การพัฒนาระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

นายสุเมธ ทิพยไกรศร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-9885-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A HIGH RESOLUTION SCANNING DENSITOMETER SYSTEM FOR COMPUTED TOMOGRAPHY

Mr. Sumat Tippayakaison

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 2002

ISBN 974-17-9885-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
โดย	นายสุเมธ ทิพยไกรศร
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายสุเมธ ทิพยไกรศร : การพัฒนาระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี (DEVELOPMENT OF A HIGH RESOLUTION SCANNING DENSITOMETER SYSTEM FOR COMPUTED TOMOGRAPHY) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ จำนวนหน้า 91 หน้า. ISBN 974-17-9885-7.

ระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีพัฒนาขึ้นโดยใช้หลอดทังสะเตนฮาโลเจนร่วมกับระบบเลนส์เป็นแหล่งกำเนิดแสง และใช้เส้นใยแสงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนรับแสงเท่ากับ 0.05 มิลลิเมตรร่วมกับหลอดทวีคูณแสงเป็นอุปกรณ์วัดแสง สัญญาณอะนาลอกเอาท์พุทที่ได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 12 บิตโดยอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขทำให้ระบบนี้สามารถวัดระดับความดำที่แตกต่างกันได้ 4096 ระดับ และสามารถเลือกสเต็ปของการสแกนได้ตั้งแต่ 0.05, 0.1 และ 0.2 มิลลิเมตรตามลำดับ ด้วยค่ารีโซลูชันที่ดีกว่า 0.1 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมือนิสิต……....
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี	ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา…….
ปีการศึกษา	2545	ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม……..

4270614121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGHY

KEY WORD: DESITOMETER / COMPUTED TOMOGRAPHY

SUMAT TIPPAYAKAISON : DEVELOPMENT OF A HIGH RESOLUTION SCANNING DENSITOMETER SYSTEM FOR COMPUTED TOMOGRAPHY. THESIS ADVISOR : ASSIST . PROF . ATTAPORN PATTARASUMUNT , THESIS CO-ADVISOR : ASSOCIATE PROF . SOMYOT SRISATIT, 91 pp. ISBN 974-17-9885-7.

The high resolution scanning densitometer system for computed tomography is developed using tungsten halogen lamp and focusing lens as a light source and fiber optic of 0.05 mm core diameter coupled with photomultiplier tube as a light detector . The analog output were converted into 12 bit digital signal using analog to digital converter device make this system capable to measure the optical density of 4096 level difference and the scanning step can be selected from 0.05, 0.1 and 0.2 mm respretively with the resolution less than 0.1 mm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Nuclear Technology	Student's signature……..
Field of study	Nuclear Technology	Advisor's signature…….
Academic year	2002	Co-advisor's signature…….....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ผู้เขียนจึงขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดมาทั้งทางด้านการวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำทั้งทางด้านการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยนี้และการเขียนวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่แนะแนวทางต่างๆ และอนุเคราะห์อุปกรณ์สำหรับการวิจัยนี้ นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณต่อคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ แนวคิด และแนวทางแก้ปัญญา ให้แก่ข้าพเจ้าในการทำการวิจัย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณนายแพทย์สมนึก เจษฎาภัทรกุล และคุณพรวิภา อังคพณิชกิจ วิทยาลัยแพทย์ศาสตร์กรุงเทพมหานครและวชิระพยาบาล ที่ให้คำแนะนำและอนุเคราะห์ระบบเลนส์รวมแสง คุณอรรถโกวิท สงวนสัตย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่อนุเคราะห์ฟิล์มมาตรฐานสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของงานวิจัย ขอขอบคุณคุณบัญชา อุนพานิช ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างมากในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุกท่าน ขอขอบคุณคุณกฤษดา ลิปนานนท์ และเพื่อน ๆ หอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยนี้ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยนี้

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และน้องๆ ที่สนับสนุนในทุกๆ ด้าน และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่

1.บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2. ทฤษฎี..... 4

2.1 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี..... 4

2.2 ฟิล์มรังสีเอกซ์..... 10

2.3 เส้นใยนำแสง..... 12

2.4 หลอดทวีคูณแสง..... 16

3. การออกแบบระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติ..... 20

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ..... 20

3.2 การออกแบบระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทดมกราฟี..... 21

3.3 การพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ..... 32

4. การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ..... 41

4.1 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข..... 41

4.2 การทดสอบหาจำนวนครั้งในการสุ่มอ่านค่าความดำที่เหมาะสมในการสแกนแต่ละตำแหน่ง..... 42

4.3 การหาค่ารีโซลูชันของระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้น..... 43

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.4การทดสอบผลของค่าศักดาไฟฟ้าสูงต่อการสแกนอ่านค่าความดำของระบบที่พัฒนาขึ้น ……	45
	4.5การทดสอบด้วยวิธี PDF……...	51
	4.6 ผลการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี……	53
	4.7การทดสอบหาค่ารีโซลูชันของภาพโทโมกราฟีด้วยวิธี Edge Spread Function……..	58
	4.8การทดสอบการประยุกต์ใช้ระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นในการตรวจสอบหาขอบเงามัวของภาพถ่ายจากปืนอิเล็กตรอนแบบไมโครโฟกัส…	59
5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ……...	60
	5.1 สรุปผลการวิจัย……	60
	5.2 ข้อเสนอแนะ……	61
รายการอ้างอิง……..		63
บรรณานุกรม……...		64
ภาคผนวก ……..…….		65
	ภาคผนวก ก…….……..	66
	ภาคผนวก ข……...	87
ประวัติผู้เขียนผู้เขียนวิทยานิพนธ์……..……..		91

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปอร์เซนต์การส่งผ่านของแสงและค่าความดำของฟิล์ม……..……	12
3.1	สัญญาณและจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข…….……..	25
3.2	แอดเดรสของพอร์ตขนาน……	25
3.3	ระยะห่างระหว่างสเต็ปเมื่อมอเตอร์หมุนด้วยมุมต่าง ๆ……	26
3.4	การจัดตำแหน่งหมายเลขพอร์ตที่ใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์……...	27
4.1	ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข……...	41
4.2	ผลการทดสอบด้วยวิธี MTF…….	44
4.3	ผลการทดสอบผลของค่าศักดาไฟฟ้าสูงต่อการสแกนอ่านค่าความดำ……..	46
4.4	ผลการทดสอบการหาค่ารีโซลูชันที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ……...	58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การลดทอนรังสีเอกซ์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางลักษณะต่าง ๆ.....	5
2.2	การเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....	6
2.3	วิธีแบคโปรเจกชัน.....	8
2.4	ระบบเก็บข้อมูลโฟรไฟล์สำหรับสร้างภาพโทโมกราฟีแบบวิธีการสแกนลำรังสีรูปพัดด้วยเทคนิคฟิล์ม.....	9
2.5	ภาคตัดขวางของฟิล์มที่ใช้กันอยู่ทั่วไป.....	10
2.6	หลักการวัดค่าความดำพื้นฐาน.....	11
2.7	โครงสร้างของเส้นใยแสง.....	13
2.8	การเกิดรังสีสะท้อนและรังสีหักเหจากรังสีตกกระทบ.....	13
2.9	มุมรับแสงของเส้นใยนำแสง.....	14
2.10	เส้นใยแสงชนิดต่าง ๆ.....	15
2.11	โครงสร้างของหลอดทวีคูณแสง.....	16
2.12	ลักษณะของแคโทดไวแสง.....	16
2.13	หลอดทวีคูณแสงชนิดต่าง ๆ แบ่งตามลักษณะของการเรียงตัวของไดโนด.....	17
2.14	ลักษณะของหลอดทวีคูณแสง.....	18
2.15	การจัดวงจรฐานหลอดทวีคูณแสงซึ่งให้สัญญาณรูปพัลส์.....	19
2.16	การจัดวงจรฐานหลอดทวีคูณแสงสำหรับการวัดสัญญาณต่อเนื่อง.....	19
3.1	แผนภาพหลักการทำงานของระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงที่พัฒนาขึ้น.....	21
3.2	ระบบสแกนอ่านค่าความดำอ่านความดำรายละเอียดสูงที่พัฒนาขึ้น.....	22
3.3	เส้นใยนำแสง NEC 62Y4265AN.....	23
3.4	ท่อนำแสงระหว่างปลายเส้นใยนำแสงกับหลอดทวีคูณแสง.....	23
3.5	แผนภาพวงจรไบอัสให้ลอดทวีคูณแสงที่ได้ออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้.....	24
3.6	อุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 12 บิต.....	25
3.7	แผนภาพแนวทางการเลื่อนตำแหน่งของระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม.....	26
3.8	วงจรเชื่อโยงสัญญาณ.....	27
3.9	แผนภาพรหัสควบคุมและหน้าที่รหัสควบคุมแต่ละบิตของไอซีเบอร์ 8255.....	28
3.10	แผนภาพวงจรสวิทช์แสง.....	29
3.11	ระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม.....	29
3.12	แผนภาพวงจรแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับแหล่งกำเนิดแสง.....	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	แผนภาพวงจรแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับระบบวัดแสง……..	31
3.14	แผนภาพวงจรแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม	31
3.15	แผนภาพ Flow chart ของโปรแกรมเมนูหลัก……...…	33
3.16	หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมเมนูหลัก…….....	33
3.17	แผนผัง Flow chart ของโปรแกรมปรับค่าศูนย์…….....	34
3.18	หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมปรับค่าศูนย์……..	34
3.19	หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมการสแกนแบบวัดค่าความเข้มแสง……..	35
3.20	แผนผัง Flow chart ของโปรแกรมการสแกนแบบวัดความเข้มแสง……..…..…	36
3.21	หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมการสแกนแบบวัดค่าความดำ…….....	37
3.22	แผนผัง Flow chart ของโปรมแกรมการสแกนแบบวัดค่าความดำ……..…….....	38
3.23	แผนผัง Flow chart ของโปรแกรมกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์ม…….....	39
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าก่อนผ่าน ADC (โวลต์) กับค่าข้อมูลเชิงตัวเลข…….	42
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งต่อการอ่านค่าความดำกับสัมประสิทธิ์การกระจาย……..…….	43
4.3	ลักษณะฟิล์มที่มีเส้นคู่ (Line pair) สำหรับวิธี MTF…….…….	44
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่เส้นคู่ (Lp/mm)…….……..	45
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำ (OD) กับข้อมูลเชิงตัวเลข ที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงค่าต่าง ๆ……..…	48
4.6	ลักษณะโปรไฟล์ที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ…….……..	49
4.7	ภาพโทโมกราฟีที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ…….…….....	50
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าสูงกับค่าข้อมูลเชิงตัวเลข ณ ที่ค่าความดำ 1.04…….	51
4.9	ตัวอย่างกราฟ PDF……..	52
4.10	กราฟเปรียบเทียบ PDF จากภาพโทโมกราฟีที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ…….....	52
4.11	ลักษณะโปรไฟล์ของวัตถุตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ……..……	54
4.12	ลักษณะโปรไฟล์ของวัตถุตัวอย่างที่ 2 ที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ……..	54
4.13	ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 1 และภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ…….....	55
4.14	ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 2 และภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ…….	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	รายละเอียดจากภาพโทโมกราฟีขยาย 4 เท่า ของวัตถุตัวอย่างที่ 1……..……....	57
4.16	ตัวอย่างการทดสอบด้วยวิธี Edge Spread Function…….……..	58
4.17	ภาพถ่ายช่องบังคับลำอิเล็กตรอนด้วยปืนอิเล็กตรอนแบบไมโครโฟกัส……..……	59
4.18	ลักษณะโปรไฟล์ของบริเวณขอบภาพ…….……	59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวิวัฒนาการของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (non-destructive testing ; NDT) ได้มีการพัฒนาเทคนิคเพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบที่มีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น โดยนำเทคนิคต่าง ๆ ที่เหมาะสมและทันสมัยมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เทคนิคนิวเคลียร์ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ เช่น การถ่ายภาพด้วยรังสีหรือเรดิโอกราฟี (radiography) ซึ่งอาศัยความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านวัตถุของรังสี โดยความเข้มรังสีที่ทะลุทะลวงผ่านวัตถุจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficient) ของวัตถุ รังสีที่ผ่านไปได้จะทำปฏิกิริยากับฟิล์มเกิดเป็นภาพถ่ายขึ้น แต่ภาพที่เกิดขึ้นจะเป็นภาพระนาบสองมิติทำให้ยากต่อการวิเคราะห์โครงสร้างที่แท้จริง จึงได้มีการศึกษาเทคนิคการสร้างภาพตัดขวางของวัตถุหรือที่เรียกว่าภาพโทโมกราฟี (tomography) หรือเรียกสั้นว่า CT (computed tomography) สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีของวัตถุจะอาศัยการสแกนเก็บข้อมูลทีละระนาบด้วยการหมุนวัตถุไปเป็นมุมทีละน้อย ๆ จนครบรอบหรืออย่างน้อย 180 องศา แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี การที่จะเกิดเป็นภาพโทโมกราฟีนั้นมีกรรมวิธีของการคำนวณที่ซับซ้อนโดยนำผลไปประมวลผลด้วยคณิตศาสตร์ชั้นสูง โดยทั่วไปการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสามารถจำแนกได้ 3 วิธี การสแกนแบบรังสีลำแคบ (narrow beam) การสแกนแบบลำรังสีรูปพัด (fan beam) และการสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย (Cone Beam) สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มจะอาศัยหลักการสแกนเก็บข้อมูลแบบลำรังสีรูปพัดผ่านวัตถุตัวอย่าง โดยใช้ฟิล์มเป็นอุปกรณ์บันทึกความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุออกมา แล้วนำฟิล์มที่ได้ไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ฟิล์มที่ผ่านกระบวนการล้างแล้วจะถูกนำมาอ่านค่าความดำด้วยระบบสแกนอ่านความดำแบบอัตโนมัติ (automatic densitometer) ซึ่งจะแปลงข้อมูลความดำบนฟิล์มเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป ซึ่งคุณภาพของภาพโทโมกราฟีที่ได้จะถูกจำกัดด้วยระบบสแกนอ่านความดำ ถ้าระบบสแกนอ่านความดำมีค่ารีโซลูชัน (resolution) ต่ำ จะไม่สามารถตรวจสอบวัตถุที่มีความบกพร่องขนาดเล็ก ๆ ได้ จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบสแกนอ่านความดำให้มีความละเอียดสูงขึ้น โดยอาศัยหลักการส่องแสงจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านฟิล์มและใช้เส้นใยแสง (fiber optic) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำแสงที่มีอัตราการสูญเสียต่ำ ไม่มีการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีขนาดเล็กมากมาเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ผ่านฟิล์มออกมาและส่งแสงไปยังหลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดแสง

ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะถูกแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข และนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป ค่ารีโซลูชันของระบบนี้ส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับแสง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้เส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กมากทำให้ได้ระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงและได้ภาพโทโมกราฟีที่มีคุณภาพสูงขึ้นด้วย ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานตรวจสอบวัตถุที่มีความบกพร่องขนาดเล็กได้ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ได้อีก เช่น การหาเงามัวของขอบภาพถ่ายจากปืนอิเล็กตรอนแบบไมโครโฟกัส เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พัฒนาระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่มีความละเอียดดีกว่า 0.5 มิลลิเมตร
2. พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มและเก็บบันทึกข้อมูลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์ม
3. พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มและเก็บบันทึกข้อมูลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
4. ทดลองคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากวัตถุตัวอย่าง
5. สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

ได้ระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติจากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์ม สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ทำให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่มีคุณภาพสูงขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบที่มีความบกพร่องขนาดเล็กได้

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สมยศ ศรีสถิตย์ และ อรรถพร ภัทรสุมันต์ (2538) ได้ทำการวิจัยเรื่องการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ลงบนฟิล์ม ภาพถ่ายด้วยรังสีที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้วจะถูกส่งไปอ่านความดำด้วยเครื่องอ่านความดำที่ออกแบบให้ทำงานโดยอัตโนมัติ และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งภาพโทโมกราฟีที่ได้มีความคมชัดและให้รายละเอียดเป็นที่น่าพอใจ สำหรับเครื่องอ่านความดำแบบอัตโนมัติได้ใช้หลักการส่องผ่านของแสง โดยใช้หลอดฮาโลเจนขนาดเล็กร่วมกับระบบเลนส์เป็นต้นกำเนิดแสง และมีรูรับแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร แล้วใช้เส้นใยแสงนำแสงไปยังอุปกรณ์วัดแสง ทำให้เครื่องอ่านความดำนี้มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร

2. พรวิภา อังคพณิชกิจ (2538) ได้พัฒนาเครื่องวัดความดำของฟิล์มสำหรับใช้ในการแพทย์ โดยการใช้หลอดฮาโลเจนขนาด 20 วัตต์ พร้อมทั้งจัดระบบเลนส์นำแสงผ่านช่องบังคับแสง และใช้โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์วัดแสง และจากการทดสอบผลการวัดความดำฟิล์มจากแผ่นฟิล์มมาตราฐาน พบว่าสามารถอ่านค่าความดำฟิล์มเมื่อใช้ช่องบังคับแสงขนาด 1 และ 3 มิลลิเมตร ได้ในช่วง 0 ถึง 3.00

3. Perkin-Elmer , The National Science Foundation และ The Virginia Higher Eduation Equipment Trust Fund ได้พัฒนา PDS Model 1010A Microdensitometer โดยใช้หลอดฮาโลเจนขนาด 150 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสง ใช้ระบบเลนส์โฟกัสแสงไปที่ตำแหน่งฟิล์ม มีรูรับแสงขนาดตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร และใช้ระบบเลนส์ส่งแสงไปยังหลอดทวีคูณแสง ทำให้เครื่องอ่านความดำนี้มีค่ารีโซลูชันดีที่สุด 1 ไมโครเมตร

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ภาพโทโมกราฟี หมายถึง ภาพตัดขวางที่แสดงส่วนประกอบภายใน มีลักษณะเป็นภาพระนาบสองมิติที่คำนวณข้อมูลจากความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุในแต่ละระนาบโดยหมุนวัตถุตัวอย่างไปเป็นมุมทีละน้อย ๆ จนครบรอบหรืออย่างน้อย 180 องศา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี สำหรับในงานวิจัยนี้ขอกล่าวถึงวิธีคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน (Convolution fitter backprojection)

2.1.1 สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ (Attenuation coefficient of X – Ray)[1]

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสามารถทะลุผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงได้ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางจะเกิดอันตรกริยา (interaction) กับตัวกลาง ได้แก่ การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (photoelectric effect) คอมป์ตันเอฟเฟกต์ (compton effect) หรือ การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (compton scattering) และแพร์โพรดักชัน (pair production) โดยโอกาสของการเกิดอัตรกิริยาทั้ง 3 รูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางและพลังงานของรังสีเอกซ์ และปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้ความเข้มรังสีลดลง การลดลงของความเข้มรังสีจะเป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law)[2] ดังสมการที่ (2.1)

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{2.1}$$

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มรังสีก่อนทะลุผ่านตัวกลาง

I คือ ความเข้มรังสีหลังทะลุผ่านตัวกลาง

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีที่ระดับพลังงานต่าง ๆ

X คือ ความหนาของตัวกลาง

จากสมการของแลมเบิร์ตจะเห็นว่าความเข้มรังสีที่ผ่านตัวกลางจะลดลงตามความหนาและค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของตัวกลาง โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีจะขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีเอกซ์และชนิดของตัวกลาง สำหรับลักษณะการลดทอนรังสีเมื่อรังสีเอกซ์ผ่าน

ตัวกลางในลักษณะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 กรณีแรกรังสีเอกซ์ผ่านตัวกลางที่ประกอบด้วยวัตถุเนื้อเดียวกันตลอดดังรูปที่ 2.1(ก) การลดทอนรังสีจึงได้ตามสมการที่ (2.1) กรณีที่สองรังสีเอกซ์ผ่านตัวกลางที่ประกอบด้วยวัตถุสองชนิดดังรูปที่ 2.1(ข) ในการคำนวณการลดทอนรังสีในสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังนั้นการคำนวณการลดทอนรังสีจึงต้องแบ่งตามค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีและความหนาของตัวกลางแต่ละชนิดดังสมการที่ (2.2)

$$I = I_0 e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2)} \qquad (2.2)$$

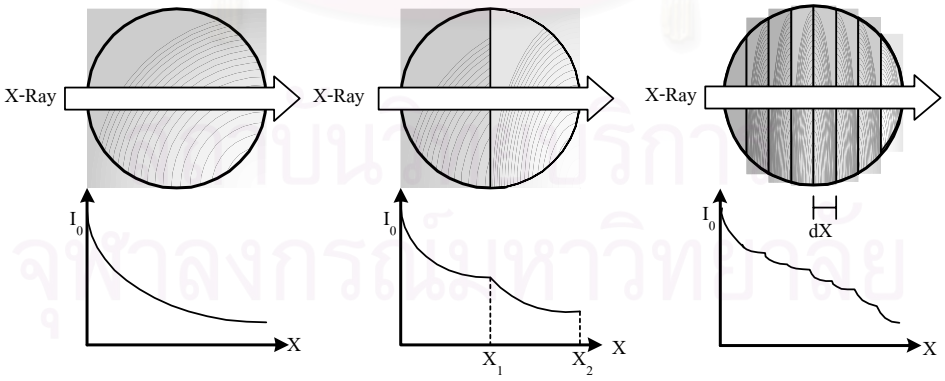
เมื่อ μ_1 และ μ_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของตัวกลางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

x_1 และ x_2 คือ ความหนาของตัวกลางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

และกรณีสุดท้ายรังสีเอกซ์ผ่านตัวกลางที่ประกอบด้วยวัตถุหลายชนิดดังรูป 2.1(ค) การคำนวณการลดทอนรังสีจะคล้ายกับสมการที่ (2.2) แต่จะแบ่งค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีและความหนาของตัวกลางออกเป็นหลาย ๆ ส่วนมากกว่า จึงได้การลดทอนรังสีตามสมการที่ (2.3)

$$I = I_0 e^{\int -\mu(s)\,dx} \qquad (2.3)$$

เมื่อ $\mu(s)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของตัวกลางต่างๆ



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.1 การลดทอนรังสีเอกซ์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางลักษณะต่างๆ[3]

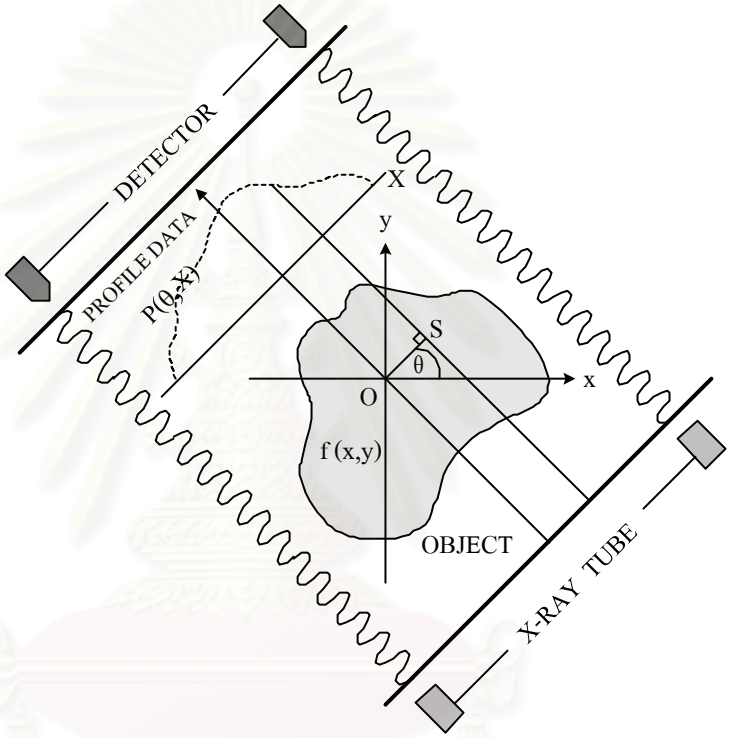
(ก) ตัวกลางที่ประกอบด้วยวัตถุเนื้อเดียวกัน

(ข) ตัวกลางที่ประกอบด้วยวัตถุสองชนิด

(ค) ตัวกลางที่ประกอบด้วยวัตถุหลายชนิด

2.1.2 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน[1]

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะอาศัยข้อมูลความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุในแต่ละระนาบโดยหมุนวัตถุตัวอย่างไปเป็นมุมทีละน้อย ๆ จนครบรอบหรืออย่างน้อย 180 องศา จึงมีการจัดอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลดังรูปที่ 2.2 และข้อมูลความดำที่อ่านได้โดยเครื่องสแกนอ่านค่าความดำ (densitometer) บนฟิล์มของแต่ละภาพเรียกว่า " ข้อมูลโปรไฟล์ (profile data) " หรือ " ข้อมูลโปรเจกชัน (projection data) "



รูปที่ 2.2 การเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

จากรูปที่ 2.2 จะกำหนดให้วัตถุวางบนระนาบ (x , y) และมีจุด O เป็นจุดหมุนแนวแกนของวัตถุหมุนทำมุม θ กับแนวแกน X รังสีเอกซ์ลำขนานจากต้นกำเนิดรังสีทะลุผ่านวัตถุถึงแผ่นฟิล์มด้วยระยะทาง S และการลดลงของความเข้มรังสีเป็นไปตามสมการที่ (2.4)

$$I = I_0 \exp\left[\int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\,dS\right] \qquad (2.4)$$

โดย f(x , y) คือ สัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficient) ของรังสีเอกซ์ที่พลังงานนั้นต่อวัตถุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนระนาบ (x , y) และจากสมการที่ (2.4) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังสมการที่ (2.5)

$$P(\theta, X) = \ln\left(\frac{I_0}{I_t}\right) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)\,dS \qquad (2.5)$$

ในที่นี้ P(θ , X) คือข้อมูลโปรไฟล์ที่มุมใด ๆ และข้อมูลแต่ละตำแหน่งบนแนวแกน X ของวัตถุที่เกิดจากที่ลำรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เรียกว่า “เรย์ซัม (raysum)” และข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากสมการที่ (2.5) ยังไม่สามารถนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ยังไม่ใช่ข้อมูลการลดทอนรังสีเอกซ์ต่อวัตถุอย่างแท้จริง จึงต้องมีการปรับแก้ค่าใหม่ (data correction) โดยการปรับแก้ค่าจากความแรงรังสีพื้นฐาน (background ; B) ดังสมการที่ (2.6)

$$P'(\theta, X) = \ln\left(\frac{I_0 - B}{I - B}\right) \qquad (2.6)$$

เมื่อได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ปรับแก้แล้ว นำมาประยุกต์ด้วยทฤษฎีของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) และการคอนโวลูชัน (convolution) จึงเขียนรูปสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (2.7)

$$f(x,y) = \frac{1}{\pi}\int_{0}^{\pi}\int_{-\infty}^{\infty} P'(\theta, X)\,\Theta\,H(X - X')\,dX'd\theta \qquad (2.7)$$

โดยฟังก์ชัน H(X) คือ ฟิลเตอร์ฟังก์ชัน (filter function) ซึ่งฟิลเตอร์ฟังก์ชันจะทำหน้าที่ปรับปรุงรายละเอียดของข้อมูลโปรไฟล์ ทำให้ได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่สามารถแยกแยะรายละเอียดของข้อมูลให้เห็นเด่นชัดมากขึ้นและได้ภาพโทโมกราฟีที่มีคุณภาพดีขึ้น ในที่นี้เลือกใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shapp-Logan ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.8) และวิธีการคำนวณแบบนี้เรียกว่า “คอนโวลูชัน ฟิลเตอร์แบคโปรเจกชัน” (convolution filter backprojection)

$$H(X) = \frac{2}{\pi^2 d\,(1 - 4X^2)} \qquad (2.8)$$

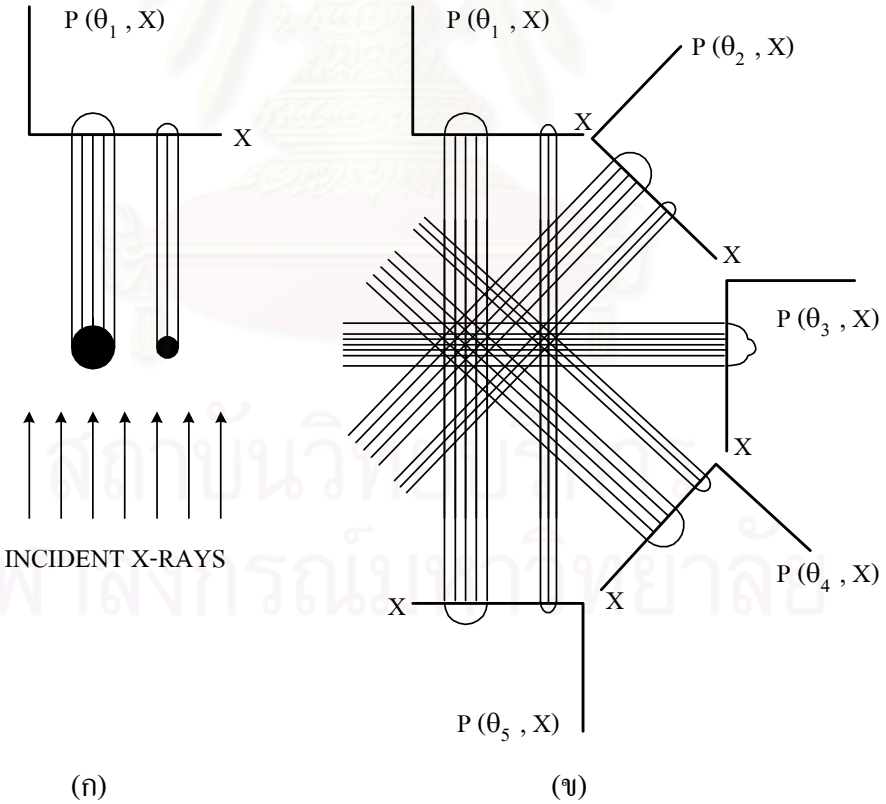
เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างเรย์ซัม

X คือ เลขจำนวนเต็ม (0,1,2,3,…)

เมื่อได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ปรับแก้ค่าแบคกราวด์และปรับปรุงรายละเอียดของข้อมูลด้วยการคูณกับฟิลเตอร์ฟังก์ชันแล้ว จะได้ข้อมูลโปรไฟล์ใหม่ที่เหมาะสำหรับไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งในที่นี้เลือกใช้วิธีแบคโปรเจกชัน

2.13 วิธีแบคโปรเจกชัน (Backprojection)

แบคโปรเจกชันเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยอาศัยการนำข้อมูลโปรไฟล์ในแต่ละมุมมาทำการฉายกลับลงบนตำแหน่งเดิมที่รังสีทะลุผ่าน ซึ่งดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.3(ก) แสดงภาพวัตถุที่จะนำมาคำนวณสร้างภาพพร้อมการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มุมหนึ่ง $P(\theta_1, X)$ ส่วนรูปที่ 2.3(ข) แสดงภาพการนำข้อมูลโปรไฟล์ในแต่ละมุมมาทำการฉายกลับลงบนตำแหน่งเดิม บริเวณส่วนที่ข้อมูลโปรไฟล์แต่ละมุมซ้อนทับกันนั้นคือภาพโทโมกราฟีนั่นเอง

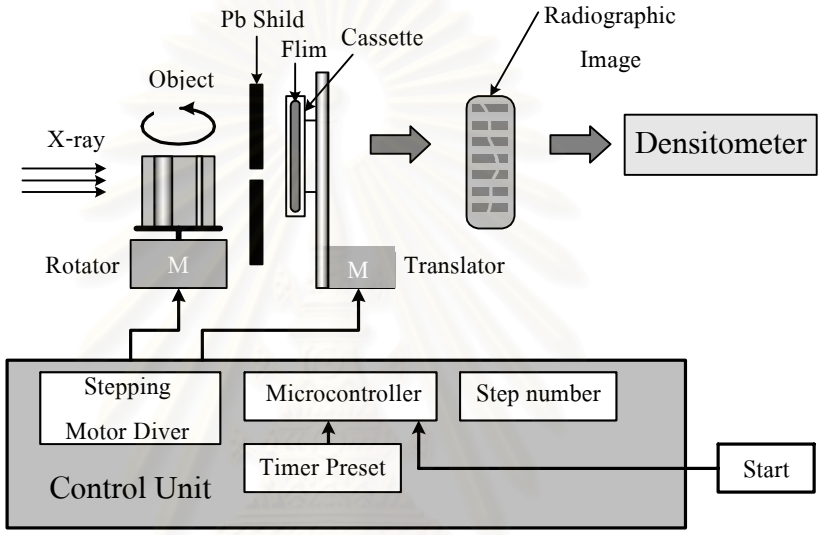


(ก) (ข)

รูปที่ 2.3 วิธีแบคโปรเจกชัน[2]

2.1.4 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม[1]

ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มที่พัฒนาโดยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโยลี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นระบบเก็บข้อมูลที่ใช้วิธีการสแกนเก็บข้อมูลแบบลำรังสีรูปพัดโดยใช้ฟิล์มเป็นอุปกรณ์บันทึกความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุ โดยมีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.4



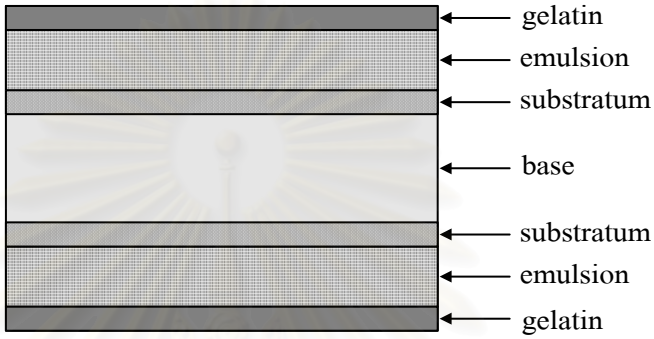
รูปที่ 2.4 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับสร้างภาพโทโมกราฟีแบบวิธีการสแกนลำรังสีรูปพัดด้วยเทคนิคฟิล์ม[1]

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีสำหรับเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น จะต้องถ่ายภาพแต่ละมุมจนครบรอบหรืออย่างน้อย 180 องศา และชุดหมุนวัตถุตัวอย่างของระบบนี้ได้ออกแบบให้สามารถเลือกสเต็ปของการหมุนวัตถุตัวอย่างได้ดังนี้ 3.6 และ 7.2 องศาต่อหนึ่งสเต็ป และชุดกำบังรังสีเพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีนี้มีช่องเพื่อให้รังสีลอดผ่านไปยังฟิล์มยาว 8 ซม. กว้าง 0.8 ซม. และด้านหลังมีตลับอลูมิเนียมซึ่งบรรจุฟิล์มยาว 8.5 ซม. กว้าง 30.5 ซม. ฟิล์ม 1 แผ่นจึงถ่ายภาพได้ 26 ภาพ ถ้าเลือกสเต็ปของการหมุนเท่ากับ 3.6 องศาต่อหนึ่งสเต็ป จะต้องถ่ายภาพอย่างน้อย 50 ภาพ จึงต้องใช้ฟิล์ม 2 แผ่น แต่ถ้าเลือกสเต็ปของการหมุนเท่ากับ 7.2 องศาต่อหนึ่งสเต็ป จะต้องถ่ายภาพอย่างน้อย 25 ภาพ จึงต้องใช้ฟิล์ม 1 แผ่น และจากความยาวของช่องเพื่อให้รังสีผ่านไปยังฟิล์มยาว 8.5 ซม. ทำให้ระบบนี้จำกัดขนาดของวัตถุตัวอย่างอยู่ที่ประมาณ 7 ซม.

2.2 ฟิล์มรังสีเอกซ์ (X–ray Film)

2.2.1 ลักษณะของฟิล์ม[4]

ฟิล์มรังสีเอกซ์ที่ใช้ถ่ายภาพด้วยรังสีทั่วไป มีส่วนประกอบของเนื้อฟิล์มแบ่งออกเป็นชั้นๆ ได้แสดงในรูปที่ 2.5 ดังนี้



รูปที่ 2.5 ภาคตัดขวางของฟิล์มที่ใช้กันอยู่ทั่วไป[4]

ชั้นกลางเป็นแผ่นพลาสติกบางใส ทำด้วยเซลลูโลสไตรอาซิเตท (cellulose triacetate) หรือโพลิเอสเตอร์ (polyester) มีหน้าที่ทำให้ฟิล์มคงรูปและเป็นแกนกลางที่จะให้ส่วนอื่นยึดเกาะไว้ และเรียกชั้นนี้ว่า film base

ชั้นนอกสุด เป็นส่วนของเจลาติน (gelatin) บางๆ มีหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อชั้นอิมัลชัน (emulsion)

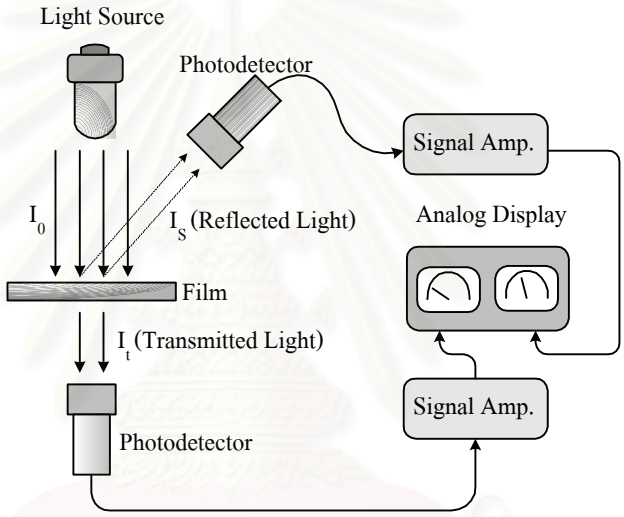
ชั้นอิมัลชัน เป็นชั้นที่ถัดจากชั้นเจลาตินเข้าไป ประกอบด้วยเจลาตินผสมกับผลึกของซิลเวอร์แฮไลด์ (silver halide) โดยเจลาตินจะทำหน้าที่ช่วยให้ผลึกกระจายอย่างสม่ำเสมอ ส่วนผลึกของซิลเวอร์โบรไมด์ (silver bormide , AgBr)

ชั้นซับสตราตรัม (substratum) เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดชั้นอิมัลชันเข้ากับ film base

เมื่อฟิล์มได้รับรังสีเอกซ์ รังสีจะทำปฏิกิริยากับผลึกของซิลเวอร์โบรไมด์ ทำให้เกิดเป็นโลหะซิลเวอร์ ที่เรียกว่า “ ภาพแฝง ” (latent image) ซึ่งจะมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นจะต้องนำไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม เมื่อผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้ว เราเรียกว่า “ ราดิโอกราฟ ” (radiograph) จะเห็นภาพบนฟิล์มได้

2.2.2 การวัดค่าความดำของฟิล์ม

ค่าความดำของฟิล์ม (density หรือ optical density : OD) ของฟิล์มจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มรังสีที่ฟิล์มได้รับ ถ้าได้รับความเข้มรังสีมากฟิล์มจะดำมาก ถ้าได้รับความเข้มรังสีน้อยฟิล์มก็จะดำน้อย และการวัดค่าความดำนั้นมีหลักการพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.6 เมื่อแสงตกกระทบฟิล์มจะมีแสงส่วนหนึ่งทะลุผ่านฟิล์มออกไป อีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ ดังนั้นการวัดค่าความดำของฟิล์มสามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกวัดความเข้มแสงที่ทะลุผ่านฟิล์มออกมา วิธีที่สองวัดความเข้มแสงที่สะท้อนกลับ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การวัดค่าความดำแบบแสงทะลุผ่าน



รูปที่ 2.6 หลักการวัดค่าความดำพื้นฐาน[5]

สำหรับวัดค่าความดำแบบแสงทะลุผ่าน เมื่อแสงผ่านฟิล์มฟิล์มจะดูดกลืนแสงไว้บางส่วน การดูดกลืนแสงของฟิล์มนั้นสามารถอธิบายได้จากกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) และกฎของเบียร์ (Beer's Law)[6] โดยแลมเบิร์ตอธิบายว่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์ม ถ้าฟิล์มหนามากจะดูดกลืนแสงได้มาก ส่วนเบียร์อธิบายว่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารในฟิล์ม ซึ่งส่วนมากจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซิลเวอร์ ถ้ามีความเข้มข้นมากจะดูดกลืนแสงได้ดี เมื่อรวมทั้งกฎของแลมเบิร์ตและกฎของเบียร์ จึงได้ความสัมพันธ์ของการหาค่าความดำดังสมการที่ (2.9)

$$\mathbf{OD} = \mathbf{log}\left(\frac{\mathbf{I_0}}{\mathbf{I_t}}\right) \qquad (2.9)$$

เมื่อ I_0 เป็นความเข้มของแสงเมื่อไม่มีฟิล์ม

I_t เป็นความเข้มของแสงเมื่อมีฟิล์ม

OD เป็นค่าความดำของฟิล์ม

ตารางที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์การทะลุผ่านแสงและค่าความดำของฟิล์ม[6]

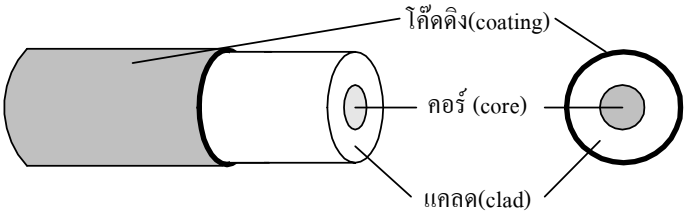
I_0	I_t	$\frac{I_t}{I_0}$	Light transmitted (%)	Optical Density $\log\left(\frac{I_0}{I_t}\right)$
10	1	0.1	10	1
10	0.1	0.01	1	2
10	0.01	0.001	0.1	3

โดยทั่วไปค่าความดำที่วัดได้นั้นจะเป็นค่าความดำทั้งหมดของฟิล์ม (OD_{TOTAL}) ซึ่งรวมค่าความดำของแกนฟิล์ม (B) และค่าความดำที่เกิดความพร่ามัว (Fog) ของฟิล์ม (F) ด้วย ค่าความดำเหล่านี้เป็นค่าความดำที่ไม่ได้เกิดจากการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยตรง ดังนั้นการหาค่าความดำที่แท้จริง (OD_{NET}) จึงหาได้ดังสมการที่ (2.10)[5]

$$OD_{NET} = OD_{TOTAL} - (B + F) \qquad (2.10)$$

2.3 เส้นใยแสง (Optical Fiber)[7]

เส้นใยแสง หมายถึง เส้นใยโปร่งแสงทรงกระบอกตันขนาดเล็กทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โดยมีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.7 ประกอบด้วยวัสดุ 2 ชั้น ชั้นในสุดเป็นแกนกลาง เรียกว่า “แกน” หรือ “คอร์” (core) ทำหน้าที่เป็นทางเดินแสง รอบ ๆ แกนมีวัสดุหุ้มซึ่งเรียกว่า “วัสดุหุ้ม” หรือ “แคลด” (clad) ทำหน้าที่สะท้อนแสงให้แสงเดินทางและกักขังอยู่ภายในแกน ทั้งสองส่วนนี้มีความเปราะบางมากเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก จึงทำการเคลือบด้วย “โค๊ดติง” (coating) หรือ “แจ็กเก็ต” (jacket) ทำให้เส้นใยแสงมีความแข็งแรงมากและดัดโค้งงอได้

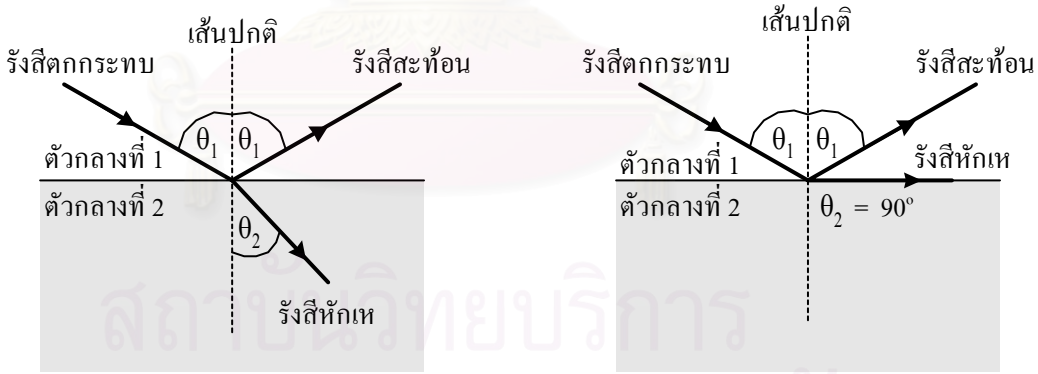


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเส้นใยแสง

การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง โดยปกติค่าดัชนีหักเหแสง n_1 ของแกนจะมีค่ามากกว่าค่าดัชนีหักเหแสง n_2 ของวัสดุหุ้มเล็กน้อย ทำให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงที่เดินทางอยู่ภายในคอร์ ส่งผลให้แสงทั้งหมดสามารถเดินทางอยู่ในเส้นใยแสง โดยไม่มีการสะท้อนออกนอกเส้นทาง

การเกิดการสะท้อนกลับหมด สามารถอธิบายจากกฎของสเนล (Snell's law) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.11) และเขียนการเคลื่อนที่ของลำแสงแทนด้วยรังสีได้ดังรูปที่ 2.8

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (2.11)$$



(ก) (ข)

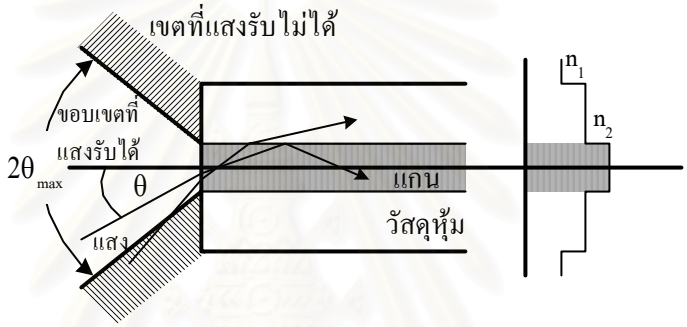
รูปที่ 2.8 การเกิดรังสีสะท้อนและรังสีหักเหจากรังสีตกกระทบ[6]

เมื่อ n_1 และ n_2 เป็นค่าดรรชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 และ 2 เมื่อ θ_1 และ θ_2 เป็นค่ามุมตกกระทบและมุมหักเห ดังแสดงในรูปที่ 2.8(ก) และเมื่อเกิดการสะท้อนกลับหมดดังแสดงในรูปที่ 2.8(ข) มุมหักเห (θ_2) จะเท่ากับ 90 องศา จึงได้ค่ามุมวิกฤต (critical angle : θ_c) ดังสมการที่ (2.12) ซึ่งมุมวิกฤตเป็นมุมตกกระทบที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.12)$$

จากการสะท้อนกลับหมดของแสง จะเห็นว่าแสงจะไม่ได้เข้าสู่เส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่ที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และมุมกว้างที่สุดที่แสงจะเข้าสู่เส้นใยแสงได้คือ $2\theta_{max}$ โดยมุม $2\theta_{max}$ นี้เรียกว่า " มุมยิงเข้าสูงสุด " (maximum input angle) นอกจากนี้ในทางออปติกส์ ยังมีค่านิวเมอริคัลอะเพอเจอร์ (Numerical Aperture) หรือ NA ซึ่งหมายถึง ขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่าน ซึ่งมีค่าดังสมการที่ (2.13)



รูปที่ 2.9 มุมรับแสงของเส้นใยนำแสง[7]

$$NA = \sin\theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.13)$$

2.3.1 ชนิดของเส้นใยนำแสง

การแบ่งชนิดเส้นใยแสงมีหลายวิธีด้วยกัน เช่นการแบ่งตามชนิดของวัสดุที่นำมาผลิต และตามชนิดของโหมดของแสงที่เดินทาง การแบ่งตามชนิดวัสดุได้แก่ ชนิดควอตซ์ ชนิดวัสดุพลาสติกในชั้นหุ้ม และชนิดวัสดุพลาสติกทั้งแกนและชั้นหุ้ม ส่วนการแบ่งเส้นใยแสงออกตามชนิดของโหมดของแสง ได้แก่

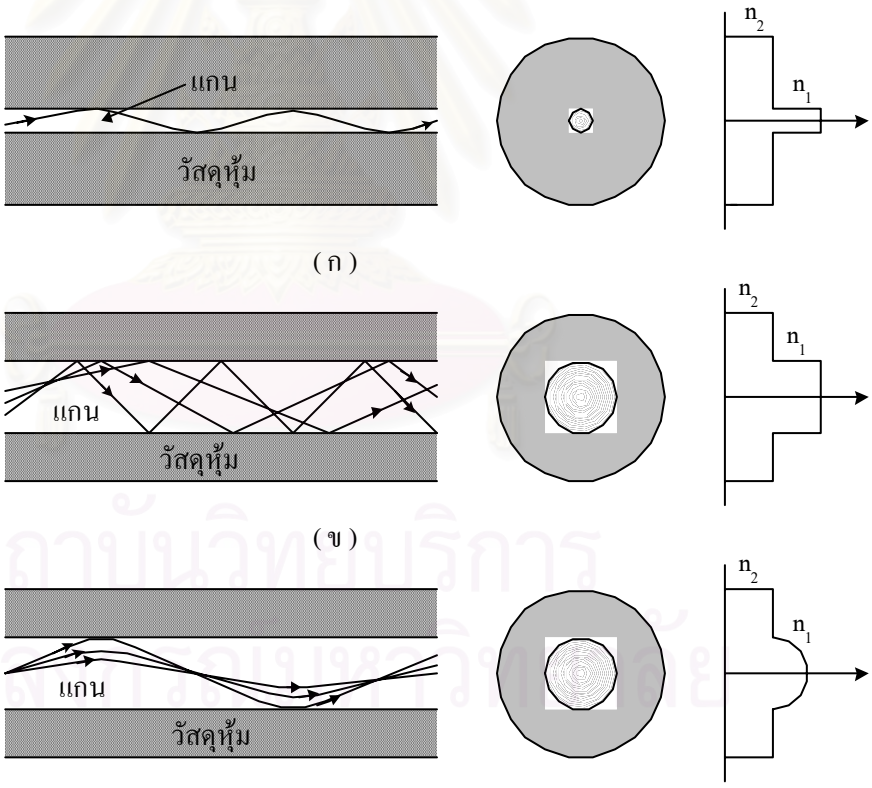
1.เส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโหมด (Single mode optical fiber) หมายถึง เส้นใยแสงที่ยอมให้มีโหมดการเดินทางของแสงได้เพียงโหมดเดียว โครงสร้างของเส้นใยแสงชนิดนี้มักเป็นชนิดสเต็ปอินเด็กซ์ คือเส้นใยแสงที่มีค่าดัชนีหักเหแสงของแกนมีค่าสม่ำเสมอตลอดแนวรัศมีการเดินทางของแสงจึงเป็นเส้นตรง และเส้นใยชนิดนี้มีขนาดของแกนเล็กมาก ดังรูปที่ 2.10(ก)

การนำมาใช้จึงต้องใช้กับแหล่งกำเนิดแสงที่มีมุมกระจายแสงน้อย ๆ และมีทิศทางที่แน่นอน เช่น เลเซอร์

2.เส้นใยแสงชนิดหลายโหมด (multi mode optical fiber) หมายถึง เส้นใยแสงที่ยอมให้โหมดการเดินทางของแสงเกิดขึ้นได้หลายโหมดตามลักษณะของแสงที่ส่งเข้าไป โครงสร้างของเส้นใยแสงชนิดนี้จะมีขนาดของแกนใหญ่ขึ้นกว่าชนิดโหมดเดียว และอาจเป็นได้ทั้งชนิดสเต็ปอินเดกซ์ และชนิดเกรดเดดอินเดกซ์

เส้นใยแสงชนิดสเต็ปมัลติโหมด โหมดการเดินทางของแสงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงสะท้อนกลับไปกลับมาระหว่างแนวสัมผัสของแกนกับวัสดุหุ้ม ดังรูปที่ 2.10(ข) เนื่องจากค่าดัชนีหักเหของแสงคงที่

เส้นใยแสงชนิดเกรดเดดอินเดกซ์มัลติโหมด โหมดการเดินทางของแสงจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งดังรูปที่ 2.10(ค) เนื่องจากค่าดัชนีหักเหแสงของแกนมีค่าสูงสุดที่กึ่งกลางของแกนและจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ตามแนวรัศมีจนมีค่าเท่ากับของวัสดุหุ้ม การออกแบบเช่นนี้ทำให้ความเร็วของแสงในแต่ละโหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน



รูปที่ 2.10 เส้นใยแสงชนิดต่างๆ[7]

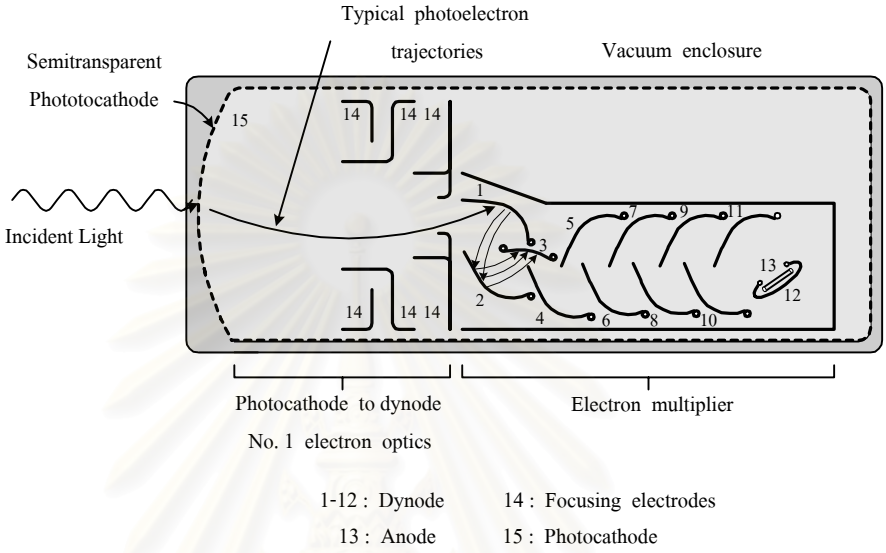
(ก) เส้นใยนำแสงชนิดซิงเกิลโหมด

(ข) เส้นใยนำแสงชนิดสเต็ปมัลติโหมด

(ค) เส้นใยนำแสงชนิดเกรดเดดอินเดกซ์มัลติโหมด

2.5 หลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier Tube ; PMT)[8][9]

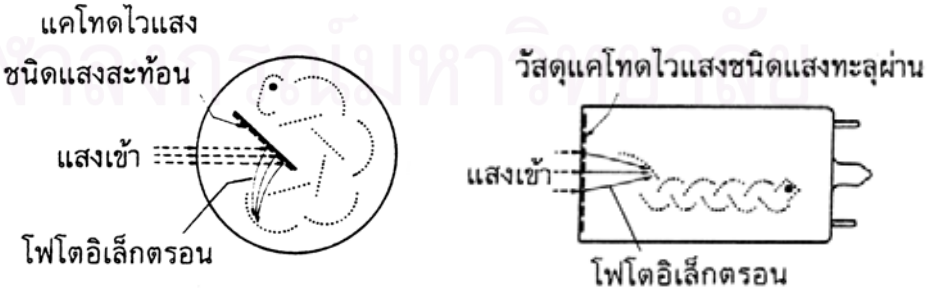
หลอดทวีคูณแสง คือ อุปกรณ์ไวแสง (Photosensitive Device) ชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแสงและเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.11 และมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของหลอดทวีคูณแสง[8]

2.5.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดทวีคูณแสง

1.โฟโตแคโทด (Photocathode) เป็นสารไวแสงส่วนมากที่ใช้เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำที่มีโลหะอัลคาไล (alkali) ผสมอยู่ เช่น Ag-O-Cs , GaAs(Cs) , InGaAs , Sb-Rb-Cs เป็นต้น เมื่อแสงตกกระทบสารไวแสงจะปลดปล่อยอิเล็กตรอน(photoelectron) ลักษณะของโฟโตแคโทดมี 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดสะท้อนแสง และชนิดแสงทะลุผ่าน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.12



(ก) ชนิดสะท้อนแสง (ข) ชนิดแสงทะลุผ่าน

รูปที่ 12 ลักษณะของแคโทดไวแสง[9]

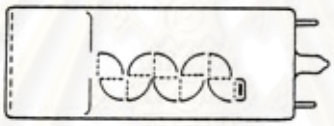
2. โฟกัส (Focusing electrode) เป็นขั้วไฟฟ้าทำหน้าที่สร้างเลนส์ไฟฟ้าสถิตย์ควบคุมลำอิเล็กตรอนให้รวมกันสู่ไดโนดตัวแรก (1st dynode)

3.ไดโนด (dynode) เป็นแผ่นเคลือบสารที่ไวต่อการเกิดเซกชันดารีอิมิสชัน (secondary emission) จัดเรียงทำมุมกันเพื่อให้เกิดการทวีปริมาณอิเล็กตรอนให้มากขึ้น แผ่นขั้วไฟฟ้านี้อาจมีตั้งแต่ 4 แผ่นถึง 15 แผ่น การจัดเรียงแผ่นโลหะนี้ทำได้หลายวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.13

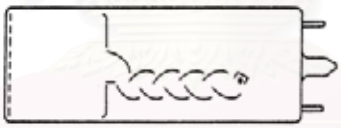
1) ชนิดเรียงตัวเป็นวงกลม (circular cage)

แบบแสงเข้าด้านข้าง แบบแสงเข้าทางด้านหัว

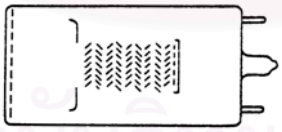
2) ชนิดเรียงเป็นกล่อง (box and grid)



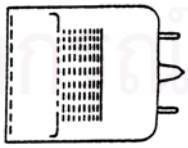
3) ชนิดไลน์โฟกัส (linear focuses)



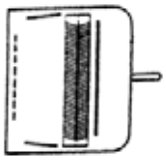
4) ชนิดคล้ายมู่ลี่ (venetain blid)



5) ชนิดตาข่าย (proximity mesh)



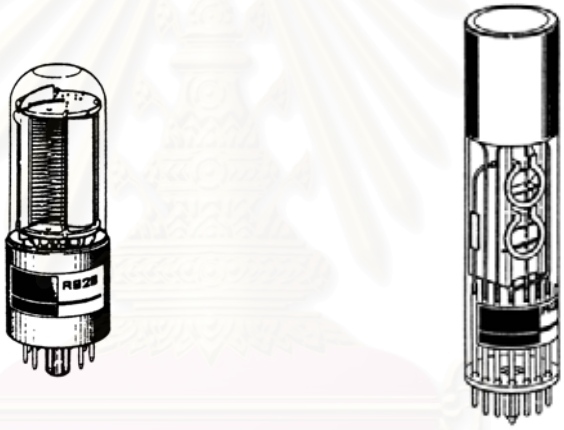
6) ชนิด MCP (multi - channel place)



รูปที่ 2.13 หลอดทวีคูณแสงชนิดต่าง ๆ แบ่งตามลักษณะของการเรียงตัวของไดโนด[9]

4. แอโนด (anode) เป็นแผ่นรับประจุอิเล็กตรอนจากการทวีปริมาณของชุดไดโนด (dynode chain) เพื่อสร้างพัลส์กระแสหรือพัลส์ศักดาไฟฟ้าทางออก โดยชุดแผ่นขั้วไฟฟ้าไดโนดและแอโนดนี้รวมเรียกว่า " ส่วนทวีปริมาณอิเล็กตรอน (electron multiplier) "

หลอดทวีคูณแสงที่ใช้กันอยู่ทั่วไปสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด คือ ชนิดด้านข้าง (side on) และชนิดด้านข้าง (head on) ดังแสดงในรูปที่ 2.14(ก) ชนิดด้านข้าง ได้แก่ชนิดที่ใช้แสงเข้าทางด้านข้างของตัวหลอด ส่วนชนิดด้านหัวได้แก่ชนิดที่ใช้แสงเข้าทางด้านยอดของตัวหลอด โดยทั่วไปชนิดด้านข้างจะมีราคาถูกกว่าและขยายสัญญาณได้ดีกว่าจึงนิยมใช้มากกว่า เช่นใช้ในระบบวัดสเปกตรัมแสง ระบบการวัดแสงทั่วไป ในชนิดด้านข้างมักจะมีโฟโตแคโทดแบบสะท้อนแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.14(ข) และการจัดเรียงไดโนดก็มักเป็นรูปวงกลม ส่วนชนิดด้านหัวมักเป็นแบบแสงทะลุผ่าน และมีลักษณะเด่น คือมีความสม่ำเสมอในแนวระนาบของการวัดแสงและพื้นที่รับแสงก็สามารถผลิตให้ใหญ่ได้ง่าย

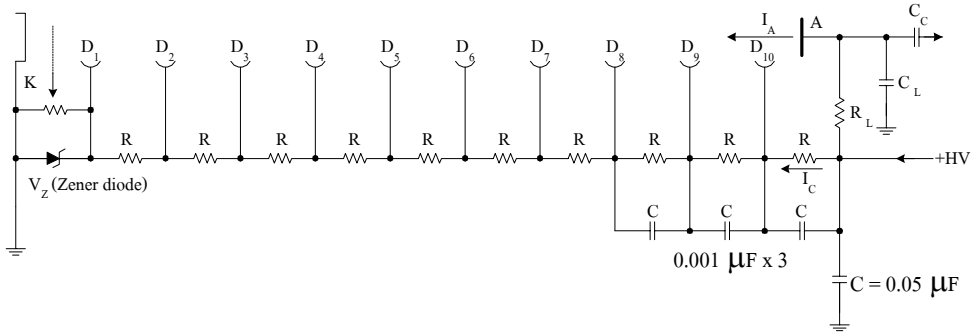


(ก) แบบแสงเข้าด้านข้าง (ข) แบบแสงเข้าด้านหัว

รูปที่ 2.14 ลักษณะของหลอดทวีคูณแสง[9]

การจัดวงจรของหลอดทวีคูณแสง[8][9]

การจัดวงจรเพื่อไบอัสให้หลอดทวีคูณแสงทำงานได้สมบูรณ์มี 2 รูปแบบ คือ แบบให้สัญญาณพัลส์ทางแอโนด และแบบการวัดปริมาณกระแสแอโนดต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16



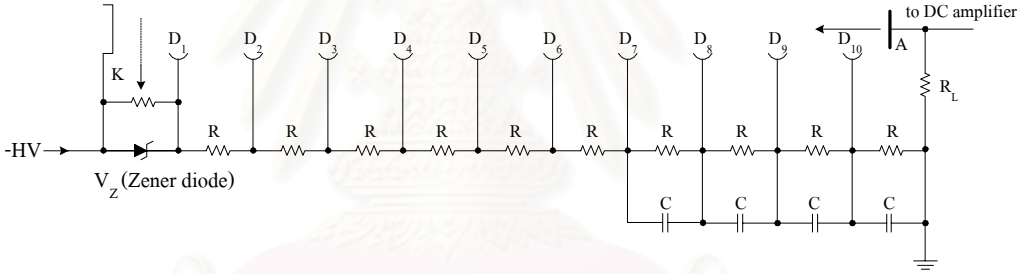
R = dividing resister of dynode chain

R_L = load resister

C_L = capacitance of anode circuit to ground

C_C = coupling capacitance

รูปที่ 2.15 การจัดวงจรฐานหลอด PMT ซึ่งให้สัญญาณรูปพัลส์[8][9]



รูปที่ 2.16 การจัดวงจรฐานหลอด PMT สำหรับการวัดสัญญาณต่อเนื่อง[8][9]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การออกแบบระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงแบบอัตโนมัติ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ ประกอบด้วย

3.1.1อุปกรณ์สำหรับแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่

3.1.1.1 หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten halogen lamp) ขนาด 12 โวลต์ 35 วัตต์

3.1.1.2 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า (power supply) 0-12 โวลต์ 5 แอมแปร์

3.1.1.3 ระบบเลนส์รวมแสง

3.1.1.4 แผ่นสะท้อนแสง

3.1.2 อุปกรณ์สำหรับการนำแสงและการวัดแสง ได้แก่

3.1.2.1 เส้นใยนำแสง (Fiber optics)

3.1.2.2 ท่อนำแสงระหว่างเส้นใยนำแสงกับหลอดทวีคูณแสง

3.1.2.3 หลอดทวีคูณแสง

3.1.2.4 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (High voltage power supply)

3.1.2.5 วงจรฐานหลอดทวีคูณแสง (Tube Base)

3.1.2.6 อุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

3.1.2.7 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า 9 โวลต์ และ $\pm$12 โวลต์

3.1.3 อุปกรณ์สำหรับระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม ได้แก่

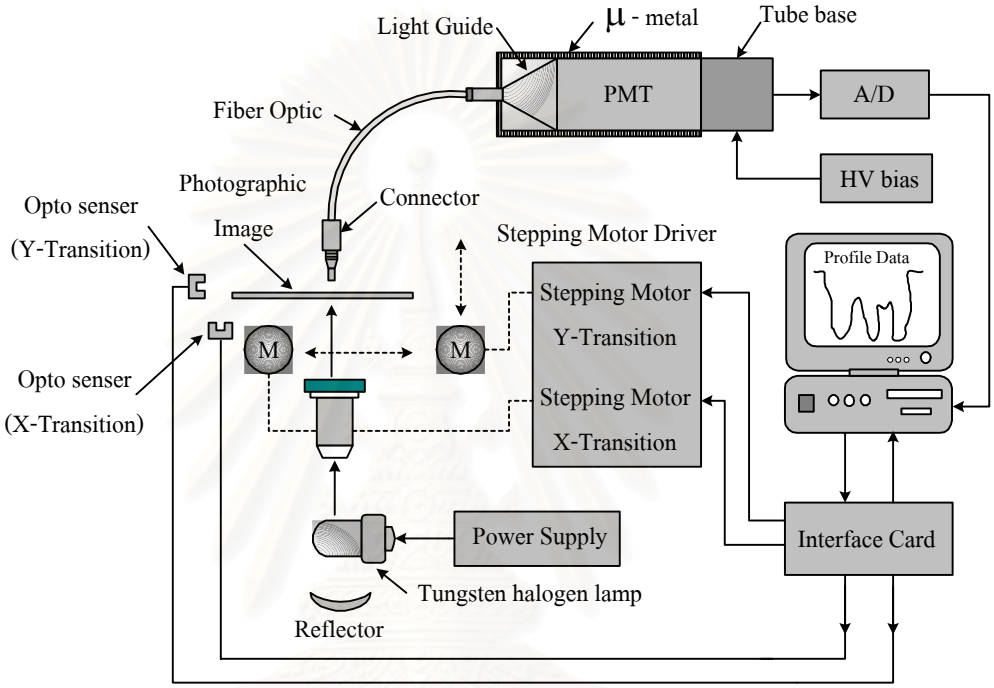
- 3.1.3.1 สเต็ปปิงมอเตอร์แบบ 4 เฟส ขนาด 6 โวลต์ 1.2 แอมแปร์ต่อเฟส และความละเอียดในการหมุน 1.8 องศาต่อสเต็ป
- 3.1.3.2 ball screw พร้อม shaft และลูกปืน 2 ชุด
- 3.1.3.3 ball slide พร้อม shaft 2 ชุด
- 3.1.3.4 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ (Stepping motor driver circuit)
- 3.1.3.5 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า 5 โวลต์ 3 แอมแปร์ และ 6 โวลต์

3.1.4. วงจรเชื่อมโยง (Interface Circuit) ระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบขับเคลื่อนฟิล์ม

3.1.7 ไมโครคอมพิวเตอร์

3.2 การออกแบบระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ออกแบบขึ้นนี้ สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งแบบวัดค่าความเข้มแสง (Intensity) และแบบวัดค่าความดำ (Optical Density) โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพหลักการทำงานของระบบสแกนอ่านความดำรายละเอียดสูงที่พัฒนาขึ้น

หลักการทำงานของระบบนี้ เมื่อเริ่มการทำงานระบบจะทำการสแกนหาตำแหน่งเริ่มต้นโดยอาศัยการควบคุมจากไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรเชื่อมโยงสัญญาณและมีสวิทช์แสงเป็นตัวตรวจสอบ จากนั้นจะเริ่มสแกนอ่านค่าความดำโดยอาศัยหลักการส่องแสงผ่านภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มและใช้อุปกรณ์วัดแสงมาวัดความเข้มแสงที่ทะลุภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มออกมา โดยความเข้มแสงที่ทะลุออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความดำของภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มนั้น เพื่อความละเอียดของระบบนี้จึงใช้เส้นใยนำแสงขนาดเล็กมากมาเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ทะลุออกมาและนำแสงไปยังอุปกรณ์วัดแสงซึ่งในระบบนี้ใช้หลอดทวีคูณแสง แต่หลอดทวีคูณแสงมีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยนำแสงมาก จึงใช้ท่อนำแสงรูปกรวยมาเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงกับหลอดทวีคูณแสงเพื่อให้ประสิทธิภาพในการวัดดีขึ้น หลอดทวีคูณแสงจะทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และจะถูกส่งต่อให้กับอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข แล้วส่ง

ต่อไปเก็บบันทึกไว้ในไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งไปยังระบบกลขับเคลื่อนไปยังตำแหน่งเรย์ซัมถัดไป เมื่อครบทุกเรย์ซัมแล้วจะเลื่อนไปยังตำแหน่งโปรไฟล์ต่อไปจนครบทุกโปรไฟล์ เมื่อครบทุกโปรไฟล์แล้วโปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบจะทำการจัดเรียงข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ให้เหมาะสมเพื่อใช้เป็นข้อมูลคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

สำหรับระบบสแกนอ่านค่าความดำที่ดีนั้น จะต้องเป็นระบบที่สามารถแยกแยะรายละเอียดได้ดี (high resolution) และสามารถอ่านค่าความดำ (optical density) สูง ๆ ได้ จากหลักการทำงานของระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นมานี้ จะเห็นว่าแหล่งกำเนิดแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระบบนี้มีความถูกต้องและทำให้ระบบสามารถอ่านค่าความดำสูง ๆ ได้

รูปที่ 3.2 ระบบสแกนอ่านค่าความดำอ่านความดำรายละเอียดสูงที่พัฒนาขึ้น

3.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

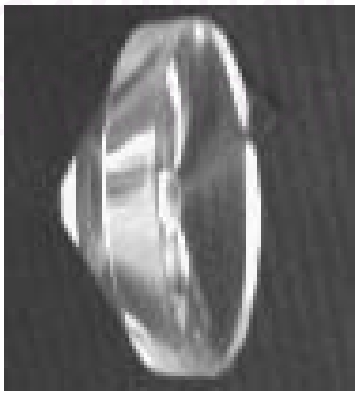
แหล่งกำเนิดแสงที่ดีนั้นจะต้องมีความสม่ำเสมอของแสงและมีความเข้มแสงที่เหมาะสมกับระบบด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลอดไฟหลอดทังสเตนฮาโลเจนขนาด 12 โวลต์ 35 วัตต์ เป็นต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นหลอดไฟที่มีความสม่ำเสมอของแสงและมีความเข้มแสงสูง ดังนั้นเพื่อให้มีความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจึงใช้แผ่นโลหะขัดเงาทำหน้าที่สะท้อนแสงและใช้ระบบเลนส์มาช่วยรวมแสงไปที่ตำแหน่งฟิล์มที่จะทำการอ่านค่าความดำ และได้ออกแบบแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟทังสะเตนฮาโลเจน ให้สามารถปรับค่าได้เพื่อปรับความเข้มแสงให้เหมาะสมกับระบบนี้ และเมื่อปรับค่าความเข้มแสงได้เหมาะสมแล้วจะให้ค่าศักดาไฟฟ้าคงที่เพื่อทำให้แสงที่ได้คงที่ตลอดเวลา นอกจากนี้หลอดไฟที่ใช้มีอุณหภูมิสูงมากจึงต้องมีพัดลมระบายอากาศเพื่อลดอุณหภูมิบริเวณหลอดเพื่อทำให้สามารถเปิดใช้งานได้ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน

3.2.2 ระบบวัดแสง

ระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นนี้ต้องการให้เป็นระบบที่มีความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดสูง จึงได้ใช้เส้นใยนำแสงชนิดหลายโหมดรุ่น NEC 62Y4265AN ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนเท่ากับ 50 ไมโครเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคลดเท่ากับ 125 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3 มาเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ทะลุผ่านแผ่นฟิล์มออกมาเพื่อนำแสงไปยังอุปกรณ์วัดแสง

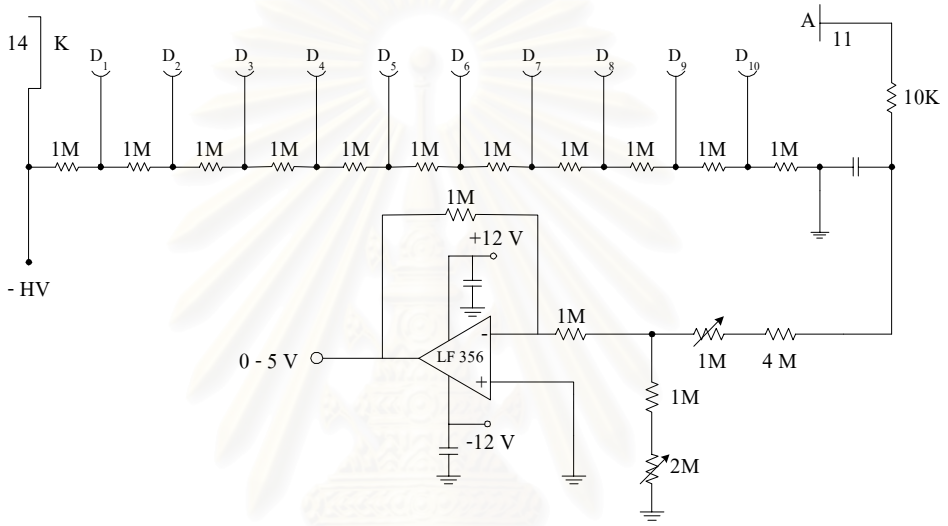
รูปที่ 3.3 เส้นใยนำแสง NEC 62Y4265AN

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลอดทวีคูณแสงที่มีขนาดหน้าต่าง (window) รับแสงเท่ากับ 5 เซนติเมตร มาเป็นอุปกรณ์วัดแสง จะเห็นว่าขนาดของเส้นใยนำแสงกับหน้าต่างรับแสงของหลอดทวีคูณแสงแตกต่างกันมาก จึงได้ใช้ท่อนำแสงรูปกรวยทำด้วยอะคริริกมากลึงเป็นรูปกลวยดังแสดงในรูปที่ 3.4 มาเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสงกับหลอดทวีคูณแสง ซึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการวัดแสงของหลอดทวีคูณแสงดีขึ้น



รูปที่ 3.4 ท่อนำแสงระหว่างปลายเส้นใยนำแสงกับหลอดทวีคูณแสง

ในส่วนของหลอดทวีคูณแสงซึ่งจะทำหน้าที่แปลงความเข้มแสงจากท่อนำแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและสัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปสัญญาณอะนาลอก และจะถูกส่งต่อให้กับอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (Analog to Digital Converter) เข้าสู่คอมพิวเตอร์ต่อไป ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบวงจรไบอัสให้หลอดทวีคูณแสงวัดสัญญาณแบบต่อเนื่อง สัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปสัญญาณ DC และมีค่ามากแต่มีค่าเป็นลบจึงได้ออกแบบวงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuation network) และวงจรกลับเฟส (Inverting circuit) เพื่อให้สัญญาณที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 5 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพวงจรไบอัสให้หลอดทวีคูณแสงที่ได้ออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้

สัญญาณที่ได้จาก tube base ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 5 โวลต์ จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้บอร์ด ET-AD 12 มาเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 12 บิต ซึ่งสามารถให้ความแตกต่างของข้อมูลเชิงตัวเลขได้ 4096 ระดับ และเชื่อมกับไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน (Parallel Port) หรือพอร์ตเครื่องพิมพ์ (Printer Port) และมีการเชื่อมต่อสัญญาณดังแสดงในตารางที่ 3.1

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 12 บิต

ตารางที่ 3.1 สัญญาณและจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

ชื่อสัญญาณของอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข	ตำแหน่งขาของอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขด้านที่ต่อกับอุปกรณ์ภายนอก
สัญญาณ ANALOG INPUT CHANNEL 1	ขา 11
สัญญาณ ANALOG INPUT CHANNEL 2	ขา 9
ไฟเลี้ยงวงจร(+VCC = +9 VDC)	ขา 25
สัญญาณ GROUND	ขา 21-24

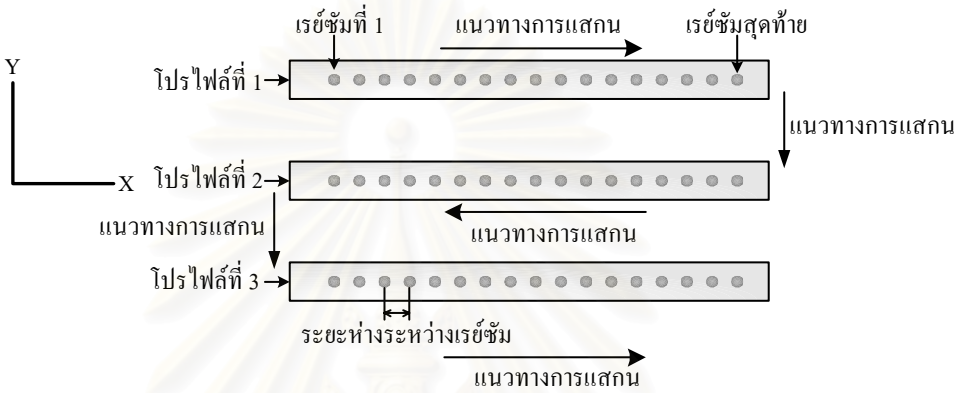
สำหรับการใช้งานพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน สามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต (พอร์ต Status) พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต (พอร์ต Control) และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต (พอร์ต Data) ไปใช้งานได้โดยตรง และในการติดต่อกับพอร์ตขนานจะต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการติดต่อด้วยดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แอดเดรสของพอร์ตขนาน

ชื่อพอร์ต	LPT 1	LPT 2	LPT 3
DATA	378H (888)	3BCH(956)	278H(632)
STATUS	379H(889)	3BDH(957)	279H(633)
CONTROL	37AH(890)	3BEH(958)	27AH(634)

3.2.3 ระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม

ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์มเป็น 2 แกน คือแกน X และแกน Y โดยแกน X เป็นการเลื่อนตำแหน่งจากเรย์ซัมหนึ่งไปยังเรย์ซัมถัดไปซึ่งอยู่ในโปรไฟล์เดียวกัน ส่วนแกน Y จากเป็นการเลื่อนตำแหน่งจากโปรไฟล์หนึ่งไปยังโปรไฟล์ถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนภาพแนวทางการเลื่อนตำแหน่งของระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม

จะเห็นว่าความละเอียดของระบบนี้จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเรย์ซัม นอกจากความละเอียดแล้วระบบนี้ยังต้องการความแม่นยำของระยะและตำแหน่งที่แน่นอน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สเต็ปปิงมอเตอร์แบบ 4 เฟส ขนาด 6 โวลต์ 1.2 แอมแปร์ต่อเฟส มีความละเอียด 1.8 องศาต่อสเต็ป และใช้ Ball Screw ที่มีความละเอียด 1 ซม.ต่อการหมุนหนึ่งรอบ ในแกน X ส่วนแกน Y ใช้ Ball Screw ที่มีความละเอียด 2 ซม.ต่อการหมุนหนึ่งรอบ ดังนั้นเมื่อสเต็ปปิงมอเตอร์หมุนทีละสเต็ป (1.8 องศา) หมุนทีละสองสเต็ป (3.6 องศา) และหมุนทีละสี่สเต็ป (7.2 องศา) จึงได้ระยะห่างระหว่างสเต็ปหรือระยะห่างระหว่างเรย์ซัมแสดงดังตารางที่ 3.3

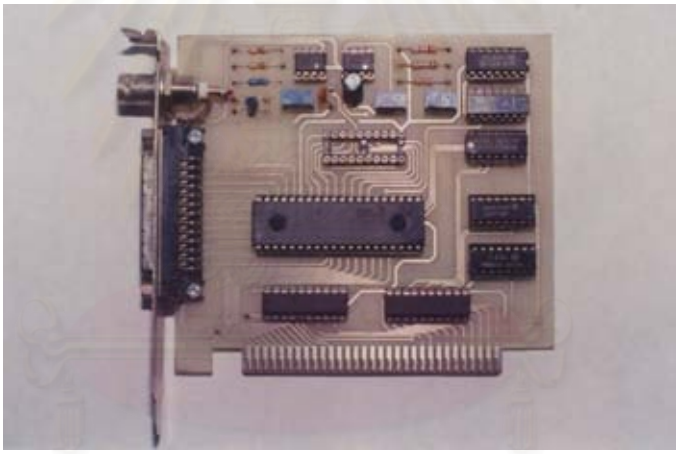
ตารางที่ 3.3 ระยะห่างระหว่างสเต็ปเมื่อมอเตอร์หมุนด้วยมุมต่าง ๆ

มอเตอร์หมุน	จำนวนสเต็ปในหนึ่งรอบ	ระยะห่างระหว่างสเต็ป(มม.)
ทีละสเต็ป (1.8 องศา)	200	0.05
ทีละสองสเต็ป (3.6 องศา)	100	0.1
ทีละสี่สเต็ป (7.2 องศา)	50	0.2

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ (Stepping Motor Driver) ที่ใช้ให้สามารถขับกระแสให้เฟสต่างๆ ของมอเตอร์ได้อย่างเพียงพอ (แสดงในภาคผนวก) ซึ่งขับสเต็ปปิงมอเตอร์ได้ทั้งสองแกน และการขับจะใช้แบบฟูลสเต็ปสองเฟส โดยสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์สำหรับการเลื่อนตำแหน่งของแผ่นฟิล์มนั้นจะถูกส่งมาจากไมโครคอมพิวเตอร์โดยผ่านวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

3.2.4.1 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

แผ่นเชื่อมโยงสัญญาณ (Interface card) จะทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งของส่วนภาคอินพุต (Input) และภาคเอาต์พุต (Output) ในระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์มนี้ได้ใช่แผ่นเชื่อมโยงสัญญาณเชื่อมต่อกับวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์และวงจรหาตำแหน่งเริ่มต้น โดยตำแหน่งอ้างแอดเดรสของโปรแกรมในไมโครคอมพิวเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 3.4

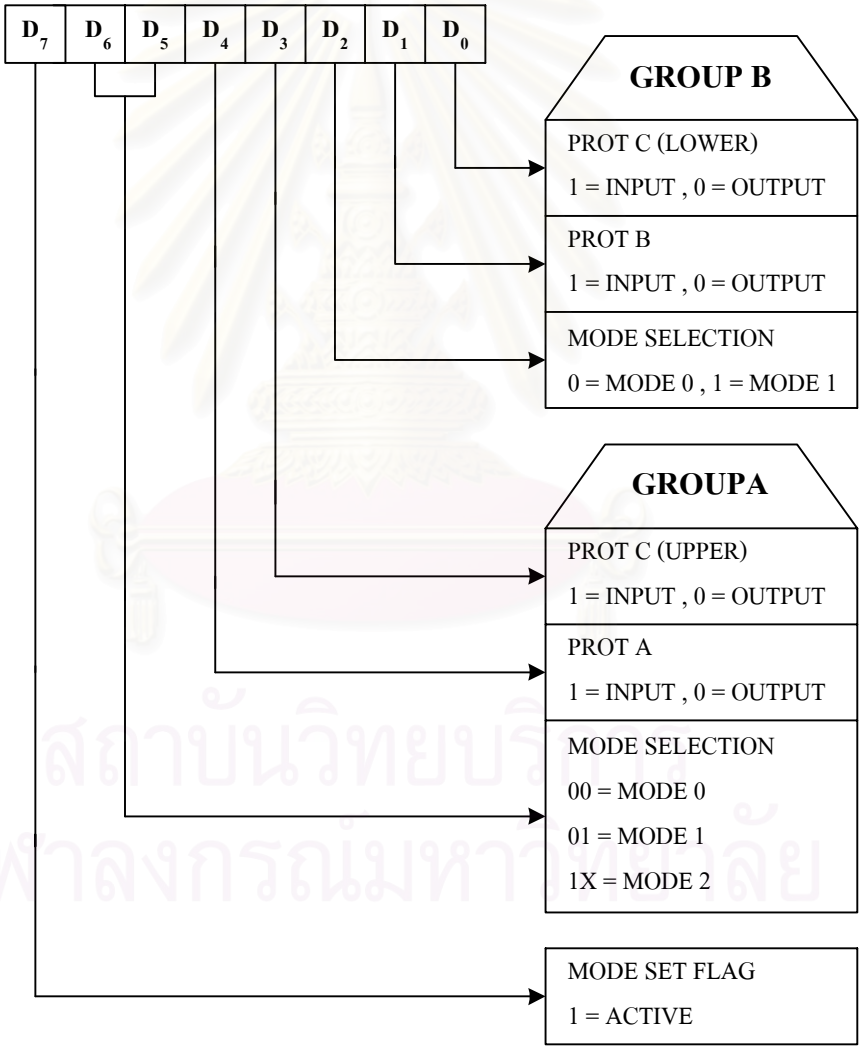


รูปที่ 3.8 วงจรเชื่อโยงสัญญาณ

ตารางที่ 3.4 การจัดตำแหน่งหมายเลขพอร์ตที่ใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร

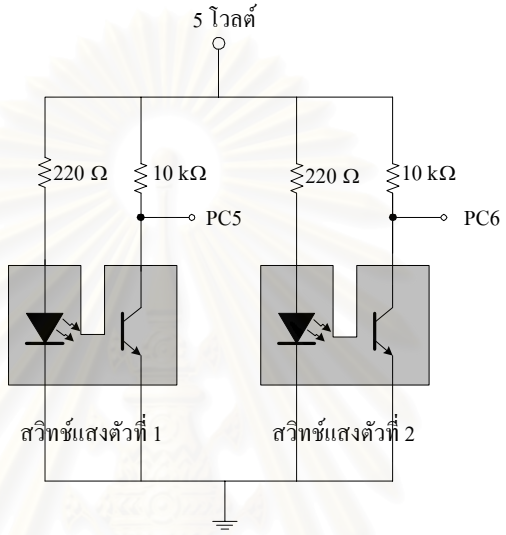
หมายเลขพอร์ต	ชนิดสัญญาณ	หน้าที่
300H (768)	Output	ควบคุมมอเตอร์แกน X
301H(769)	Output	ควบคุมมอเตอร์แกน Y
302H(770)	Input	รับสัญญาณจากสวิทช์แสง
303H(771)	Input	พอร์ตควบคุมการทำงานของไอซีเบอร์ 8255

และการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์และวงจรหาตำแหน่งเริ่มต้นกับไมโครคอมพิเตอร์ โดยอาศัยการควบคุมและการรับสัญญาณผ่านไอซีเบอร์ 8255 ให้เป็นไปตามลำดับขั้นของโปรแกรมที่กำหนดไว้ และการใช้งานไอซีเบอร์ 8255 ต้องใส่รหัสควบคุมข้อมูล D_0 –D_7 เพื่อรีจิสเตอร์พอร์ตควบคุมก่อน โดยแต่ละบิตของรหัสควบคุมจะมีความหมายในการกำหนดการทำงานของ 8255 ต่างๆ กัน ซึ่งมีรายละเอียดของรหัสควบคุมดังแสดงในรูปที่ 3.9 และในงานวิจัยนี้ใช้รหัสควบคุมคือ 89H(137) ทำให้พอร์ต A และพอร์ต B เป็นพอร์ตเอาต์พุต สำหรับส่งสัญญาณควบคุมวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ ส่วนพอร์ต C เป็นพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณจากวงจรหาตำแหน่งเริ่มต้น

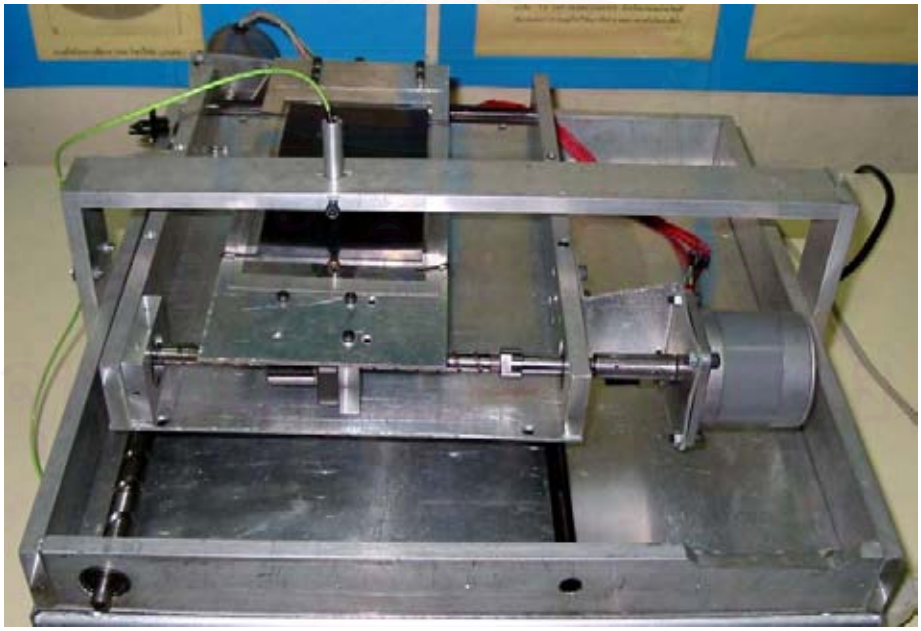


รูปที่ 3.9 แผนภาพรหัสควบคุมและหน้าที่รหัสควบคุมแต่ละบิตของไอซีเบอร์ 8255

และการสแกนอ่านค่าความดำบนฟิล์มสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโม-กราฟีต้องการตำแหน่งที่แน่นอน จึงต้องมีการสร้างตำแหน่งอ้างอิงหรือตำแหน่งเริ่มต้นขึ้น ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรหาตำแหน่งเริ่มต้นโดยใช้สวิตช์แสง (opto sensor) 2 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่บอกตำแหน่งเริ่มต้นของแกน X ส่วนตัวที่สองทำหน้าที่บอกตำแหน่งเริ่มต้นของแกน Y โดยสวิตช์แสงทั้ง 2 ตัวนี้เชื่อมต่อกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณทางพอร์ต PC4 และ PC5 ของ 8255 และจะถูกส่งเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ต 302H (770) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพวงจรสวิตช์แสง



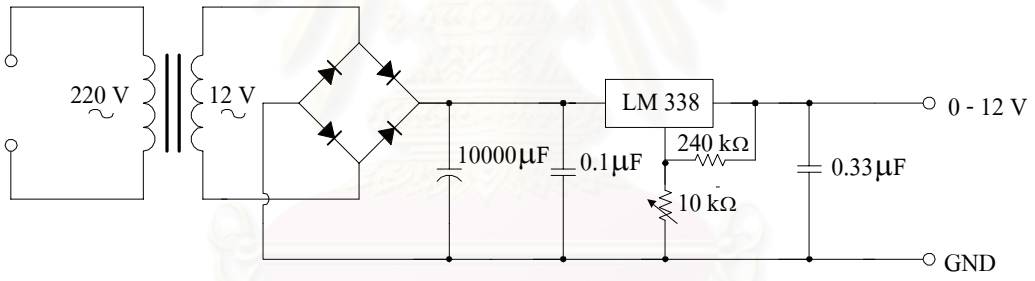
รูปที่ 3.11 ระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม

3.2.4 แหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรง

แหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงทำหน้าที่แปลงกระไฟฟ้าสลับเป็นกระแสไฟฟ้าตรงตามขนาดที่ต้องการเพื่อจ่ายให้อุปกรณ์ต่างๆ สำหรับระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง ระบบนำแสงและวัดแสง และระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม โดยแต่ละระบบมีอุปกรณ์และวงจรที่ต้องการศักดาไฟฟ้ากระแสตรงดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดแสง

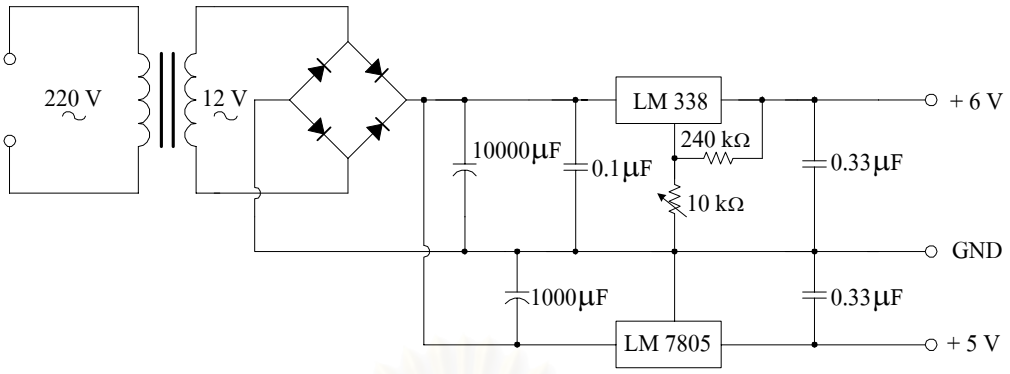
แหล่งกำเนิดแสงได้ใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจนขนาด 12 โวลต์ 35 วัตต์ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดแสงที่ให้แสงคงที่และสามารถปรับความเข้มแสงตามค่าศักดาไฟฟ้าที่ได้รับได้ จึงได้ออกแบบแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงให้สามารถปรับค่าศักดาไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0- 12 โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ 5 แอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภาพวงจรแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับแหล่งกำเนิดแสง

ข. ระบบวัดแสง

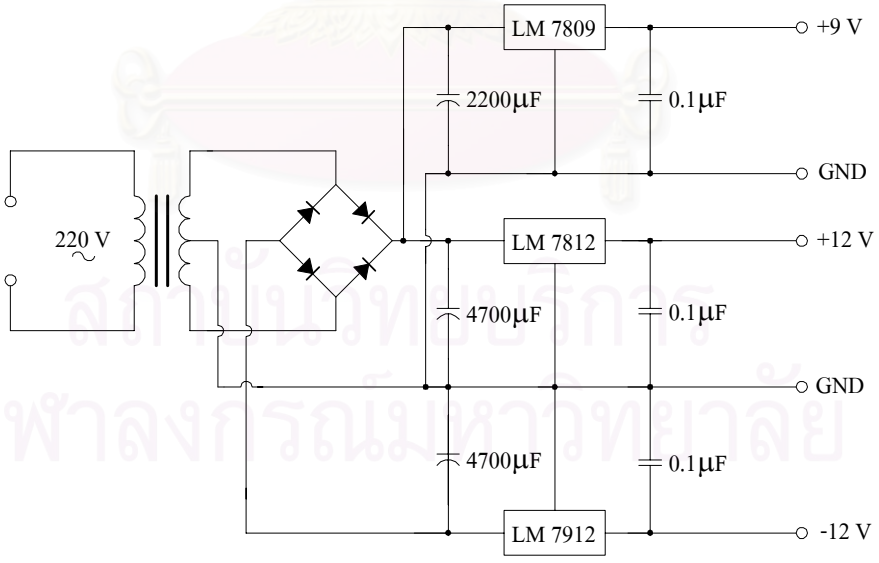
ในระบบวัดแสงต้องการค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์ สำหรับวงจรไบอัสให้หลอดทวีคูณแสง และ 9 โวลต์ สำหรับบอร์ด AT – AD 12 จึงได้ออกแบบแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แผนภาพวงจรแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับระบบวัดแสง

ค. ระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม

ระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์มประกอบด้วย สเต็ปปิงมอเตอร์ขนาด 6 โวลต์ 1.2 แอมแปร์ต่อเฟส วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์ และวงจรหาตำแหน่งเริ่มต้น โดยในส่วนของวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์และวงจรหาตำแหน่งเริ่มต้นต้องการค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ จึงได้ออกแบบแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนภาพวงจรแหล่งกำเนิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์ม

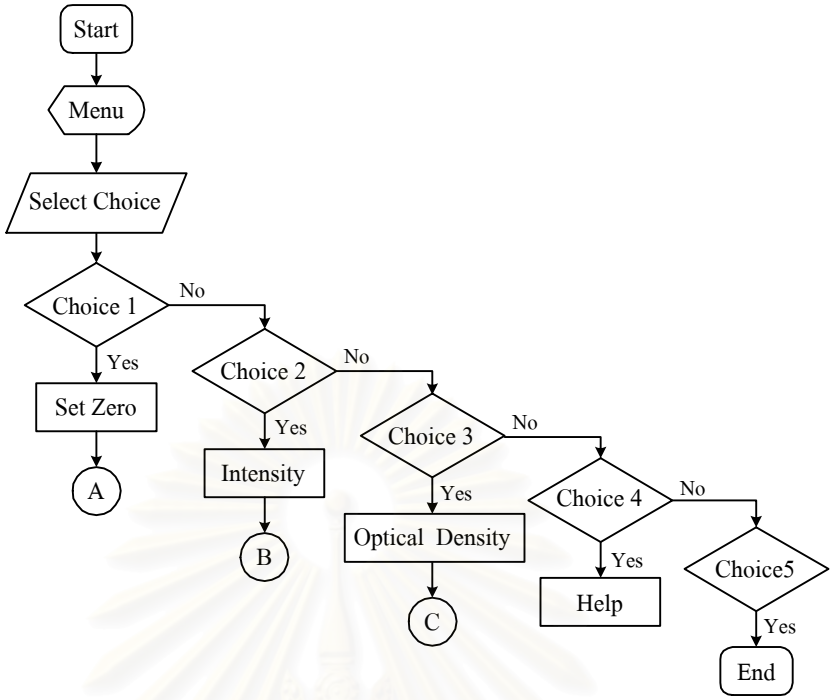
3.5 การพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ

โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ทำให้ระบบนี้สามารถเลือกวิธีการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ได้ 2 วิธี วิธีแรกเป็นการสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดค่าความเข้มแสง (Intensity) ค่าที่ได้ของวิธีนี้จะออกมาในรูปของค่าความเข้มแสงที่ทะลุผ่านฟิล์มออกมา ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 0-4095 ระดับ ส่วนวิธีที่สองเป็นสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดค่าความดำ (Optical Density) ค่าที่ได้ของวิธีนี้จะออกมาในรูปของค่าความดำ (OD) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 3.11 โดยการเลือกวิธีการสแกนเก็บข้อมูลที่โปรแกรมเมนูหลักว่าจะใช้เลือกวิธีการเก็บข้อมูลแบบใด

3.5.1 โปรแกรมเมนูหลัก

โปรแกรมเมนูหลักประกอบด้วยเมนูสำหรับเลือกโปรแกรมย่อย ได้แก่ โปรแกรมปรับค่าศูนย์ (Set Zero) โปรแกรมการสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดค่าความเข้มแสง (Intensity) โปรแกรมการสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดค่าความดำ (Optical Density) และโปรแกรมช่วยเหลือ (Help) ดังรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



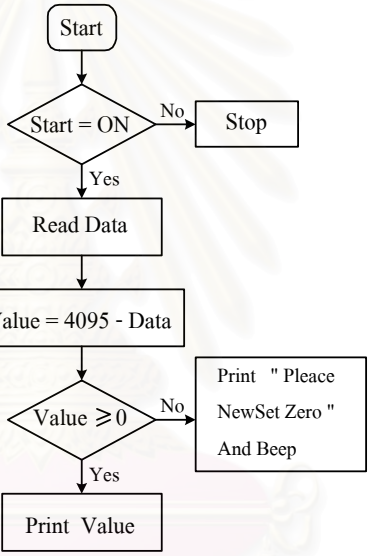
รูปที่ 3.15 แผนผัง Flow chart ของโปรแกรมเมนูหลัก

รูปที่ 3.16 หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมเมนูหลัก

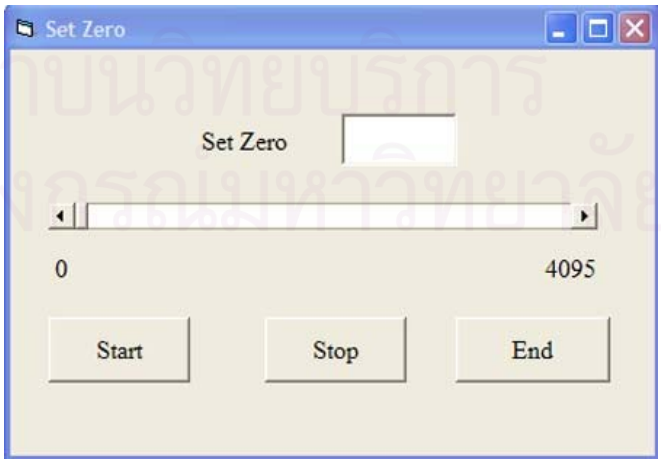
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5.2 โปรแกรมปรับค่าศูนย์ (Set Zero)

ข้อมูลโปรไฟล์ที่ดีสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ควรเป็นข้อมูลที่มีความแตกต่างของค่าความดำระหว่างตำแหน่งฟิล์มที่ดำที่สุดกับ fog ของฟิล์ม ดังนั้นก่อนการสแกนเก็บข้อมูลทุกครั้งจึงต้องมีปรับค่าศูนย์ โดยการวัดค่าความดำที่ตำแหน่งของ Fog ของฟิล์ม และปรับค่าอัตราขยายก่อนเข้าอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขให้ได้ค่าความดำเท่ากับศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด การปรับอัตราขยายไม่ควรปรับจนค่าความดำติดลบ เมื่อค่าความดำติดลบจึงมีเสียงและข้อความเตือนทันทีเพื่อป้องกันอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขเสียหาย และการใช้โปรแกรมโดยกดปุ่ม Start จะเริ่มการทำงานและหยุดเมื่อกดปุ่ม Stop และกดปุ่ม Exit เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมปรับค่าศูนย์



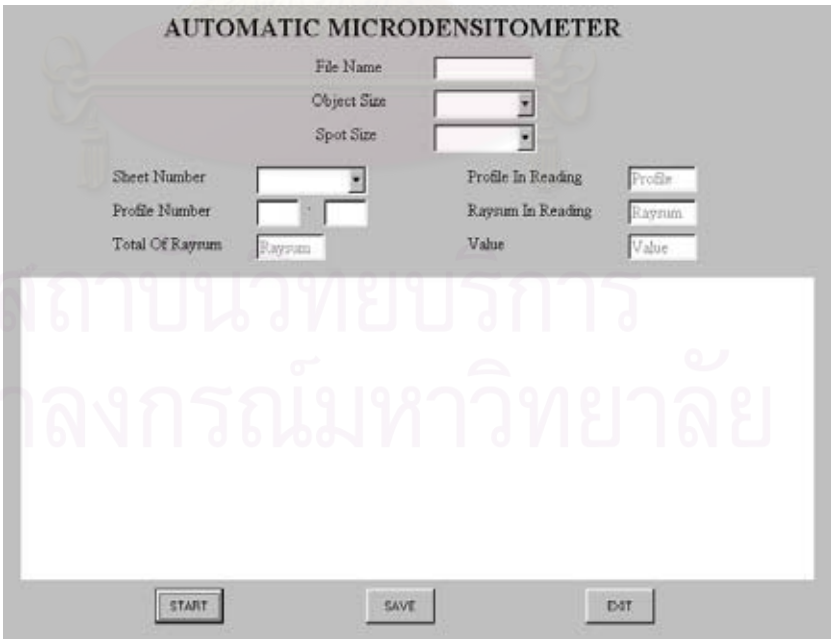
รูปที่ 3.17 แผนผัง Flow chart ของโปรแกรมปรับค่าศูนย์



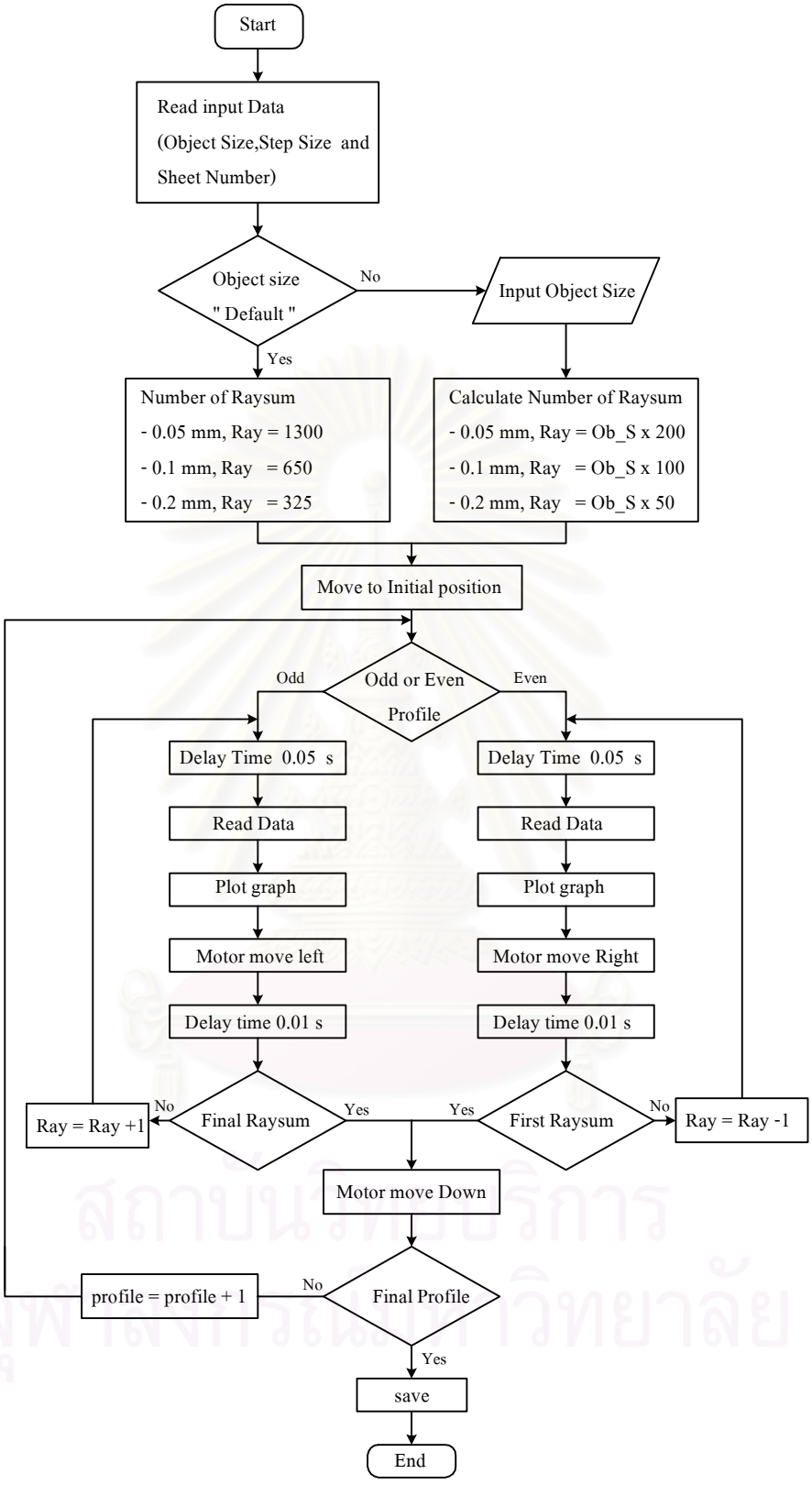
รูปที่ 3.18 หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมปรับค่าศูนย์

3.5.3 โปรแกรมการสแกนแบบวัดค่าความเข้มแสง

การสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดค่าความเข้มแสง ค่าที่ได้จะออกมาอยู่ในระหว่าง 0–4095 และมีแนวทางการสแกนดังรูปที่ 3.7 จึงมีลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.20 โดยเริ่มจากการกรอกและเลือกข้อมูลให้ครบได้แก่ ใส่ชื่อไฟล์ (file Name) ที่ต้องการบันทึก และถ้าเป็นวัตถุเดียวกันให้ใส่ชื่อเดียวกันเลย เนื่องจากโปรแกรมนี้ได้ออกแบบให้เป็นการบันทึกแบบต่อเนื่อง ต่อมาจะต้องเลือกขนาดของวัตถุตัวอย่าง (Object Size) ซึ่งประกอบด้วย ขนาด 6.5 ซม. และกำหนดขนาดเอง การกำหนดขนาดเองจะกำหนดได้ไม่เกิน 7 ซม. ต่อมาจะต้องเลือกระยะระหว่างจุดสแกนอ่านค่าความดำ ซึ่งประกอบด้วย 0.05, 0.1 และ 0.2 มม. การเลือกระยะระหว่างจุดนี้ถ้าต้องการสแกนที่ละเอียดมากให้เลือกระยะระหว่างจุดน้อย ๆ (0.05 มม.) แต่จะต้องเสียเวลามากในการสแกนอ่านค่า ต่อมาเลือกแผ่นฟิล์มที่ต้องการสแกนอ่านค่าความดำประกอบด้วยแผ่นที่ 1 ถึง 4 โดยแผ่นที่ 1 ถึง 3จะสแกนอ่านค่า 13 โปรไฟล์ แต่แผ่นที่ 1 จะมีหัวข้อ (header) ก่อน ซึ่งประกอบด้วย ชื่อไฟล์ จำนวนเรย์ซัม จำนวนโปรไฟล์ ระยะห่างระหว่างจุดสแกนอ่านค่าความดำ และมุมในการเก็บข้อมูล ส่วนแผ่นที่ 4 จะแสกนอ่านความดำ 11 โปรไฟล์ เมื่อใส่และเลือกข้อมูลครบแล้วกดปุ่ม START โปรมแกรมจะสแกนหาตำแหน่งเริ่มต้นและเริ่มสแกนอ่านค่าความดำทันที ค่าที่ได้จะแสดงทางหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อสแกนอ่านค่าเสร็จ 1 แผ่น โปรแกรมจะถามชื่อและไดเรกทอรีที่ต้องการบันทึกข้อมูลอีกครั้งและบันทึกข้อมูล



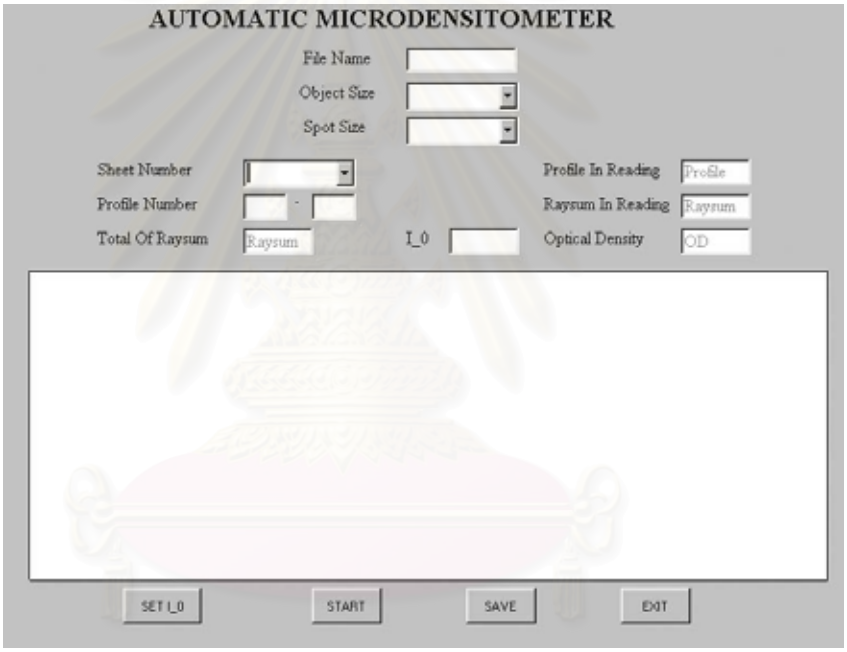
รูปที่ 3.19 หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมการสแกนแบบวัดค่าความเข้มแสง



รูปที่ 3.20 แผนผัง Flow chart ของโปรแกรมการสแกนแบบวัดความเข้มแสง

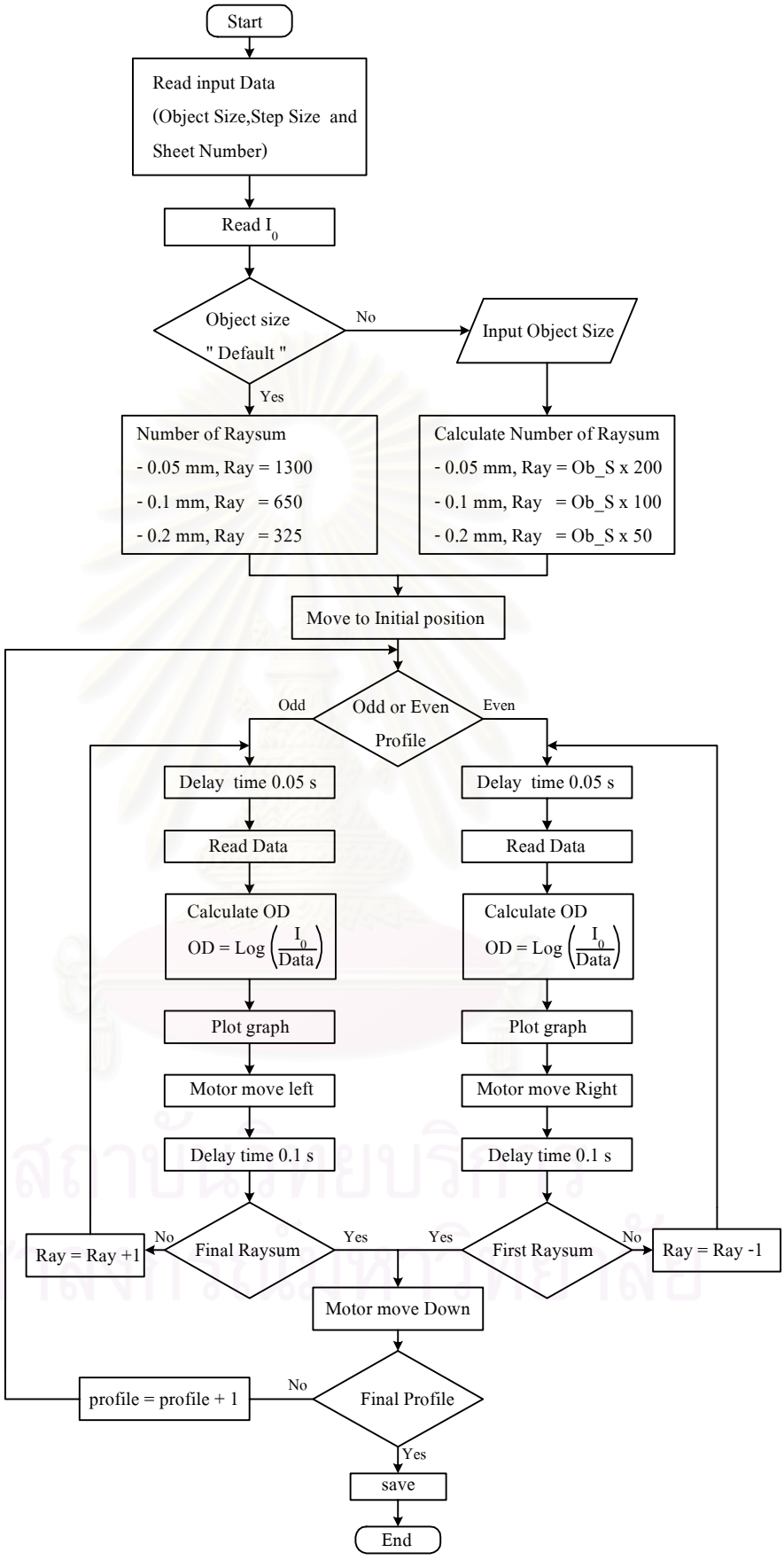
3.5.4โปรแกรมการสแกนแบบวัดค่าความดำ

การสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดค่าความดำ จะคล้ายกับการสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดความเข้มแสง แต่ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของค่าความดำและมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 3.11 สำหรับลำดับขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.22 โดยเริ่มจากการใส่และเลือกข้อมูลให้ครบซึ่งเหมือนกับการสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดความเข้มแสง ต่อมาให้อ่านค่า I_0 ที่ตำแหน่ง Fog ของฟิล์ม ต่อมากดปุ่ม START โปรมแกรมจะทำงานเหมือนแบบวัดค่าความเข้มแสง และมีโปรแกรมการสแกนแบบวัดค่าความดำทางหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 หน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมการสแกนแบบวัดค่าความดำ

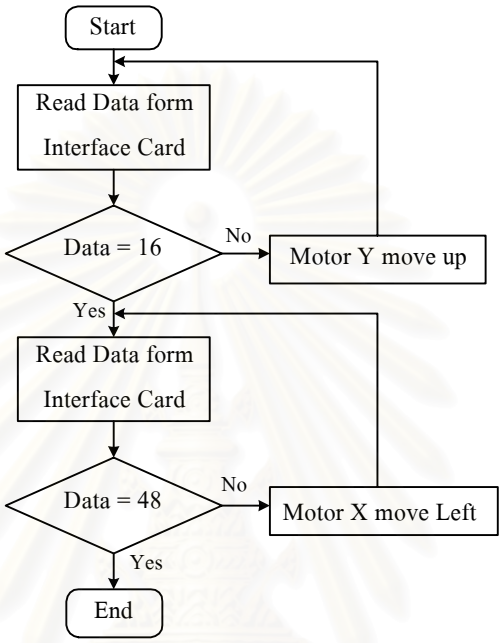
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.22 แผนผัง Flow chart ของโปรมแกรมการสแกนแบบวัดค่าความดำ

3.5.5โปรแกรมกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์ม

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องก่อนการสแกนเก็บข้อมูลทุกครั้งจะต้องเลื่อนแผ่นฟิล์มไปยังตำแหน่งเริ่มต้นทุกครั้ง จึงได้ออกแบบโปรแกรมหาตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์มดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แผนผัง Flow chart ของโปรแกรมกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์ม

3.5.6 โปรแกรมช่วยเหลือ (Help)

โปรแกรมช่วยเหลือเป็นโปรแกรมให้คำแนะนำวิธีการใช้ระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. ตรวจสอบสายเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ สายเชื่อมต่อระหว่างวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์กับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณซึ่งเสียบลงในสล็อตภายในไมโครคอมพิวเตอร์ สายเชื่อมต่อระหว่างวงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์กับสเต็ปปิงมอเตอร์ สายเชื่อมต่อระหว่างวงจรไบอัสให้หลอดทวีคูณแสงกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข ซึ่งเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน และสายศักดาไฟฟ้าสูงซึ่งเชื่อมต่อระหว่างวงจรไบอัสให้หลอดทวีคูณแสงกับแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง

2. ปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงซึ่งค่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง -700 ถึง –750 โวลต์ สำหรับการเลือกค่าศักดาไฟฟ้าสูงจะขึ้นอยู่ค่าความดำของฟิล์ม ถ้าฟิล์มดำมากให้ใช้ค่าศักดาไฟฟ้าสูงมากขึ้น

3. การปรับค่าศูนย์ (Set Zero) จะปรับค่าศูนย์ที่ตำแหน่ง Fog ของฟิล์มที่จะทำการอ่านค่า โดยการปรับค่าอัตราการขยายของวงจรไบอัสให้หลอดทวีคูณแสง และปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงให้ได้ค่าเท่ากับศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด

4. วางฟิล์มที่ตำแหน่งที่กำหนด

5. เลือกวิธีการสแกนเก็บข้อมูลซึ่งมี 2 วิธี คือ แบบวัดค่าความเข้มแสง (Intensity) และแบบค่าความดำ (Optical Density)

6. ใส่และเลือกข้อมูลให้ครบ ซึ่งได้แก่

ก. ชื่อไฟล์ (File Name) ที่ต้องการเก็บบันทึก

ข. เลือกขนาดของวัตถุ (Object Size) ซึ่งแบ่งเป็น Default (ขนาด 6.5 ซม.) และ User Defined (กำหนดขนาดเองซึ่งกำหนดได้ไม่เกิน 7 ซม.)

ค. เลือกระยะห่างระหว่างจุด (Spot Size) ซึ่งแบ่งเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 0.05 มม., 0.1 มม. และ 0.2 มม. สำหรับการเลือกระยะห่างระหว่างจุด ถ้าเลือกระยะห่างระหว่างจุดน้อยจะได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความละเอียดมาก

ง. เลือกแผ่นฟิล์มที่จะสแกนเก็บข้อมูล (Sheet Number) ซึ่งแบ่งเป็นแผ่นที่1 ถึง 4 และแบบกำหนดเอง โดยแผ่นที่ 1 ถึง 3 จะทำการอ่านข้อมูล 13 โปรไฟล์ แต่แผ่นที่ 1 จะมีหัวข้อ (header) ก่อน ซึ่งประกอบด้วย ชื่อไฟล์ จำนวนเรย์ซัม จำนวนโปรไฟล์ ระยะห่างระหว่างจุดที่ทำการสแกนอ่านค่าความดำ และมุมในการเก็บข้อมูล ส่วนแผ่นที่ 4 จะแสกนอ่านความดำ 11 โปรไฟล์ ส่วนแบบกำหนดเองจะสามารถระบุจำนวนโปรไฟล์ที่ต้องการเก็บข้อมูลและสามารถระบุได้ไม่กิน 13 โปรไฟล์

7. ถ้าเลือกการสแกนเก็บข้อมูลแบบวัดค่าความดำ จะต้องทำอ่านค่า I_0 ก่อน โดยรายละเอียดเหมือนการปรับค่าศูนย์

8. กดปุ่ม START เพื่อเริ่มทำการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์

9. เมื่อสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ครบตามจำนวนโปรไฟล์ของแต่แผ่นฟิล์มแล้ว จะต้องบันทึกข้อมูล ซึ่งการบันทึกข้อมูลสามารถเลือกไดเรกทอรีและชนิดของแฟ้มข้อมูลได้ และโปรแกรมนี้ได้ออกแบบการบันทึกข้อมูลแบบการบันทึกต่อท้ายจากข้อมูลเดิม ดังนั้นการสแกนเก็บข้อมูลจะต้องเรียงจากแผ่นที่ 1 – 4 และการบันทึกข้อมูลให้ใช้ชื่อเดียวกัน เพื่อได้ข้อมูลที่ครบในไฟล์เดียว

บทที่ 4

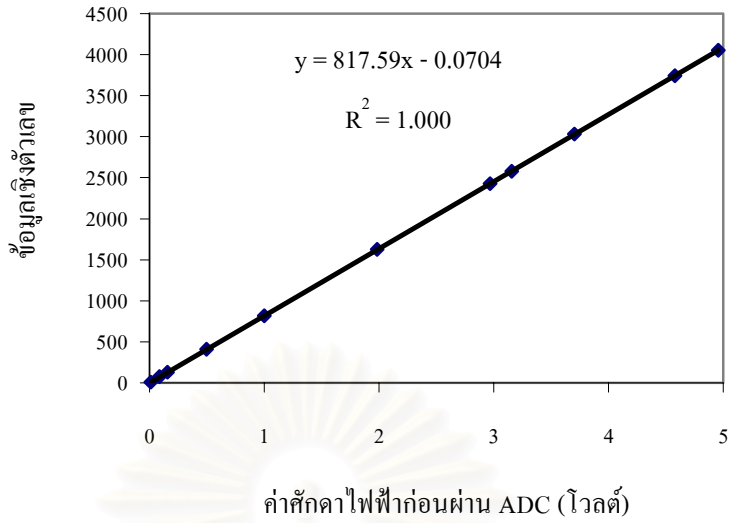
การทดสอบการทำงานของระบบสแกนอ่านค่าความดำและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

สำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (ADC) ขนาด 12 บิต ทำให้ได้ข้อมูลเชิงตัวเลข 4096 ระดับ โดยการนำฟิล์มที่ค่าความดำต่าง ๆ มาสแกนอ่านค่าความดำ ซึ่งที่ค่าความดำต่างกันจะได้ค่าศักดาไฟฟ้าก่อนผ่านวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขต่างกัน ทำให้ได้ค่าข้อมูลเชิงตัวเลขต่างไปด้วย และได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

ค่าศักดาไฟฟ้าก่อนผ่าน ADC (โวลต์)	ข้อมูลเชิงตัวเลข
4.959	4052.52
4.579	3741.67
3.704	3033.92
3.159	2579.85
2.966	2426.02
1.983	1623.3
0.999	814.59
0.499	409.83
0.159	129.09
0.089	72.2
0.011	8.21

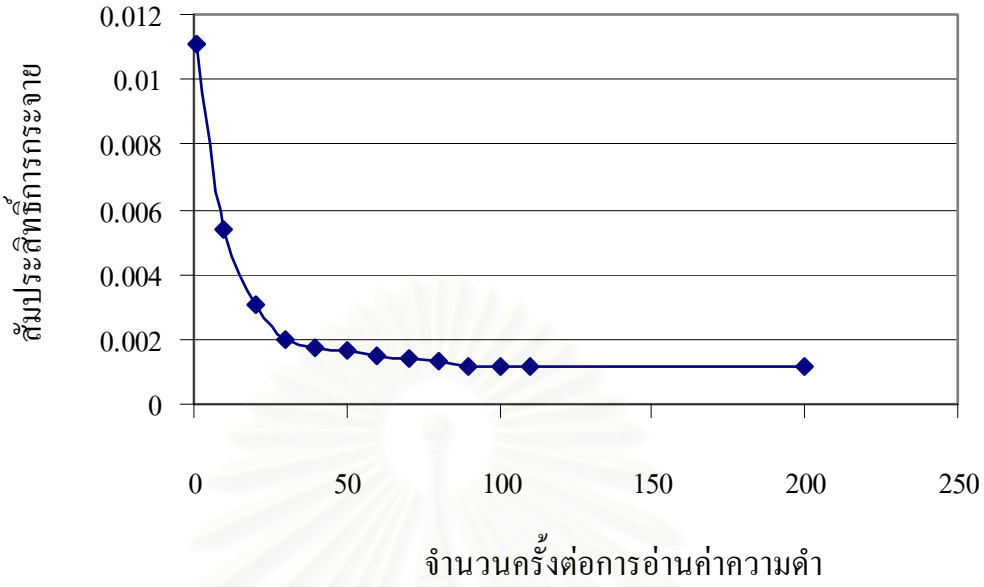


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าก่อนผ่าน ADC (โวลต์) กับค่าข้อมูลเชิงตัวเลข

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าก่อนผ่าน ADC (โวลต์) กับค่าข้อมูลเชิงตัวเลข ซึ่งเป็นกราฟเส้นตรงที่มีค่า R-squared เท่ากับ 1.000 จึงกล่าวได้ว่าวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขมีความเป็นเชิงเส้นดีมาก

4.2 การทดสอบหาจำนวนครั้งในการสุ่มอ่านค่าความดำที่เหมาะสมในการสแกนแต่ละตำแหน่ง

เพื่อให้ได้ระบบสแกนอ่านค่าความดำที่มีความถูกต้องและรวดเร็วในการสแกนอ่านค่าความดำ จึงมีการทดสอบหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการสแกนอ่านความดำในแต่ละตำแหน่ง โดยใช้ฟิล์มค่ามาตรฐานมาสแกนอ่านความดำที่ตำแหน่งเดิมทั้งหมด 30 ค่า และเปลี่ยนจำนวนครั้งในการสแกนอ่านโดยเริ่มจาก 1 ครั้ง จนถึง 200 ครั้ง และนำผลการทดสอบที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบน-มาตรฐาน และสัมประสิทธิ์การกระจาย ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งต่อการอ่านค่าความดำกับสัมประสิทธิ์การกระจาย

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งกับสัมประสิทธิ์การกระจาย พบว่าเมื่อจำนวนครั้งในการสแกนอ่านค่าความดำเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อย ๆ ลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการอ่านค่าความดำเพิ่มขึ้นจนเกือบจะคงที่ และพบว่าที่จำนวน 100 ครั้ง ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายเริ่มคงที่ ดังนั้นระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้จึงเลือกการสแกนอ่านค่าความดำ 100 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง ถึงแม้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การกระจายจะลดลงอีก แต่ลดลงเพียงเล็กน้อยและเสียเวลามากในการสแกนอ่านค่าความดำ

4.3 การหาค่ารีโซลูชันของระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้น

การหาค่ารีโซลูชันของระบบสแกนอ่านค่าความดำซึ่งจะเป็นการบอกถึงความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของระบบสแกนอ่านค่าความดำ และในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี MTF (Modulation Transfer Function) ซึ่งมีวิธีทดสอบโดยการใช้แผ่นฟิล์มที่มีลักษณะเป็นแท่งที่มีระยะห่างระหว่างแท่งเท่ากับความหนาของแท่งดังแสดงในรูปที่ 4.3 และออกแบบให้ความหนาของแท่งมีความแตกต่างกันตั้งแต่ 0.1 มม. ถึง 1 มม. โดยความหนาและระยะห่างระหว่างแท่งจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปความถี่เส้นคู่ (Line pair frequency)

รูปที่ 4.3 ลักษณะฟิล์มที่มีเส้นคู่ (Line pair) สำหรับวิธี MTF

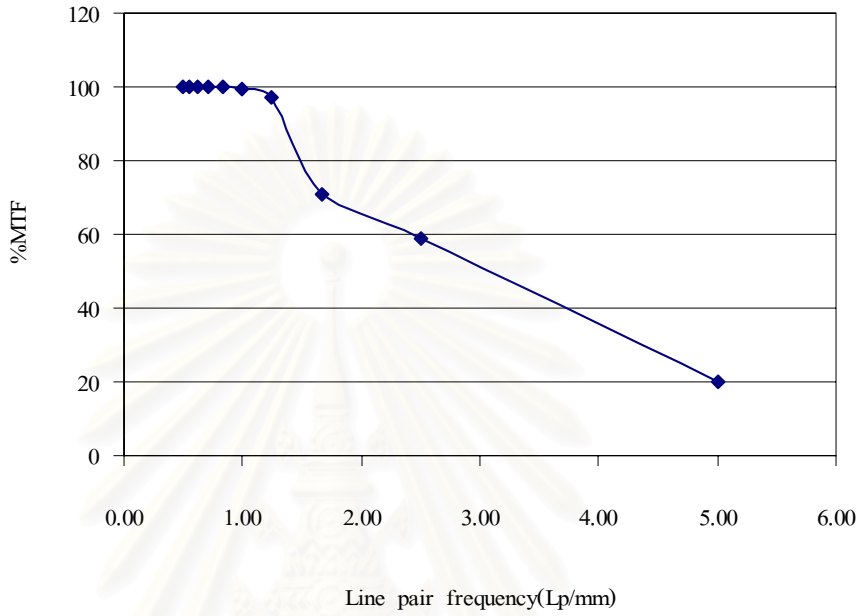
การหาค่า MTF สามารถหาจากการสแกนอ่านค่าความดำที่ความถี่เส้นคู่ค่าต่าง ๆ โดยค่า MTF จะเท่ากับความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มแสงสูงสุดกับค่าความเข้มแสงต่ำสุด และค่า %MTF คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างค่า MTF ของความถี่เส้นคู่ที่โตที่สุด กับค่า MTF ของแต่ละความถี่เส้นคู่

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดสอบด้วยวิธี MTF

ความถี่เส้นคู่ (Line pair/mm)	ข้อมูลเชิงตัวเลข	%MTF
0.50	3971	100
0.56	3971	100
0.63	3971	100
0.71	3971	100
0.83	3968	99.92445
1.00	3950	99.47117
1.25	3850	96.95291
1.67	2821	71.04004
2.50	2335	58.80131
5.00	800	20.14606

เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %MTF กับค่าความถี่เส้นคู่ ถ้าค่า MTF เท่ากับ 100% แสดงว่าภาพที่ได้มีความเหมือนวัตถุมาก และถ้า MTF น้อยกว่า 100% แสดงว่าภาพที่ได้มีความเหมือนวัตถุน้อยลง และทางอุตสาหกรรมกำหนดให้ค่า MTF ประมาณ 20% ซึ่ง

เป็นการบอกให้ทราบว่าระบบสแกนอ่านค่าความดำที่มีคุณภาพควรมีค่ารีโซลูชันที่ค่า MTF ไม่เกิน 20% และการหาค่ารีโซลูชันคำนวณได้จาก $\frac{1}{2f}$ เมื่อ **f** คือ ความถี่เส้นคู่ที่ค่า MTF เท่ากับ 20%



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่เส้นคู่ (Lp/mm)

จากการทดสอบพบว่าที่ความถี่เส้นคู่ค่า 5 (Line pair/mm) ซึ่งเป็นความถี่เส้นคู่ที่น้อยที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีค่า %MTF เท่ากับ 20.14 จึงคำนวณหาค่ารีโซลูชันที่ความถี่เส้นคู่ค่า 5 (Line pair/mm) ซึ่งได้ค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.1 มม. ดังนั้นจึงได้ว่าระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้มีค่ารีโซลูชันดีกว่า 0.1 มม. (น้อยกว่า 0.1 มม.)

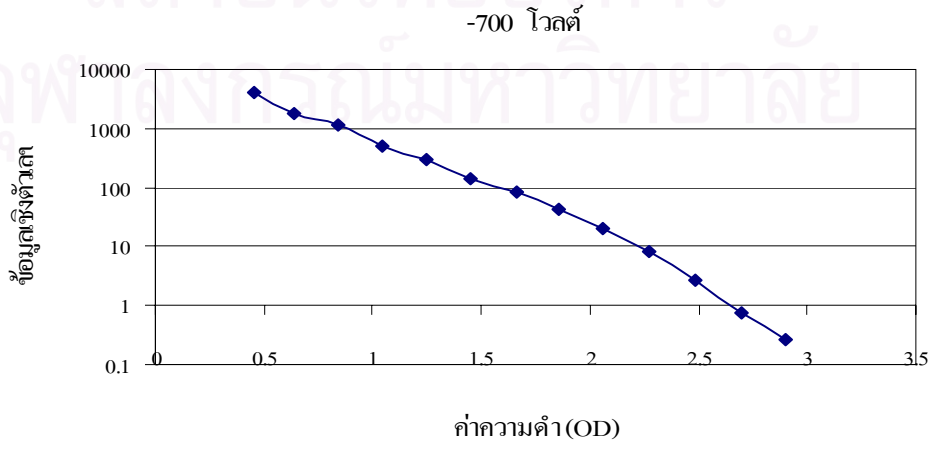
4.4 การทดสอบผลของค่าศักดาไฟฟ้าสูงต่อการสแกนอ่านค่าความดำของระบบที่พัฒนาขึ้น

ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ไบอัสให้กับหลอดทวีคูณแสงจะมีผลต่อกำลังขยายของหลอดทวีคูณแสงเป็นอย่างมาก ถ้าให้ค่าศักดาไฟฟ้าสูงมากกำลังขยายก็จะมากขึ้นด้วย และถ้ากำลังขยายของหลอดทวีคูณแสงมากเกินไปจะมีผลต่อความสามารถในการแยกแยะค่าความดำของระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้ แต่ถ้าให้ศักดาไฟฟ้าสูงน้อยเกินไปจะทำให้ระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้สามารถอ่านค่าความดำได้ในช่วงแคบ จึงได้ทดสอบผลของค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าความดำต่าง ๆ โดยการใช้ฟิล์มมาตรฐานที่มีค่าความดำตั้งแต่ 0.45 ถึง 3.30 มาสแกนอ่านค่าความดำที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูง

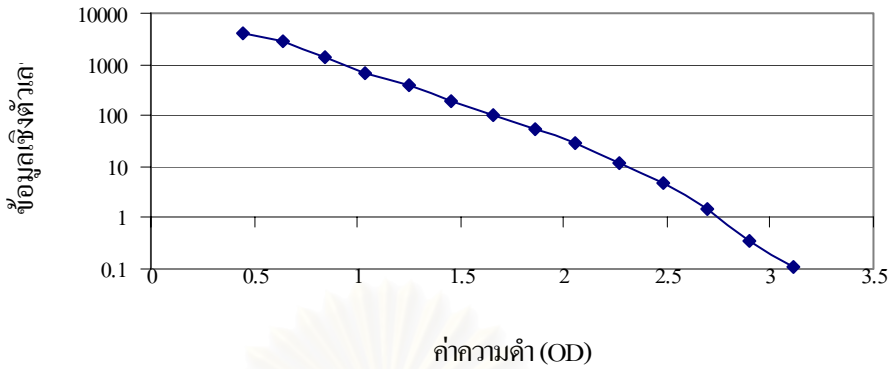
ค่าต่าง ๆ และที่ค่าความดำ 0.45 จะปรับกำลังขยายของวงจรไบอัสให้หลอดทวีคูณแสงให้ได้ค่าข้อมูลเชิงตัวเลขให้เข้าใกล้ 4095 มากที่สุด และได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบผลของค่าศักดาไฟฟ้าสูงต่อการสแกนอ่านค่าความดำ

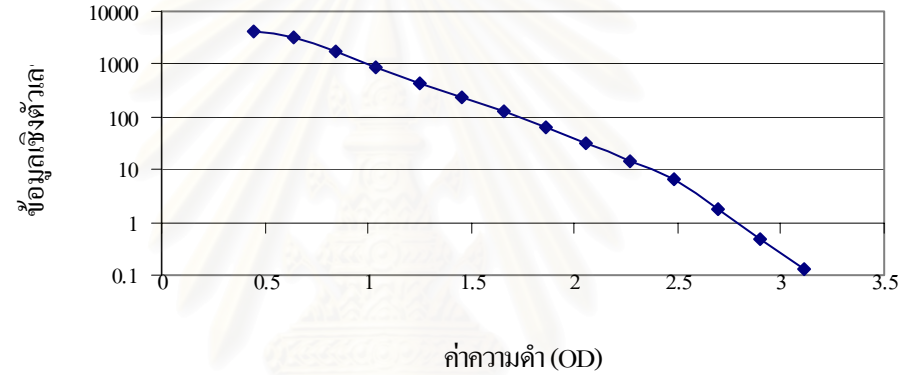
ค่าความดำ (OD)	ค่าศักดาไฟฟ้าสูง (โวลต์)					
	-700	-730	-750	-780	-800	-850
0.45	4049	4051	4055	4052	4050	4062
0.64	1812	2921	3174	3631	3730	3966
0.84	1116.61	1335.61	1795	2170	2581	3661
1.04	504.63	699.05	850.83	955	1125.68	1691
1.25	287.16	388.6	428.63	530	586.43	1052
1.45	144.51	184.18	234.11	285.26	330.15	426.89
1.66	85.16	103.96	122.54	140.99	165.21	257.53
1.86	43.84	53.86	63.06	75.26	80.07	154.65
2.06	19.94	27.72	33.03	42.04	44.29	76.35
2.27	8.18	11.8	14.59	18.23	22.3	40.5
2.48	2.73	4.74	6.82	8.53	8.64	17.82
2.7	0.77	1.46	1.77	2.03	3.12	8.75
2.9	0.27	0.35	0.5	0.75	1.17	2.18
3.11		0.11	0.13	0.22	0.36	0.57
3.30						0.15



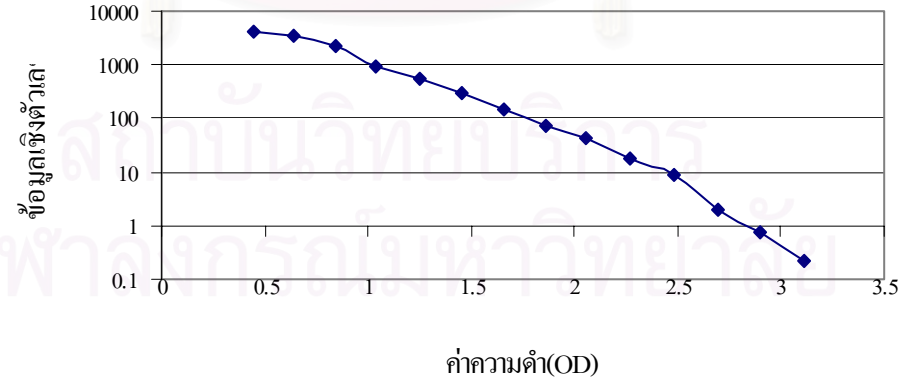
-730 โวลต์

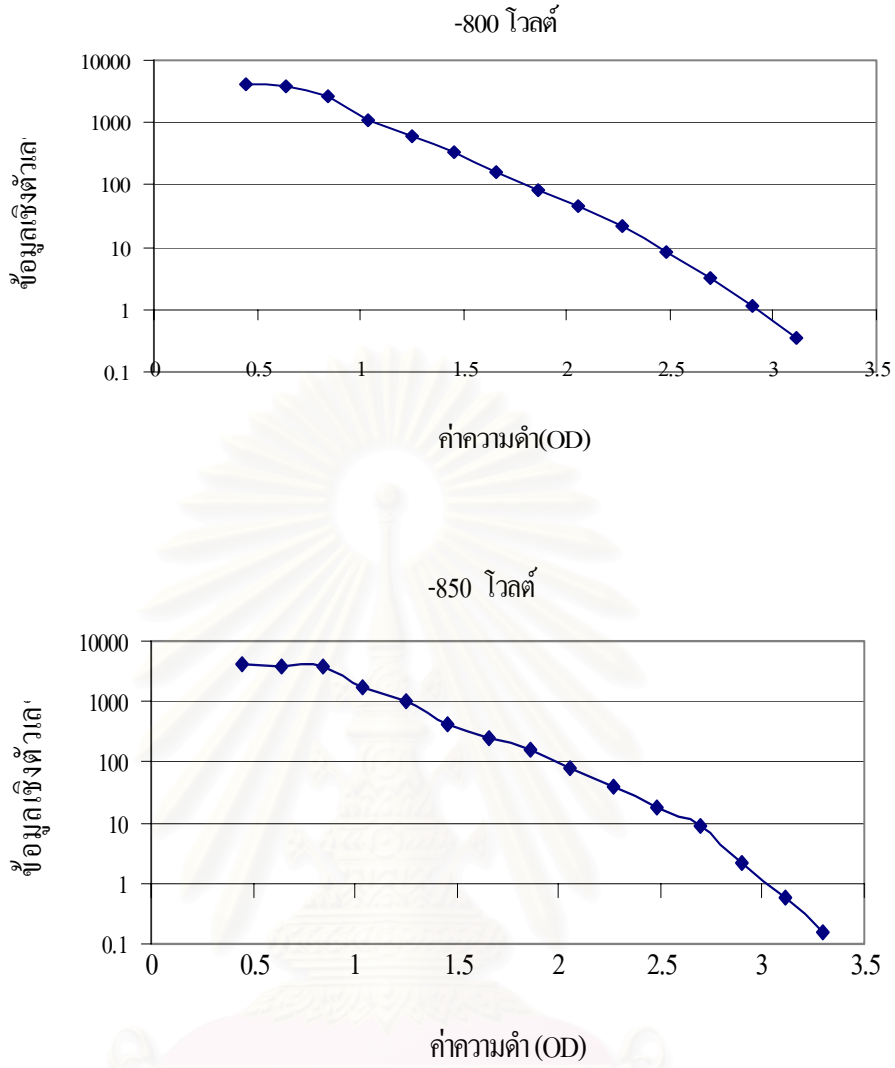


-750 โวลต์



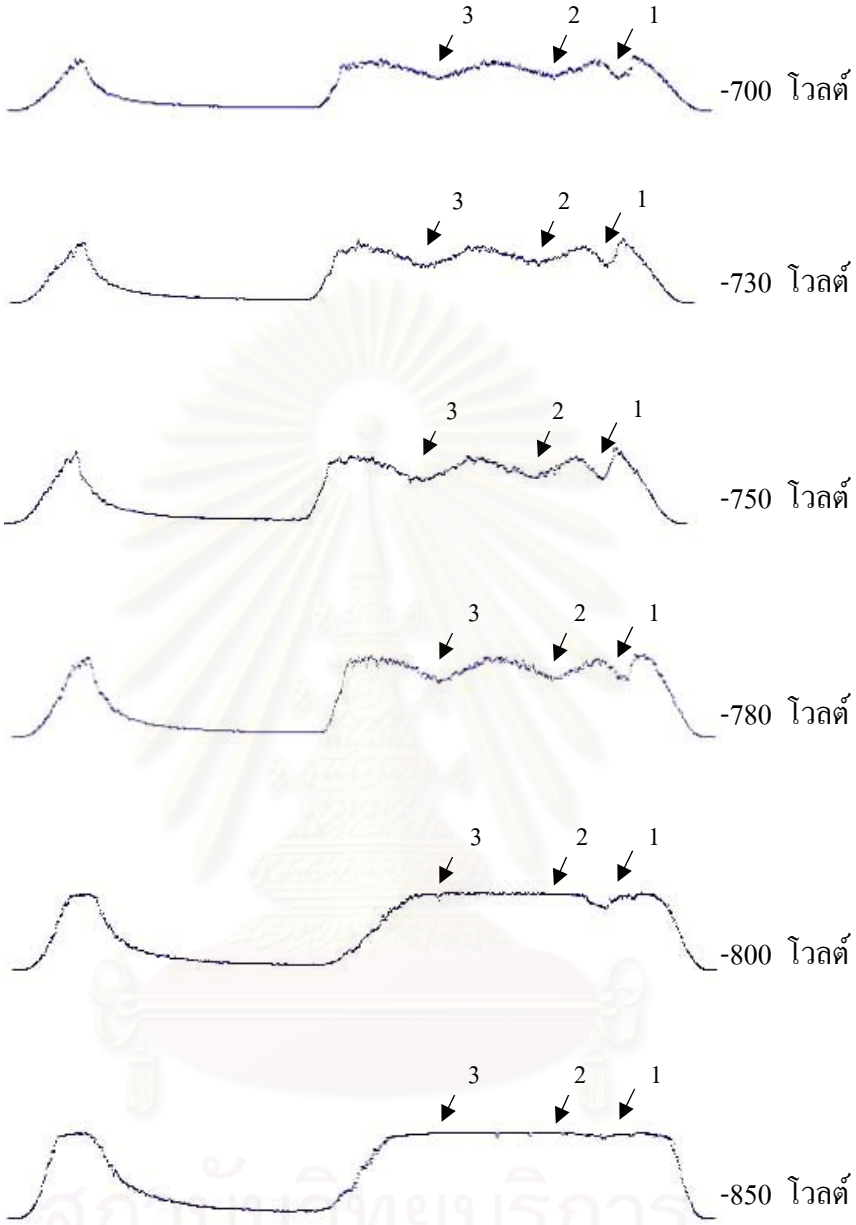
-780 โวลต์





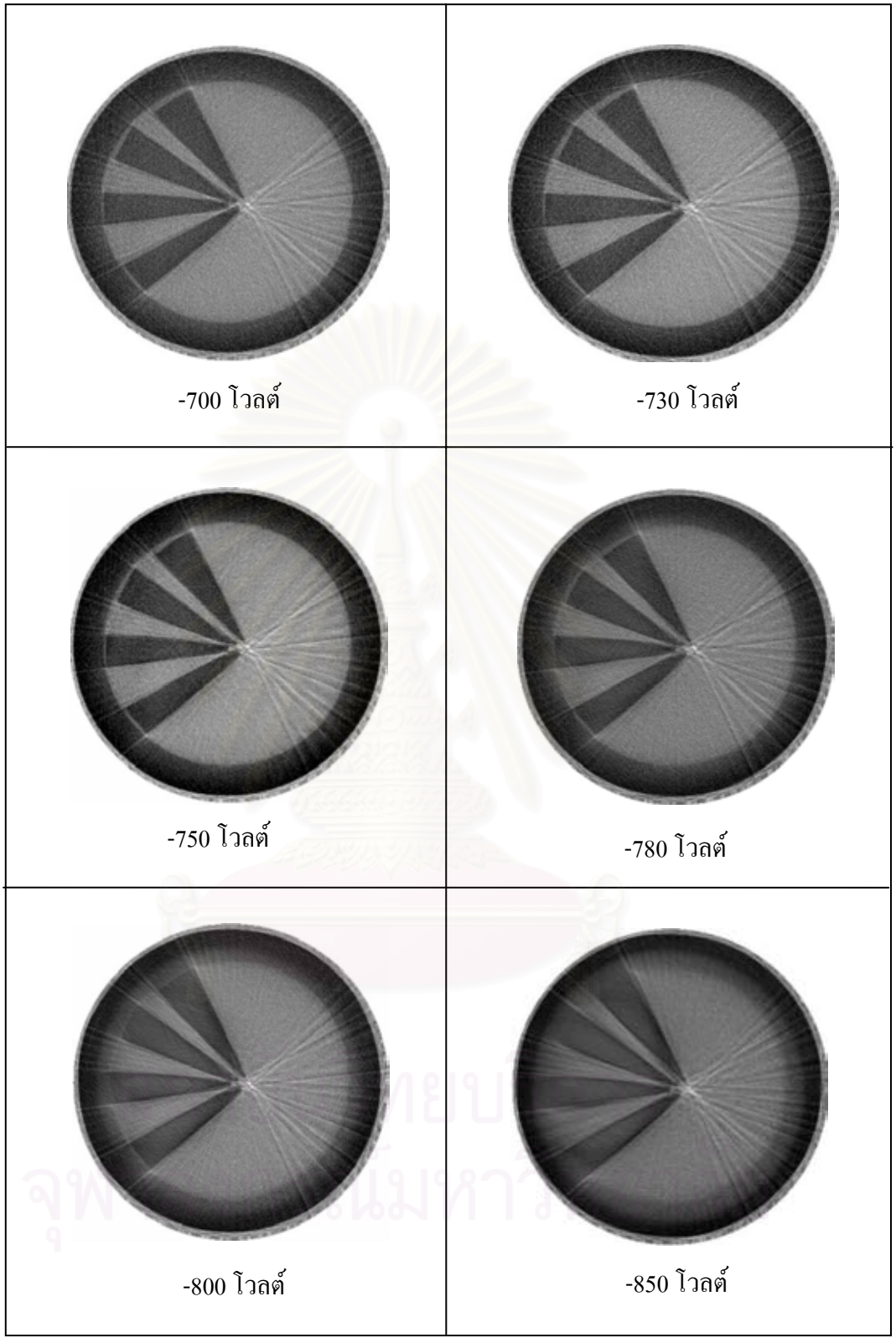
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำ (OD) กับข้อมูลเชิงตัวเลข ที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงค่าต่าง ๆ

จากการทดสอบพบว่าเมื่อค่าศักดาไฟฟ้าสูงเพิ่มขึ้นที่ค่าความดำ 0.45 และ 0.64 จะได้ค่าข้อมูลเชิงตัวเลขที่ใกล้เคียงกันจนเกือบคงที่ ทำให้ระบบไม่สามารถแยกค่าความดำช่วงดังกล่าวได้ ซึ่งจะมีผลต่อการสแกนอ่านค่าความดำเพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี จึงได้ทดสอบผลของค่าศักดาไฟฟ้าสูงต่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลโปรไฟล์และภาพโทโมกราฟีที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ต่าง ๆ และได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



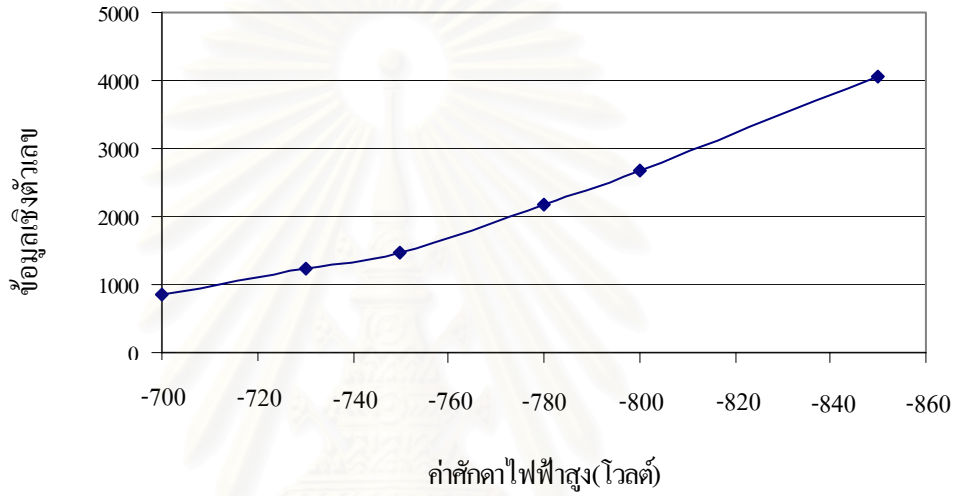
รูปที่ 4.6 ลักษณะโปรไฟล์ที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ภาพโทโมกราฟีที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ

จากการเปรียบเทียบลักษณะโปรไฟล์ที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ พบว่าเมื่อค่าศักดาไฟฟ้าสูงขึ้น ระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้จะไม่สามารถแยกรายละเอียดของข้อมูลที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 3 ทำให้ภาพโทโมกราฟีที่ได้ไม่สามารถแยกรายละเอียดออกได้ และเมื่อเปรียบเทียบภาพโทโมกราฟีที่ได้พบว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงช่วง -700 ถึง -750 โวลต์ มีคุณภาพดีกว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้าช่วงอื่น เนื่องจากพบว่าเมื่อเพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าสูงขึ้นค่าข้อมูลเชิงตัวเลขจะไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอีกต่อไปดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นกราฟระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าสูงและข้อมูลเชิงตัวเลข ณ ที่ค่าความดำเป็น 1.04

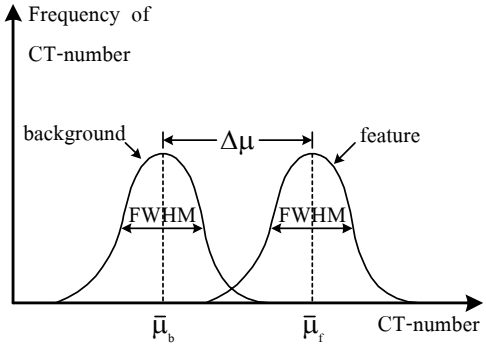


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าสูงกับค่าข้อมูลเชิงตัวเลข ณ ที่ค่าความดำ 1.04

จากผลการทดสอบพบว่าค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่เหมาะสำหรับการสแกนอ่านค่าความดำฟิล์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง -700 ถึง -750 โวลต์

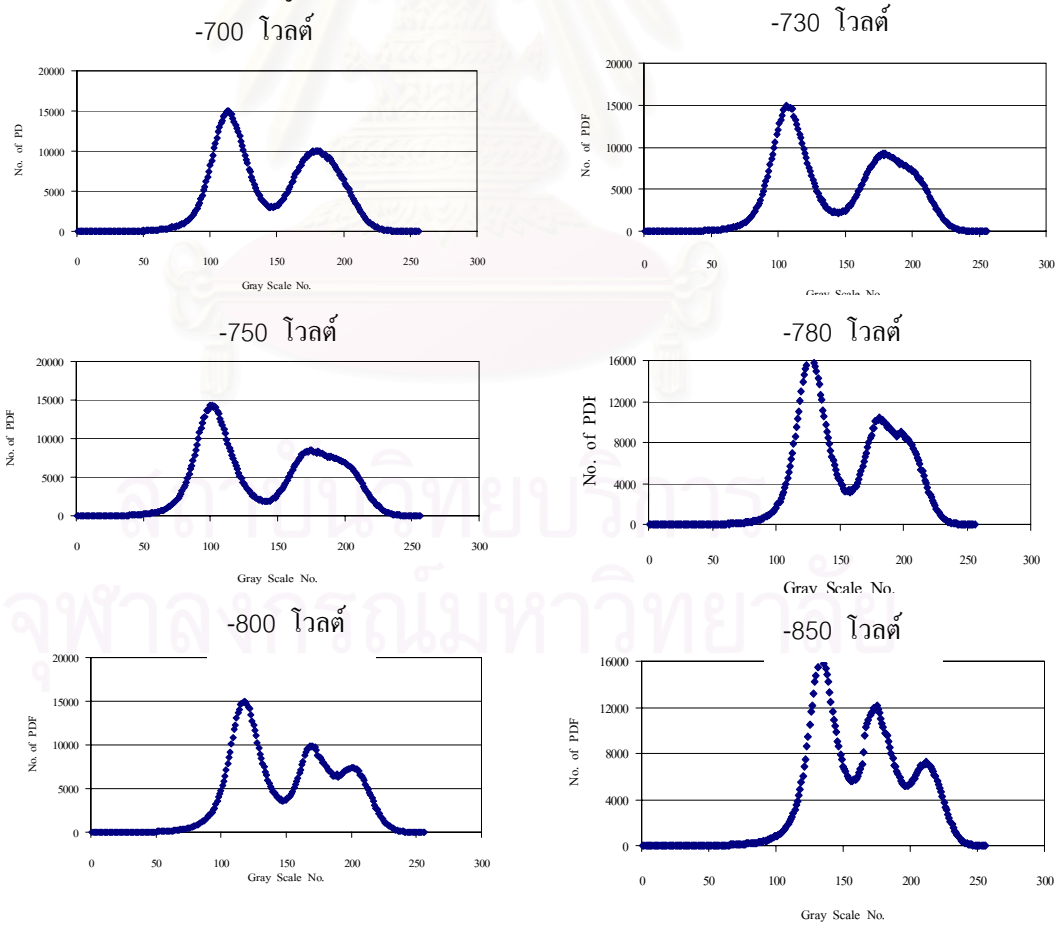
4.5. การทดสอบด้วยวิธี PDF (Probability Distribution function)

การทดสอบด้วยวิธี PDF จะสามารถบอกค่าความเปรียบต่างของภาพโทโมกราฟีและการกระจายตัวของค่า CT-number โดย PDF เป็นกราฟแจกแจงความถี่ที่แสดงค่าความถี่ที่ค่า CT-number ต่าง ๆ ซึ่งแสดงตัวอย่างกราฟ PDF ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างกราฟ PDF

สำหรับการหาค่าความเปรียบต่าง (Contrast ; $\Delta\mu$) คำนวณได้จากผลต่างของค่าความถี่ที่ CT-number ของวัตถุ (feature ; μ_f) กับค่าความถี่ที่ CT-number ของแบ็กกราวด์ (background ; μ_b) และการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลสามารถวัดได้จากความกว้างของค่า CT-number ที่ค่าความถี่เป็นครึ่งหนึ่งของค่าความถี่สูงสุด หรือ FWHN (Full Width at Haft Maximum) ที่เนื้อสารเดียวกัน และเมื่อนำข้อมูลภาพโทโมกราฟีที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ มาเขียนกราฟ PDF ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบ PDF จากภาพโทโมกราฟีที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ค่าต่าง ๆ

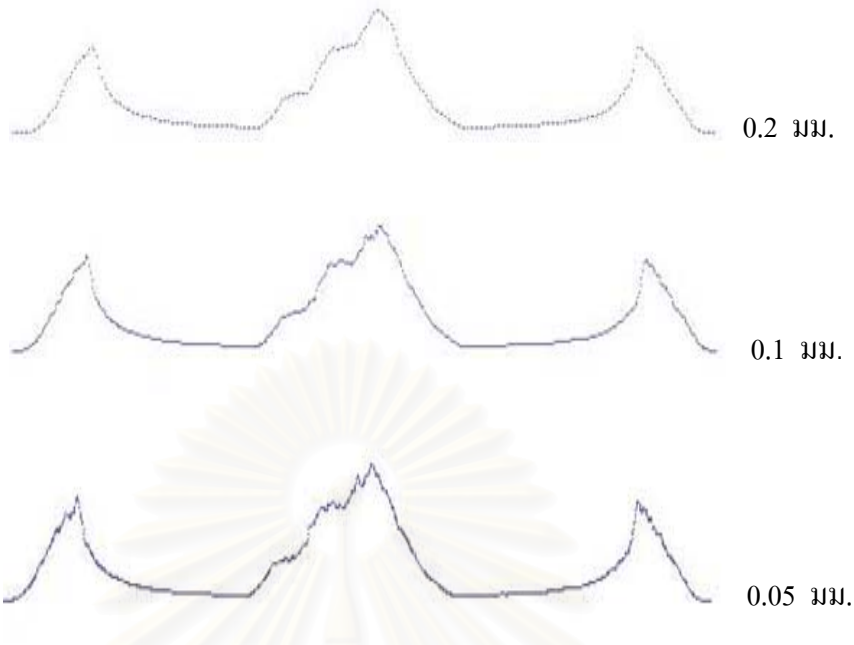
จากรูปที่ 4.10 เนื่องจากวัตถุตัวอย่างเป็นอะลูมิเนียมดังนั้นการกระจายของค่า PDF จะมี 2 กลุ่ม คือ อากาศกับอะลูมิเนียม พบว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่ำจะแยกแยะรายละเอียดได้ดีกว่าค่าศักดาไฟฟ้าสูงขึ้น แต่ความเปรียบต่างจะด้อยกว่า เนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นน้อยกว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูง แต่เมื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าสูงขึ้นมาก ๆ ข้อมูลที่ได้จะขาดรายละเอียดไปมาก และข้อมูลที่ได้จะแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งผิดจากความเป็นจริง ทำให้ได้โทโมกราฟีที่มีคุณภาพไม่ดี

4.6 ผลการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นสามารถเลือกระยะห่างระหว่างจุดที่สแกนอ่านค่าความดำได้ 3 ระยะ คือ 0.05 มม. 0.1 มม. และ 0.2 มม. ซึ่งในแต่ละระยะจะมีความละเอียดของจำนวนต่างกัน เช่น ถ้าสแกนอ่านค่าความดำฟิล์มขนาด 6.5 ซม. ที่ระยะ 0.05, 0.1 และ 0.2 มม. จะสแกนทั้งหมด 1300, 650 และ 325 เรย์ซัม ต่อหนึ่งโปรไฟล์ ตามลำดับ และสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม ซึ่งใช้ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่หมุนวัตถุตัวอย่างทีละ 3.6 องศา จะต้องสแกนอ่านค่าความดำอย่างน้อย 50 โปรไฟล์ จึงจะคำนวณสร้างโทโมกราฟีได้ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวัตถุตัวอย่างที่ 1 และวัตถุตัวอย่างที่ 2 มาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ และนำภาพโทโมกราฟที่ได้มาเปรียบเทียบกับระบบสแกนอ่านค่าความดำเครื่องเดิม (มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.8 มม.) ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14

ตัวอย่างที่ 1 (ดังแสดงในรูปที่ 4.13(ก)) เป็นท่ออะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 50 มม. ขอบวงแหวนหนา 5 มม. ภายในบรรจุแท่งอลูมิเนียมรูปทรงสี่เหลี่ยมตันจำนวน 3 แท่ง โดยแต่ละแท่งมีขนาด 10 x 10 มม. 8 x 8 มม. และ 6 x 6 มม. ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 2 (ดังแสดงในรูปที่ 4.14(ก)) เป็นท่ออะลูมิเนียมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 50 มม. ขอบวงแหวนหนา 5 มม. ภายในบรรจุด้วยแท่งอลูมิเนียมทรงสามเหลี่ยมตันด้านฐานยาว 5 มม. ด้านข้างยาวด้านละ 20 มม. จำนวน 4 แท่ง



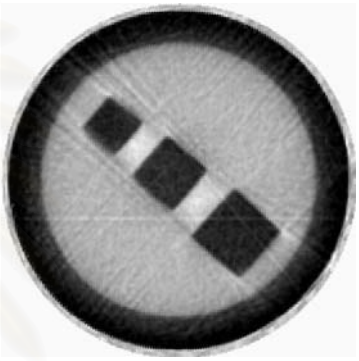
รูปที่ 4.11 ลักษณะโปรไฟล์ของวัตถุตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ

รูปที่4.12 ลักษณะโปรไฟล์ของวัตถุตัวอย่างที่ 2 ที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าเมื่อระยะสแกนลดลงจำนวนเรย์ซัมต่อโปรไฟล์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะให้รายละเอียดที่ดีขึ้น ดังค่ารีโซลูชันที่ลดลงในรูปที่ 4.13 และ 4.14

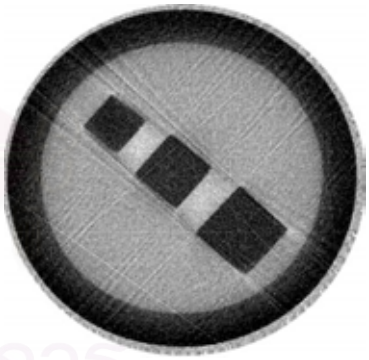
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ 4.13 ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 1 และภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ

(ก) วัตถุตัวอย่างที่ 1

(ข) ภาพโทโมกราฟีที่มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 1.6 มม.

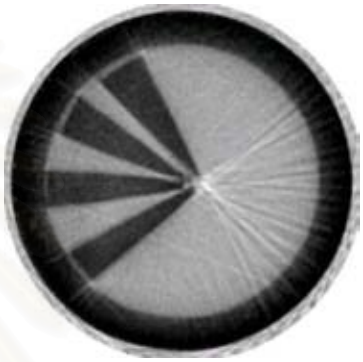
(ค) ภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.2 มม. และมีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.6 มม.

(ง) ภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.1 มม. และมีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.5 มม.

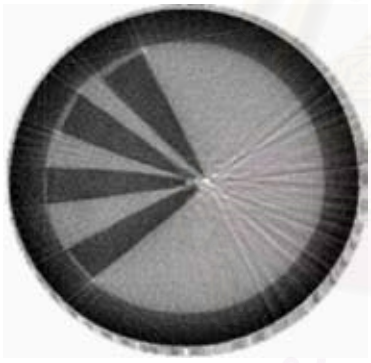
(จ) ภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.05 มม. และมีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.45 มม.

(ก)

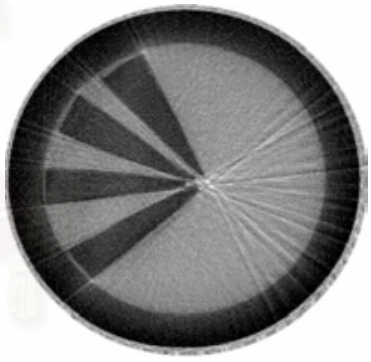
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.14 ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 2 และภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ

(ก) วัตถุตัวอย่างที่ 2

(ข) ภาพโทโมกราฟีที่มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 1.6 มม.

(ค) ภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.2 มม. และมีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.6 มม.

(ง) ภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.1 มม. และมีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.5 มม.

(จ) ภาพโทโมกราฟีที่ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.05 มม. และมีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.45 มม.

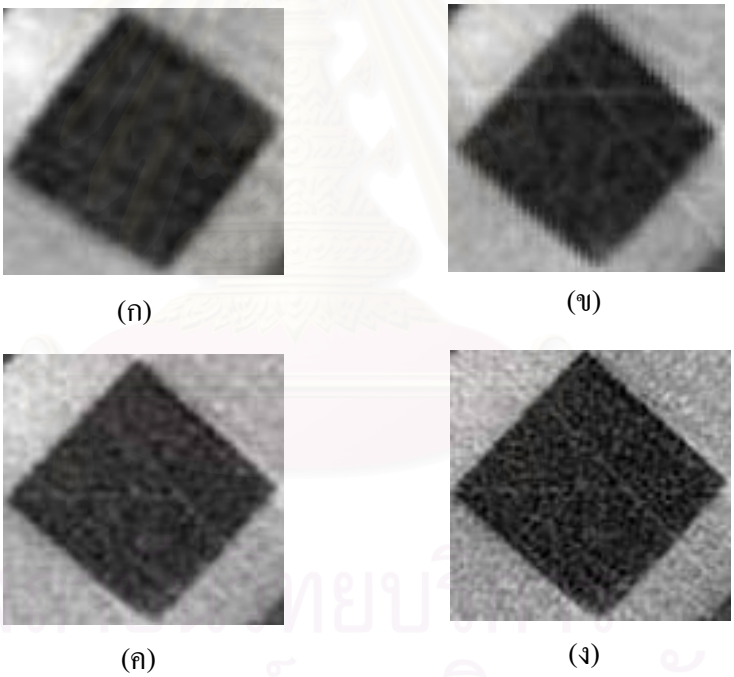
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลโปรไฟล์และภาพโทโมกราฟีจากระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นของวัตถุตัวอย่างที่ 1 และวัตถุตัวอย่างที่ 2 สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

1.ในวัตถุตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเป็นวัตถุตัวอย่างที่มีรายละเอียดไม่มาก ทั้ง 3 ระยะสามารถแยกรายละเอียดได้เท่า ๆ กัน ภาพโทโมกราฟีที่ได้จึงแตกต่างกันน้อย

2. ในวัตถุตัวอย่างที่ 2 ซึ่งเป็นวัตถุตัวอย่างที่มีรายละเอียดมากกว่าวัตถุตัวอย่างที่ 1 ที่ระยะระหว่างจุด 0.05 มม. จะสามารถแยกรายละเอียดได้ดีที่สุด รองลงมาคือระยะ 0.1 มม. ดีกว่าที่ 0.2 มม. ตามลำดับ

3. ภาพโทโมกราฟีที่ได้จากทั้งวัตถุตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 ที่ระยะระหว่างจุด 0.05 มม. จะมีความละเอียดของข้อมูลภาพมากสามารถนำภาพโทโมกราฟีที่ได้ไปขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้มากที่สุด และที่ 0.1 มม. จะสามารถขยายให้มีขนาดใหญ่ได้มากกว่าที่ 0.2 มม ดังแสดงดังรูปที่ 4.15



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4.15 รายละเอียดจากภาพโทโมกราฟีขยาย 4 เท่า ของวัตถุตัวอย่างที่ 1

(ก) จากระบบสแกนอ่านค่าความดำที่มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.8 มม.

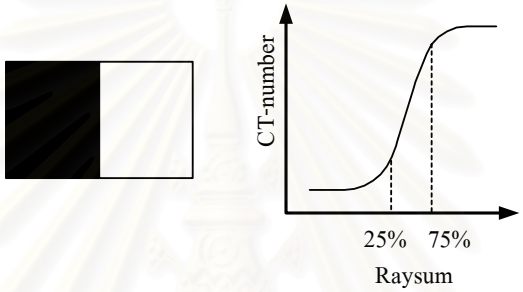
(ข) ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.2 มม.

(ค) ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.1 มม.

(ง) ระยะห่างระหว่างจุดเท่ากับ 0.05 มม.

4.7 การทดสอบหาค่ารีโซลูชันของภาพโทโมกราฟีด้วยวิธี Edge Spread Function

การหาค่ารีโซลูชันของภาพโทดมกราฟีซึ่งจะเป็นการบอกถึงความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของภาพโทโมกราฟี และในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี Edge Spread Function โดยอาศัยโปรไฟล์ของข้อมูล CT-number จากตำแหน่งของวัตถุตัวอย่างในภาพโทโมกราฟี จากนั้นหาจำนวนเรย์ซัมที่ค่า CT-number เพิ่มจาก 25% ไปถึง 75% ซึ่งค่ารีโซลูชันเท่ากับผลคูณของจำนวนเรย์ซัมที่เพิ่มขึ้นคูณกับขนาดพิกเซล (ระยะห่างระหว่างจุดสแกน)



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการทดสอบด้วยวิธี Edge Spread Function

จากการทดสอบหาค่ารีโซลูชันของภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการสแกนอ่านค่าความดำที่ระยะห่างระหว่างจุด 0.05 มม., 0.1 มม. และ 0.2 มม. และจากระบบสแกนอ่านค่าความดำที่มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.8 มม. ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการหาค่ารีโซลูชันที่ระยะห่างระหว่างจุดค่าต่าง ๆ

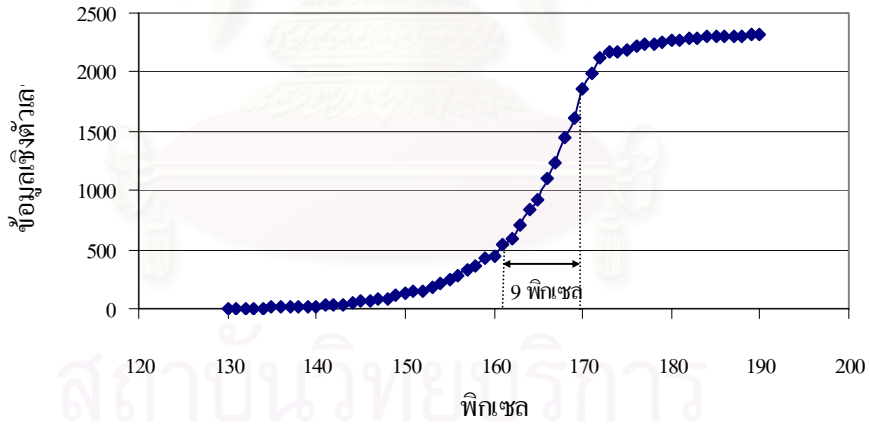
ระยะห่างระหว่างจุดสแกน (มม.)	ค่ารีโซลูชัน(มม.)
0.05	0.45
0.10	0.50
0.20	0.60

และจากระบบสแกนอ่านความดำที่มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 0.8 มม. ได้ภาพโทโมกราฟรที่มีค่ารีโซลูชันเท่ากับ 1.6 มม.

4.8 การทดสอบการประยุกต์ใช้ระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นในการตรวจสอบหาขอบเงามัวของภาพถ่ายจากปืนอิเล็กตรอนแบบไมโครโฟกัส

จากการทดสอบหาค่ารีโซลูชันด้วย Edge Spread Function สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบหาขอบเงามัวของภาพถ่ายจากปืนอิเล็กตรอนแบบไมโครโฟกัสได้ โดยขอบเงามัวของภาพมีวิธีการหาเหมือนการหาค่ารีโซลูชันและค่าขอบเงามัวของภาพเท่ากับค่ารีโซลูชัน

รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายช่องบังคับลำอิเล็กตรอนด้วยปืนอิเล็กตรอนแบบไมโครโฟกัส



รูปที่ 4.18 ลักษณะโปรไฟล์ของบริเวณขอบภาพ

จากการทดสอบพบว่าภาพที่นำมาทดสอบมีขอบเงามัวเท่ากับ 0.45 มม. (9 x 0.05 มม.) จึงได้ว่าระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำมาใช้การตรวจสอบหาขอบเงามัวของขอบภาพได้ดี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ได้พัฒนาขึ้น และจากผลการทดสอบต่าง ๆ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการใช้ระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้ ทำให้ได้ระบบสแกนอ่านค่าความดำที่มีลักษณะต่าง ๆ และมีขีดความสามารถของระบบพอที่จะสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขซึ่งมีขนาด 12 บิตทำให้ได้ค่าความแตกต่างของความดำสูงสุด 4096 ระดับ และความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้า (โวลต์) ก่อนผ่านวงจรนี้ กับ ข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นเชิงเส้นดีมาก

5.1.2 จากการทดสอบหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการสุ่มอ่านค่าความดำในแต่ละตำแหน่ง ทำให้ได้ว่าจำนวนครั้งที่เหมาะสมสำหรับการสแกนอ่านค่าความดำในแต่ละตำแหน่งเท่ากับ 100 ครั้ง ขึ้นไป

5.1.3 จากการทดสอบหาค่ารีโซลูชันของระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้ด้วยวิธี MTF พบว่าระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้มีค่ารีโซลูชันดีกว่า 0.1 มม. (น้อยกว่า 0.1 มม.)

5.1.4 จากการทดสอบผลของค่าศักดาไฟฟ้าสูงต่อการสแกนอ่านค่าความดำของระบบที่พัฒนาขึ้น และจากการทดสอบ PDF พบว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงต่ำจะแยกแยะรายละเอียดได้ดีกว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูง แต่จะมีความเปรียบต่างด้อยกว่า และพบว่าค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่เหมาะกับฟิล์มที่ใช้เก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง -700 โวลต์ ถึง -750 โวลต์

5.1.5 การทดสอบหาค่ารีโซลูชันของภาพโทโมกราฟีด้วยวิธี Edge Spread Function พบว่าภาพโทโมกราฟีที่ได้จากระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นดีที่สุดเท่ากับ 0.45 มม.

5.16 โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ

โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ซึ่งประกอบด้วย

โปรแกรมปรับค่าศูนย์

โปรมแกรมสแกนวัดค่าความเข้มแสง

โปรแกรมสแกนอ่านค่าความดำ

โปรมแกรมช่วยเหลือ

โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบเป็นส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของแผ่นฟิล์ม ซึ่งออกแบบให้สามารถเลือกระยะห่างระหว่างจุดที่สแกนได้ 3 ระยะ คือ 0.05 มม., 0.1 มม. และ 0.2 มม. ซึ่งก็คือขนาดพิกเซลของระบบสแกนอ่านค่าความดำนี้นั่นเอง และได้ออกแบบให้สามารถเลือกขนาดฟิล์มที่จะสแกนได้ไม่เกิน 70 มม.

5.17 การวิจารณ์ผลการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

1. ถ้าใช้ระยะห่างระหว่างจุดที่สแกนหรือขนาดพิกเซลที่มีความละเอียดมาก จะได้ภาพโทโมกราฟีที่สามารถแยกแยะรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ได้ดี และภาพโทโมกราฟีที่มีความละเอียดของข้อมูลภาพมาก ทำให้ขนาดภาพใหญ่ขึ้นเพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์ในงานบางชนิดได้ดี แต่ถ้าขนาดพิกเซลมีความละเอียดมากกว่าความละเอียดของฟิล์มจะทำให้ภาพโทโมกราฟีที่ได้มีเฉดสีที่ไม่สม่ำเสมอ

2. เมื่อเปรียบเทียบภาพโทโมกราฟีที่ได้จากระบบสแกนอ่านค่าความดำที่มีรีโซลูชัน 0.8 มม. กับระบบสแกนอ่านค่าความดำที่มีรีโซลูชันดีกว่า 0.1 มม.(น้อยกว่า 0.1 มม.) ภาพที่ได้จากระบบที่มีค่ารีโซลูชันดีกว่าจะสามารถแยกรายละเอียดและมีความคมชัดดีกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องระบบสแกนอ่านค่าความดำที่พัฒนาขึ้นนี้ยังมีขีดจำกัดของการใช้งานอยู่บ้าง ทั้งนี้ถ้าจะปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถให้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น ควรปรับปรุงดังนี้

5.2.1 ควรปรับปรุงระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์มให้มีความละเอียดมากขึ้น และควรให้ระยะห่างระหว่างจุดที่สแกนอ่านค่ามีค่าน้อยกว่าขนาดของอุปกรณ์รับแสง เช่นในงานวิจัยนี้ได้ใช้

เส้นใยแสงที่มีขนาดแกนรับแสง 0.05 มม. ก็ควรให้ระยะห่างระหว่างจุดที่สแกนน้อยกว่า 0.05 มม. เพื่อให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่มีความละเอียดสูงขึ้น

5.2.2 ควรปรับปรุงวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขให้เป็นแบบเชื่อมต่อผ่านการ์ดอินพุตเอาต์พุต ซึ่งใช้วิธีเสียบหรือติดตั้งการ์ดลงในสล็อตภายในไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ระบบที่มีความเร็วมากขึ้น

5.2.3 ควรปรับปรุงระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ให้มีความแม่นยำของตำแหน่งสแกนทุกโปรไฟล์อยู่ในแนวเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อลดเวลาในการสแกนอ่านข้อมูลโปรไฟล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. สมยศ ศรีสถิตย์, อรรถพร ภัทรสุมันต์. การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อ-การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย. สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
2. ASTM. Metal Test Methods and Analytical procedure (E 1441 - 00). volume 03.03. Annual Book of ASTM Standards 2000 section 3. USA, 2000.
3. Willi A. Kalender. Computed Tomogrphy. Munich : Publics MCD Webeagentur GmbH, 2000.
4. นเรศร์ จันทน์ขาว. เอกสารการสอนวิชา 2111626 การประยุกต์ใช้รังสีและไอโซโทปรังสีในทางอุตสาหกรรม. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
5. Aungkapanitchakit P. Development of Digital Densitometer for Medical Applications. M.D. Thesis in Medical Physics. Faculty of Graduate Studies, Mahidol University, 1995.
6. Oleson ED . Modern optical method of analysis. (n.p) : Mcgraw – Hill , 1975.
7. ดุสิต เครืองาม. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์-ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน-เล่ม 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร, 2542.
8. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. เอกสารการสอนวิชา 2111606 การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป.)
9. ดุสิต เครืองาม. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์-ฟิสิกส์ เทคโนโลยี และการใช้งาน-เล่ม 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร, 2538.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

1. วัชรพงษ์ ปถมพานิชย์. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เส้นใยนำแสงเคลือบปลายด้วยซินทิลเลเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2540
2. ประสิทธิ์ สิริทิพย์รัศมี. การพัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทัศน์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544.
3. Stetsens , Rod. Visual Basic Graphics Programming : Handon Applications and Advanced Color Development. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 1999.
4. MSDN Library Visual Studio 6.0 . Microsoft corp. , 1995
5. Mckinney WEY. Radiographic processing & quality control. Philadelphia : JB. Lippincott, 1988.
6. Dhananjay V. Gadre . Programming the parallel port . CMP Books , 1998.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมสนับสนุนการทำทำงานของระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
// Menu
Private Sub mnusetzero_Click()
   SetZero.Show
End Sub
Private Sub mnuintensity_Click()
   Intensity.Show
End Sub
Private Sub mnuOd_Click()
   OpticalDensity.Show
End Sub
Private Sub mnuhelp_Click()
   Help.Show
End Sub
Private Sub nmuDisply_Click()
   DisplayProfile.Show
End Sub
Private Sub mndhelp_Click()
   Help.Show
End Sub
Private Sub mnuExit_Click()
   End
End Sub

//SetZero
Dim start As Boolean
Private Sub CmdStart_Click()
Dim data As Double
Dim Value As Double
Dim Y As Double
   start = True
   Do While start
      Call Adc12(data)
      If data > 4095 Then
         Beep
         MsgBox "Pleace New Set Zero"
         Exit Sub
         data = 4095
      End If
      Y = 4095 - data
      Value = Round(Y, 2)
      Text1.Text = Value
      HScroll1.Value = Value
      Call Delay(1)
   Loop
End Sub

Function Adc12(data As Double)
Dim ch0buff  As Double
Dim pwrite As Integer
Dim pread As Integer
Dim readcount As Integer
Dim ad0buff As DragConstants
Dim ch1buff As Double
Dim ad1buff As Double
Dim n As Integer
Dim Y As Double
   For n = 1 To 100    '   จำนวนเฉลี่ย
      pwrite = &H378
      pread = &H379
      Out pwrite, &HB
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H0
      Out pwrite, &H2
      Out pwrite, &H0
      Out pwrite, &H2
      ch0buff = 0
      Out pwrite, &H1
      For readcount = 1 To 12
         Out pwrite, &H3
         Out pwrite, &H1
      Next readcount
      For readcount = 1 To 12
         ad0buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
         ch0buff = ch0buff Or (ad0buff * (2 ^ (readcount - 1)))
         Out pwrite, &H3
         Out pwrite, &H1
      Next readcount
      Out pwrite, &HB
      'Label8.Caption = (ch0buff / 4095) * 5
      t = 248 - CInt(ch0buff / 20.38)
      'PSet (i, t), QBColor(12)   ' ch 0
      Out pwrite, &HB     ' เริ่ม ch 1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
```

```
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H0
        Out pwrite, &H2
        ch1buff = 0
        Out pwrite, &H1
        For readcount = 1 To 12
          Out pwrite, &H3
          Out pwrite, &H1
        Next readcount
        For readcount = 1 To 12
          ad1buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
          ch1buff = ch1buff Or (ad1buff * (2 ^ (readcount - 1)))
          Out pwrite, &H3
          Out pwrite, &H1
        Next readcount
        Out pwrite, &HB
        total0 = total0 + ch0buff
    Next n
    volt0 = (total0 / 100)
   data = volt0
End Function
Private Sub CmdStop_Click()
    start = False
End Sub
Function Delay(ByVal timestep As Double)
Dim TimeStop
    TimeStop = Timer
    Do
      DoEvents
    Loop While (Timer < TimeStop + timestep)
End Function
Private Sub CmdEnd_Click()
    SetZero.Hide
    Menu.Show
End Sub


// Intensity
Dim a(52, 1300) As Double
Dim B(52, 1300) As Double
Dim R As Integer
Dim Profile_I As Integer
Dim Profile_F As Integer
Dim Profile As Integer
Dim Raysum As Integer
Dim size As Double

Private Sub CmdStart_Click()
    If Text3.Text = "" Then
      MsgBox ("Please Input File Name ")
      Text3.SetFocus
      Exit Sub
    End If
    If Combo1.Text = "" Then
      MsgBox ("Please Select Object Size")
      Combo1.SetFocus
      Exit Sub
    End If
    If Combo2.Text = "" Then
      MsgBox ("Please Select Spot Size ")
      Combo2.SetFocus
      Exit Sub
    End If
    If Combo3.Text = "" Then
      MsgBox ("Please select Sheet ")
     Combo3.SetFocus
     Exit Sub
   ElseIf Combo3.Text = "User Defined" Then
      Profile_I = InputBox("โปรไฟล์เริ่มต้น ", "โปรไฟล์เริ่มต้น")
      Profile_F = InputBox("โปรไฟล์สุดท้าย", "โปรไฟล์สุดท้าย")
      If Profile_I > Profile_F Then
        MsgBox ("โปรไฟล์เริ่มต้นต้องน้อยกว่าโปรไฟล์สุดท้าย")
        Combo3.SetFocus
        Exit Sub
      ElseIf (Profile_I < 0 Or Profile_F < 0) Then
        MsgBox ("โปรไฟล์จะต้องมากกว่าศูนย์")
        Combo3.SetFocus
        Exit Sub
      ElseIf Profile_F - Profile_I > 12 Then
        MsgBox ("ระบบนี้อ่านได้ 13 โปรไฟล์")
        Combo3.SetFocus
        Exit Sub
       ElseIf (Profile_I Mod 2) = 0 Then
        MsgBox ("จะต้องเริ่มต้นด้วยโปรไฟล์คี่")
        Combo3.SetFocus
        Exit Sub
      End If
     End If
   object = CStr(Combo1.Text)
   spot = CStr(Combo2.Text)
   If object = "Default" And spot = "0.05 mm" Then
      Call Start_D5
   ElseIf object = "Default" And spot = "0.1 mm" Then
```

```
    Call Start_D1
  ElseIf object = "Default" And spot = "0.2 mm" Then
    Call Start_D2
  ElseIf object = "User Defined" And spot = "0.05 mm" Then
    Call Start_U5
  ElseIf object = "User Defined" And spot = "0.1 mm" Then
    Call Start_U1
  ElseIf object = "User Defined" And spot = "0.2 mm" Then
    Call Start_U2
  End If
End Sub
Function Start_D5() ' ขนาดวัตถุ 6.5 ซม. ระยะห่างระหว่างจุด
สแกน 0.05 มม.
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
Dim n_motor As Integer
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_S
  ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 13
    'Call Reset_S
   ElseIf sheet = "4" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 11
    'Call Reset_S
  End If
  For Profile = Profile_I To Profile_F
    Text1.Text = Profile
    Raysum = 1300
    Ray = 325
    Text4.Text = Raysum
    Text5.Text = Profile_I
    Text7.Text = Profile_F
    If (Profile Mod 2) = 1 Then
      'For n_motor = 1 To 12
       '  Call MotorXL
      'Next n_motor
      For k = 1 To Ray Step 1
' เฟสที่ 1 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 1
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.01)
' เฟสที่ 2 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 2
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.01)
' เฟสที่ 3 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 3
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.01)
'เฟสที่ 4 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 4
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.01)
      Next k
      For n_motor = 1 To 27
        Call MotorYL
      Next n_motor
      Cls
    Else
     ' For n_motor = 1 To 12
     '   Call MotorXR
     'Next n_motor
     For k = Ray To 1 Step -1
     ' เฟสที่ 1
        R = (4 * (k - 1)) + 4
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.01)

        R = (4 * (k - 1)) + 3
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.01)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        R = (4 * (k - 1)) + 2
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.01)

        R = (4 * (k - 1)) + 1
        Call Delay(0.05)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.01)
      Next k
       For n_motor = 1 To 27
        Call MotorYL
      Next n_motor
      Cls
    End If
    Next Profile
    Call Save
End Function
Function Start_D1()  '    ขนาดวัตถุ 6.5 ซม.  ระยะห่างระหว่าง
จุดสแกน 0.1 มม.
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
      Profile_I = 1
      Profile_F = 13
      'Call Reset_S
    ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
      Profile_I = 1
      Profile_F = 13
      'Call Reset_S
    ElseIf sheet = "4" Then
      Profile_I = 1
      Profile_F = 11
      'Call Reset_S
    End If
    For Profile = Profile_I To Profile_F
      Text1.Text = Profile
      Raysum = 650
      Ray = 325
      Text4.Text = Raysum
      Text5.Text = Profile_I
      Text7.Text = Profile_F
      If (Profile Mod 2) = 1 Then
        ' For n_motor = 1 To 12
        'Call MotorXL
      'Next n_motor
        For k = 1 To Ray Step 1
      ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
        R = (2 * (k - 1)) + 1
        'Call Delay(0.001)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.05)
      ' เฟสที่ 3-4 ของ motor
        R = (2 * (k - 1)) + 2
        'Call Delay(0.001)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.05)
      Next k
      For n_motor = 1 To 27     ' motor แกน y
        Call MotorYL
      Next n_motor
      Cls
    Else
      'For n_motor = 1 To 12
      '   Call MotorXR
      'Next n_motor
      For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
      ' เฟสที่ 1-2
        R = (2 * (k - 1)) + 2
        'Call Delay(0.001)
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.05)

        R = (2 * (k - 1)) + 1
        'Call Delay(0.001)
```

```
        Call Scan(data)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.05)
      Next k
       For n_motor = 1 To 27
        Call MotorYL
      Next n_motor
      Cls
   End If
   Next Profile
   Call Save
End Function
Function Start_D2()        ' ขนาดวัตถุ 6.5 ซม. ระยะห่าง
ระหว่างจุดสแกน 0.2 มม.
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_S
   ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_S
   ElseIf sheet = "4" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 11
    ' Call Reset_S
   End If
   For Profile = Profile_I To Profile_F
     Text1.Text = Profile
     Raysum = 325
     Ray = 325
     Text4.Text = Raysum
     Text5.Text = Profile_I
     Text7.Text = Profile_F
     If (Profile Mod 2) = 1 Then          ' แถวคี่
       'For n_motor = 1 To 12
         'Call MotorXL
       'Next n_motor
       For k = 1 To Ray Step 1
      ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
       R = k
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H90
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &HC0
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &H60
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &H30
       Call Delay(0.01)
      Next k
      For n_motor = 1 To 27   ' motor แกน y
       Call MotorYL
      Next n_motor
      Cls
    Else
      'For n_motor = 1 To 12
       ' Call MotorXR
      'Next n_motor
      For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
      ' เฟสที่ 1-2
       R = k
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H30
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &H60
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &HC0
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &H90
       Call Delay(0.01)
      Next k
       For n_motor = 1 To 27
       Call MotorYL
      Next n_motor
      Cls
   End If
   Next Profile
   Call Save
End Function
Function Start_U5()    ' กำหนดขนาดวัตถุเอง ระยะห่างระหว่างจุด
สแกน 0.05 มม.
Dim data As Double
```

```
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim N_P As Integer
Dim sheet  As String
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_O
  ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_O
     ElseIf sheet = "4" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 11
     'Call Reset_O
  End If
  size = InputBox("ขนาดของวัตถุ(ซม.) ", " ขนาดของวัตถุ")
  Raysum = size * 200                ' หาจำนวน raysum
  Text4.Text = Raysum
  For Profile = Profile_I To Profile_F
     Text1.Text = Profile
     Text5.Text = Profile_I
     Text7.Text = Profile_F
     Ray = Raysum / 4
     If (Profile Mod 2) = 1 Then          ' แถวคี่
        For k = 1 To Ray Step 1
     ' เฟสที่ 1 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 1
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.05)
     ' เฟสที่ 2 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 2
        Call Scan(data)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.05)
     ' เฟสที่ 3 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 3
       Call Scan(data)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.05)
     'เฟสที่ 4 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 4
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.05)
     Next k
     For n_motor = 1 To 27     ' motor แกน y
        Call MotorYL
     Next n_motor
     Cls
  Else
     For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
     ' เฟสที่ 1
        R = (4 * (k - 1)) + 4
       Call Scan(data)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.05)

        R = (4 * (k - 1)) + 3
       Call Scan(data)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.05)

        R = (4 * (k - 1)) + 2
        Call Scan(data)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.05)

        R = (4 * (k - 1)) + 1
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.05)
     Next k
     For n_motor = 1 To 27
        Call MotorYL
     Next n_motor
     Cls
  End If
  Next Profile
  Call Save
End Function
Function Start_U1()          ' กำหนดขนาดวัตถุเอง  ระยะห่าง
ระหว่างจุดสแกน  0.1  มม.
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
```

```
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_O
  ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_O
   ElseIf sheet = "4" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 11
     'Call Reset_O
  End If
  size = InputBox("ขนาดของวัตถุ(ซม.) ", " ขนาดของวัตถุ")
   Raysum = size * 100
   Text4.Text = Raysum
   Text5.Text = Profile_I
   Text7.Text = Profile_F
    For Profile = Profile_I To Profile_F
     Text1.Text = Profile
     Ray = Raysum / 2
     If (Profile Mod 2) = 1 Then          ' แถวคี่
        For k = 1 To Ray Step 1
     ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
        R = (2 * (k - 1)) + 1
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.05)
     ' เฟสที่ 3-4 ของ motor
        R = (2 * (k - 1)) + 2
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.05)
     Next k
     For n_motor = 1 To 27     ' motor แกน y
        Call MotorYL
     Next n_motor
     Cls
  Else
     For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
     ' เฟสที่ 1-2
        R = (2 * (k - 1)) + 2
        Call Scan(data)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(0.05)

        R = (2 * (k - 1)) + 1
        Call Scan(data)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(0.05)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(0.05)
     Next k
      For n_motor = 1 To 27
        Call MotorYL
     Next n_motor
     Cls
  End If
  Next Profile
  Call Save
End Function
Function Start_U2()     ' กำหนดขนาดวัตถุเอง ระยะห่างระหว่างจุด
สแกน 0.2  มม.
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     ' Call Reset_O
  ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_O
   ElseIf sheet = "4" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 11
     'Call Reset_O
  End If
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
size = InputBox("ขนาดของวัตถุ(ซม.) ", " ขนาดของวัตถุ")
Raysum = size * 50
 Text4.Text = Raysum
 Text5.Text = Profile_I
 Text7.Text = Profile_F
For Profile = Profile_I To Profile_F
   Text1.Text = Profile
   Ray = Raysum
   If (Profile Mod 2) = 1 Then              ' แถวคี่
      For k = 1 To Ray Step 1
   ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
      R = k
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.01)
   Next k
   For n_motor = 1 To 27     '  motor แกน y
      Call MotorYL
   Next n_motor
   Cls
Else
   For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
   ' เฟสที่ 1-2
      R = k
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.01)
   Next k
   For n_motor = 1 To 27
      Call MotorYL
   Next n_motor
   Cls
End If
Next Profile
   Call Save
End Function
Private Sub CmdEnd_Click()
   Intensity.Hide
   Menu.Show
End Sub
Function Save()
Dim R As Integer
Dim iFileNum As Integer
Dim FileName As String
Dim Name As String
Dim Profile As Integer
Dim Raysum1 As Integer
Dim step As String
Dim sheet As String
   Name = Text3.Text
   'Profile = 52
   Raysum1 = Text4.Text
   Raysum1 = Raysum
   spot = CStr(Combo2.Text)
   If spot = "0.05 mm" Then
      step = 0.05
   ElseIf spot = "0.1 mm" Then
      step = 0.1
   ElseIf spot = "0.2 mm" Then
      step = 0.2
   End If
   ComDialog.FileName = Name
   ComDialog.Filter = "Text File(*.txt)|*.txt |All File|*.*|Data
File(.*dat)|.*dat"
   ComDialog.ShowSave
   FileName = ComDialog.FileName
   iFileNum = FreeFile
   Open FileName For Append As #iFileNum
   For Profile = Profile_I To Profile_F
      sheet = CStr(Combo3.Text)
     If sheet = "1" Then
        Print #iFileNum, Name
        Print #iFileNum, Raysum1
        Print #iFileNum, 50
        Print #iFileNum, step
        Print #iFileNum, 3.6
      End If
      For R = 1 To Raysum
        'Print #iFileNum, "["; Profile; ","; R; "]"; Tab; B(Profile, R)
        Print #iFileNum, B(Profile, R)
```

```
      Next R
    Next Profile
    Close #iFileNum
End Function



Private Sub Command1_Click()
Dim nn As Integer
For nn = 1 To 500
Call MotorXL
Next nn
End Sub
Private Sub Command2_Click()
Dim Opto As Double
Dim Opto1 As Double
Dim Opto2 As Double
    Opto = Inp(770)
    Opto1 = Inp(770) And 80
    Print Opto
    Print Opto1
End Sub
Private Sub Form_Load()
    ScaleMode = 3
    DrawWidth = 2
    'ADC  12  bit
    pwrite = &H378
    pread = &H379
    'MOTOR
    DataAddress = &H300  ' (770)  แกน X
    CtrlAddress = &H303
    Out CtrlAddress, &H89
End Sub
Function Delay(ByVal timestep As Double)
Dim TimeStop
    TimeStop = Timer
    Do
       DoEvents
    Loop While (Timer < TimeStop + timestep)
End Function
Function Adc12(data As Double)
Dim ch0buff  As Double
Dim pwrite As Integer
Dim pread As Integer
Dim readcount As Integer
Dim ad0buff As DragConstants
Dim ch1buff As Double
Dim ad1buff As Double
Dim n As Integer
Dim Y As Double
   For n = 1 To 100    '   จำนวนเฉลี่ย
      pwrite = &H378
      pread = &H379
      Out pwrite, &HB
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H0
      Out pwrite, &H2
      Out pwrite, &H0
      Out pwrite, &H2
      ch0buff = 0
      Out pwrite, &H1
      For readcount = 1 To 12
         Out pwrite, &H3
         Out pwrite, &H1
      Next readcount
      For readcount = 1 To 12
         ad0buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
         ch0buff = ch0buff Or (ad0buff * (2 ^ (readcount - 1)))
         Out pwrite, &H3
         Out pwrite, &H1
      Next readcount
      Out pwrite, &HB
      'Label8.Caption = (ch0buff / 4095) * 5
      t = 248 - CInt(ch0buff / 20.38)
      'PSet (i, t), QBColor(12)   ' ch 0
      Out pwrite, &HB     ' เริ่ม ch 1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H1
      Out pwrite, &H3
      Out pwrite, &H0
      Out pwrite, &H2
      ch1buff = 0
      Out pwrite, &H1
      For readcount = 1 To 12
         Out pwrite, &H3
```

```
        Out pwrite, &H1
      Next readcount
      For readcount = 1 To 12
        ad1buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
        ch1buff = ch1buff Or (ad1buff * (2 ^ (readcount - 1)))
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
      Next readcount
      Out pwrite, &HB
      total0 = total0 + ch0buff
    Next n
    Y = (total0 / 100)
    data = Round(Y, 2)
End Function
Function Scan(data As Double)
      Call Adc12(data)                    ' scan อ่านค่าความดำ
      a(Profile, R) = 500 - (data / 20)   ' คำนวณเพื่อนำค่าไปเขียน
กราฟ
      B(Profile, R) = data                ' ค่าที่นำไปสร้างภาพ CT
      Text2.Text = R
      Text6.Text = data
      If (0 < Raysum And Raysum <= 100) Then
        PSet (6.5 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (100 < Raysum And Raysum <= 200) Then
        PSet (3.35 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (200 < Raysum And Raysum <= 300) Then
        PSet (2.2 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (300 < Raysum And Raysum <= 350) Then
        PSet (1.95 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (350 < Raysum And Raysum <= 400) Then
        PSet (1.65 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (400 < Raysum And Raysum <= 500) Then
        PSet (1.35 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (500 < Raysum And Raysum <= 600) Then
        PSet (1.1 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (600 < Raysum And Raysum <= 700) Then
        PSet (24 * R / 25 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (700 < Raysum And Raysum <= 800) Then
        PSet (5 * R / 6 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (800 < Raysum And Raysum <= 1000) Then
        PSet (2 * R / 3 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (1000 < Raysum And Raysum <= 1100) Then
        PSet (7 * R / 12 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf 1100 < Raysum And Raysum <= 1200 Then
        PSet (13 * R / 24 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf (1200 < Raysum And Raysum <= 1300) Then
        PSet (12 * R / 24 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      ElseIf Raysum > 1300 Then
        PSet (11 * R / 24 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
      End If
End Function

Function MotorXR()
  Dim timestep As Double
    timestep = 0.01
    Out &H300, &H30
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &H60
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &HC0
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &H90
    Call Delay(timestep)
End Function
Function MotorXL()
   Dim timestep As Double
  Dim n As Integer
    timestep = 0.01
    Out &H300, &H90
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &HC0
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &H60
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &H30
    Call Delay(timestep)
End Function
Function MotorYR()
  Dim timestep As Double
    timestep = 0.01
    Out &H300, &H3
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &H6
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &HC
    Call Delay(timestep)
    Out &H300, &H9
    Call Delay(timestep)
End Function
Function MotorYL()
  Dim timestep As Double
    timestep = 0.01
```

```
        Out &H300, &H9
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &HC
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H6
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H3
        Call Delay(timestep)
End Function
Function Reset()
Dim Opto As Double
   Opto = Inp(770)
   Do
      Do
         Opto = (Inp(770) And 80)
         Call MotorYR
      Loop Until Opto = 64
      Do
         Opto = (Inp(770) And 80)
         Call MotorXR
      Loop Until Opto = 80
   Loop Until Opto = 80
End Function
Private Sub CmdSave_Click()
   Call Save
End Sub



// Optical Density



Dim a(52, 1300) As Double
Dim B(52, 1300) As Double
Dim R As Integer
Dim Profile_I As Integer
Dim Profile_F As Integer
Dim Profile As Integer
Dim Raysum As Integer
Dim size As Double
Dim I_0 As Double
Private Sub CmdSet_I_Click()
Dim ch0buff  As Double
Dim pwrite As Integer
Dim pread As Integer
Dim readcount As Integer
Dim ad0buff As DragConstants
Dim ch1buff As Double
Dim ad1buff As Double
Dim n As Integer


  For n = 1 To 100    '   จำนวนเฉลี่ย
     pwrite = &H378
     pread = &H379
     Out pwrite, &HB
     Out pwrite, &H3
     Out pwrite, &H1
     Out pwrite, &H3
     Out pwrite, &H1
     Out pwrite, &H3
     Out pwrite, &H0
     Out pwrite, &H2
     Out pwrite, &H0
     Out pwrite, &H2
     ch0buff = 0
     Out pwrite, &H1
     For readcount = 1 To 12
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
     Next readcount
     For readcount = 1 To 12
        ad0buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
        ch0buff = ch0buff Or (ad0buff * (2 ^ (readcount - 1)))
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
     Next readcount
     Out pwrite, &HB
     'Label8.Caption = (ch0buff / 4095) * 5
     t = 248 - CInt(ch0buff / 20.38)
     'PSet (i, t), QBColor(12)   ' ch 0
     Out pwrite, &HB     ' เริ่ม ch 1
     Out pwrite, &H3
     Out pwrite, &H1
     Out pwrite, &H3
     Out pwrite, &H1
     Out pwrite, &H3
     Out pwrite, &H1
     Out pwrite, &H3
     Out pwrite, &H0
     Out pwrite, &H2
     ch1buff = 0
     Out pwrite, &H1
     For readcount = 1 To 12
```

```
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
        Next readcount
        For readcount = 1 To 12
            ad1buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
            ch1buff = ch1buff Or (ad1buff * (2 ^ (readcount - 1)))
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
        Next readcount
        Out pwrite, &HB
        total0 = total0 + ch0buff
    Next n
    volt0 = (total0 / 100)
    I_0 = volt0
    ' I_0 = 4095
    Text8.Text = I_0
End Sub
Private Sub CmdStart_Click()
    If Text3.Text = "" Then
        MsgBox ("Please Input File Name ")
        Text3.SetFocus
        Exit Sub
    End If
    If Combo1.Text = "" Then
        MsgBox ("Please Select Object Size")
        Combo1.SetFocus
        Exit Sub
    End If
    If Combo2.Text = "" Then
        MsgBox ("Please Select Spot Size ")
        Combo2.SetFocus
        Exit Sub
    End If
    If Combo3.Text = "" Then
        MsgBox ("Please select Sheet ")
        Combo3.SetFocus
        Exit Sub
    ElseIf Combo3.Text = "User Defined" Then
        Profile_I = InputBox("โปรไฟล์เริ่มต้น ", "โปรไฟล์เริ่มต้น")
        Profile_F = InputBox("โปรไฟล์สุดท้าย", "โปรไฟล์
สุดท้าย")
        If Profile_I > Profile_F Then
            MsgBox ("โปรไฟล์เริ่มต้นต้องน้อยกว่าโปรไฟล์สุดท้าย")
            Combo3.SetFocus
            Exit Sub
        ElseIf (Profile_I < 0 Or Profile_F < 0) Then
            MsgBox ("โปรไฟล์จะต้องมากกว่าศูนย์")
            Combo3.SetFocus
            Exit Sub
        ElseIf Profile_F - Profile_I > 12 Then
            MsgBox ("ระบบนี้อ่านได้ 13 โปรไฟล์")
            Combo3.SetFocus
            Exit Sub
        ElseIf (Profile_I Mod 2) = 0 Then
            MsgBox ("จะต้องเริ่มต้นด้วยโปรไฟล์คี่")
            Combo3.SetFocus
            Exit Sub
        End If
    End If
    object = CStr(Combo1.Text)
    spot = CStr(Combo2.Text)
    If object = "Default" And spot = "0.05 mm" Then
        Call Start_D5
    ElseIf object = "Default" And spot = "0.1 mm" Then
        Call Start_D1
    ElseIf object = "Default" And spot = "0.2 mm" Then
        Call Start_D2
    ElseIf object = "User Defined" And spot = "0.05 mm" Then
        Call Start_U5
    ElseIf object = "User Defined" And spot = "0.1 mm" Then
        Call Start_U1
    ElseIf object = "User Defined" And spot = "0.2 mm" Then
        Call Start_U2
    End If
End Sub
Function Start_D5()
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
Dim n_motor As Integer
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 13
    'Call Reset_S
ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 13
    'Call Reset_S
```

```
 ElseIf sheet = "4" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 11
    'Call Reset_S
End If
For Profile = Profile_I To Profile_F
    Text1.Text = Profile
    Raysum = 1300
    Ray = 325
    Text4.Text = Raysum
    Text5.Text = Profile_I
    Text7.Text = Profile_F
    If (Profile Mod 2) = 1 Then
       'For n_motor = 1 To 12
        '   Call MotorXL
       'Next n_motor
       For k = 1 To Ray Step 1
    ' เฟสที่ 1 ของ motor
       R = (4 * (k - 1)) + 1
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H90
       Call Delay(0.01)
    ' เฟสที่ 2 ของ motor
       R = (4 * (k - 1)) + 2
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &HC0
       Call Delay(0.01)
    ' เฟสที่ 3 ของ motor
       R = (4 * (k - 1)) + 3
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H60
       Call Delay(0.01)
    'เฟสที่ 4 ของ motor
       R = (4 * (k - 1)) + 4
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H30
       Call Delay(0.01)
    Next k
    For n_motor = 1 To 27
       Call MotorYL
    Next n_motor
    Cls
Else
   ' For n_motor = 1 To 12
    '   Call MotorXR
    'Next n_motor
    For k = Ray To 1 Step -1
    ' เฟสที่ 1
       R = (4 * (k - 1)) + 4
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H30
       Call Delay(0.01)

       R = (4 * (k - 1)) + 3
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H60
       Call Delay(0.01)

       R = (4 * (k - 1)) + 2
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &HC0
       Call Delay(0.01)

       R = (4 * (k - 1)) + 1
       Call Delay(0.05)
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H90
       Call Delay(0.01)
    Next k
     For n_motor = 1 To 27
       Call MotorYL
    Next n_motor
    Cls
End If
Next Profile
Call Save
End Function
Function Start_D1()
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
    sheet = CStr(Combo3.Text)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  If sheet = "1" Then
   Profile_I = 1
   Profile_F = 13
   'Call Reset_S
ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
   Profile_I = 1
   Profile_F = 13
   'Call Reset_S
ElseIf sheet = "4" Then
   Profile_I = 1
   Profile_F = 11
   'Call Reset_S
End If
For Profile = Profile_I To Profile_F
   Text1.Text = Profile
   Raysum = 650
   Ray = 325
   Text4.Text = Raysum
   Text5.Text = Profile_I
   Text7.Text = Profile_F
   If (Profile Mod 2) = 1 Then
     ' For n_motor = 1 To 12
      'Call MotorXL
   'Next n_motor
      For k = 1 To Ray Step 1
   ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
      R = (2 * (k - 1)) + 1
      'Call Delay(0.001)
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.05)
   ' เฟสที่ 3-4 ของ motor
      R = (2 * (k - 1)) + 2
      'Call Delay(0.001)
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.05)
   Next k
   For n_motor = 1 To 27     ' motor แกน y
      Call MotorYL
   Next n_motor
   Cls
Else
   'For n_motor = 1 To 12
    '  Call MotorXR
   'Next n_motor
   For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
   ' เฟสที่ 1-2
      R = (2 * (k - 1)) + 2
      'Call Delay(0.001)
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.05)

      R = (2 * (k - 1)) + 1
      'Call Delay(0.001)
      Call Scan(data)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.05)
   Next k
    For n_motor = 1 To 27
      Call MotorYL
   Next n_motor
   Cls
End If
Next Profile
Call Save
End Function
Function Start_D2()
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
  sheet = CStr(Combo3.Text)
  If sheet = "1" Then
   Profile_I = 1
   Profile_F = 13
   'Call Reset_S
ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
   Profile_I = 1
   Profile_F = 13
   'Call Reset_S
```

```
ElseIf sheet = "4" Then
   Profile_I = 1
   Profile_F = 11
 '  Call Reset_S
End If
For Profile = Profile_I To Profile_F
   Text1.Text = Profile
   Raysum = 325
   Ray = 325
   Text4.Text = Raysum
   Text5.Text = Profile_I
   Text7.Text = Profile_F
   If (Profile Mod 2) = 1 Then              ' แถวคี่
      'For n_motor = 1 To 12
         'Call MotorXL
      'Next n_motor
      For k = 1 To Ray Step 1
   ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
      R = k
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.01)
   Next k
   For n_motor = 1 To 27    '  motor แกน y
      Call MotorYL
   Next n_motor
   Cls
Else
   'For n_motor = 1 To 12
     ' Call MotorXR
   'Next n_motor
   For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
   ' เฟสที่ 1-2
     R = k
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.01)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.01)
   Next k
    For n_motor = 1 To 27
      Call MotorYL
   Next n_motor
   Cls
  End If
  Next Profile
  Call Save
End Function
Function Start_U5()
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim N_P As Integer
Dim sheet  As String
    sheet = CStr(Combo3.Text)
    If sheet = "1" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 13
    'Call Reset_O
  ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 13
    'Call Reset_O
    ElseIf sheet = "4" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 11
    'Call Reset_O
  End If
  size = InputBox("ขนาดของวัตถุ(ซม.) ", " ขนาดของวัตถุ")
  Raysum = size * 200              ' หาจำนวน raysum
  Text4.Text = Raysum
  For Profile = Profile_I To Profile_F
     Text1.Text = Profile
     Text5.Text = Profile_I
     Text7.Text = Profile_F
     Ray = Raysum / 4
     If (Profile Mod 2) = 1 Then              ' แถวคี่
        For k = 1 To Ray Step 1
     ' เฟสที่ 1 ของ motor
        R = (4 * (k - 1)) + 1
```

```
    Call Scan(data)
    Out &H300, &H90
    Call Delay(0.05)
  ' เฟสที่ 2 ของ motor
    R = (4 * (k - 1)) + 2
    Call Scan(data)
    Out &H300, &HC0
    Call Delay(0.05)
  ' เฟสที่ 3 ของ motor
    R = (4 * (k - 1)) + 3
   Call Scan(data)
    Out &H300, &H60
    Call Delay(0.05)
  'เฟสที่ 4 ของ motor
    R = (4 * (k - 1)) + 4
    Call Scan(data)
    Out &H300, &H30
    Call Delay(0.05)
  Next k
  For n_motor = 1 To 27     '  motor แกน y
    Call MotorYL
  Next n_motor
  Cls
Else
  For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
  ' เฟสที่ 1
     R = (4 * (k - 1)) + 4
   Call Scan(data)
    Out &H300, &H30
    Call Delay(0.05)

    R = (4 * (k - 1)) + 3
   Call Scan(data)
    Out &H300, &H60
    Call Delay(0.05)

    R = (4 * (k - 1)) + 2
    Call Scan(data)
    Out &H300, &HC0
    Call Delay(0.05)

    R = (4 * (k - 1)) + 1
    Call Scan(data)
    Out &H300, &H90
    Call Delay(0.05)
  Next k
    For n_motor = 1 To 27
      Call MotorYL
    Next n_motor
    Cls
  End If
  Next Profile
  Call Save
End Function
Function Start_U1()
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
   sheet = CStr(Combo3.Text)
   If sheet = "1" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 13
    'Call Reset_O
  ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 13
    'Call Reset_O
  ElseIf sheet = "4" Then
    Profile_I = 1
    Profile_F = 11
    'Call Reset_O
  End If
  size = InputBox("ขนาดของวัตถุ(ซม.) ", " ขนาดของวัตถุ")
   Raysum = size * 100
   Text4.Text = Raysum
   Text5.Text = Profile_I
   Text7.Text = Profile_F
    For Profile = Profile_I To Profile_F
    Text1.Text = Profile
    Ray = Raysum / 2
    If (Profile Mod 2) = 1 Then          ' แถวคี่
      For k = 1 To Ray Step 1
    ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
      R = (2 * (k - 1)) + 1
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.05)
```

```
    ' เฟสที่ 3-4 ของ motor
      R = (2 * (k - 1)) + 2
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.05)
    Next k
    For n_motor = 1 To 27     ' motor แกน y
      Call MotorYL
    Next n_motor
    Cls
  Else
    For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
    ' เฟสที่ 1-2
      R = (2 * (k - 1)) + 2
      Call Scan(data)
      Out &H300, &H30
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &H60
      Call Delay(0.05)

      R = (2 * (k - 1)) + 1
      Call Scan(data)
      Out &H300, &HC0
      Call Delay(0.05)
      Out &H300, &H90
      Call Delay(0.05)
    Next k
     For n_motor = 1 To 27
      Call MotorYL
    Next n_motor
    Cls
  End If
  Next Profile
  Call Save
End Function
Function Start_U2()
Dim data As Double
Dim timestep As Double
Dim Ray As Integer
Dim k As Integer
Dim n As Integer
Dim sheet  As String
   sheet = CStr(Combo3.Text)
   If sheet = "1" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
    ' Call Reset_O
  ElseIf sheet = "2" Or sheet = "3" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 13
     'Call Reset_O
    ElseIf sheet = "4" Then
     Profile_I = 1
     Profile_F = 11
     'Call Reset_O
  End If
  size = InputBox("ขนาดของวัตถุ(ซม.) ", " ขนาดของวัตถุ")
  Raysum = size * 50
   Text4.Text = Raysum
   Text5.Text = Profile_I
   Text7.Text = Profile_F
  For Profile = Profile_I To Profile_F
     Text1.Text = Profile
     Ray = Raysum
     If (Profile Mod 2) = 1 Then              ' แถวคี่
       For k = 1 To Ray Step 1
     ' เฟสที่ 1 -2 ของ motor
       R = k
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H90
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &HC0
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &H60
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &H30
       Call Delay(0.01)
     Next k
     For n_motor = 1 To 27     ' motor แกน y
       Call MotorYL
     Next n_motor
     Cls
  Else
     For k = Ray To 1 Step -1          ' แถวคู่
     ' เฟสที่ 1-2
       R = k
       Call Scan(data)
       Out &H300, &H30
       Call Delay(0.01)
       Out &H300, &H60
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
            Call Delay(0.01)
            Out &H300, &HC0
            Call Delay(0.01)
            Out &H300, &H90
            Call Delay(0.01)
        Next k
        For n_motor = 1 To 27
            Call MotorYL
        Next n_motor
        Cls
    End If
    Next Profile
    Call Save
End Function
Private Sub CmdEnd_Click()
    Intensity.Hide
    Menu.Show
End Sub
Function Save()
Dim R As Integer
Dim iFileNum As Integer
Dim FileName As String
Dim Name As String
Dim Profile As Integer
Dim Raysum1 As Integer
Dim step As String
Dim sheet As String
    Name = Text3.Text
    'Profile = 52
    Raysum1 = Text4.Text
    Raysum1 = Raysum
    spot = CStr(Combo2.Text)
    If spot = "0.05 mm" Then
        step = 0.05
    ElseIf spot = "0.1 mm" Then
        step = 0.1
    ElseIf spot = "0.2 mm" Then
        step = 0.2
    End If
    ComDialog.FileName = Name
    ComDialog.Filter = "Text File(*.txt)|*.txt |All File|*.*|Data
File(.*dat)|.*dat"
    ComDialog.ShowSave
    FileName = ComDialog.FileName
    iFileNum = FreeFile
    Open FileName For Append As #iFileNum
    For Profile = Profile_I To Profile_F
        sheet = CStr(Combo3.Text)
        If sheet = "1" Then
            Print #iFileNum, Name
            Print #iFileNum, Raysum1
            Print #iFileNum, 50
            Print #iFileNum, step
            Print #iFileNum, 3.6
        End If
        For R = 1 To Raysum
            'Print #iFileNum, "["; Profile; ","; R; "]"; Tab; B(Profile, R)
            Print #iFileNum, B(Profile, R)
        Next R
    Next Profile
    Close #iFileNum
End Function


Private Sub Command1_Click()
Dim nn As Integer
For nn = 1 To 500
Call MotorXL
Next nn
End Sub
Private Sub Command2_Click()
Dim Opto As Double
Dim Opto1 As Double
Dim Opto2 As Double
    Opto = Inp(770)
    Opto1 = Inp(770) And 80
    Print Opto
    Print Opto1
End Sub
Private Sub Form_Load()
    ScaleMode = 3
    DrawWidth = 2
    'ADC  12  bit
    pwrite = &H378
    pread = &H379
    'MOTOR
    DataAddress = &H300  ' (770)   แกน X
    CtrlAddress = &H303
    Out CtrlAddress, &H89
End Sub
Function Delay(ByVal timestep As Double)
Dim TimeStop
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
    TimeStop = Timer
    Do
        DoEvents
    Loop While (Timer < TimeStop + timestep)
End Function
Function Adc12(data As Double)
Dim ch0buff  As Double
Dim pwrite As Integer
Dim pread As Integer
Dim readcount As Integer
Dim ad0buff As DragConstants
Dim ch1buff As Double
Dim ad1buff As Double
Dim n As Integer
Dim Y As Double
Dim Od As Double
    For n = 1 To 100    '   จำนวนเฉลี่ย
        pwrite = &H378
        pread = &H379
        Out pwrite, &HB
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H0
        Out pwrite, &H2
        Out pwrite, &H0
        Out pwrite, &H2
        ch0buff = 0
        Out pwrite, &H1
        For readcount = 1 To 12
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
        Next readcount
        For readcount = 1 To 12
            ad0buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
            ch0buff = ch0buff Or (ad0buff * (2 ^ (readcount - 1)))
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
        Next readcount
        Out pwrite, &HB
        'Label8.Caption = (ch0buff / 4095) * 5
        t = 248 - CInt(ch0buff / 20.38)
        'PSet (i, t), QBColor(12)   ' ch 0
        Out pwrite, &HB     ' เริ่ม ch 1
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H1
        Out pwrite, &H3
        Out pwrite, &H0
        Out pwrite, &H2
        ch1buff = 0
        Out pwrite, &H1
        For readcount = 1 To 12
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
        Next readcount
        For readcount = 1 To 12
            ad1buff = (Not (Inp(pread)) And &H80) / (2 ^ 7)
            ch1buff = ch1buff Or (ad1buff * (2 ^ (readcount - 1)))
            Out pwrite, &H3
            Out pwrite, &H1
        Next readcount
        Out pwrite, &HB
        total0 = total0 + ch0buff
    Next n
    Y = (total0 / 100)
'   Y = 4.095
    Od = (Log(I_0 / Y)) / 2.303
    data = Round(Od, 2)
End Function
Function Scan(data As Double)
    Call Adc12(data)                    ' scan อ่านค่าความดำ
    a(Profile, R) = 500 - (60 * data) ' คำนวณเพื่อนำค่าไปเขียนกราฟ
    B(Profile, R) = data                ' ค่าที่นำไปสร้างภาพ CT
    Text2.Text = R
    Text6.Text = data
    If (0 < Raysum And Raysum <= 100) Then
        PSet (6.5 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
    ElseIf (100 < Raysum And Raysum <= 200) Then
        PSet (3.35 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
    ElseIf (200 < Raysum And Raysum <= 300) Then
        PSet (2.2 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
    ElseIf (300 < Raysum And Raysum <= 350) Then
        PSet (1.95 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
    ElseIf (350 < Raysum And Raysum <= 400) Then
        PSet (1.65 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
    ElseIf (400 < Raysum And Raysum <= 500) Then
```

```
            PSet (1.35 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf (500 < Raysum And Raysum <= 600) Then
            PSet (1.1 * R + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf (600 < Raysum And Raysum <= 700) Then
            PSet (24 * R / 25 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf (700 < Raysum And Raysum <= 800) Then
            PSet (5 * R / 6 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf (800 < Raysum And Raysum <= 1000) Then
            PSet (2 * R / 3 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf (1000 < Raysum And Raysum <= 1100) Then
            PSet (7 * R / 12 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf 1100 < Raysum And Raysum <= 1200 Then
            PSet (13 * R / 24 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf (1200 < Raysum And Raysum <= 1300) Then
            PSet (12 * R / 24 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        ElseIf Raysum > 1300 Then
            PSet (11 * R / 24 + 50, a(Profile, R)), QBColor(1)
        End If
End Function

Function MotorXR()
    Dim timestep As Double
        timestep = 0.01
        Out &H300, &H30
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H90
        Call Delay(timestep)
End Function
Function MotorXL()
    Dim timestep As Double
    Dim n As Integer
        timestep = 0.01
        Out &H300, &H90
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &HC0
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H60
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H30
        Call Delay(timestep)
End Function
Function MotorYR()
    Dim timestep As Double
        timestep = 0.01
        Out &H300, &H3
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H6
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &HC
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H9
        Call Delay(timestep)
End Function
Function MotorYL()
    Dim timestep As Double
        timestep = 0.01
        Out &H300, &H9
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &HC
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H6
        Call Delay(timestep)
        Out &H300, &H3
        Call Delay(timestep)
End Function
Function Reset()
Dim Opto As Double
    Opto = Inp(770)
    Do
        Do
            Opto = (Inp(770) And 80)
            Call MotorYR
        Loop Until Opto = 64
        Do
            Opto = (Inp(770) And 80)
            Call MotorXR
        Loop Until Opto = 80
    Loop Until Opto = 80
End Function
Private Sub CmdSave_Click()
    Call Save
End Sub
```

ภาคผนวก ข

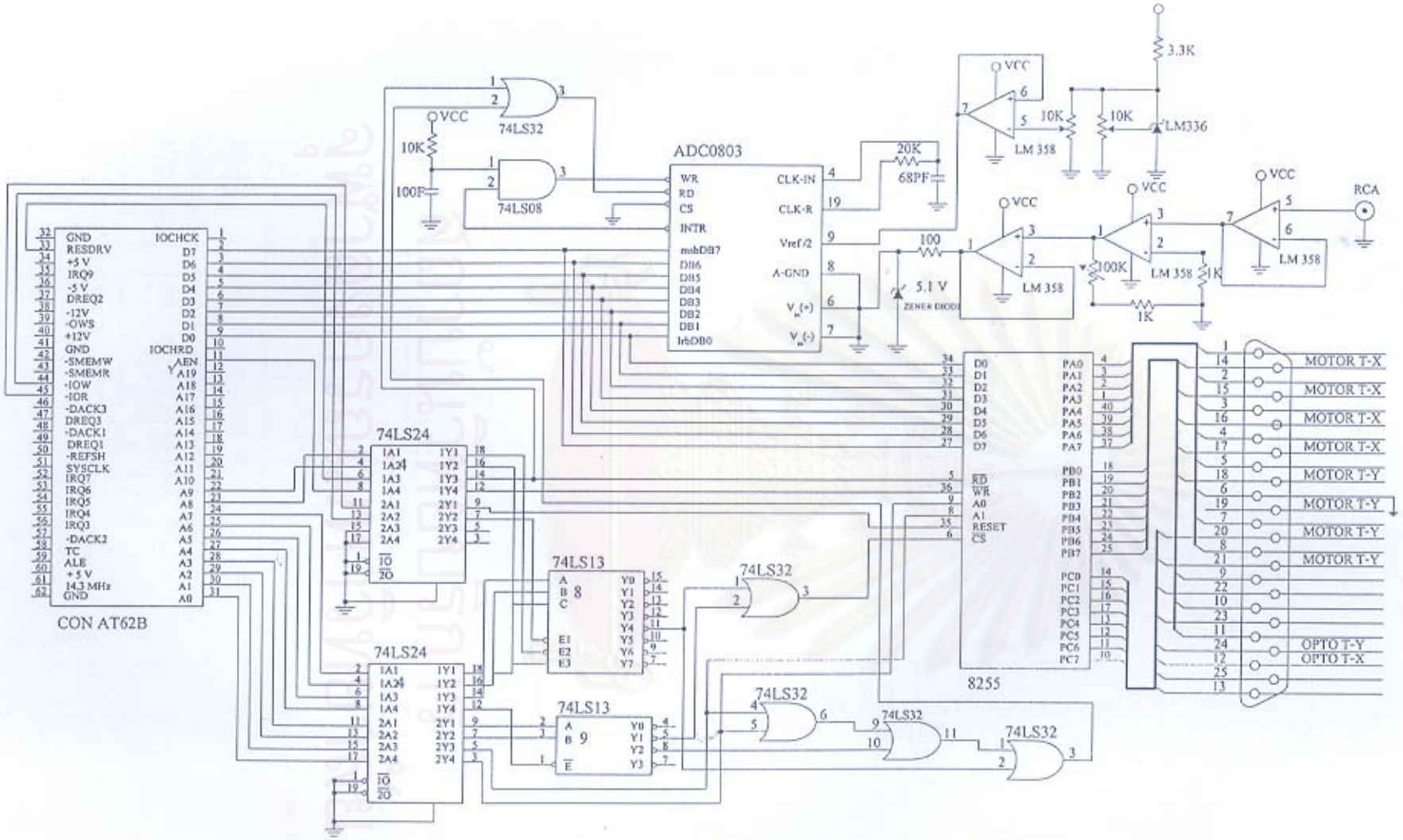
วงจรอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งประกอบด้วย

ข 1 วงจรเชื่อมโยงระบบขับเคลื่อนแผ่นฟิล์มกับไมโครคอมพิวเตอร์ (Interface card)

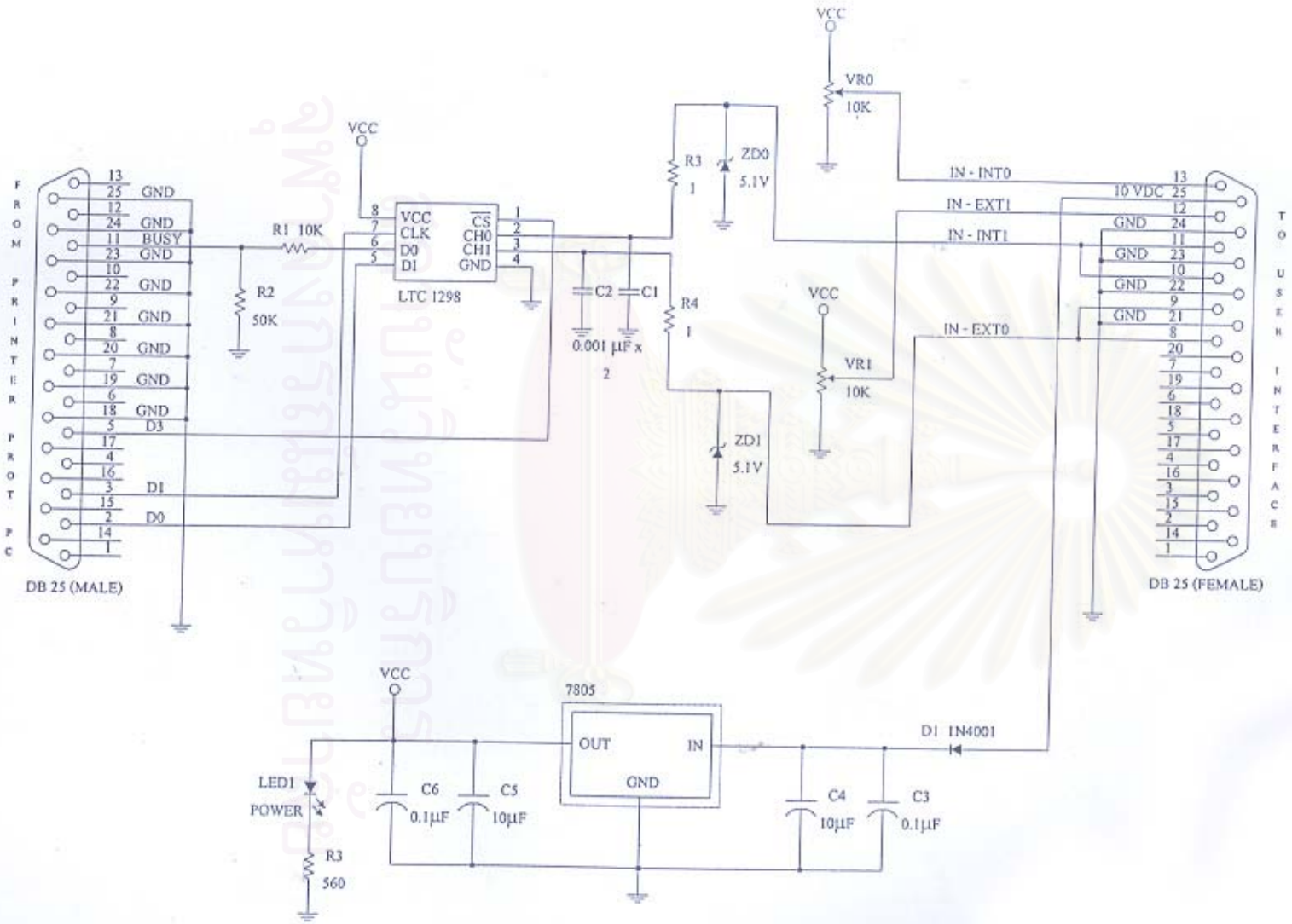
ข 2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวขนาด 12 บิต

ข 3 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์

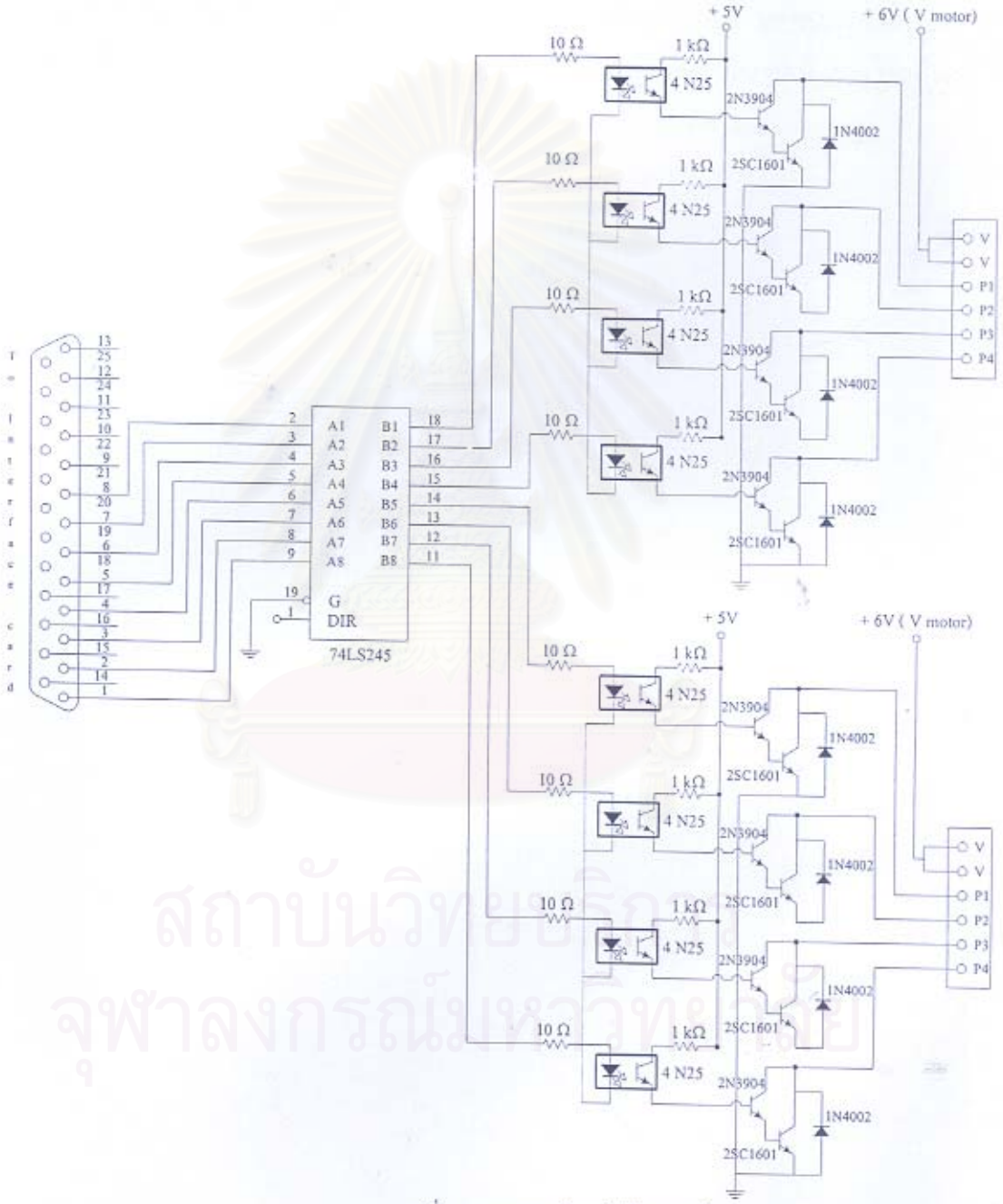
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข1 แสดงวงจรเชื่อมต่อระบบขับเคลื่อนแผ่นกับไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ ข2 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 12 บิต



รูปที่ ข3 แสดงวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุเมธ ทิพยไกรศร เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2519 จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจาก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตที่ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย