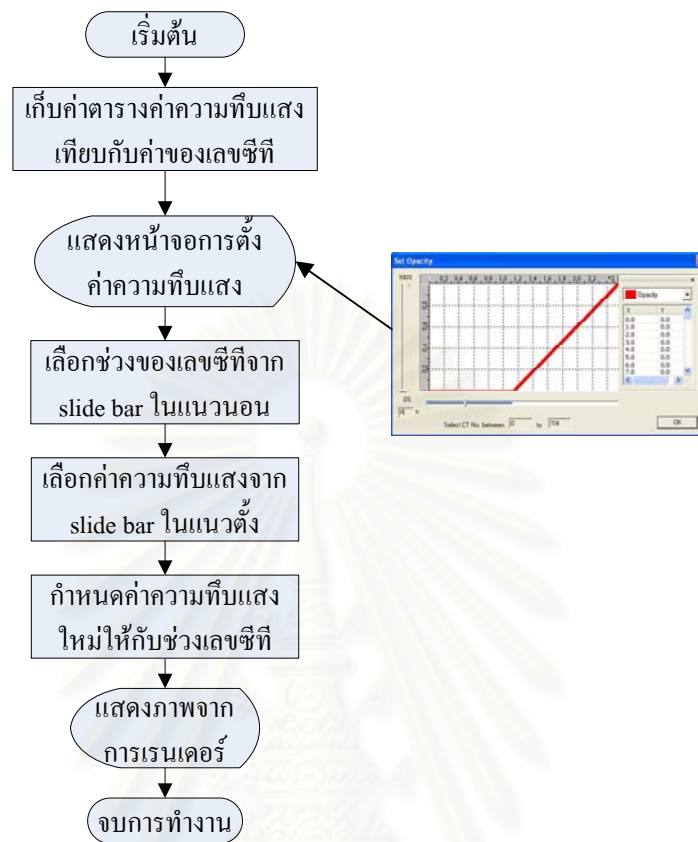
สำหรับการเลือกแสดงผลในวัสดุบางชนิดจะทำได้โดยการกำหนดค่าความทึบแสงของเลขซีทีในวัสดุชนิดนั้นให้มีค่าความทึบแสงมีค่าเป็น 0 หรือโปร่งใส เมื่อแสงทะลุผ่านก็จะไม่แสดงผลของวัตถุนั้น โดยเลือก Control แถบเมนูจากนั้นเลือก Set Volume Properties และเลือกที่ Opacity หรือคลิกที่ปุ่ม  ที่แถบเครื่องมือ โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างสำหรับตั้งค่าความทึบแสง



รูปที่ 3.18 หน้าต่างสำหรับตั้งค่าความทึบแสงของแต่ละเลขซีที


ในการปรับค่าความทึบแสงในแต่ละเลขซีทีให้เลือกสไลด์บาร์ที่อยู่แนวนอน จาก แล้วกดปุ่ม **Ctrl** ค้างไว้ และเลื่อนสไลด์เพื่อเลือกช่วงของเลขซีทีที่ต้องการตั้งค่า จากนั้นไปยัง สไลด์บาร์ในแนวตั้งเพื่อตั้งค่าความทึบแสงในช่วงของเลขซีทีที่เลือกไว้โดยที่ 0 หมายถึง กำหนดให้โปร่งใส และเมื่อเพิ่มค่าวัตถุจะเพิ่มความทึบแสงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่า 100 ซึ่งเป็น ค่าสูงสุดโดยจะถือว่าเป็นวัตถุที่แสงไม่สามารถผ่านได้โดยฝั่งการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.19

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

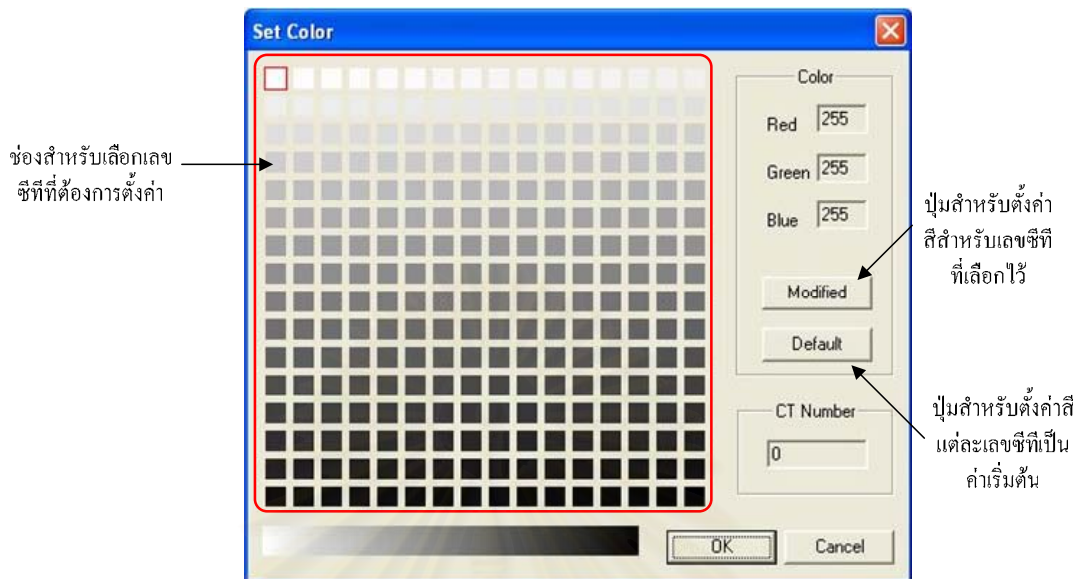


รูปที่ 3.19 แผนผังการตั้งค่าความทึบแสงในแต่ละเลขซีที

### 3.3.2.3 การกำหนดค่าสีของแต่ละเลขซีทีในโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

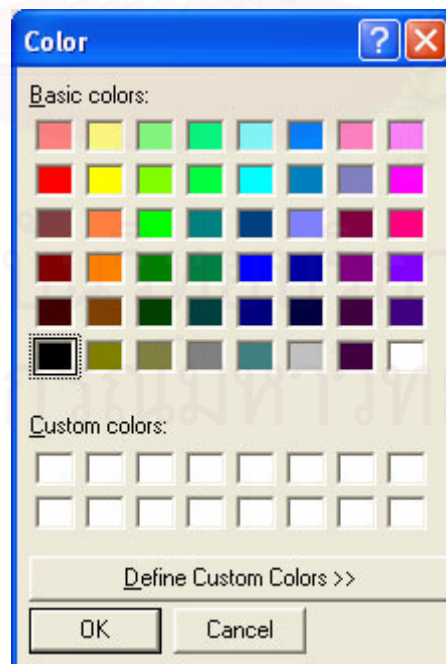
คุณสมบัติหนึ่งที่สามารถกำหนดในแต่ละเลขซีทีคือค่าของสี ซึ่งมีประโยชน์ในกรณีที่วัสดุชนิดหนึ่งมีเลขซีทีที่อยู่ในช่วงหนึ่งไม่ได้เป็นค่าเดียว การปรับค่าสีของเลขซีทีในช่วงวัสดุนั้นเป็นสีใดสีหนึ่งจะช่วยให้มองเห็นว่าเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน โดยเลือก Control แถบเมนู จากนั้นเลือก Set Volume Properties และเลือกที่ Color หรือคลิกที่ปุ่ม  ที่แถบเครื่องมือ โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างสำหรับตั้งค่าสี






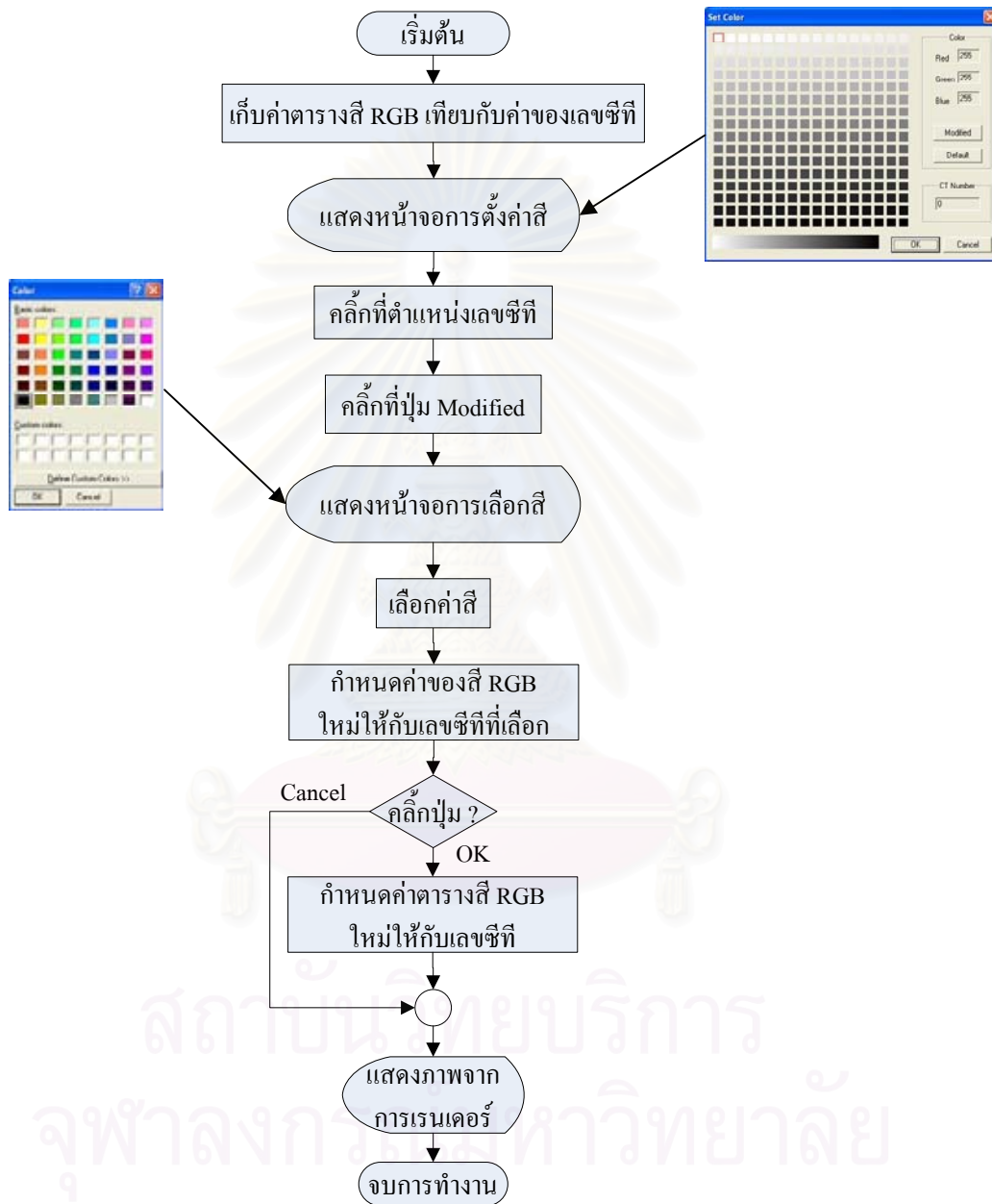
รูปที่ 3.20 หน้าต่างสำหรับตั้งค่าสีของแต่ละเลขซีที

ในการตั้งค่าของสีในแต่ละเลขซีทีให้คลิกที่ช่องที่แสดงสีของแต่ละเลขซีที โดยช่องที่อยู่มุมซ้ายบนเป็นค่าสีของเลขซีที 0 เรียงต่อจนถึงมุมขวาล่างซึ่งเป็นของเลขซีที 255 จากนั้นคลิกที่ปุ่ม **Modified** เปิดหน้าต่างสำหรับเลือกสีสำหรับค่าซีทีที่เลือกไว้



รูปที่ 3.21 หน้าต่างสำหรับเลือกสีสำหรับค่าซีทีที่เลือกไว้

เมื่อกำหนดสีให้กับทุกค่าซีทีที่ต้องการแล้วคลิกปุ่ม  โปรแกรมจะกำหนดค่าสีใหม่ให้แต่ละเลขซีที โดยผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แพนผังการตั้งค่าสีในแต่ละเลขซีที

## บทที่ 4

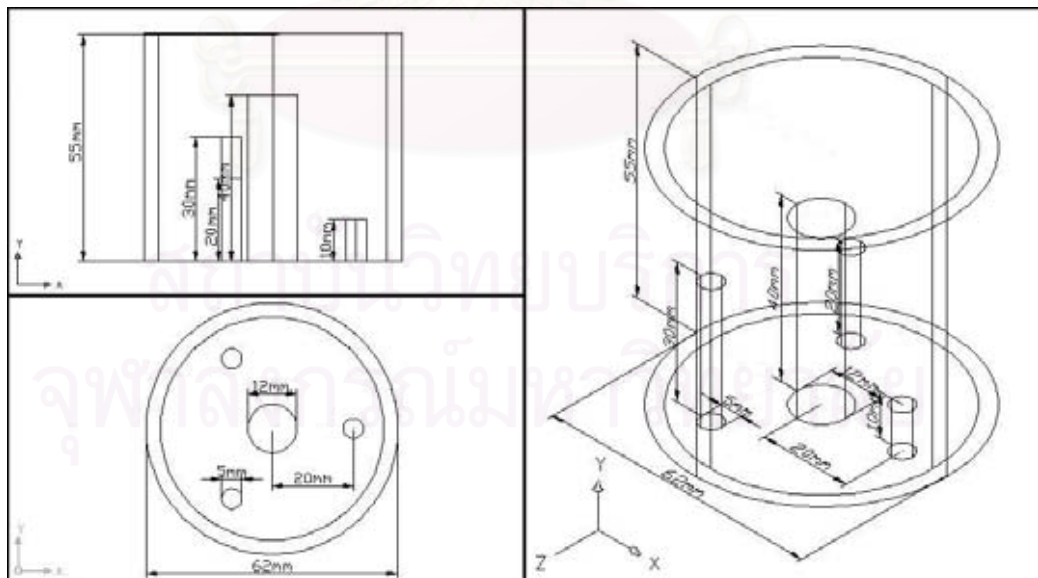
### การทดสอบการทำงานของโปรแกรม และผลการทดสอบ

#### 4.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบ

ในการทดสอบการสร้างภาพจะแบ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบออกเป็น 2 ประเภทคือ ชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นเอง และชิ้นงานทางอุตสาหกรรม โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการออกแบบชิ้นงานไว้ 3 ชิ้น

##### ชิ้นงาน A

ชิ้นงาน A ทำจากท่ออะลูมิเนียมทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 62 มม. หนา 3 มม. และ สูง 55 มม. ภายในบรรจุแท่งอะลูมิเนียมกลมตันเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. สูง 40 มม. ล้อมรอบด้วยแท่งอะลูมิเนียมกลมตันเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. 3 แท่งสูง 10, 20 และ 30 มม. ตามลำดับ ซึ่งภาพของชิ้นงาน A แสดงดังรูปที่ 4.1



(ก) แผนภาพของชิ้นงาน A

รูปที่ 4.1 แผนภาพ และภาพถ่ายของชิ้นงาน A



(ข) ภาพถ่ายของชิ้นงาน A

รูปที่ 4.1 แผนภาพ และภาพถ่ายของชิ้นงาน A (ต่อ)

การเก็บข้อมูลสำหรับชิ้นงาน A ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำหนดแรงดัน 120 กิโลโวลต์ กระแส 4 มิลลิแอมแปร์ โดยเก็บจำนวน 100 โปรเจกชันหมุนชิ้นงานแต่ละครั้งที่มุม 1.8 องศา และเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมที่ 50 เฟรม ภาพ 3 มิติที่ได้จากโปรแกรมแสดงดังรูป 4.2

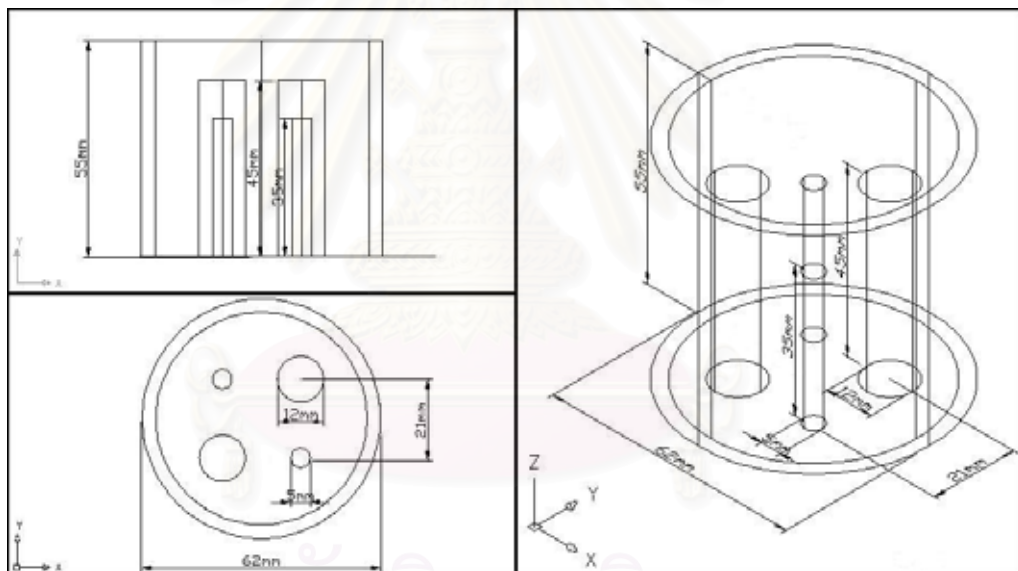


รูป 4.2 ภาพ 3 มิติของชิ้นงาน A

ภาพ 3 มิติจากโปรแกรมพบว่าบริเวณแท่งอะลูมิเนียมที่อยู่กลางท่ออะลูมิเนียม กลวงไม่เป็นแท่งตรงเท่ากันตลอดทั้งแท่ง แต่จะขยายบริเวณด้านล่าง ซึ่งเกิดมาจากกล้องวิดีโอที่ใช้ ในการรับภาพถ่ายจากรังสีใช้เลนส์ชนิดไวด์ (wide lens) ซึ่งภาพที่ได้จะมีลักษณะโค้งเล็กน้อย ทำให้เมื่อแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข ข้อมูลที่ได้จึงมีความผิดเพี้ยนไปด้วย

### ชิ้นงาน B

ชิ้นงาน B จะทำจากท่ออะลูมิเนียมทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 62 มม. หนา 3 มม. และ สูง 55 มม. ภายในบรรจุแท่งอะลูมิเนียมกลมตันเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. สูง 45 มม. 2 แท่งวางสลับกับแท่งทองเหลืองตันเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. สูง 35 มม. อีกสองแท่งโดยแต่ละแท่ง วางห่างกัน 21 มม. ภาพของชิ้นงาน B แสดงดังรูปที่ 4.3



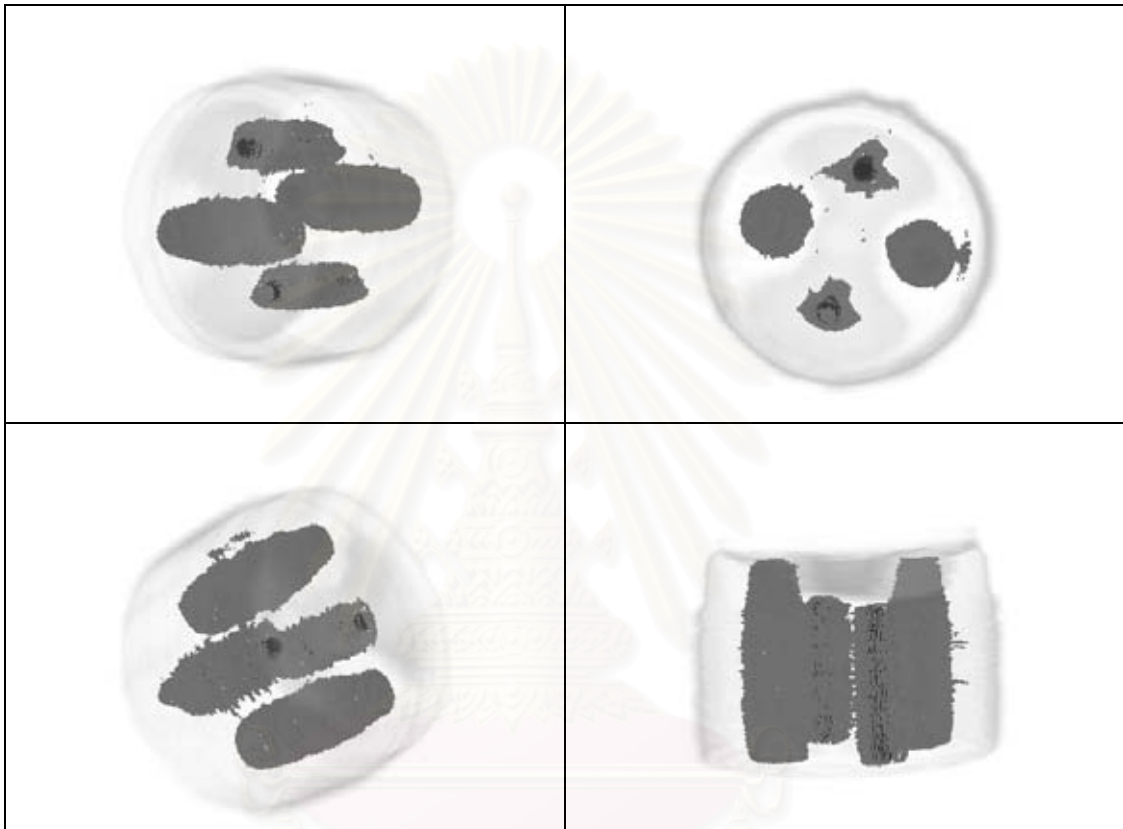
(ก) แผนภาพของชิ้นงาน B



(ข) ภาพถ่ายของชิ้นงาน B

รูปที่ 4.3 แผนภาพ และภาพถ่ายของชิ้นงาน B

การเก็บข้อมูลสำหรับชิ้นงาน B ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำหนดแรงดันที่ 120 กิโลโวลต์ กระแส 4 มิลลิแอมแปร์ โดยเก็บจำนวน 100 โปรเจกชันหมุนชิ้นงานแต่ละครั้งที่มุม 1.8 องศา และเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมที่ 50 เฟรม ภาพ 3 มิติที่ได้จากโปรแกรมแสดงดังรูป 4.4

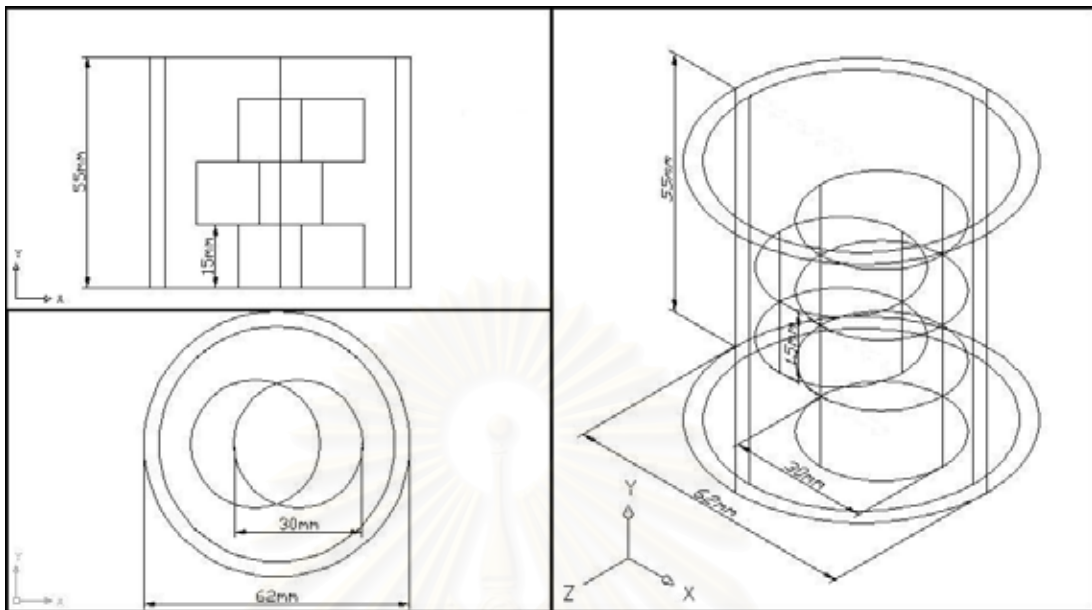


รูป 4.4 ภาพ 3 มิติของชิ้นงาน B

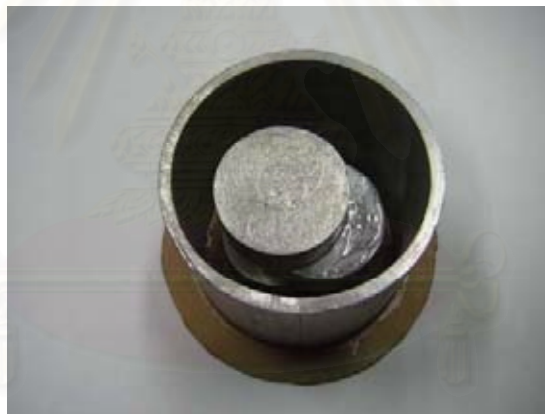
ภาพ 3 มิติจากโปรแกรมพบว่าบริเวณแท่งอะลูมิเนียมทั้งสองไม่เป็นแท่งตรงเท่ากันตลอดทั้งแท่ง ซึ่งเกิดมาจากกล้องวิดีโอที่ใช้ในการรับภาพถ่ายจากรังสีใช้เลนส์ชนิดไวด์ (wide lens) เช่นเดียวกับในชิ้นงาน A นอกจากนี้บริเวณรอบแท่งทองเหลืองทั้งสองยังเลขซีทีที่ใกล้เคียงกับอะลูมิเนียมล้อมรอบอยู่ ซึ่งอาจจะเกิดจากการพลังงานของเอกซเรย์น้อยไป เมื่อผ่านบริเวณที่มีแท่งทองเหลือง 2 แท่งวางซ้อนกันรังสีจึงไม่ทะลุผ่าน

### ชิ้นงาน C

ชิ้นงาน C จะทำจากท่ออะลูมิเนียมทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 62 มม. หนา 3 มม. และ สูง 55 มม. ภายในบรรจุแท่งอะลูมิเนียมกลมตันเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มม. สูง 15 มม. 3 แท่งวางสลับกับ ภาพของชิ้นงาน C แสดงดังรูปที่ 4.5



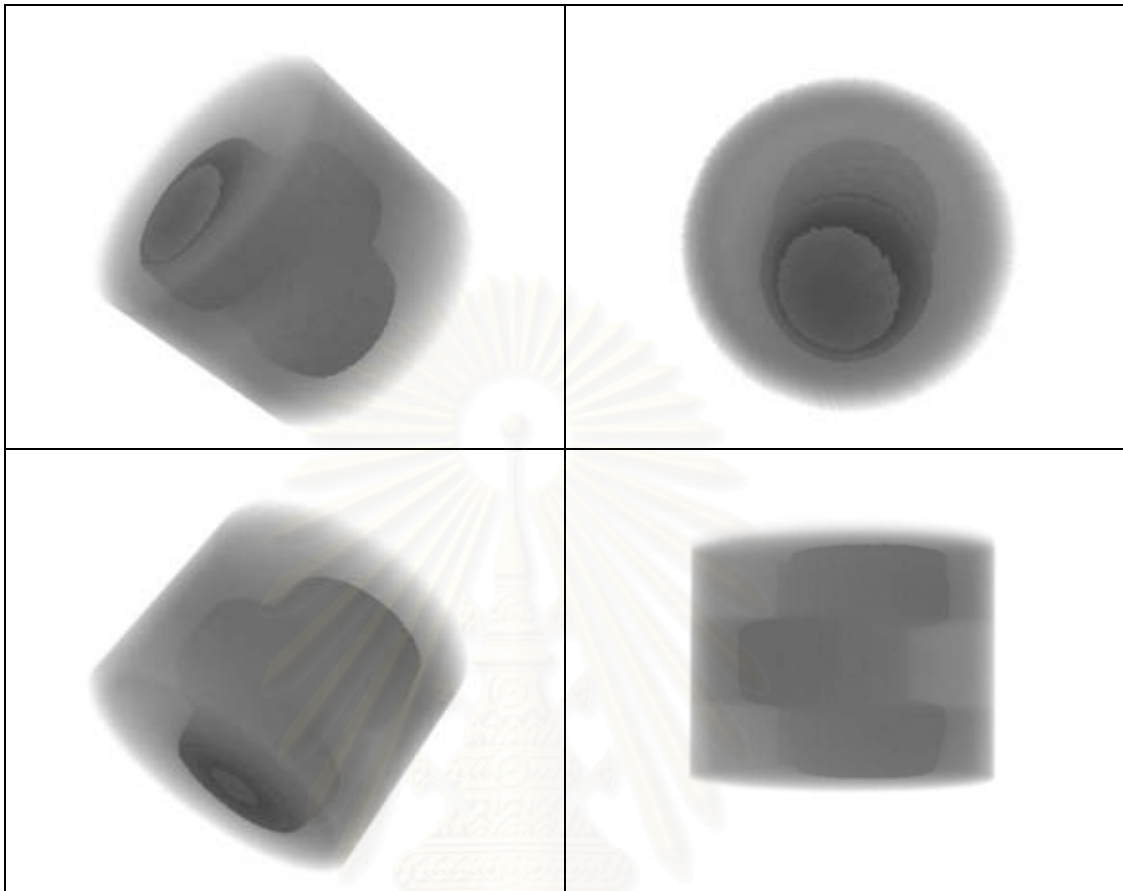
(ก) แผนภาพของชิ้นงาน B



(ข) ภาพถ่ายของชิ้นงาน C

รูปที่ 4.5 แผนภาพ และภาพถ่ายของชิ้นงาน C

การเก็บข้อมูลสำหรับชิ้นงาน C ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำหนดแรงดันที่ 120 กิโลโวลต์ กระแส 4 มิลลิแอมแปร์ โดยเก็บจำนวน 100 โปรเจกชันหมุนชิ้นงานแต่ละครั้งที่มุม 1.8 องศา และเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมที่ 50 เฟรม ภาพ 3 มิติที่ได้จากโปรแกรมแสดงดังรูป 4.6



รูป 4.6 ภาพ 3 มิติของชิ้นงาน C

ภาพ 3 มิติจากโปรแกรมพบว่าบริเวณที่เป็นอากาศในท่ออะลูมิเนียมกลาง ถูกแบ่งเป็นชั้น ๆ ตามแท่งอะลูมิเนียมตันที่ซ้อนกัน ซึ่งเกิดจากการที่แท่งอะลูมิเนียมตันมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากเกินไปทำให้ รังสีส่วนใหญ่ไม่ทะลุผ่าน ทำให้เกิดเป็นเหมือนเงาบริเวณด้านข้าง

#### 4.2 การทดสอบการเปลี่ยนมุมมองของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

คุณลักษณะหนึ่งของโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟี 3 มิติอย่างหนึ่งที่ควรมีคือ การที่โปรแกรมสามารถเปลี่ยนมุมมองในการมองภาพวัตถุ 3 มิติไปยังมุมต่าง ๆ ได้ ซึ่งในบางกรณีอาจจะต้องมีการเปลี่ยนมุมมองเนื่องจากการบังกันของวัตถุ

ในการเปลี่ยนมุมมองโดยโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟี 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้น สามารถ คลิกปุ่มเมาส์ทางด้านซ้าย และเลื่อนเมาส์ไปทางซ้ายมือ จะเป็นการหมุนวัตถุไปทางซ้ายมือ ในขณะที่ถ้าเลื่อนเมาส์ไปทางขวามือจะเป็นการหมุนวัตถุไปทางขวามือ ในการทดสอบการ



เปลี่ยนมุมมองภาพจะใช้ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน A ในการทดสอบ โดยเปลี่ยนมุมมองไปทางด้านขวามือครั้งละ 60 องศาจนครบ 360 องศา ซึ่งภาพในมุมมองต่าง ๆ จะแสดงในรูปที่ 4.7



(a) 0 องศา

(b) 60 องศา



(c) 120 องศา

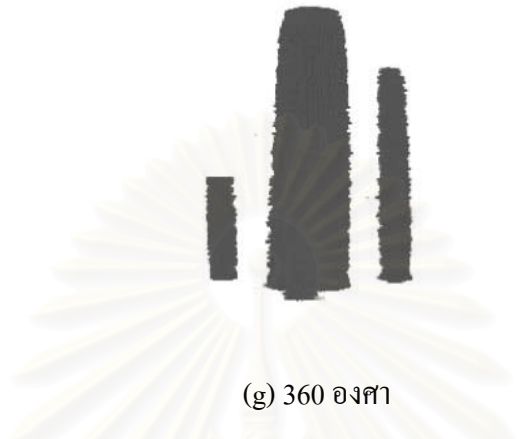
(d) 180 องศา



(e) 240 องศา

(f) 300 องศา

รูปที่ 4.7 มุมมองต่าง ๆ ของชิ้นงาน A เมื่อหมุนไปทางขวามือครั้งละ 60 องศา



(g) 360 องศา

รูปที่ 4.7 มุมมองต่าง ๆ ของชั้นงาน A เมื่อหมุนไปทางขวามือครั้งละ 60 องศา (ต่อ)

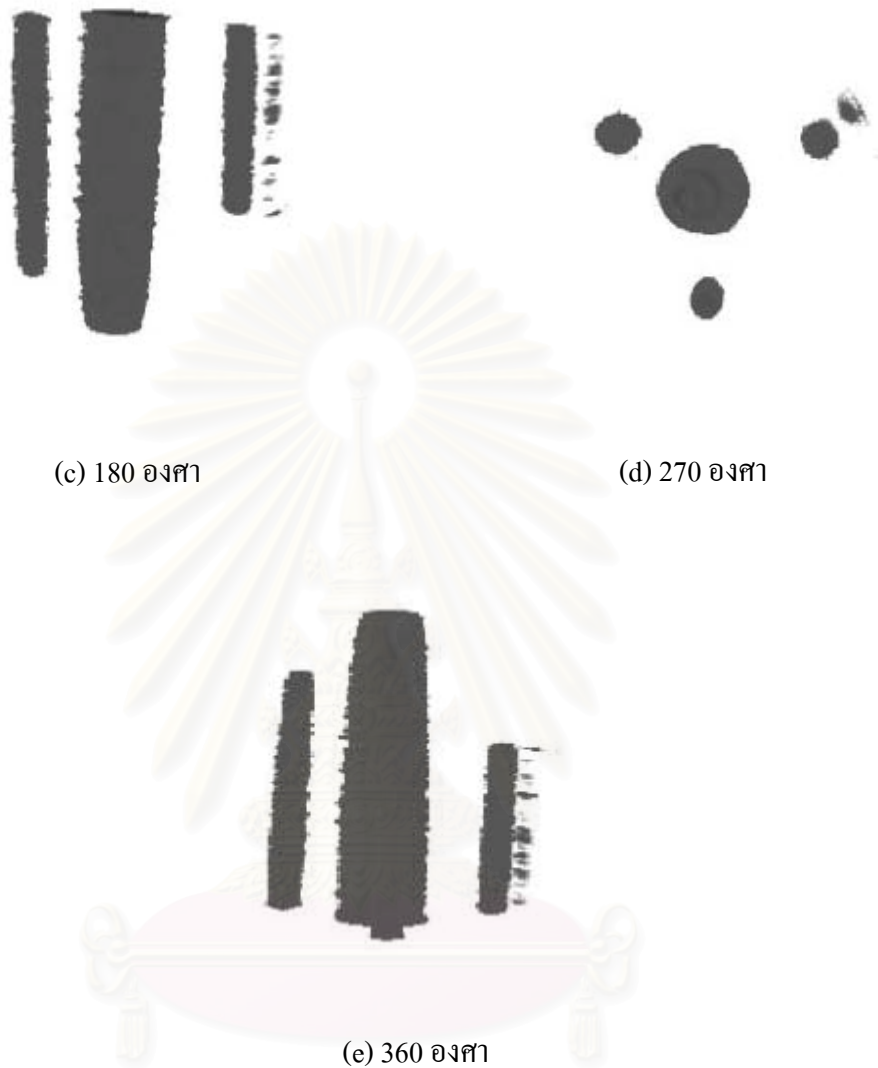
นอกจากการเปลี่ยนมุมมองไปทางซ้าย หรือขวาแล้ว ยังสามารถเปลี่ยนมุมมองไปแนวขึ้น และลง ได้โดยคลิกและเลื่อนเมาส์ขึ้น และลงตามลำดับ โดยการทดสอบโปรแกรมจะใช้ภาพโทโมกราฟีของชั้นงาน A โดยหมุนขึ้นไปครั้งละ 90 องศาจนครบ 360 องศาซึ่งภาพในมุมมองต่าง แสดงดังรูปที่ 4.8



(a) 0 องศา

(b) 90 องศา

รูปที่ 4.8 มุมมองต่าง ๆ ของชั้นงาน A เมื่อหมุนขึ้นครั้งละ 90 องศา



รูปที่ 4.8 มุมมองต่าง ๆ ของชิ้นงาน A เมื่อหมุนขึ้นครั้งละ 90 องศา (ต่อ)

#### 4.3 การทดสอบการปรับค่าความทึบแสงของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

ปัญหาหนึ่งในการแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ คือการที่วัตถุหนึ่งชิ้นอยู่ภายในวัตถุอีกชิ้นหนึ่ง ทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุที่อยู่ภายในได้ โดยหลักการของการเรนเดอร์เชิงปริมาตรจะมองแต่ละว็อกเซลเป็นลักษณะปริมาตรที่มีคุณสมบัติความทึบแสงแตกต่างกันในแต่ละค่าเลขซีที ดังนั้นถ้าไม่ต้องการให้แสดงผลวัตถุใดแสดงผล ก็สามารถกำหนดค่าให้เลขซีทีของวัตถุนั้นมีคุณสมบัติความทึบแสงมีค่าเป็น 0 หรือ โปร่งใส เมื่อแสงทะลุผ่านก็จะไม่แสดงผลของวัตถุนั้น

ในการทดสอบการปรับค่าความทึบแสงของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น จะใช้ชิ้นงาน B ทดสอบ โดยทำการปรับค่าความทึบแสงของเลขซีทีในช่วง 0-255 มีค่าเป็น 100 ซึ่งหมายถึงเป็นวัตถุทึบแสง จากนั้นก็จะทำการขยายช่วงของเลขซีทีที่มีค่าความทึบแสงที่มีค่าเป็น 0 ซึ่งหมายถึงเป็นวัตถุโปร่งใสเพิ่มขึ้นครั้ง 15 จนกระทั่ง ถึงเลขซีทีที่ 255 เพื่อดูภาพที่ได้จากโปรแกรมดังแสดงที่ตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงภาพของเลขซีทีที่กำหนดให้โปร่งใส

ช่วงเลขซีทีที่โปร่งใส	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B	รายละเอียด
ไม่มี		บริเวณนอกขอบเขตของการคำนวณ ซึ่งโปรแกรมกำหนดให้มีเลขซีทีเป็นศูนย์จะบังส่วนที่เป็นชิ้นงานทั้งหมด ทำให้เห็นเป็นลักษณะกล่องสี่เหลี่ยม
0 – 15		บริเวณนอกขอบเขตของการคำนวณ หายไป แต่ยังคงมีเลขซีทีในช่วงค่าที่เป็นของอากาศซึ่งบังชิ้นงานทั้งหมด ทำให้เห็นเป็นลักษณะทรงกระบอกแสดงขอบเขตของการคำนวณสร้างภาพ




ตารางที่ 4.1 แสดงภาพของเลขซีทีที่กำหนดให้โปรงใส (ต่อ)

ช่วงเลขซีทีที่โปรงใส	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B	รายละเอียด
0 – 30		<p>ด้านบนของวัตถุเริ่มเห็น เป็นขอบของอะลูมิเนียม กลวงที่บรรจุแท่ง อะลูมิเนียม และแท่ง ทองเหลืองอยู่</p>
0 – 45		<p>บริเวณที่เป็นอากาศนอก อะลูมิเนียมกลวงบางส่วน เริ่มหายไป</p>
0 – 60		<p>บริเวณที่เป็นอากาศนอก อะลูมิเนียมกลวงหายไป มากขึ้น และอากาศภายใน ท่ออะลูมิเนียมกลวงเริ่ม หายไปบางส่วน</p>

ตารางที่ 4.1 แสดงภาพของเลขซีทีที่กำหนดให้โปรงใส (ต่อ)

ช่วงเลขซีทีที่โปรงใส	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B	รายละเอียด
0 – 75		<p>ด้านบนของวัตถุเริ่มเห็น เป็นขอบของอะลูมิเนียม กลางที่บรรจุแท่ง อะลูมิเนียม และแท่ง ทองเหลืองอยู่</p>
0 – 90		<p>อากาศรอบอะลูมิเนียม กลางส่วนใหญ่หายไป ขณะเดียวกันอากาศภายใน อะลูมิเนียมกลางหายไป เล็กน้อย แต่เริ่มเห็นแท่ง อะลูมิเนียมภายใน</p>
0 – 105		<p>เห็นเป็นแท่งอะลูมิเนียม กลาง อากาศภายในหายไป จนเริ่มเห็นแท่งอะลูมิเนียม 2 แท่งที่อยู่ภายในชัดเจน ยิ่งขึ้น</p>

ตารางที่ 4.1 แสดงภาพของเลขซีทีที่กำหนดให้โปรงใส (ต่อ)

ช่วงเลขซีทีที่โปรงใส	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B	รายละเอียด
0 – 120		<p>แท่งอะลูมิเนียมกลางเริ่มหายไปจนเห็น แท่งอะลูมิเนียม และแท่งทองเหลืองที่อยู่ภายใน</p>
0 – 135		<p>แท่งอะลูมิเนียมกลางหายไปเกือบหมด และยังมีอากาศที่อยู่บริเวณแท่งอะลูมิเนียม และแท่งทองเหลืองทั้ง 4 แท่ง</p>
0 – 150		<p>แท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่งเริ่มหายไป และยังมีอากาศล้อมรอบแท่งทองเหลืองทั้ง 2 อยู่</p>

ตารางที่ 4.1 แสดงภาพของเลขซีทีที่กำหนดให้โปร่งใส (ต่อ)


ช่วงเลขซีทีที่โปร่งใส	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B	รายละเอียด
0 – 165		<p>อากาศล้อมรอบแท่ง ทองเหลืองคดน้อยลง ขณะเดียวกัน แท่ง อะลูมิเนียมหายไปมากขึ้น โดยสังเกตจากความสูง ของแท่งอะลูมิเนียมลดลง เกือบเท่าแท่งทองเหลือง</p>
0 – 180		<p>แท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่ง หายไปเกือบทั้งหมด และ เริ่มเห็นรูปร่างของแท่ง ทองเหลืองทั้ง 2 แท่ง ชัดเจนยิ่งขึ้น</p>
0 – 195		<p>เหลือเพียงแท่งทองเหลือง และอากาศอยู่บนแท่งของ เหลืองทั้ง 2 แท่ง</p>



ตารางที่ 4.1 แสดงภาพของเลขซีทีที่กำหนดให้โปร่งใส (ต่อ)

ช่วงเลขซีทีที่โปร่งใส	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B	รายละเอียด
0 – 210		เห็นแท่งทองเหลืองทั้ง 2 แท่ง อย่างชัดเจน
0 – 225		แท่งทองเหลืองทั้ง 2 แท่งมีขนาดเล็กลงเนื่องจากบางส่วนหายไป
0 – 240		แท่งทองเหลืองทั้ง 2 แท่งหายไปเกือบทั้งหมด





ตารางที่ 4.1 แสดงภาพของเลขซีทีที่กำหนดให้โปร่งใส (ต่อ)

ช่วงเลขซีทีที่โปร่งใส	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B	รายละเอียด
0 – 255		ไม่เห็นวัตถุใด ๆ ในภาพ เนื่องจากทุกเลขซีทีโปร่งใสทั้งหมด

นอกจากการปรับค่าความทึบแสงของเลขซีทีให้เป็น 0 หรือ 100 เพื่อให้แสดงภาพในช่วงของเลขซีทีที่ต้องการแล้ว โปรแกรมยังสามารถกำหนดค่าความทึบแสงเลขซีทีแต่ละค่าให้อยู่ในระหว่าง 0 ถึง 100 สำหรับในบางกรณีที่มีการบังกันของชิ้นงาน แต่ไม่ต้องการให้ชิ้นงานที่บังอยู่หายไป โดยอาจจะกำหนดเลขซีทีในช่วงชิ้นงานดังกล่าวให้มีค่าน้อย ๆ เพื่อให้ชิ้นงานมีลักษณะโปร่งแสง ซึ่งจะช่วยให้เห็นชิ้นงานที่ถูกบังอยู่โดยยังเห็นชิ้นงานที่บังอยู่ด้วย

ในการทดสอบการทำงานของโปรแกรมจะใช้ชิ้นงาน B ในการทดสอบโดยกำหนดค่าความทึบแสงของเลขซีทีในช่วง 195 ถึง 255 ซึ่งเป็นช่วงของแท่งทองเหลือง และในช่วง 107 ถึง 125 ซึ่งเป็นช่วงของแท่งอะลูมิเนียมกลาง เป็น 100 เช่นกัน จากนั้นปรับค่าความทึบแสงในช่วง 107 ถึง 125 ลงจาก 100 เป็น 50, 25, 13, 7, 4, 2, 1 และ 0 ตามลำดับ โดยภาพที่ได้จะแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ภาพของวัตถุ B ในค่าความทึบแสงช่วงต่าง ๆ

ค่าความทึบแสง	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B
100	
50	
25	
13	

ตารางที่ 4.2 ภาพของวัตถุ B ในค่าความทึบแสงช่วงต่าง ๆ (ต่อ)

ค่าความทึบแสง	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B
7	
4	
2	
1	

ตารางที่ 4.2 ภาพของวัตถุ B ในค่าความทึบแสงช่วงต่าง ๆ (ต่อ)

ค่าความทึบแสง	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน B
0	

#### 4.4 การทดสอบการปรับสีของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับค่าของสีในแต่ละเลขซีทีได้ มีประโยชน์ในกรณีที่วัสดุชนิดหนึ่งเลขซีทีที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพอยู่ในช่วงหนึ่งไม่ได้เป็นค่าเดียว การปรับค่าสีของเลขซีทีในช่วงวัสดุนั้นเป็นสีใดสีหนึ่งจะช่วยให้มองเห็นว่าเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน หรือ ในกรณีที่ต้องการเน้นให้เห็นเลขซีทีบางค่าให้เด่นชัดขึ้นมา เนื่องจากค่าเริ่มต้นของโปรแกรมค่าสีในแต่ละเลขซีทีจะแตกต่างกัน โดยกำหนดเป็นลักษณะของเกรย์ สเกล (gray scale) ซึ่งเลข ซีทีที่มีค่าเป็น 0 จะมีสีขาว ค่าถัดไปจะเป็นสีเทาอ่อน และจะเข้มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเลขซีทีมีค่ามากขึ้น จนกระทั่งเป็นสีดำที่เลขซีที 255

ในการทดสอบการปรับค่าสีของแต่ละเลขซีทีจะใช้ชิ้นงาน C ในการทดสอบโดยปรับค่าความทึบแสงของเลขซีทีตั้งแต่ 180 ถึง 255 เป็นค่า 100 เพื่อให้เห็นชิ้นงานทั้งหมด และกำจัดขอบของอะลูมิเนียมกกลางที่บังชิ้นงานอยู่ จากนั้นปรับค่าสีของเลขซีทีในช่วงดังกล่าวให้เป็นสีแดงทั้งหมด ซึ่งผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.9



(a) ก่อนการปรับค่าสี



(b) หลังการปรับค่าสี

รูปที่ 4.9 ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงาน C ก่อนและหลังการปรับค่าสี

จากรูปจะเห็นว่าก่อนการปรับค่าสีบริเวณรอบวัตถุมีลักษณะเป็นลวดลาย เนื่องจากค่าเริ่มต้นของโปรแกรมนั้นค่าสีในแต่ละเลขซีทีจะแตกต่างกัน และในชิ้นงานไม่ได้มีเพียงเลขซีทีเพียงค่าเดียว แต่หลังจากการปรับค่าสีของเลขซีทีในช่วงของชิ้นงานให้เป็นค่าเดียวกัน จะเห็นชิ้นงานเรียบไม่มีลวดลายใด ๆ

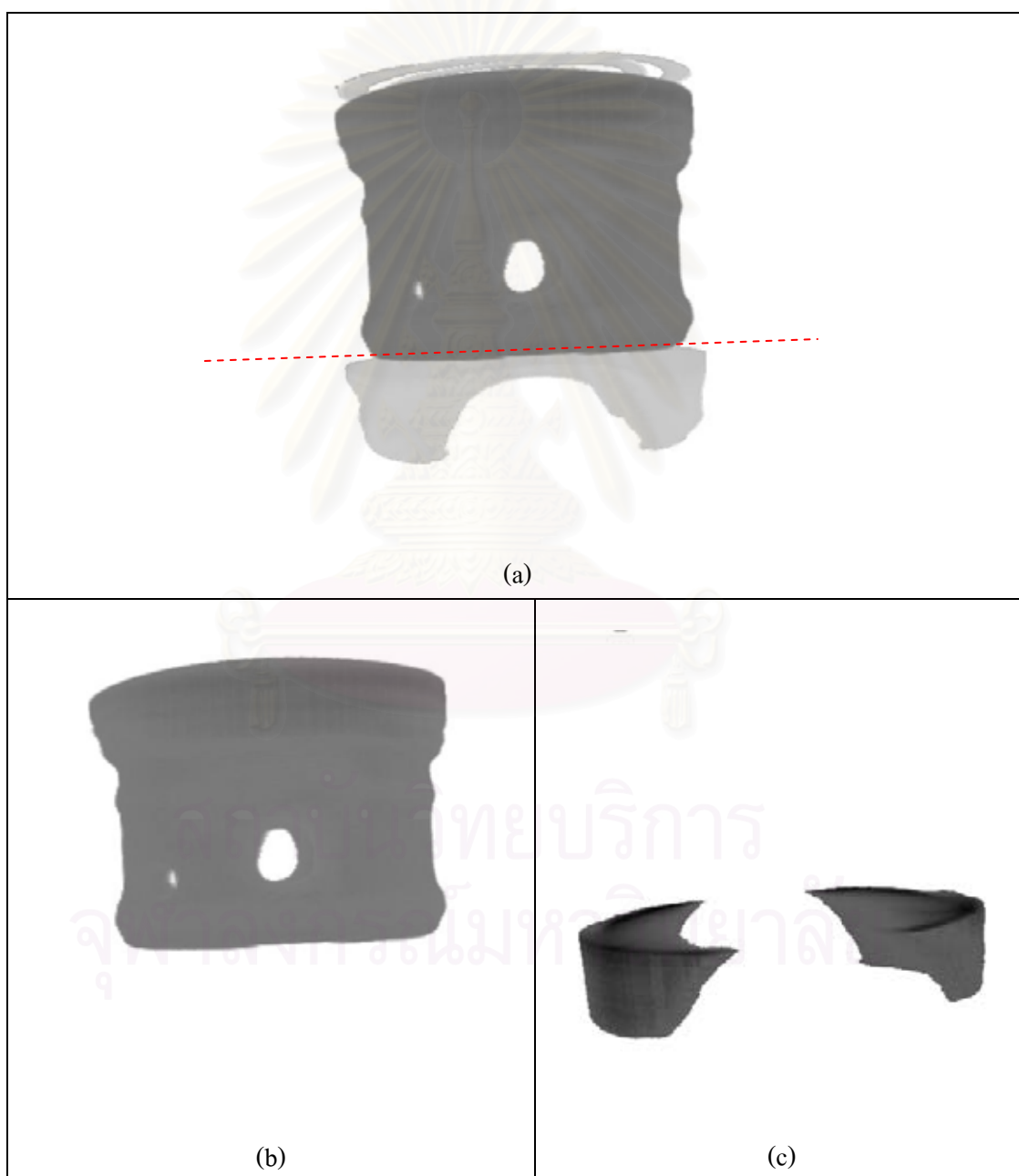
#### 4.5 การทดสอบสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติของชิ้นงานอุตสาหกรรมบางชนิด

ชิ้นงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดสอบสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติจะใช้ลูกสูบรถจักรยานยนต์ ซึ่งทำจากโลหะชนิดเดียวกัน มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีรูอยู่ตรงกลาง ชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กระบอกลูกสูบที่ใช้เป็นวัตถุการทดลองสร้างภาพ 3 มิติ

ในการทดลองการเก็บข้อมูลสำหรับสร้างภาพโทโมกราฟี 3 มิติใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำหนดแรงดันที่ 120 กิโลโวลต์ กระแส 7 มิลลิแอมแปร์ โดยเก็บจำนวน 100 โปรเจกชันหมุนชิ้นงานแต่ละครั้งที่มุม 1.8 องศา และเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมที่ 50 เฟรม ภาพโทโมกราฟี 3 มิติที่ได้จากโปรแกรมแสดงดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 ภาพโทโมกราฟี 3 มิติของกระบอกสูบรถจักรยานยนต์

จากภาพโทโมกราฟี 3 มิติของกระบอกสูบรถจักรยานยนต์ตามรูปที่ 4.11 (a) ถึงแม้จะทำจากวัสดุชนิดเดียวกันแต่เมื่อสร้างเป็นภาพ 3 มิติ จะเห็นได้ว่าภาพของกระบอกสูบ ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน เหมือนกับทำจากวัสดุต่างชนิดกัน ซึ่งอาจจะเกิดจากในกระบวนการสร้างภาพ โทโมกราฟีของแต่ละเลเยอร์ มีการคำนวณสร้างภาพเป็นอิสระต่อกัน โดยไม่ได้มีการนอ้มัลไลซ์ ข้อมูลในภาพโทโมกราฟีของทุก ๆ เลเยอร์ เพื่อให้วัสดุเดียวกัน มีค่าเลขซีทีเท่ากัน

จึงได้ทดลองแยกสร้างภาพโทโมกราฟี 3 มิติของกระบอกสูบออกเป็น 2 ส่วน ตามแนวเส้นประที่แสดงในรูป 4.11 (a) ซึ่งจะได้ภาพดังแสดงในรูปที่ 4.11 (b) และ 4.11 (c) จากภาพที่ได้พบว่าส่วนที่เป็นฐานของลูกสูบจะมีค่าเลขซีทีใกล้เคียงกับตัวลูกสูบมากขึ้น เป็นผล ทำให้ภาพโทโมกราฟีในส่วนฐานของกระบอกสูบมีคุณภาพดีขึ้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย วิเคราะห์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยเพื่อพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติสามารถสรุปได้ดังนี้

##### 5.1.1 ส่วนการเก็บข้อมูลคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

5.1.1.1 โปรแกรมสามารถควบคุมวงจรขับสเต็ปมอเตอร์เพื่อใช้ในการหมุนชิ้นงานผ่านพอร์ตขนานของไมโครคอมพิวเตอร์

5.1.1.2 การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลภาพถ่ายรังสีของชิ้นงาน, dark current และภาพขณะไม่มีชิ้นงาน เป็นไฟล์วีดิโอชนิด AVI โดยโปรแกรมสามารถเก็บกำหนดจำนวนเฟรมต่อโปรไฟล์ได้สูงสุด 50 เฟรม ซึ่งจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองพบว่าใช้เวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 4 วินาทีต่อโปรไฟล์

##### 5.1.2 ส่วนการคำนวณสร้างภาพ และแสดงผลภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

5.1.2.1 แปลงข้อมูลไฟล์วีดิโอชนิด AVI เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข โดยสามารถเลือกช่วงในการแปลงข้อมูล เพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณสร้างภาพ ซึ่งโปรแกรมสามารถเลือกจำนวนเรย์ซัมได้สูงสุด 317 เรย์ซัม และเลือกจำนวนเลเยอร์ได้สูงสุด 200 เลเยอร์

5.1.2.2 ทำการคำนวณ Shading correction จากนั้นทำการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ โดยใช้วิธีแบ็กโปรเจกชัน ในทุกเลเยอร์ที่เลือกไว้

5.1.2.3 นำข้อมูลภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ มาแสดงผลบนโปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟี 3 มิติซึ่งพัฒนาด้วยภาษา C++ และติดต่อกับไลบรารี VTK เพื่อใช้ในการเรนเดอร์เชิงปริมาตร

5.1.2.4 โปรแกรมสามารถปรับเปลี่ยนมุมมองของวัตถุไปยังมุมต่าง ๆ ได้โดยการเลื่อนเมาส์

5.1.2.5 โปรแกรมสามารถ เลือกแสดงหรือไม่แสดงผล ในบางเลขชี้ที่โดยทำการปรับค่าความทึบแสงของเลขชี้ที่นั้น

5.1.2.6 โปรแกรมสามารถ ปรับค่าสีของเลขชี้ที่ที่ต้องการ

5.1.2.7 โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานในทางอุตสาหกรรมได้

## 5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

5.2.1 ส่วนการเก็บข้อมูลคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

5.2.1.2 การเก็บข้อมูลภาพถ่ายเอกซเรย์จะเก็บเป็นไฟล์วิดีโอชนิด AVI บันทึกลงในไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเนื่องจากบันทึกเป็นลักษณะดิจิทัล ทำให้ลดปัญหาสัญญาณรบกวนต่างจากการบันทึกบนแถบวีดิทัศน์ ซึ่งเป็นการบันทึกแบบอะนาลอก

5.2.1.2 โปรแกรมเก็บข้อมูลสามารถเก็บข้อมูล เก็บเลือกเก็บจำนวนเฟรมข้อมูลต่อ 1 โปรไฟล์ซึ่งใช้ในเทคนิครวมเฟรม เพื่อช่วยลดความแปรปรวนของข้อมูล

5.2.1.3 ไฟล์วิดีโอในรูปแบบ AVI มีขนาดใหญ่ทำให้สามารถใช้เทคนิคการรวมเฟรมในการเก็บข้อมูลได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยในการทดสอบสามารถกำหนดได้มากที่สุด 50 เฟรมต่อมุม เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องขนาดของไฟล์บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ซึ่งมีขนาดได้ไม่เกิน 2 กิกะไบต์

5.2.1.4 ภาพที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ มีการขยายบริเวณช่วงกลางของชิ้นงาน เนื่องจากเลนส์ที่ใช้บนกล้องโทรทัศน์เป็นชนิดเลนส์ไวด์ (wide angle lens) ทำให้ภาพที่ได้เกิดการบิดเบือนบริเวณกลางภาพ

## 5.2.2 ส่วนการคำนวณสร้างภาพ และแสดงผลภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ

5.2.2.1 โปรแกรมคำนวณสร้างภาพสามารถเลือกช่วงของข้อมูลในการคำนวณสร้างภาพซึ่งเพิ่มความรวดเร็วในการคำนวณสร้างภาพ

5.2.2.2 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ เกิดจากการนำข้อมูลภาพโทโมกราฟีใน 2 มิติมาเรียงซ้อนกันดังนั้นคุณภาพของภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ จึงขึ้นอยู่กับความละเอียดในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ และการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีใน 2 มิติ

5.2.2.3 โปรแกรมแสดงภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติสามารถเปลี่ยนมุมมองทำให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ทั่วชิ้นงาน

5.2.2.4 โปรแกรมสามารถเลือกแสดงผลในบางค่าเลขซีทีซึ่งจะช่วยในกรณีที่วัตถุชิ้น 2 ชิ้นซึ่งมีเลขซีทีต่างกันบังกัน

5.2.2.5 เนื่องจากกระบวนการสร้างภาพโทโมกราฟีในแต่ละเลเยอร์ที่มีการคำนวณเป็นอิสระต่อกัน กลุ่มค่าเลขซีทีที่มีค่าแตกต่างกันทั้งที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน ซึ่งไม่ได้มีการนอ้มัลไลซ์ทำให้ในวัตถุบางชิ้นที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน มีค่าเลขซีทีต่างกัน เป็นผลให้การแสดงระดับแตกต่างกัน

5.2.2.6 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความยืดหยุ่น และรวดเร็วในการเก็บข้อมูล และแสดงผลข้อมูล

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติ มีดังต่อไปนี้

5.3.1 เนื่องจากรูปแบบไฟล์วิดีโอแบบ AVI มีขนาดใหญ่อาจจะมีการบันทึกภาพถ่ายเอกซเรย์ในรูปแบบอื่นที่มีขนาดเล็กกว่า เพื่อประหยัดพื้นที่ที่สื่อบันทึกข้อมูล และสามารถบันทึกจำนวนเฟรมในแต่ละมุมได้มากขึ้น

5.3.2 อาจจะมีการพัฒนา ฮาร์ดแวร์สำหรับการคำนวณ และสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติโดยเฉพาะ เพื่อความรวดเร็วในการประมวลผล

5.3.3 ควรใช้กล้องรับภาพที่มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดเช่น cool CCD และใช้เลนส์ที่เหมาะสม

5.3.4 ควรมีการนอ้มนัดไลซ์ข้อมูลในทุกเลเยอร์ที่มีการสร้างภาพก่อนนำข้อมูลมาทำการเรนเดอร์

5.3.5 อาจจะมีการใช้งานร่วมกับเทคนิคการเรนเดอร์เชิงพื้นผิว (surface render) ซึ่งจะช่วยให้เห็นขอบเขตของชิ้นงานได้ดีขึ้น

5.3.6 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (user interface) บางส่วนเช่นการกำหนดค่าความทึบแสง หรือกำหนดค่าสีให้กับแต่ละเลขซีที อาจจะพัฒนาให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น

5.3.7 ควรเพิ่มความสามารถในการเลือกบริเวณที่ต้องการแสดงผล เพื่อให้แสดงภาพตัดขวางในบริเวณที่ต้องการได้

5.3.8 เนื่องจากไลบรารี VTK พัฒนาด้วยภาษา C++ บนระบบปฏิบัติการ UNIX การพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี 3 มิติบนระบบปฏิบัติการดังกล่าว อาจจะทำให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า

## รายการอ้างอิง

- [1] ชีรวัดน์ ประกอบผล. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทมografi์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1994.
- [2] ประสิทธิ์ สิริทิพย์รัศมี. การพัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทมografi์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2001.
- [3] Avinash C. Kak, and Malcolm Slaney. Principles of Computerized Tomographic Imaging. USA : IEEE Press, 1999.
- [4] Smith W. Steven. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing 2nd ed. USA : California Technical Publishing, 1999.
- [5] Jain K. Anil. Fundamentals of digital image processing. USA : Prentice-Hall, 1989.
- [6] Youngser Park, Robert W. Lindeman, and James K. Hahn. X-Ray Casting: Fast Volume Visualization Using 2D Texture Mapping[Online].1996 . Available from : <http://www.seas.gwu.edu/~gogo/xray.pdf>[2004, Aug 5].
- [7] มานัส มงคลสุข. พื้นฐานทางฟิสิกส์ของ CT และ MRI. กรุงเทพฯ : ภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2532.
- [8] Marc Levoy. Efficient Ray Tracing of Volume Data. ACM Transaction on Graphics (TOG) 8 (July 1990) : 245-261.
- [9] Marc Levoy. Display of Surface from Volume Data. IEEE Computer Graphics and Applications 8 (May 1988) : 29-37.
- [10] ทรงพล สาครินทร์ และ กฤษณา แก้วมณี. 3D Graphics Rendering. กรุงเทพฯ : ชักเชสมิเดีย , 2001.
- [11] Microsoft Corporation. VfW-to-WDM Video Capture Mapper on Windows 98 and Windows 2000[Online].1998 . Available from: <http://www.microsoft.com> [2004, Aug 5].
- [12] Jan Axelsons . How Inpout32.dll works[Online].1998. Available from: [http://www.logix4u.net/inpout\\_theory.htm](http://www.logix4u.net/inpout_theory.htm)[2004, Aug 5].

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวัชร สุขคะ เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2521 จังหวัดชลบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2543 จากนั้นเข้าศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรม เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย