

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การมองภาพวัตถุที่ถูกบดบังด้วยคลื่นไมโครเวฟ



นาย ธวัชชัย คำศรี

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 38545
วัน, เดือน, ปี..... 5 ส.ค. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microwave imaging of obscured objects



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement of the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1999**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การมองภาพวัตถุที่ถูกบดบังด้วยคลื่นไมโครเวฟ
(Microwave imaging of obscured objects)
โดย นาย ธวัชชัย คำศรี รหัส 39054420
หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. อนุพงศ์ สรวงประภา
รศ. สุวรรณ กุศลาราย
ดร. จิตี หนูแก้ว

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

(รศ. สุรพล รักวิชัย)

คณะกรรมการ โครงการพิเศษ

ประธานกรรมการ

(ผศ. อนุพงศ์ สรวงประภา)

กรรมการ

(รศ. สุวรรณ กุศลาราย)

กรรมการ

(ผศ. เกรือวัลย์ ศีตะจิตต์)

กรรมการ

(ดร. จิตี หนูแก้ว)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การมองภาพวัตถุที่ถูกบดบังด้วยคลื่น ไมโครเวฟ
โดย	นาย ธวัชชัย คำศรี
รหัสประจำตัว	39054420
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. อนุพงศ์ ทรงประกา รศ. สุวรรณ กุศลาราว ดร. จิติ หนูแก้ว
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2542

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ เป็นการทดสอบพัฒนาประยุกต์ใช้งานระบบสร้างภาพด้วยคลื่น ไมโครเวฟกำลังต่ำที่มีอยู่ เพื่อศึกษาแนวทางในการมองวัตถุและที่ถูกบดบัง โดยพิจารณาปรับเปลี่ยนเงื่อนไขจุดไปอัสปริมาณแสงต่อโฟโตไดโอดไดโพลตัวกระเจิงคลื่น ขนาดและรูปร่างของ วัตถุ ขนาดของสายอากาศ ความเข้มและทิศทางการอ้างอิง ขนาดของพื้นที่สอโลแกรม ระยะ ระหว่างวัตถุกับสอโลแกรม ตลอดจนนำสิ่งมาบดบังวัตถุ สำหรับการเก็บข้อมูลครอบคลุมพื้นที่สี่ เหลี่ยมจัตุรัส จำนวน 64×64 จุด เป็นระยะห่างกันทุก 0.54 เซนติเมตร ผลของการสร้างภาพกลับทาง คณิตศาสตร์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ยังไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดของวัตถุ ได้ บอกได้เพียงถึงการมีวัตถุเท่านั้น

Special Project Title Microwave imaging of obscured objects

Student Mr. Thawatchai Kamsri

Student ID. 39054420

Special Project Advisor Asst. Prof. Anupong Srongprapa

Assoc. Prof. Suwan Kusamran

Dr. Jiti Nukeaw

Department Applied Physics, Faculty of Science, King Mongkut's

Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2542

ABSTRACT

This special project involves the feasibility tests and modifications that have been made to the existent low intensity microwave imaging system for observing objects and obscured objects. Various factors that have been considered include light intensity biasing level of photodiode dipole scatterer, size and figure of object, size of horn antenna, incident angle and intensity of reference wave, hologram aperture size, object-hologram distance and the case of covering the object with thick plastic sheet. For 64x64 square array of hologram sampling points data each separate by 0.54 cm apart, the reconstructed image performed by using MATLAB computer program revealed the existent of object but the resolution was poor.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ และความกรุณาอย่างสูงจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สุวรรณ คูตำราญ และดร. จิติ หนูแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และอาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ สอนวิชาความรู้ต่างๆ มากมาย รวมทั้งเพื่อนๆ และพี่น้องทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ มากมาย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามด้วยความจริงใจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

	หน้า
3.2.9 การ์ดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	27
3.2.10 ชุดเลื่อนตำแหน่งวัตถุและตัวปรับเฟสคลื่นอ้างอิง	28
3.2.11 แผงควบคุมคลื่นไมโครเวฟ	29
3.3 ระบบและการทำงานถ่ายภาพ	30
3.4 วิธีสร้างภาพกลับ	33

บทที่ 4: การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การหาจุดไบอัสที่เหมาะสม	34
4.2 รูปร่างของวัตถุต่างที่ใช้ในการถ่ายภาพ แสดงความเข้มของริ้วการแทรกสอดที่ได้จากการถ่ายภาพ และการสร้างภาพด้วยเงื่อนไขต่างๆ	37
4.2.1 การทดลองกับวัตถุรูปร่างที่ 1	37
4.2.1.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 1 สอรั้น L , $\theta = 30^\circ$, $A = 0$ dB, $M = 64 \times 64$, $Z' = 74$ cm ใช้ชุดมอดูเลตด้วยไดโอดเลเซอร์	38
4.2.1.2 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 1 สอรั้น L , $\theta = 30^\circ$, $A = 0$ dB, $M = 64 \times 64$, $Z' = 74$ cm	40
4.2.1.3 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 1 สอรั้น L , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 0$ dB, $M = 64 \times 64$, $Z' = 74$ cm	42
4.2.2 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 2	44
4.2.2.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 2 สอรั้น L , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 0$ dB, $M = 100 \times 100$, $Z' = 74$ cm	45
4.2.3 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 3	47
4.2.3.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 3 สอรั้น L , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 10$ dB, $M = 64 \times 64$, $Z' = 74$ cm	48
4.2.4 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 4	50
4.2.4.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 4 สอรั้น L , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 10$ dB, $M = 64 \times 64$, $Z' = 74$ cm	51

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

	หน้า
4.2.5 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 5	53
4.2.5.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 5 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB,	54
M = 64 x 64 , Z' = 74 cm	
4.2.6 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 6	56
4.2.6.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 6 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 10 dB,	57
M = 64 x 64 , Z' = 74 cm	
4.2.6.2 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 6 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB,	59
M = 64 x 64 , Z' = 56 cm	
4.2.7 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 7	61
4.2.7.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 7 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB,	62
M = 64 x 64 , Z' = 56 cm	
4.2.8 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 8	64
4.2.8.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 8 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB,	65
M = 64 x 64 , Z' = 56 cm	
4.2.9 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 9	67
4.2.9.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 9 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB,	68
M = 64 x 64 , Z' = 56 cm	
4.2.10 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 10	70
4.2.10.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 10 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB,	71
M = 64 x 64 , Z' = 56 cm	
4.2.11 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 11	73
4.2.11.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 11 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$,	74
A = 5 dB, M = 64 x 64, Z' = 56 cm	
4.2.11.2 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 11 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$,	76
A = 5 dB, M = 64 x 64, Z' = 56 cm มีพลาสติกแผ่นบดบังอยู่	

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5: บทสรุป และแนวทางในการพัฒนาโครงการพิเศษ	
5.1 บทสรุป	78
5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงการพิเศษ	79
เอกสารอ้างอิง	80
ภาคผนวก ก. แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานและโปรแกรมภาษา C ควบคุมสแตมป์มอเตอร์และบันทึกข้อมูล	81
ภาคผนวก ข. แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานและโปรแกรม MATLAB ในการสร้างภาพกลับ	91
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 2 :	
รูปที่ 2.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการถ่ายฮอโลแกรมทางแสง	3
รูปที่ 2.2 แสดงการบันทึกข้อมูลภาพฮอโลแกรมทางแสง	4
รูปที่ 2.3 แสดงการสร้างภาพของวัตถุกลับมา	5
รูปที่ 2.4 แสดงระบบการบันทึกฮอโลแกรมแบบเลเซอร์-ยูเพทนิคส์	5
รูปที่ 2.5 แสดงระบบการสร้างภาพกลับมาของเลเซอร์-ยูเพทนิคส์	8
รูปที่ 2.6 แสดงระบบอย่างง่ายของการบันทึกไมโครเวฟฮอโลกราฟี	8
รูปที่ 2.7 แสดงพิกัดเพื่ออธิบายการเลี้ยวเบนของคลื่นที่ระนาบใดๆ	9
รูปที่ 2.8 แสดงการสร้างภาพกลับ	12
รูปที่ 2.9 แสดงระบบพิกัดสำหรับการบันทึกข้อมูล	14
รูปที่ 2.10 การจัดเรียงอุปกรณ์สำหรับวัดสนามไฟฟ้าด้วยวิธีกระเจิงคลื่น	16
รูปที่ 2.11 แสดงการหมุนตัวไดโพล	17
รูปที่ 2.12 การจัดเรียงอุปกรณ์สำหรับวัดสนามไฟฟ้าด้วยวิธีหมุนตัวไดโพล	18
บทที่ 3 :	
รูปที่ 3.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแส	21
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรสมนัยของกัมมันต์ไดโอดออสซิลเลเตอร์	22
รูปที่ 3.3 แสดงรูปของกัมมันต์ไดโอด	22
รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ตัวลatchingสัญญาณแบบปรับค่าได้	23
รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างสายอากาศแบบฮอร์นทรงพีระมิด	24
รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์ไมโครเวฟมิคเซอร์	26
รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้น	27
รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องขยายสัญญาณแบบบล็อก-อิน	27
รูปที่ 3.9 แสดงชุดปรับเฟสคลื่นอ้างอิง	28
รูปที่ 3.10 แสดงชุดเลื่อนตำแหน่งวัตถุ	28
รูปที่ 3.11 แสดงแผงคูคกิ้งคลื่นไมโครเวฟ	29
รูปที่ 3.12 รูปแบบแผนระบบการถ่ายภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ	30
รูปที่ 3.13 รูประบบการถ่ายภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ	31
รูปที่ 3.14 รูปแสดงระยะต่างๆที่ใช้	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.15 ระบบการเคลื่อนวัตถุในแนวอนอติโนมัติ	32
รูปที่ 3.16 ระบบการเคลื่อนวัตถุในแนวตั้งยังคงเป็นแบบใช้มือปรับ(manual)	32
บทที่ 4 :	
รูปที่ 4.1 วงจรทดลองการหาจุดไบอัสที่เหมาะสม	34
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟระหว่างค่ากระแสเมื่อเปลี่ยนจุดไบอัส กับแรงดันไมโครเวฟ	35
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟระหว่างค่าความต้านทานที่ใช้เปลี่ยนจุดไบอัส กับแรงดันไมโครเวฟ	36
รูปที่ 4.4 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 1	37
รูปที่ 4.4.1ก แสดงความเข้มของร็วรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30 ⁰ , 0 dB, 64 x 64, 74 cm, ชุดมอดูเลตเดิม	38
รูปที่ 4.4.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30 ⁰ , 0 dB, 64 x 64, 74 cm, ชุดมอดูเลตเดิม	38
รูปที่ 4.4.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30 ⁰ , 0 dB, 64 x 64, 74 cm, ชุดมอดูเลตเดิม	39
รูปที่ 4.4.2ก แสดงความเข้มของร็วรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30 ⁰ , 0 dB, 64 x 64, 74 cm	40
รูปที่ 4.4.2ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30 ⁰ , 0 dB, 64 x 64, 74 cm	40
รูปที่ 4.4.2ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30 ⁰ , 0 dB, 64 x 64, 74 cm	41
รูปที่ 4.4.2ก แสดงความเข้มของร็วรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 36.86 ⁰ , 0 dB, 64 x 64, 74 cm	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4.2ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 36.86^0 , 0 dB, 64 x 64, 74 cm	42
รูปที่ 4.4.2ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 36.86^0 , 0 dB, 64 x 64, 74 cm	43
รูปที่ 4.5 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 2	44
รูปที่ 4.5ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 2 , L, 36.86^0 , 0 dB, 100 x 100, 74 cm	45
รูปที่ 4.5ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 2 , L, 36.86^0 , 0 dB, 100 x 100, 74 cm	45
รูปที่ 4.5ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 2 , L, 36.86^0 , 0 dB, 100 x 100, 74 cm	46
รูปที่ 4.6 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 3	47
รูปที่ 4.6ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 3 , L, 36.86^0 , 10 dB, 64 x 64, 74 cm	48
รูปที่ 4.6ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 3 , L, 36.86^0 , 10 dB, 64 x 64, 74 cm	48
รูปที่ 4.6ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 3 , L, 36.86^0 , 10 dB, 64 x 64, 74 cm	49
รูปที่ 4.7 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 4	50
รูปที่ 4.7ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 4 , L, 36.86^0 , 10 dB, 64 x 64, 74 cm	51

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 4 , L, 36.86^0 , 10 dB, 64 x 64, 74 cm	51
รูปที่ 4.7ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 4 , L, 36.86^0 , 10 dB, 64 x 64, 74 cm	52
รูปที่ 4.8 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 5	53
รูปที่ 4.8ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 5 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 74 cm	54
รูปที่ 4.8ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 5 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 74 cm	54
รูปที่ 4.8ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 5 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 74 cm	55
รูปที่ 4.9 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 6	56
รูปที่ 4.9.1ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 74 cm	57
รูปที่ 4.9.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 74 cm	57
รูปที่ 4.9.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 74 cm	58
รูปที่ 4.9.2ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	59
รูปที่ 4.9.2ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86^0 , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9.2ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	60
รูปที่ 4.10 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 7	61
รูปที่ 4.10.1ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 7 , S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	62
รูปที่ 4.10.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 7 , S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	62
รูปที่ 4.10.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 7 , S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	63
รูปที่ 4.11 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 8	64
รูปที่ 4.11ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 8, S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	65
รูปที่ 4.11ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 8, S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	65
รูปที่ 4.11ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 8, S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	66
รูปที่ 4.12 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 9	67
รูปที่ 4.12ก แสดงความเข้มของรีวรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 9, S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	68
รูปที่ 4.12ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 9, S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	68
รูปที่ 4.12ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 9, S, 36.86 ⁰ , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 10	70
รูปที่ 4.13ก แสดงความเข้มของรีฟรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 10, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	71
รูปที่ 4.13ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 10, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	71
รูปที่ 4.13ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 10, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	72
รูปที่ 4.14 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 11	73
รูปที่ 4.14.1ก แสดงความเข้มของรีฟรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	74
รูปที่ 4.14.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	74
รูปที่ 4.14.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm	75
รูปที่ 4.14.2ก แสดงความเข้มของรีฟรอยการแทรกสอดของวัตถุ สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm, พลาสติกแผ่นบดบัง	76
รูปที่ 4.14.2ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์ สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm, พลาสติกแผ่นบดบัง	76
รูปที่ 4.14.2ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm, พลาสติกแผ่นบดบัง	77

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเปลี่ยนจุไบฮัสโดย
ปรับค่าความต้านทานต่างๆ

35



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในการที่มนุษย์เราจะมองเห็นวัตถุ จะต้องอาศัยแสงสว่างไปตกกระทบที่วัตถุ แล้วสะท้อนกลับจากวัตถุเดินทางไปตกกระทบเรตินาของดวงตาจึงสามารถทำให้เรามองเห็นวัตถุได้ เช่นเดียวกับ การบันทึกภาพของวัตถุจะต้องอาศัยหลักการนี้ด้วย แต่ให้ตกกระทบลงบนแผ่นฟิล์ม แต่ในกรณีไม่มีแสงหรือมีวัสดุมาบดบังวัตถุ ก็จะทำให้ไม่สามารถมองเห็นหรือบันทึกภาพของวัตถุนั้นได้ ด้วยความพยายามที่จะเอาชนะธรรมชาติของมนุษย์ทำให้เกิดการคิดค้นและทำการวิจัยเพื่อให้สามารถมองเห็นและบันทึกภาพของวัตถุ ในที่ปราศจากแสงหรือบริเวณที่มีวัสดุมาบดบัง เช่น การมองในที่มืดด้วยแสงอินฟราเรด การตรวจดูกระดูกด้วยการฉายเอ็กซเรย์ การตรวจจับด้วยคลื่นอัลตราโซนิค เป็นต้น ถ้าพิจารณาในกรณีสิ่งที่มาบดบังเป็นสารไดอิเล็กตริกนั้น คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านไปได้ ซึ่งต่างประเทศให้ความสนใจและทำการพัฒนาโดยจะเห็นได้จากวารสารเกี่ยวกับการค้นคว้าสิ่งประดิษฐ์ทางด้านไมโครเวฟ ประกอบด้วยเทคนิคต่างๆ มากมาย สำหรับในประเทศไทยนั้นมีการพัฒนาด้านนี้อยู่บ้าง ซึ่งประโยชน์ที่จะได้รับจากการค้นคว้าด้านนี้มีมาก โดยโครงการพิเศษนี้จะนำเอาสมบัติของไมโครเวฟ มาศึกษาเพื่อทำการสร้างภาพวัตถุที่ถูกบดบังด้วยสารไดอิเล็กตริก โดยใช้เทคนิคตามที่วิทยานิพนธ์ของนักศึกษาปริญญาโท ร้อยเอกชำนาญ ตำเภาพ่อค้า ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในหัวข้อ “ระบบการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ” ซึ่งได้สร้างระบบเครื่องมือไมโครเวฟความเข้มต่ำที่ใช้ในการสร้างภาพไว้ แต่เนื่องจากผู้ทำการวิจัยได้เน้นในด้านการสร้างระบบเสียส่วนใหญ่ เป็นผลทำให้การทดสอบเก็บข้อมูลสร้างภาพยังอยู่ในขั้นเริ่มต้น ภาพที่ได้ไม่ชัดเจน จึงยังจะต้องมีการปรับเงื่อนไขการทดลองพร้อมไปกับการพัฒนาเทคนิคและส่วนประกอบบางส่วนเพิ่มเติม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- เพื่อศึกษาหลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของระบบการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟที่นักศึกษานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ได้ทำการค้นคว้าวิจัยและสร้างไว้

- วิเคราะห์ข้อมูลของภาพที่เก็บได้จากระบบการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงบางส่วนของระบบการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้ ให้ข้อมูลของภาพที่ชัดเจนขึ้น รวมทั้งการปรับวิธีการสร้างภาพกลับด้วยกระบวนการทางดิจิทัลด้วยคอมพิวเตอร์ ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น
- เพื่อสร้างภาพเบื้องต้นของวัตถุที่ถูกบดบังด้วยสารไดอิเล็กตริก ซึ่งจะเป็แนวทางในการศึกษาต่อไป

1.3 ขอบข่ายของโครงการพิเศษ

ในโครงการพิเศษนี้ได้มีการประยุกต์และปรับปรุงระบบการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีอยู่ ในด้านของระบบการสร้างภาพ และส่วนโปรแกรมการสร้างภาพกลับ ตามความเหมาะสมของระยะเวลาของโครงการพิเศษนี้ ซึ่งประกอบด้วย

การปรับปรุงทางด้านระบบการถ่ายภาพ

- ปรับหาจุดไบอัสของโฟโตไดโอดที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการตอบสนองที่ดีของไดโอดที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระเจิงคลื่น
- ปรับความแรงของสัญญาณคลื่นไมโครเวฟที่ทำหน้าที่เป็นคลื่นอ้างอิงให้เหมาะสมกับการแทรกสอดกับคลื่นที่สะท้อนจากวัตถุ
- สังเกตผลของการเปลี่ยนมุมของสัญญาณคลื่นไมโครเวฟอ้างอิง
- ปรับอัตราการขยายของล็อก-อิน (lock-in) ให้สอดคล้องกับช่วงความแรงของสัญญาณ
- ปรับเปลี่ยนการเก็บข้อมูลจาก 8 บิต เป็น 12 บิต
- การปรับการกระจายของคลื่นไมโครเวฟให้สม่ำเสมอ โดยเปลี่ยนเสาอากาศแบบฮอร์น (horn) จากขนาดใหญ่มาเป็นเสาอากาศแบบฮอร์นขนาดเล็ก
- การเปลี่ยนขนาด รูปร่าง และระยะทางของวัตถุที่ใช้ในการถ่ายภาพ
- การถ่ายภาพกรณีวัสดุถึงบดบัง

การปรับปรุงทางด้านโปรแกรม

- ปรับปรุงโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ
- ปรับปรุงรายละเอียดในที่ใช้ในการคำนวณการสร้างภาพกลับให้เหมาะสม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการพิเศษ

เพื่อเป็นการส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านไมโครเวฟสำหรับใช้งานในด้านการสร้างภาพวัตถุที่ถูกบดบัง อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟในระดับสูงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

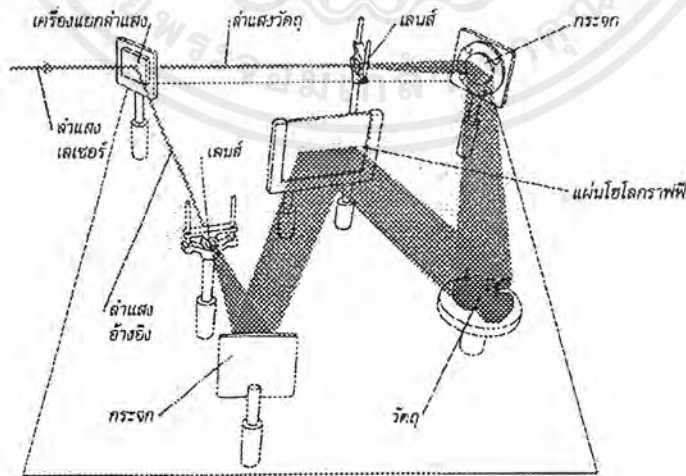
บทที่ 2

ไมโครเวฟฮอโลกราฟี

2.1 พื้นฐานของฮอโลกราฟีทางแสง

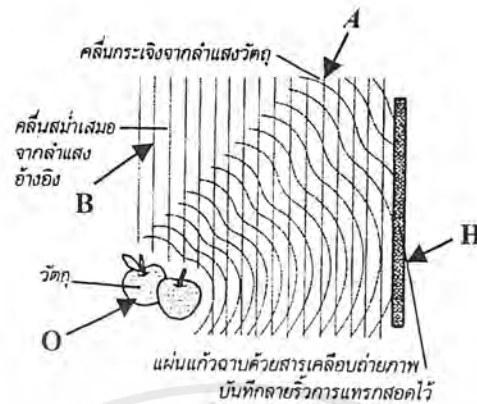
การถ่ายภาพ (photography) เป็นการบันทึกสถานการณ์จริงที่เป็น 3 มิติ ให้อยู่บนฟิล์มหรือกระดาษที่เป็นเพียง 2 มิติ โดยอาศัยเลนส์รวมแสงที่สะท้อนจากวัตถุ ให้ไปตกบนฟิล์ม สำหรับการมองภาพจากฟิล์มหรือกระดาษที่อัดภาพก็จะอาศัยการสะท้อนของแสงจากฟิล์มหรือกระดาษที่อัดภาพมาเข้าตา การบันทึกภาพลงบนฟิล์มนี้ เราอาศัยเฉพาะความเข้มของแสงที่มาตกกระทบในการทำให้เกิดภาพ ดังนั้นรายละเอียดเกี่ยวกับความลึก-ความตื้นของภาพจึงไม่ปรากฏอยู่บนฟิล์มหรือกระดาษที่อัดภาพนั้นๆ ภาพที่เรามองเห็นจึงเป็น 2 มิติ

สำหรับฮอโลกราฟี จะแตกต่างจากการถ่ายภาพตรงที่ในการบันทึกนั้นสามารถบันทึกความลึกความตื้นไว้ได้ด้วย โดยอาศัยความต่างเฟสของแสงสะท้อนทั้งหลายจากวัตถุ การบันทึกเช่นนี้ทำโดยอาศัยลำแสงอีกลำหนึ่งเป็นลำแสงอ้างอิงมาทำการแทรกสอดกับลำแสงสะท้อน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเฟสของลำแสงสะท้อนเหล่านั้น ด้วยเหตุที่การบันทึกนี้เป็นการบันทึกเฟสของแสงด้วย ดังนั้นแสงที่ใช้จำเป็นต้องเป็นแสงอาพันธ์ และแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้กันก็คือเลเซอร์นั่นเอง ฟิล์มที่บันทึกภาพไว้ด้วยวิธีทางฮอโลกราฟีนี้มีชื่อเรียกว่า ฮอโลแกรม (hologram)



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ในการถ่ายฮอโลแกรมทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงการบันทึกข้อมูลภาพฮอโลแกรมทางแสง

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงวิธีการบันทึกข้อมูลภาพฮอโลแกรมทางแสง โดยที่การกระจายคลื่นของวัตถุ O เคลื่อนที่มายังระนาบของฮอโลแกรม H แทนด้วยสนามการกระจายคลื่นเชิงซ้อน A และแหล่งกำเนิดคลื่นอ้างอิง มีการกระจายคลื่น B มาตกบนระนาบฮอโลแกรม คลื่นทั้งสองจะเกิดการแทรกสอดกันอยู่บนระนาบ H ซึ่งความเข้มของวีวรอยการแทรกสอดบนระนาบฮอโลแกรม I_H จะเป็นไปตามสมการที่ 2.1

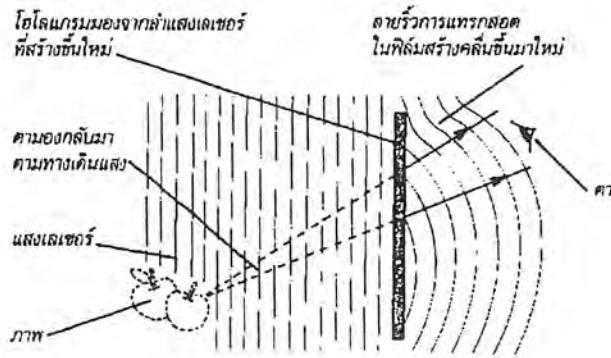
$$\begin{aligned} I_H &= (A + B)(A + B)^* \\ &= |A|^2 + |B|^2 + A^* B + B^* A \end{aligned} \quad (2.1)$$

จะเห็นได้ว่าเป็นรูปแบบของวีวรอยการแทรกสอดที่มีลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นโดยคลื่นจากวัตถุ และคลื่นอ้างอิงที่ทราบฟังก์ชันของอัมพลิจูดและเฟส โดยปกติ I_H จะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นบนฟิล์มและนำมาทำให้เกิดการสร้างภาพกลับมาได้ดังรูปที่ 2.3 ในรูปนี้ให้แสงจากแหล่งกำเนิดกำเนิดหน้าคลื่น B ผ่านฮอโลแกรม หน้าคลื่น C ที่ออกมาจากฮอโลแกรม ซึ่งเกิดจากการปรับแต่ง หน้าคลื่น B ด้วยค่าการส่งผ่าน I_H ดังสมการ

$$C = BI_H = |A|^2 B + |B|^2 B + A^* B^2 + A|B|^2 \quad (2.2)$$

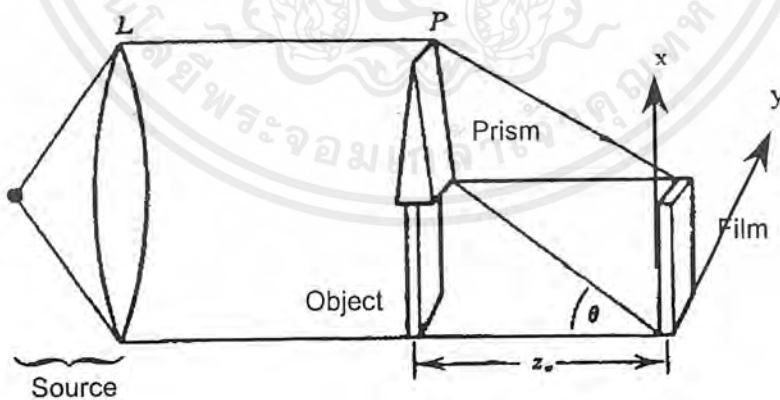
เทอมสุดท้ายในสมการ(2.2) แสดงถึงส่วนของหน้าคลื่นที่จะเกิดการสร้างเป็นคลื่นวัตถุ A และ $A^* B^2$ เป็นเทอมที่สำคัญมาก เพราะสามารถทำให้เกิดภาพจริงของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการสร้างภาพของวัตถุกลับมา

โฮโลแกรมที่น่าสนใจและเป็นที่ยอมรับกันดีชนิดหนึ่งคือ โฮโลแกรมแบบเล็ทซ์-ยูแพทนิคส์ (Leith-Upatniks Hologram) หรือที่เรียกว่าชนิดลำแสงอ้างอิงอยู่นอกแกน (Offset-reference Hologram) ซึ่งแตกต่างจากโฮโลแกรมของกาบอร์ (Gabor Hologram) ก็คือลำแสงที่ส่องผ่านมายังวัตถุนั้นจะถูกใช้เป็นลำแสงอ้างอิงด้วย โดยลำแสงอ้างอิงถูกแยกด้วยปริซึมที่วางอยู่บนวัตถุและทำมุม θ กับลำแสงจากวัตถุที่ตกลงบนฟิล์มดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้แสงเลเซอร์ที่โคฮีเร้นท์สูงๆ แต่สามารถสร้างโฮโลแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.4 แสดงระบบการบันทึกโฮโลแกรมแบบเล็ทซ์-ยูแพทนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการบันทึกสอโลแกรมแบบเล็ช-ยูเพทนิคส์แสดงดังรูปที่ 2.4 เมื่อลำแสงจากแหล่งกำเนิดถูกทำให้ขนานด้วยเลนส์ L โดยลำแสงระนาบจะส่องตรงไปยังระนาบวัตถุและไปตกกระทบบนฟิล์มสอโลแกรมด้วยค่าการส่งผ่านคือ $u(x_0, y_0)$ ส่วนลำแสงที่ผ่านปริซึมที่วางอยู่เหนือวัตถุจะทำมุม θ กับลำแสงของวัตถุที่ตกบนฟิล์มสอโลแกรมที่ใช้บันทึกภาพประกอบด้วยลำแสงจากวัตถุและลำแสงอ้างอิง ซึ่งมีการกระจายคลื่นบนฟิล์มสอโลแกรมดังสมการ

$$U(x, y) = A \exp(-j2\pi\alpha x) + a(x, y) \quad (2.3)$$

โดยที่ $a(x, y)$ คือคลื่นจากวัตถุ

α คือความถี่ของหน้าคลื่น(ตามแนวแกน x) ของลำแสงอ้างอิง

$$\text{มีค่าเท่ากับ } \frac{\sin\theta}{\lambda} \quad (2.4)$$

ดังนั้นจะได้การกระจายความเข้มบนฟิล์มดังนี้

$$\begin{aligned} I(x, y) &= U(x, y) \times U^*(x, y) \\ &= A^2 + |a(x, y)|^2 + Aa(x, y) \exp(j2\pi\alpha x) + Aa^*(x, y) \exp(-j2\pi\alpha x) \end{aligned} \quad (2.5)$$

และอาจเขียน a อยู่ในรูปการกระจายของแอมพลิจูดและเฟสเป็น

$$a(x, y) = \mathbf{a}(x, y) \exp[-j\phi(x, y)] \quad (2.6)$$

แทนค่าจากสมการ (4.6) ลงในสมการ(4.5) และรวมสองเทอมสุดท้ายของสมการที่ (4.5) ผลที่ได้เขียนสมการใหม่เป็น

$$I(x, y) = A^2 + \mathbf{a}^2(x, y) + 2A\mathbf{a}(x, y) \cos[2\pi\alpha y - \phi(x, y)] \quad (2.7)$$

สมการที่ (2.7) แสดงถึงแอมพลิจูดและเฟสที่บันทึกไว้เป็นรูปปริวรรตการแทรกสอดของคลื่นวัตถุและคลื่นอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างภาพกลับมาหรือการเห็นภาพของฮอโลแกรมทำโดยการล้าง (develop) แผ่นฟิล์มฮอโลแกรม ในทางทฤษฎี คือ เปลี่ยนสมการ 2.5 อยู่ในรูปของฟังก์ชันการส่งผ่าน

(Transmittance Function, t_r) $t_r(x, y) = \beta I(x, y)$

$$t_r(x, y) = t_b + \beta \left[|a(x, y)|^2 + Aa \exp(j2\pi\alpha x) + Aa^*(x, y) \exp(-j2\pi\alpha x) \right] \quad (2.8)$$

ซึ่ง β เป็นค่าคงที่ขึ้นกับกระบวนการล้างและชนิดของฟิล์ม

ดังนั้นเมื่อนำฮอโลแกรมมาสร้างเป็นภาพวัตถุทำได้โดยการส่งคลื่นอ้างอิงเดิมผ่านไปยังฮอโลแกรม โดยกำหนดคลื่นอ้างอิงมีแอมพลิจูด B เราจะได้ฟังก์ชันคลื่นที่ผ่านแผ่นฮอโลแกรมออกมาและเพื่อให้สะดวกในการพิจารณา เราจะแยกออกเป็น 4 องค์ประกอบคือ

$$U_1 = t_b B \quad U_3 = \beta B A a(x, y) \exp(j2\pi\alpha x)$$

$$U_2 = \beta B |a(x, y)|^2 \quad U_4 = \beta B A a^*(x, y) \exp(-j2\pi\alpha x)$$

โดยที่

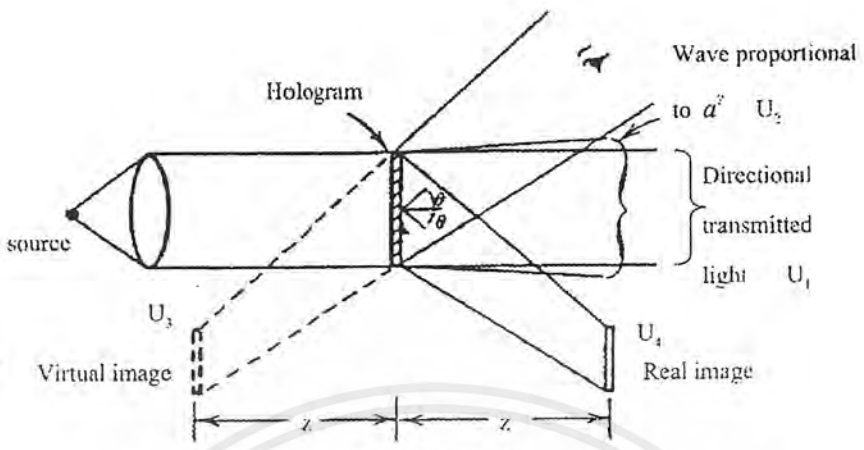
U_1 เป็นตัวแทนคลื่นที่ส่งผ่านฮอโลแกรมออกมาโดยตรงในแนวแกนแสงอ้างอิง

U_2 เป็นตัวแทนคลื่นที่ส่งผ่านฮอโลแกรมแล้วเลี้ยวเบนออกจากแกนแสงเล็กน้อยในลักษณะเดียวกับสลิตเดี่ยวซึ่งแอมพลิจูดของคลื่นฮอโลแกรมที่จุดต่างๆ บนระนาบสลิตมีค่าต่างๆ กัน

ซึ่งคลื่น U_1 และ U_2 จะอยู่บริเวณตรงกลางใกล้แกนแสง ดังนั้นบริเวณนี้จะมีความเข้มมาก จึงสว่างกว่าบริเวณอื่นคือศูนย์กลางของภาพหรือเป็นภาพลำดับศูนย์ (Zero Order)

U_3 เป็นตัวแทนคลื่นที่เกิดภาพเสมือนของวัตถุที่ระยะ z ซึ่งถูกหักเหจากแกนแสงด้วยมุม θ ซึ่งมองเห็นได้โดยการมองผ่านฮอโลแกรมกลับไปทางแหล่งกำเนิดแสง ดังรูปที่ 2.5 เป็นการเกิดภาพเสมือน โดยจะเกิดที่ระยะเดิมที่วางวัตถุจริง

U_4 เป็นตัวแทนคลื่นที่เกิดภาพจริงของวัตถุที่ระยะ z มีทิศทางตรงกันข้ามกับภาพเสมือน ซึ่งถูกหักเหจากแกนแสงด้วยมุม $-\theta$ และเป็นภาพจริงสามารถจับภาพได้และมองเห็นภาพที่ปรากฏบนฉากนั้นจริง

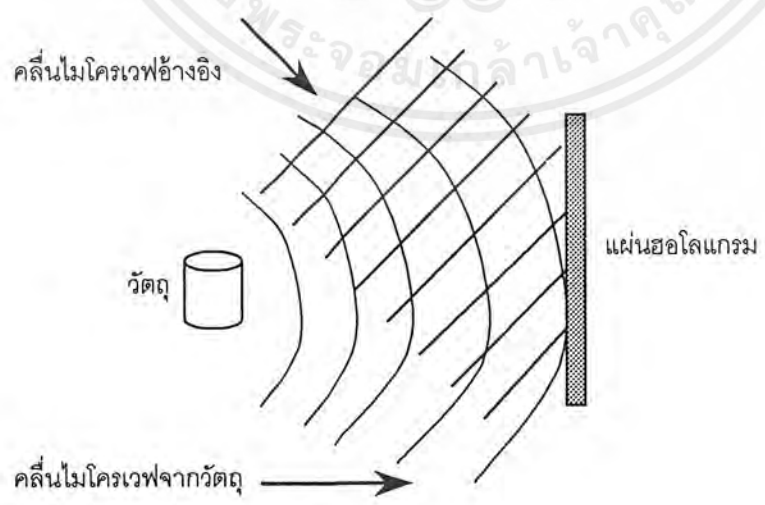


รูปที่ 2.5 แสดงระบบการสร้างภาพกลับมาจากเลเซอร์-ยูแพทนิคส์

สรุปได้ว่าการสร้างภาพกลับมาจากโฮโลแกรมแบบนอกแกนแสงจะต้องเกิดฟังก์ชันคลื่น 4 องค์ประกอบเสมอ การเกิดภาพก็เช่นกันจะเกิดภาพจริงและภาพเสมือนอยู่ตรงกันข้ามเสมอซึ่งระยะห่างของภาพทั้งสองขึ้นอยู่กับมุมของคลื่นอ้างอิงคอนที่ทำการบันทึก

2.2 ไมโครเวฟโฮโลกราฟี

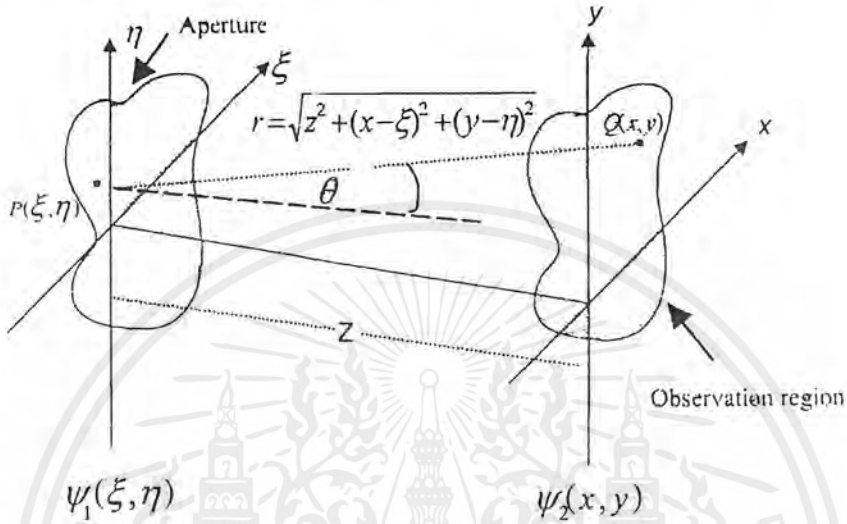
กระบวนการทางไมโครเวฟโฮโลกราฟีเป็นการแทนที่การแทรกสอดของคลื่นวัตถุและคลื่นอ้างอิงในช่วงความยาวคลื่นแสงด้วยคลื่นไมโครเวฟ ดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงระบบอย่างง่าย ๆ ของการบันทึกไมโครเวฟโฮโลกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเมื่อเราพิจารณาให้คลื่นไมโครเวฟมีการเคลื่อนที่แบบโพลาไรซ์ในทิศทางเดียว เราจะสามารถทำนายสมการคลื่นของวัตถุที่ระนาบฮอโลแกรมเมื่อเราทราบสมการคลื่นของวัตถุที่จุดเริ่มต้น โดยใช้การประมาณค่าการเลี้ยวเบนแบบสเกลาร์โดยหลักของฮอยเกนส์และเฟรส์เนลดังนี้



รูปที่ 2.7 แสดงพิกัดเพื่ออธิบายการเลี้ยวเบนของคลื่นที่ระนาบใดๆ

จากรูป พิจารณาจุด P บนระนาบวัตถุ (ξ, η) ซึ่งเป็นสกลิตรูปร่างใดๆ และ Q เป็นจุดใดๆ บนอีกระนาบหนึ่งคือระนาบ (x,y) ซึ่งเป็นระนาบของแผ่นฮอโลแกรม เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านสกลิตบนระนาบ (ξ, η) ไปตกกระทบระนาบ (x,y) ที่จุด Q อัมพลิจูดเชิงซ้อนของคลื่นที่ตำแหน่ง Q เป็นผลรวมคลื่นจากทุกจุดบนระนาบ (ξ, η) และจากหลักการของฮอยเกนส์และเฟรส์เนล สามารถหาฟังก์ชันคลื่นที่ระนาบ (x,y) ได้เป็น

$$\psi_2(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y; \xi, \eta) \psi_1(\xi, \eta) d\xi d\eta \tag{2.9}$$

- โดย $h(x,y;\xi,\eta) = \frac{1}{j\lambda} \frac{\exp(jkr)}{r} \cos\theta$ คือแอมพลิจูดของคลื่นที่แพร่กระจายจากจุด Pมายังจุด Q ในระนาบ (x,y) ซึ่งขึ้นกับมุม θ และระยะ r
- $\psi_1(\xi,\eta)$ คือฟังก์ชันคลื่นในระนาบ (ξ, η)
- θ คือมุมระหว่างเส้นปกติกับทิศทางการแพร่คลื่นที่จุด P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้ θ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ตามเงื่อนไขของเคอร์ชอฟฟ์(Kirchhoff) คือ ทิศทางการแพร่คลื่นไปยังระนาบ (x,y) เมื่อ $\cos \theta \approx 1$ ความผิดพลาดของการแพร่กระจายคลื่นจะไม่เกิน 5 % ถ้ามุม θ ไม่เกิน 18 องศา ดังนั้น r นอกเอ็กซ์โพเนนเชียลสามารถประมาณได้ว่ามีค่าเข้าใกล้ z จึงเขียนฟังก์ชันได้ใหม่คือ

$$h(x, y; \xi, \eta) \cong \frac{1}{j\lambda z} \exp(jkr) \quad (2.10)$$

จากการประมาณค่าของเฟรส์เนลทำให้ได้ว่าสำหรับการเลี้ยวเบนตามเงื่อนไขของเฟรส์เนลสามารถหาระยะ r โดยประมาณได้จาก

$$r = \sqrt{z^2 + (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} \quad (2.11)$$

$$= z \sqrt{1 + \left(\frac{x - \xi}{z}\right)^2 + \left(\frac{y - \eta}{z}\right)^2}$$

จากการกระจายพหุนามเมียบิลของรากที่สองจะได้ว่า

$$\sqrt{1+b} = 1 + \frac{1}{2}b - \frac{1}{8}b^2 + \dots \quad ; |b| < 1$$

ดังนั้นเราจะได้

$$r \cong z \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x - \xi}{z} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{y - \eta}{z} \right)^2 \right] \quad (2.12)$$

จากการประมาณค่าของเฟรส์เนล จึงทำให้สามารถเขียนสมการของ $h(x,y;\xi,\eta)$ ได้เป็น

$$h(x, y; \xi, \eta) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp \left\{ j \frac{k}{2z} [(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2] \right\} \quad (2.13)$$

เมื่อระยะ z เป็นไปตามเงื่อนไข

$$z^3 \gg \frac{\pi}{4\lambda} [(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]_{\max}^2 \quad (2.14)$$

ดังนั้นการรวมกันของจุดทุกๆจุดของฟังก์ชัน $\psi_1(\xi, \eta)$ ที่อยู่บนระนาบ (ξ, η) แปลงไปเป็นฟังก์ชัน $\psi_2(x, y)$ บนระนาบ (x, y) ได้ดังนี้

$$\psi_2(x, y) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_1(\xi, \eta) \exp\left\{j \frac{k}{2z} [(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]\right\} d\xi d\eta \quad (2.15)$$

ซึ่งการแปลง $\psi_1(\xi, \eta)$ ไปเป็น $\psi_2(x, y)$ อยู่ในรูปที่เรียกกันว่า การแปลงเฟรสเนล (Fresnel Transform) แต่ถ้ามองในอีกแง่หนึ่ง พิจารณาในส่วนของอินทิเกรตจะเห็นว่าอยู่ในรูปการคอนโวลูชัน (Convolution) ระหว่าง ฟังก์ชัน $\psi_1(x, y)$ กับฟังก์ชันการแพร่ (propagating function)

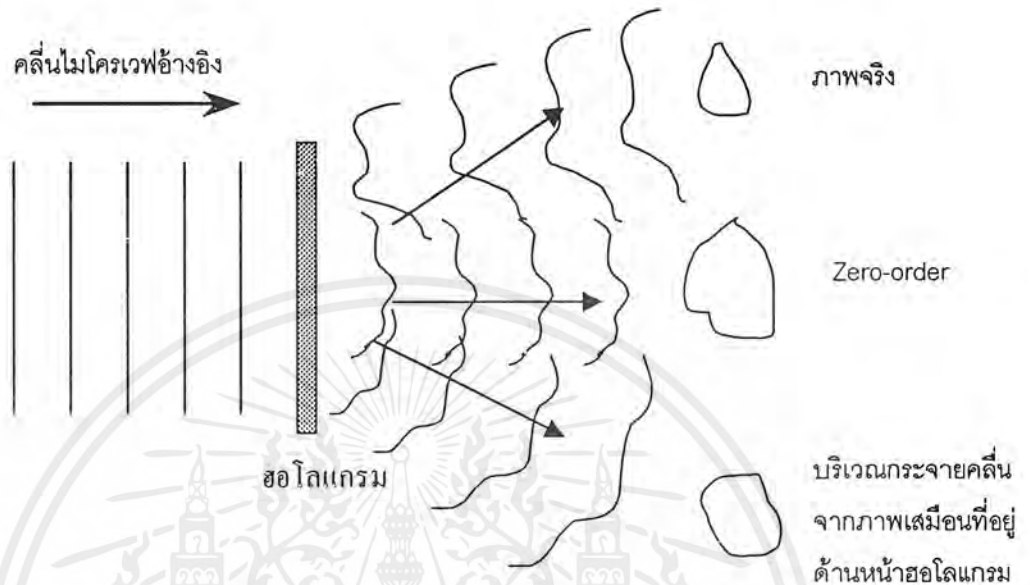
$$p(x, y) = e^{j \frac{k}{2z} (x^2 + y^2)} \quad (2.16)$$

และเมื่อกระจายเทอมกำลังสองของเอกซ์โปเนนเชียล จะได้สมการคลื่อนตามเงื่อนไขของเฟรสเนลเป็น

$$\psi_2(x, y) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp\left[j \frac{k}{2z} (x^2 + y^2)\right] \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \psi_1(\xi, \eta) \exp\left[j \frac{k}{2z} (\xi^2 + \eta^2)\right] \right\} \exp\left[-j \frac{2\pi}{\lambda z} (x\xi + y\eta)\right] d\xi d\eta \quad (2.17)$$

จากสมการ 2.17 แสดงฟังก์ชันคลื่อน $\psi_2(x/\lambda z, y/\lambda z)$ ในระนาบ (x, y) ที่เป็นระนาบของฮอโลแกรม หาได้โดยการแปลงฟูเรียร์สองมิติ จากฟังก์ชัน $\psi_1(\xi, \eta) \cdot \exp\left[j \frac{k}{2z} (\xi^2 + \eta^2)\right]$

รูปแบบการสร้างภาพกลับทางไมโครเวฟฮอโลกราฟีอย่างง่ายจะมีลักษณะคล้ายกับทาง
แสงคั้งนี้



รูปที่ 2.8 แสดงการสร้างภาพกลับ

เช่นเดียวกับกับวิธีการสร้างภาพทางแสงแบบฮอโลแกรมแบบเลเซอร์-ยูเพทนิคส์ เราจะได้
ฟังก์ชันคลื่น 4 องค์ประกอบเสมอ และเมื่อเราทราบค่าฟังก์ชันคลื่นที่ระนาบฮอโลแกรมเราก็จะ
สามารถใช้การประมาณค่าการเลี้ยวเบนแบบสเกลาร์โดยหลักของฮอยเกนส์และเฟรส์เนลเพื่อ
ทำนายฟังก์ชันคลื่นของภาพจริงของวัตถุที่ตำแหน่งที่ต้องการได้เช่นเดียวกัน

2.3 การแยกแยะความละเอียดของภาพ(Resolution of image)

ปัจจัยสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการสร้างภาพที่มีรายละเอียดเหมือนวัตถุมากที่สุดคือ ความสามารถในการแยกแยะตำแหน่งของวัตถุต่างๆ ที่อยู่ห่างออกไปจากจุดสังเกต โดยพิจารณาจากขอบเขตของการกระจายของแต่ละคลื่นที่เกี่ยวข้องกันไปตกกระทบระนาบจุดสังเกต เราจะอาศัยเกณฑ์ของเรย์เล่(Rayleigh's criterion) ในกรณีของแหล่งกำเนิดลักษณะเป็นวงกลม 2 แหล่งวางห่างกันเป็นระยะทางใดๆ บนระนาบเดียวกัน โดยมีขีดจำกัดของการแยกดังนี้

$$\delta = 1.22 \frac{\lambda d}{l} \quad (2.18)$$

เมื่อ δ คือ ขีดจำกัดของการแยกแยะ (resolution limit)

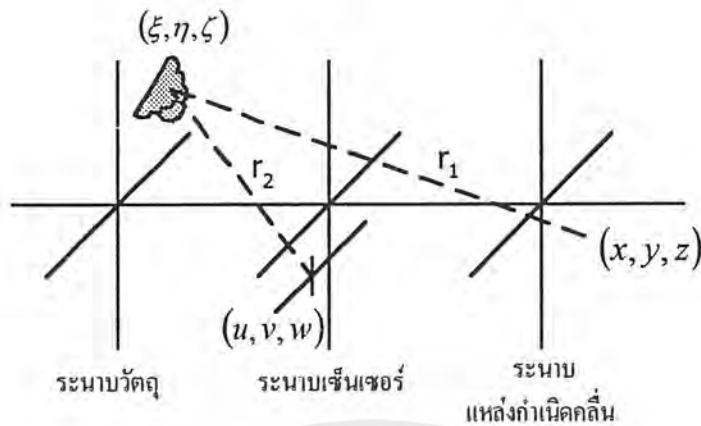
λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิด

l คือ ขนาดของแหล่งกำเนิด

d คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดคลื่นกับจุดสังเกต

ดังนั้นถ้าต้องการให้การแยกแยะความละเอียดของภาพดีขึ้น ควรจะใช้ความยาวคลื่นและระยะห่างจากวัตถุที่สั้น และวัตถุมีขนาดใหญ่

สำหรับระบบทางไมโครเวฟที่สามารถปรับเปลี่ยนได้เพียงแต่ระยะห่างจากวัตถุ (ไม่สามารถปรับเปลี่ยนความยาวคลื่น หรือขนาดของวัตถุได้) มีเทคนิคช่วยให้ระยะห่างระหว่างวัตถุกับระนาบฮอโลแกรมลดลงได้โดยไม่ขัดต่อเงื่อนไขระยะทางของเฟรส์เนลดังนี้



รูปที่ 2.9 แสดงระบบพิกัดสำหรับการบันทึกข้อมูล

จากรูปที่ 2.9 พิจารณาระบบพิกัด (x, y, z) , (u, v, w) และ (ξ, η, ζ) โดยให้ระนาบทั้งสามขนานกันและมีแกนหนึ่งที่ใช้ร่วมกัน แหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดอยู่บนระนาบ (x, y, z) ส่งคลื่นไปยังวัตถุที่ต้องการจะสร้างภาพซึ่งอยู่ที่ระนาบ (ξ, η, ζ) ซึ่งจะมีคลื่นบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านระนาบ (u, v, w) ซึ่งเป็นระนาบเซ็นเซอร์ หลังจากทีคลื่นตกกระทบวัตถุ คลื่นจะสะท้อนกลับมาที่ระนาบ (u, v, w)

ฟังก์ชันคลื่นสนามไฟฟ้าที่ระนาบเซ็นเซอร์ก็จะประกอบด้วยสนามของคลื่นที่ตกกระทบและเดินทางออกมาจากระนาบวัตถุและมีฟังก์ชันการสะท้อนของวัตถุรวมอยู่ด้วย ตามความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\psi_2(u, v, w) = A_1 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_i(\xi, \eta) D(\xi, \eta) \exp(jkr_2) d\xi d\eta \quad (2.19)$$

โดยที่ A_1 เป็นค่าคงที่ และ $D(\xi, \eta)$ คือฟังก์ชันสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนของวัตถุ

โดยสนามที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดมาถึงระนาบวัตถุคือ $E_i(\xi, \eta)$ เป็นสนามหน้าคลื่นทรงกลม

$$E_i(\xi, \eta) = A_2 \exp(jkr_1) \quad (2.20)$$

เมื่อ A_2 เป็นค่าคงที่

เมื่อทำการรวมทั้งสองสมการเข้าด้วยกันใช้เงื่อนไขในการประมาณของเฟรสเนลและแสดงในเทอมของแกนพิกัดฉาก (Cartesian co-ordinates) ดังในรูปที่ 2.9 จะได้คั้งสมการ

$$\psi_2(u, v, w) = A_4 \exp\{jk(w + z)\} \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(\xi, \eta) \exp\left[jk_2 \left\{ \frac{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}{2z} + \frac{(u - \xi)^2 + (v - \eta)^2}{2w} \right\} \right] d\xi d\eta \quad (2.21)$$

โดย A_4 เป็นค่าคงที่

สมการที่ (2.21) นี้เป็นตัวแทนของสนามไฟฟ้าของคลื่นที่สะท้อนมาจากวัตถุ ถ้าทำการสแกน (scan) วัตถุ โดยให้ $x = u$ และ $y = v$ ซึ่งหมายถึงตำแหน่งเซ็นเซอร์และตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่นจะสแกนไปพร้อมกันดังนั้นสมการ ที่ (2.21) เขียนใหม่ตามเงื่อนไขนี้จะได้ว่า

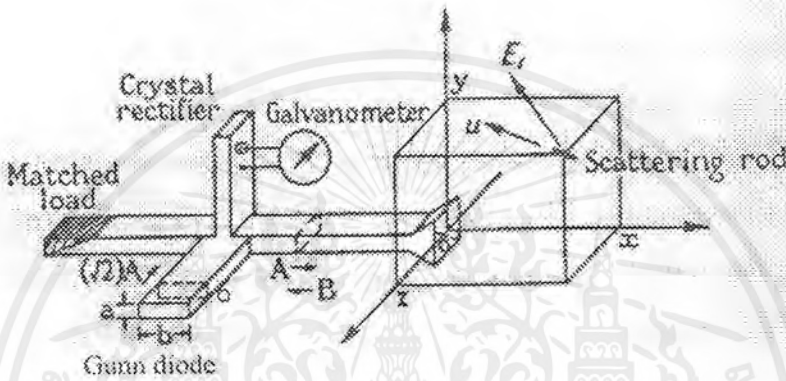
$$\psi_2(u, v, w) = A_4 \exp\{jk_2(w + z)\} \times \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(\xi, \eta) \exp\left[jk_2 \left\{ \frac{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}{2wz/(w + z)} \right\} \right] d\xi d\eta \quad (2.22)$$

ทั้งที่ระยะนาบเซ็นเซอร์อยู่ห่างจากระนาบวัตถุเป็นระยะทาง w แต่สมการที่ 2.22 แสดงถึงสมการการเลี้ยวเบนที่เทียบเท่ากับกรณีการฉายวัตถุด้วยแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่แต่ราวกับว่ามีเซ็นเซอร์อยู่ที่ระยะห่างจากระนาบวัตถุเป็นระยะ $wz/(w+z)$ ซึ่งน้อยกว่า w เสมอ

จากวิธีการเพิ่มความแยกแยะรายละเอียดของภาพด้วยการลดระยะห่างระหว่างวัตถุกับระนาบเซ็นเซอร์(ระนาบฮอโลแกรม)ลงแล้ว ในทางปฏิบัติปัญหาของตัวเซ็นเซอร์ซึ่งถ้าไม่ใช่เรื่องขนาด ก็เป็นสายสัญญาณทองแดง ซึ่งจะสะท้อนคลื่นไปรบกวนระบบกำเนิดคลื่น ทำให้ได้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณเป็นผลให้ข้อมูลผิดพลาดได้ เราจะลดปัญหานี้ได้โดยการลดการรบกวนสัญญาณให้น้อยลงในขณะที่ต้องมีเซ็นซิติวิตี (sensitivity) สูงต่อคลื่นไมโครเวฟความเข้มต่ำ คือ ใช้เทคนิคการกระเจิงคลื่น (modulated scattering) ดังที่จะได้กล่าวต่อไป

2.4 เทคนิคการวัดสนามไฟฟ้าด้วยตัวกระเจิงคลื่น

พิจารณาการจัดเรียงอุปกรณ์สำหรับวัดสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากสายอากาศโดยเทคนิคการกระเจิงคลื่น ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดคลื่น อุปกรณ์ไฮบริด (Hybrid - T), แมทซ์โหลด(match load), ตัวตรวจวัดสัญญาณ(detector), สายอากาศแบบฮอร์น(horn antenna) และแท่งโลหะสั้นกระเจิงคลื่น (Scattering rod) ดังรูป



รูปที่ 2.10 การจัดเรียงอุปกรณ์สำหรับวัดสนามไฟฟ้าด้วยวิธีกระเจิงคลื่น

เมื่อคลื่นจากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ออกจากสายอากาศ กำหนดด้วย A ไปตกกระทบตัวกระเจิงคลื่น ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ตัวกระเจิงคลื่น ดังสมการ

$$E_1(x, y, z) = AF(x, y, z) \quad (2.23)$$

ซึ่งสนามไฟฟ้า E_1 จะแปรตามค่าของ A และ F ซึ่ง F เป็นฟังก์ชันจำนวนเชิงซ้อนไม่มีหน่วยขึ้นกับตำแหน่งของตัวกระเจิง โดยมี u เป็นยูนิตเวกเตอร์ จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีส่วนกลับของลอเรนซ์(Lorentz's Reciprocity Theorem) จะได้คลื่นที่กระเจิงกลับไปในฮอร์นคือ B มีสมการเป็น

$$B = A \left(\frac{j\omega\alpha z_0}{ab} \right) (u \cdot F)^2 \quad (2.24)$$

ω คือความถี่เชิงมุมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

z_0 คืออิมพีแดนซ์ของโหลด H ในท่อนำคลื่น

α คือ โพลไรซ์อะบิลิตี (Polarizability) ของไดโพล

a, b คือ ความกว้างยาวภาคตัดขวางท่อนำคลื่น

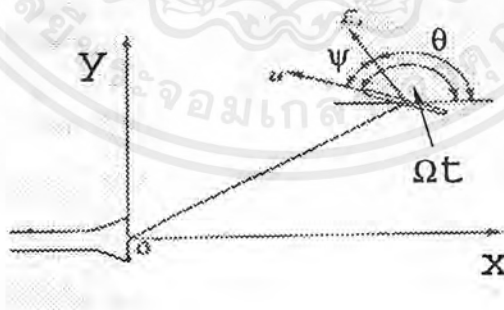
จากสมการ (2.24) ตัวดีเทคเตอร์ (detector) สามารถวัดกระแสไฟฟ้าที่มีความเป็นสัดส่วนกับความเข้มของ B คือ

$$I = K|B|^2 \tag{ 2.25 }$$

แทนสมการ (2.25) ใน (2.24) ได้ว่า

$$I = K \left| \frac{\omega \alpha z_0}{ab} \right|^2 |u \cdot F|^4 |A|^2 \tag{ 2.26 }$$

ในสมการที่ (2.26) คือกระแสที่ตัวตรวจวัดสัญญาณซึ่งจะขึ้นกับสนามไฟฟ้าที่ตัวไดโพล เป็นฟังก์ชันกำลังสี่กรณีที่ยังไม่มีการหมุนตัวไดโพล แต่เมื่อได้ทำการมอดูเลตด้วยการหมุนตัวไดโพลโดยพิจารณาตัวไดโพลขนานกับระนาบ xy และหมุนรอบแกน z ด้วยความเร็วเชิงมุม Ω ดังรูป



รูปที่ 2.11 แสดงการหมุนตัวไดโพล

ดังนั้นในกรณีของคลื่นแบบ โพลาริซ์เชิงเส้นผลลัพธ์ของ $u \cdot F$ เขียนแทนได้เป็น

$$F_t \cos \psi = |F_t| e^{j\phi_t} \cos \psi \tag{ 2.27 }$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

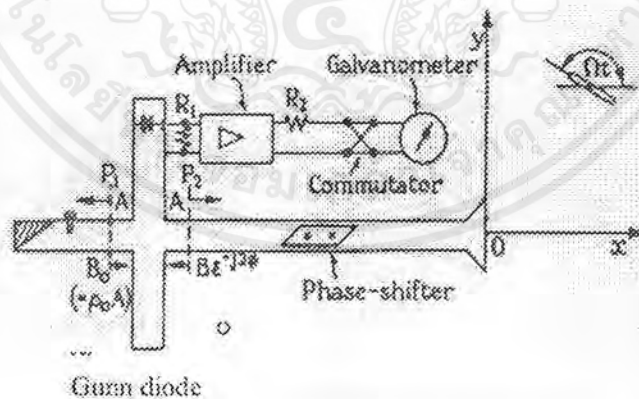
เมื่อ $F(x,y,z)$ เป็นองค์ประกอบของเวกเตอร์ F ในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น (ซึ่งก็คือขององค์ประกอบของเวกเตอร์ F ระนาบ xy) และ ϕ คือมุมเฟสของ F , ดังนั้นสมการที่ (2.27) เขียนใหม่ได้เป็น

$$B = j \frac{\omega \alpha z_0}{ab} |F_t|^2 e^{j2\pi\phi} A \cos^2(\Omega t - \theta) \quad (2.28)$$

ดังนั้นเมื่อแทนสมการ (2.28) ลงในสมการ (2.25) และใช้ความสัมพันธ์ตรีโกณมิติจะได้ กระแสที่ตัวตรวจวัดเป็นผลรวมของเทอมกระแสตรงและเทอมซึ่งมีความถี่ 2 เท่า และ 4 เท่า ของการมอดูเลต เมื่อปรับตัวขยายกระแสหรือใช้ตัวฟิลเตอร์ที่เหมาะสมสามารถตัวเทอมกระแสตรงและเทอมความถี่ 4 เท่าออกไปได้ ซึ่งจะเหลือเพียงเทอมความถี่ 2 เท่าซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการและสำคัญ ดังนั้นกระแสที่ได้เป็น

$$I_2 = K \left| \frac{\omega \alpha z_0}{ab} \right|^2 |F_t|^4 |A|^2 \frac{1}{2} \cos 2(\Omega t - \theta) \quad (2.29)$$

จากสมการที่ (2.29) เมื่อพิจารณากระแสจะเห็นว่ากระแสที่ได้ไม่ตรงกับคุณสมบัติของกฎกำลังสอง



รูปที่ 2.12 การจัดเรียงอุปกรณ์สำหรับวัดสนามไฟฟ้าด้วยวิธีหมุนตัวไดโอด

ปัญหาดังกล่าวจะแก้ไขได้ โดยสร้างคลื่นอ้างอิงขึ้นมากภายในระบบดังรูปที่ 2.12 ซึ่งมีหูดสะท้อนคลื่นที่แมทซ์โหมด ทำให้มีคลื่นอ้างอิง B_0 และเพิ่มอุปกรณ์เลื่อนเฟส(phase shifter) ซึ่งมีผล

ต่อคลื่น B ทำให้ถูกปรับ มุมเฟสไป 2ϕ กระแสที่ตัวตรวจวัดสัญญาณเป็นกำลังสองของฟังก์ชันคลื่นผลลัพธ์จึงมีค่าเป็น

$$i = K|B_0 - Be^{-j2\phi}|^2 \quad (2.30)$$

เมื่อจัดรูปและทำการประมาณในกรณีที่ $|B_0| \gg |B|$ โดยกระจายด้วยทฤษฎีของเทย์เลอร์ในสมการ (2.30) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} i &= K|B_0|^2 \left[1 - \frac{Be^{-j2\phi}}{B_0} \right]^2 \\ &\cong K|B_0|^2 \left[1 - \frac{2Be^{-j2\phi}}{B_0} \right] \\ &\cong K|B_0|^2 \left[1 - \operatorname{Re} \left(\frac{2Be^{-j2\phi}}{B_0} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.31)$$

เมื่อ Re คือส่วนจริง (real part) ของเลขเชิงซ้อน

เพื่อเป็นการสะดวกเรากำหนด $K|B_0|^2$ ด้วยกระแสคงที่ I_0 (ซึ่งเป็นกระแสตอนที่ไม่มีตัวกระเจิงคลื่นอยู่) และ B_0 คือคลื่นสะท้อนจากมุมตึงเกิดที่ระนาบ P_1 กำหนดด้วย $\rho_0 A$ ซึ่ง ρ_0 คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนเนื่องจากการมีมุม สมการที่ (2.31) จึงกลายเป็น

$$i = I_0 \left[1 - \operatorname{Re} \left(\frac{2Be^{-j2\phi}}{\rho_0 A} \right) \right] \quad (2.32)$$

แทนค่า B สมการที่ (2.29) ลงในสมการที่ (2.32) ดังนั้นองค์ประกอบ ความถี่ 2 เท่าของการมอดูเลตของกระแส i คือ

$$I_2 = -I_0 \operatorname{Re} \left(\frac{j\omega\alpha z_0 \exp 2j(\phi_t - \phi)}{\rho_0 A} \right) |F_t|^2 \cos 2(\Omega t - \theta) \quad (2.33)$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$I_2 = I_0 \left(\frac{\omega|\alpha|z_0}{ab|\rho_0|} \right) |F_t|^2 \cos 2(\phi_t - \phi) \cos 2(\Omega t - \theta) \quad (2.34)$$

สมการที่ (2.34) คือสมการของกระแสองค์ประกอบความถี่ 2 เท่าของการมอดูเลตที่ตัวตรวจวัดซึ่งเป็นสัญญาณจากคลื่นที่กระเจิงมาจากตัวไดโพล โดยจะแปรตามสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งของไดโพลเป็นฟังก์ชันยกกำลังสองและสามารถบอกทิศทาง (θ) ได้และยังสามารถทราบมุมเฟส ϕ โดยการปรับเฟสของตัวเลื่อนเฟสจนได้ I_2 โดที่สุด

ซึ่งจากวิธีนี้เราไม่ต้องวางเซ็นเซอร์ไว้ที่ระนาบฮอโลแกรม แต่เราสามารถวัดสัญญาณที่ใดระนาบฮอโลแกรมโดยใช้ตัวกระเจิงคลื่นที่มีขนาดเล็ก จะทำให้ลดปัญหาการรบกวนคลื่นได้

บทที่ 3

ระบบการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ

3.1 แนวคิดของระบบสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ใช้

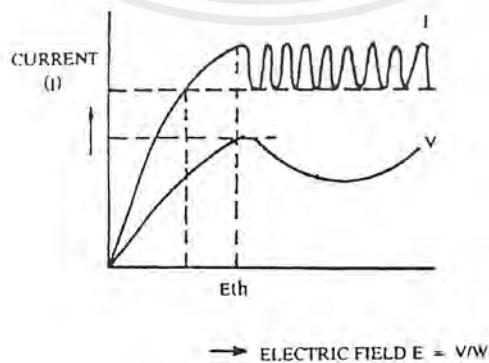
เนื่องจากการเน้นใช้แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่มีความเข้มต่ำและการวัดมีการรบกวนต่อคลื่นน้อย อีกทั้งต้นทุนไม่สูงนักในการสร้างระบบ จึงมีการออกแบบระบบการถ่ายภาพโดยอาศัยเทคนิคการวัดสนามไฟฟ้าด้วยตัวกระตุ้น ทำให้เราสามารถสร้างระบบที่มีตัวตรวจวัดสัญญาณและตัวส่งคลื่นอยู่ภายในอุปกรณ์เดียวกัน (monostatic) และเป็นระบบที่มีการแยกแยะความละเอียดของภาพสูงระบบหนึ่ง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

3.2.1 แหล่งกำเนิดคลื่นแบบกัมมันต์ไดโอด (Gunn Oscillator)

แหล่งกำเนิดคลื่นแบบกัมมันต์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ไมโครเวฟที่ใช้คุณสมบัติของปรากฏการณ์แบบกัมมันต์ของผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (Galium-Arsenide) ชนิด N ส่วนประกอบของแหล่งกำเนิดประกอบด้วยผลึกที่มีอิเล็กโทรด (Electrode) 2 ขั้วบรรจุอยู่ในกล่องโลหะท่อนำคลื่นขนาดเล็กเพื่อทำให้ได้คุณสมบัติการกระจายความร้อน

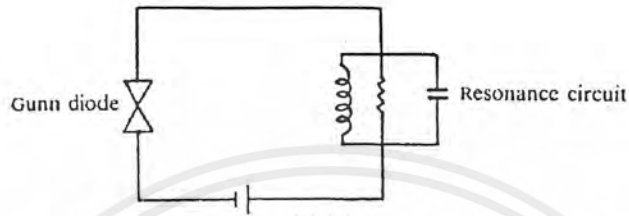
ปรากฏการณ์แบบกัมมันต์ของผลึก GaAs ชนิด N สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการจ่ายไฟฟ้าตรงต่อผลึก เมื่อแรงดันน้อยกระแสไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ผลึก แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงระดับหนึ่งเรียกว่า ค่าแรงดันขีดจำกัด V_{th} (Threshold Voltage) จะเกิดเสถียรภาพทางไฟฟ้า ในผลึกกระแสจะไหลเป็นห้วงเป็นความถี่สลับกับระยะ W ระหว่างขั้วไฟฟ้า จะมีความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสแสดงแสดงในรูปที่ 3.1



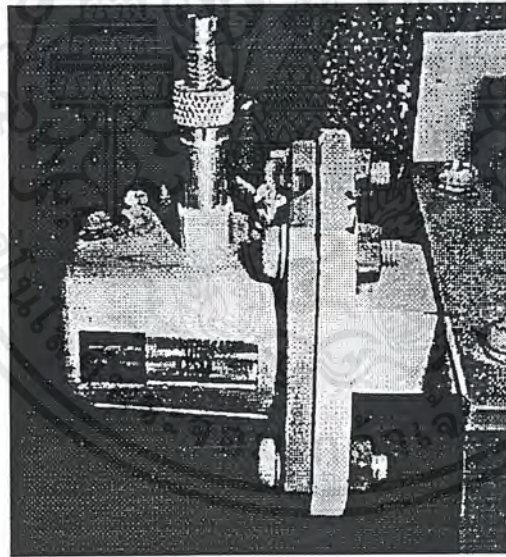
รูปที่ 3.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัณน์ไดโอดทำงานร่วมกับวงจรการกำทอน (resonance circuit) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในกล่องเดียวกันเพื่อนำพลังงานไมโครเวฟที่เกิดขึ้นภายในส่งออกไปยังท่อนำคลื่น วงจรสมนัย (Equivalent circuit) ดังรูปที่ 3.2 ความถี่ในตัวกำเนิดขึ้นอยู่กัวงจรกำทอนเป็นหลัก



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรสมนัยของกัณน์ไดโอดอสซิลเลเตอร์



รูปที่ 3.3 แสดงรูปของกัณน์ไดโอด

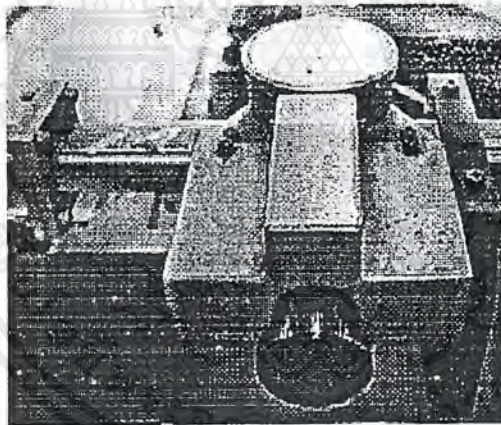
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator)

ตัวลดทอนสัญญาณใช้เป็นอุปกรณ์ลดทอนกำลังไฟฟ้าของสัญญาณที่ผ่านตัวลดทอน ให้มีค่าที่เหมาะสมในการวัดและอยู่ในย่านการวัดของกำลังมิเตอร์ไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยใช้แบบปรับค่าได้ต่อเนื่องค่าการลดทอนมีหน่วย dB หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$A = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (3.1)$$

โดยที่	A	คือค่าการลดทอนเมื่อผ่านตัวลดทอน
	P_{in}	คือกำลังด้านอินพุทของตัวลดทอน
	P_{out}	คือกำลังด้านเอาต์พุทของตัวลดทอน



รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ตัวลดทอนสัญญาณแบบปรับค่าได้

3.2.3 ไดรেকชันนัลคัปเปิลเลอร์ (Directional Coupler)

ไดเรกชันนัลคัปเปิลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำการดึงเอากำลังงานส่วนหนึ่งจากกำลังงานที่ผ่านท่อนำคลื่นหลักออกมา ซึ่งให้เลือกใช้งานตามค่าการลดทอนแบบต่างๆ ตัวคัปเปิลเลอร์ช่วยให้สามารถทำการวัดคลื่นสัญญาณที่มีกำลังสูงด้วยมิเตอร์วัดกำลังต่ำได้ ลักษณะของไดเรกชันนัลคัปเปิลเลอร์ที่ใช้กัน ประกอบด้วย ท่อนำคลื่น 2 ท่อน ประกบติดกัน ปลายท่อนหนึ่งโค้งออกไปทำมุมเอกซอสานนี้เป็นเอกซอสานที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากกับท่อนตรง ไดรเรคชันนัลคัปเปิลอร์จะดึงเอากำลังงานที่ส่งผ่านในท่อนตรงออกมาส่วนหนึ่ง ออกทางแขนเสริม (Auxiliary Arm) หรือท่อนส่วนโค้ง โดยที่ระหว่างท่อนคลื่น 2 ท่อนที่ประกบติดกันนี้จะมีช่องเล็กๆ ให้สัญญาณผ่านออกมาได้ซึ่งช่องหรือรูเล็ก ๆ นี้จะอยู่ห่างกันเท่ากับ $\frac{\lambda}{4}$ ขนาดและจำนวนของรูเล็กเหล่านี้เป็นตัวกำหนดปริมาณของกำลังงานที่สามารถผ่านออกมาที่แขนเสริมที่ปลายโค้งของแขนเสริมจะต่อด้วยเครื่องมือวัดสัญญาณ ส่วนปลายที่เหลือด้านซ้ายมือภายในจะต่อไว้ด้วยโหลด เพื่อดูดกลืนคลื่นที่ผ่านมาไม่ให้เกิดการสะท้อนกลับ

อัตราส่วนกำลังงานที่เข้าในคัปเปิลอร์เทียบกับกำลังงานออกที่แขนเสริมเรียกว่า คัปปลิงแฟคเตอร์ กำลังงานอินพุทใช้สัญลักษณ์ P_{in} และกำลังงานเอาต์พุทที่แขนเสริมใช้ สัญลักษณ์ P_{aux} คัปปลิงแฟคเตอร์หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

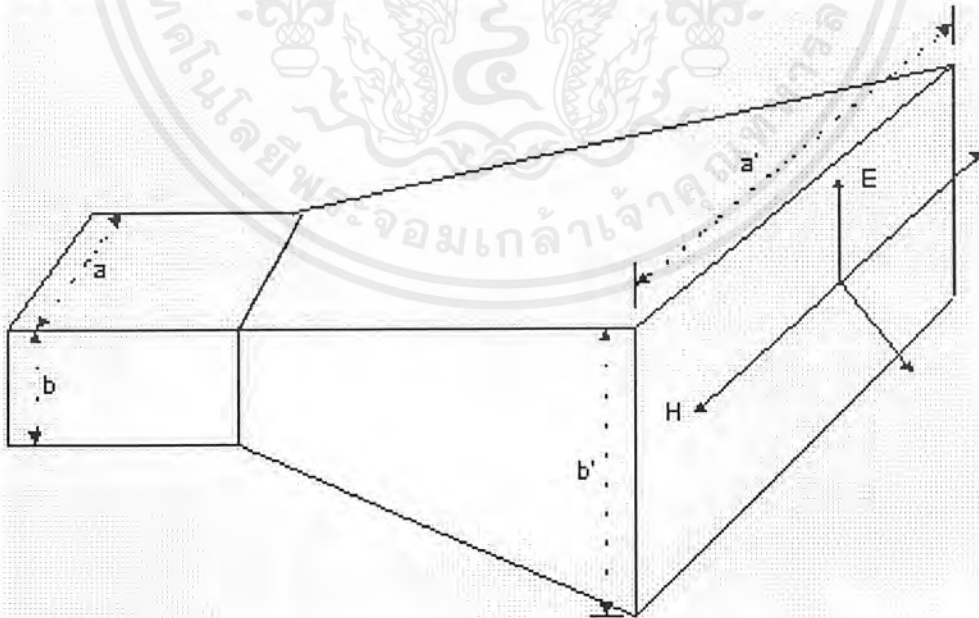
$$C = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{aux}} \quad (3.2)$$

โดยที่ C (dB) = คัปปลิงแฟคเตอร์

P_{in} = กำลังอินพุทเข้าสู่คัปเปิลอร์

P_{aux} = กำลังเอาต์พุทที่แขนเสริม

3.2.4 สายอากาศแบบฮอร์นทรงพีระมิด (Pyramidal Horn Antenna)



รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างสายอากาศแบบฮอร์นทรงพีระมิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งคลื่นจากที่ว่างเข้าไปในท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม(rectangular waveguide) โหมดในการแพร่กระจายคลื่นของท่อนำคลื่นที่ได้รับจะเหมือนโหมดการกระจายของคลื่นในที่ว่าง แต่เนื่องจากเกิดความไม่สม่ำเสมอหรือจะเรียกว่าความไม่ต่อเนื่อง(Discontinuity)ของสายนำสัญญาณท่อนำคลื่น ที่จุดอินพุต ดังนั้นในการแพร่กระจายคลื่นผ่านช่วงรอยต่อนี้จะเกิดคลื่นในโหมดที่ลำดับสูงขึ้น โดยที่คลื่นโหมดนี้จะไม่แพร่ กระจายต่อไปเมื่อผ่านพื้นช่วงรอยต่อ จะถูกกลทอนจนหมด ส่วนการส่งผ่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านจากท่อนำคลื่นออกสู่ที่ว่าง การส่งผ่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงสุด (Excellent Efficiency) ก็ต่อเมื่อไม่มีการมิสแมทซ์(mismatch)เกิดขึ้นที่ท่อนำคลื่น ซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณผลที่ตามมาจะเกิดความสูญเสียทางกำลังงาน และมีการก่อดั้วของคลื่นนิ่งขึ้นในท่อนำคลื่นด้วย สำหรับบริเวณช่วงรอยต่อของท่อนำคลื่นกับที่ว่างสามารถทำให้เกิดการเมทซิงขึ้นได้ด้วยการปรับท่อนำคลื่นช่วงปลายนี้ให้มีลักษณะเหมือนฮอรันทิงพีระมิด ท่อนำคลื่นจะถูกเมทซิงเข้ากับที่ว่าง โดยผ่านช่วงปากแตร และในช่วงทรานซิชัน(Transistion Region)นี้ จะเกิดคลื่นในโหมดที่สูงกว่าด้วย เพื่อให้การแพร่กระจายคลื่นสามารถเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและพฤติกรรมของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กเป็นไปตามเงื่อนไขขอบเขตรอยต่อ (Boundary Condition)

3.2.5 ตัวตรวจวัดสัญญาณ (Detector)

การวัดกำลังงานในย่านความถี่ไมโครเวฟกำลังต่ำนั้น วิธีหนึ่งคือการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นค่ากระแสตรง กรรมวิธีในการเปลี่ยนแปลงนี้เราเรียกว่า การดีเทคชัน(Detection) หรือบางครั้งต้องการเปลี่ยนความถี่ของคลื่นสัญญาณหนึ่งให้เป็นคลื่นสัญญาณหลายความถี่ต่างๆ กัน หรือเป็นชุดอนุกรมของความถี่ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำหน้าที่นี้เราเรียกว่า มิกเซอร์ (Mixer) ไมโครเวฟมิกเซอร์มีข้อแตกต่างจากตัวตรวจวัดสัญญาณไมโครเวฟ(Microwave Detector)ตรงที่จะมีอินพุตของคลื่นสัญญาณสองอินพุต ในขณะที่ตัวตรวจวัดสัญญาณไมโครเวฟจะมีอินพุตเพียงหนึ่งอินพุต ในการใช้งานตัวตรวจวัดสัญญาณและมิกเซอร์ไดโอดจะติดบนฐานหรือที่เรียกว่าตัวตรวจวัดสัญญาณและมิกเซอร์เม้าท์เพื่อลดการสะท้อนกลับอันเนื่องจากการมิสแมทซิงให้เหลือน้อยที่สุด

ดีเทคชันคือการกรองคลื่นสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency Signal) ให้เป็นสัญญาณตรง ซึ่งเป็นสัดส่วนกับกำลังของสัญญาณ โดยใช้ไดโอดเฉพาะซึ่งทำงานตลอดย่านความถี่ไมโครเวฟในการรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น คลื่นไมโครเวฟจะถูกแปลงสัญญาณ (Rectified) ด้วยไมโครเวฟไดโอด และกรองความถี่สูงออกโดยใช้ตัวคาปาซิเตอร์ (Capacitor) เพื่อให้ได้กระแสตรง ในระบบงานวิจัยนี้ใช้ไมโครเวฟมิกเซอร์



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์ไมโครเวฟมิกเซอร์

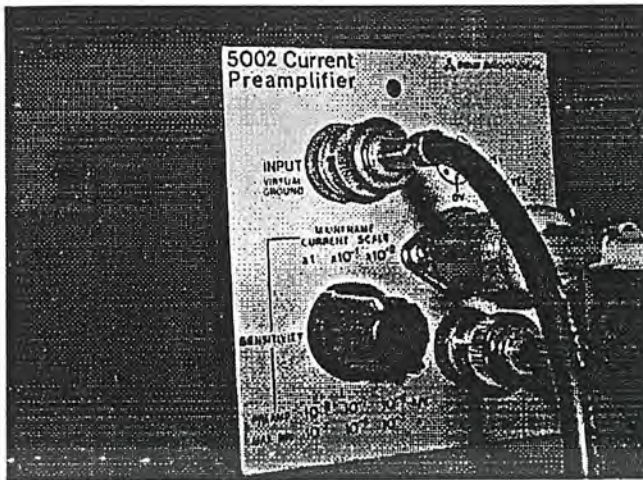
ไดโอดเป็นสิ่งประดิษฐ์แบบนอนลิเนียร์ (Nonlinear) คือการทำงานไม่เป็นเชิงเส้น ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการตรวจวัดสัญญาณ สัญญาณการแปลงความถี่ และการผลิตความถี่ฮาร์โมนิก ไดโอดที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟจะมีค่าการเก็บประจุ ค่าการเหนี่ยวนำ และค่าน้อยสปีฟิเคชันต่ำ (Noise Figure) สามารถทำงานได้ถึงความถี่ 100 จิกะเฮิรตซ์ ไมโครเวฟไดโอดที่ใช้กันทั่วไปคือ ซ็อกเก็บบารีเยอร์ไดโอด (Schottky Barrier Diode)

3.2.6 ชุดมอดูเลตความถี่และตัวกระจายคลื่น (Frequency Modulation Unit Scatterer)

ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้ไดโอดเปล่งแสง MF0E71 มอดูเลตด้วยความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ ส่งแสงที่มอดูเลตแล้วผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติกไปยังโฟโตไดโอด MF0D71 ที่ทำหน้าที่เป็นไดโอด กระจายคลื่น

3.2.7 อุปกรณ์ขยายสัญญาณขั้นต้น (Preamplifier)

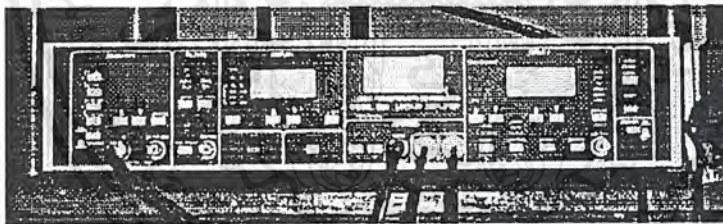
ทำหน้าที่ขยายสัญญาณกระแสที่เกิดจากตัวตรวจวัดภายในขั้นต้นเพื่อนำไปขยายในภาคขยายต่อไป



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องขยายสัญญาณขั้นต้น

3.2.8 เครื่องขยายสัญญาณแบบล็อก-อิน (Lock-in amplifier)

เป็นอุปกรณ์สำคัญในการเพิ่มขนาดของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน ทำหน้าเลือกขยายสัญญาณที่แปรตามความถี่ที่มอดูเลต เพื่อนำไปบันทึกเป็นวีวฮอโลแกรมที่เกิดบริเวณระนาบตัวกระเจิงคลื่น



รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อก-อิน

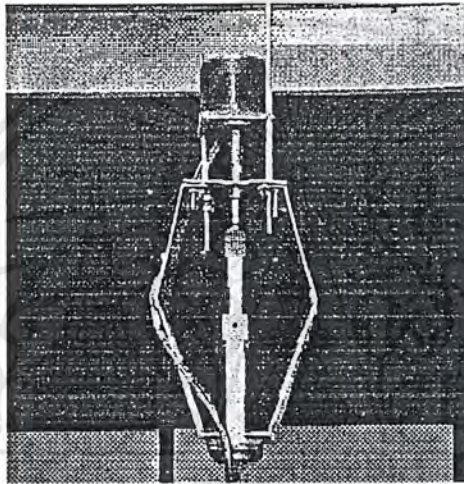
3.2.9 การ์ดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D card)

ทำหน้าที่แปลงแรงดันที่เอาท์พุทของเครื่องขยายสัญญาณแบบล็อก-อิน ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต เพื่อนำไปบันทึกในคอมพิวเตอร์ต่อไป

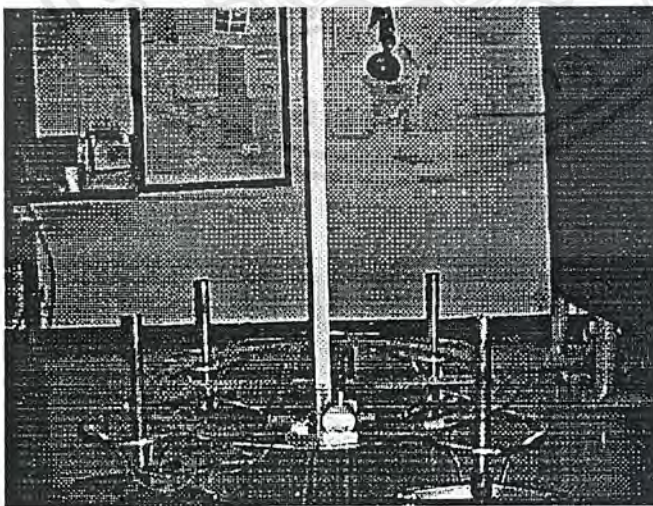
3.2.10 ชุดเลื่อนตำแหน่งวัตถุและตัวปรับเฟสคลื่นอ้างอิง

(Scanner and Reference Wave Phase – Shifter)

ใช้ สเตปปีงมอเตอร์เป็นตัวเลื่อนซึ่งควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์ติดต่อภายนอก เพื่อเลื่อนตำแหน่งของวัตถุอัตโนมัติ(เฉพาะแนวนอน) ในขณะที่ทำการตรวจวัดสัญญาณและปรับเฟสของคลื่นอ้างอิงให้สอดคล้องกับตำแหน่งของวัตถุ



รูปที่ 3.9 แสดงชุดปรับเฟสคลื่นอ้างอิง

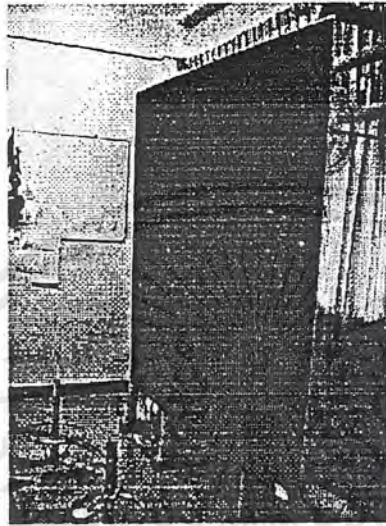


รูปที่ 3.10 แสดงชุดเลื่อนตำแหน่งวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11 แผงดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Absorber Panel)

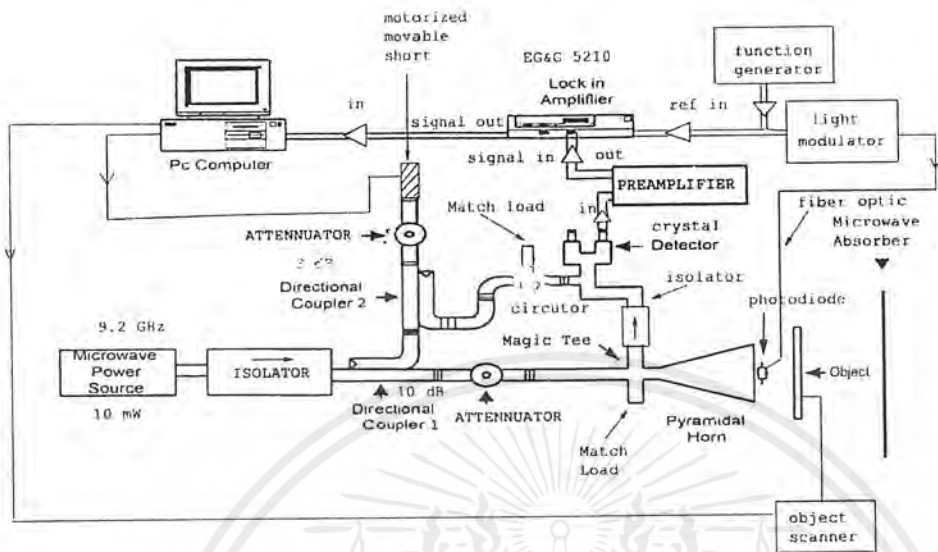
ทำหน้าที่ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟไม่ให้สะท้อนกลับ สำหรับในงานที่ใช้มีค่าลดทอนการสะท้อน 12 เดซิเบลที่ความถี่ในย่าน 9 จิกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 3.11 แสดงแผงดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ระบบและการทำงานถ่ายภาพ



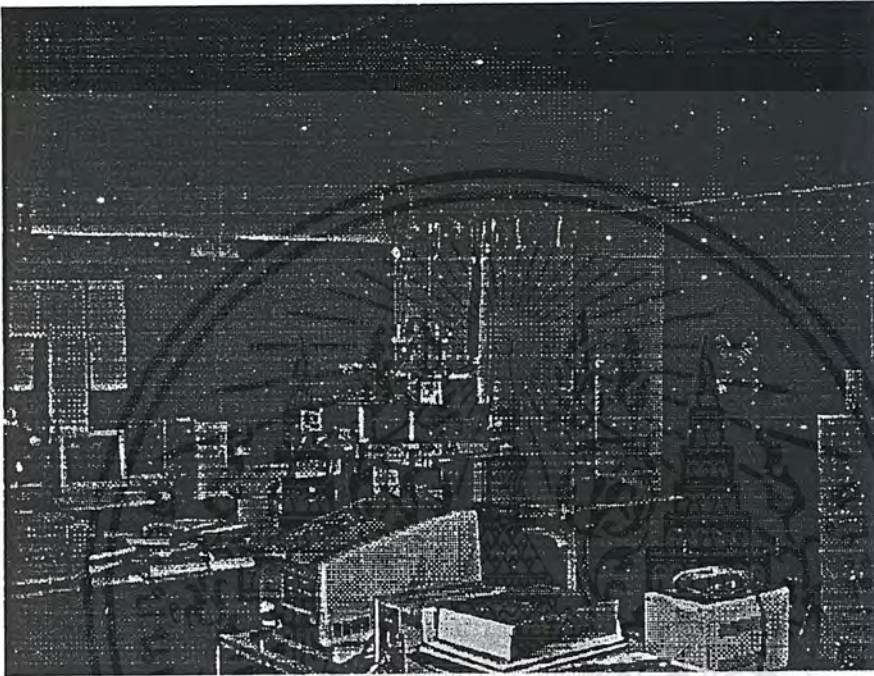
รูปที่ 3.12 รูปแบบแผนระบบการถ่ายภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ใช้และปรับปรุงระบบการสร้างภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟที่นักศึกษาปริญญาโทได้ออกแบบและสร้างไว้ ซึ่งเป็นแบบโมโนสแตติกโดยใช้ฮอร์นทรงพีระมิดเป็นตัวส่งและรับคลื่นภายในอุปกรณ์เดียวกันและใช้เทคนิคการกระเจิงคลื่นด้วยตัวไดโพล

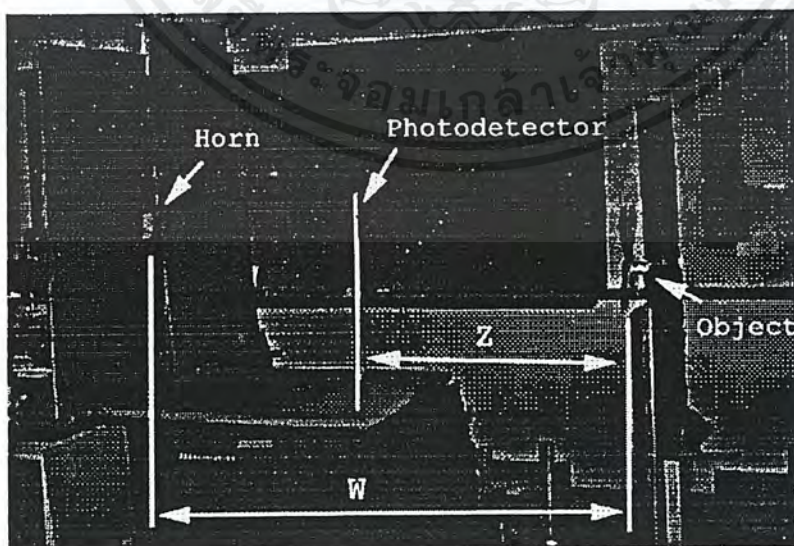
เมื่อคลื่นไมโครเวฟจากแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ 9.2 จิกะเฮิรตซ์ ส่งผ่านท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมผ่านไอโซเลเตอร์ (Isolator) เพื่อกันคลื่นย้อนกลับไปรบกวนแหล่งกำเนิดคลื่น และผ่านต่อไปยังไดเรกชันเนลคัปเปอร์ตัวที่หนึ่ง คลื่นจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 10 คลื่นที่มีขนาด 1/10 เท่า จะตรงไปยังไดเรกชันเนลคัปเปอร์ตัวที่สองเพื่อทำเป็นสัญญาณอ้างอิง ส่วนคลื่นที่มีขนาด 9/10 จะผ่านตัวลดทอนสัญญาณผ่านแมจิกที และกระจายออกไปตรวจวัดวัตถุโดยเสาอากาศแบบฮอร์นทรงพีระมิด คลื่นที่สะท้อนกลับจากวัตถุกลับมายังเสาอากาศ เราจะวัดเฉพาะสัญญาณคลื่นที่ถูกรบกวน โดยตัวกระเจิงคลื่นไดโพลแบบโพโตไดโอดซึ่งถูกมอดูเลตด้วยสัญญาณความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นตัวแทนของสัญญาณของวัตถุที่ระนาบไดโพล คลื่นที่ถูกรบกวนซึ่งมีองค์ประกอบความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ จะเคลื่อนที่เข้าสู่เสาอากาศและไปแทรกสอดกับคลื่นอ้างอิง ต่อจากนั้นคลื่นที่เป็นผลลัพธ์ จะแปลงเป็นสัญญาณที่ความถี่ต่ำด้วยมิกเซอร์ และผ่านภาคขยายขั้นต้นเพื่อขยายกระแส ต่อไปยังภาคขยายสัญญาณแบบล็อก-อินเพื่อเลือกขยายสัญญาณที่ความถี่ 50 กิโลเฮิรตซ์ ต่อจากนั้นแรงดันเอาท์พุทซึ่งเป็นแรงดันแบบอนาล็อกจะถูกส่งไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 12 บิต และบันทึกโดยคอมพิวเตอร์ซึ่งควบคุมจังหวะการเก็บข้อมูลให้สอดคล้องกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการเลื่อนของวัตถุ โดยสแกนเนอร์ และตัวปรับเลื่อนเฟสของคลื่นอ้างอิง ซึ่งต่างก็ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ในการทดลองเรามีการจัดตำแหน่งของฮอร์น ตัวกระจิงและวัตถุดังรูปที่ 3.14 โดยชุดของฮอร์นและตัวกระจิงอยู่กับที่ แต่เราจำลองสถานการณ์การเลื่อนสแกนโดยการเลื่อนวัตถุแทน โดยเงื่อนไขที่เลือกคือ ขยับไปที่ละ 0.54 เซนติเมตรในแนวนอน(แกน x) 64 จุดจากจุดล่างสุดของแนวตั้ง (แกน y) ขึ้นมาทีละ 0.54 เซนติเมตรเป็นจำนวนทั้งสิ้น 64 แถว

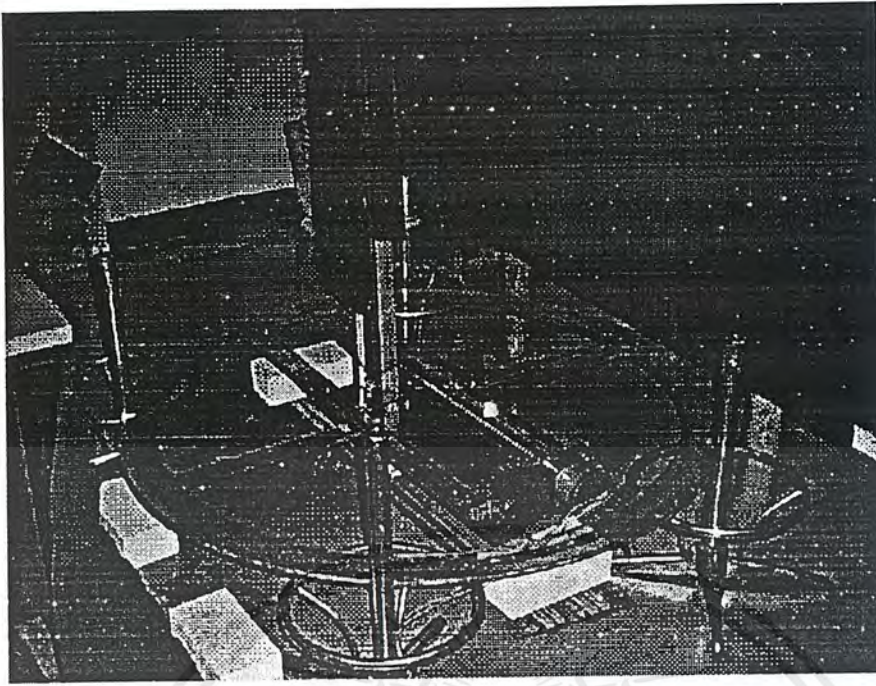


รูปที่ 3.13 รูประบบการถ่ายภาพด้วยคลื่นไมโครเวฟ

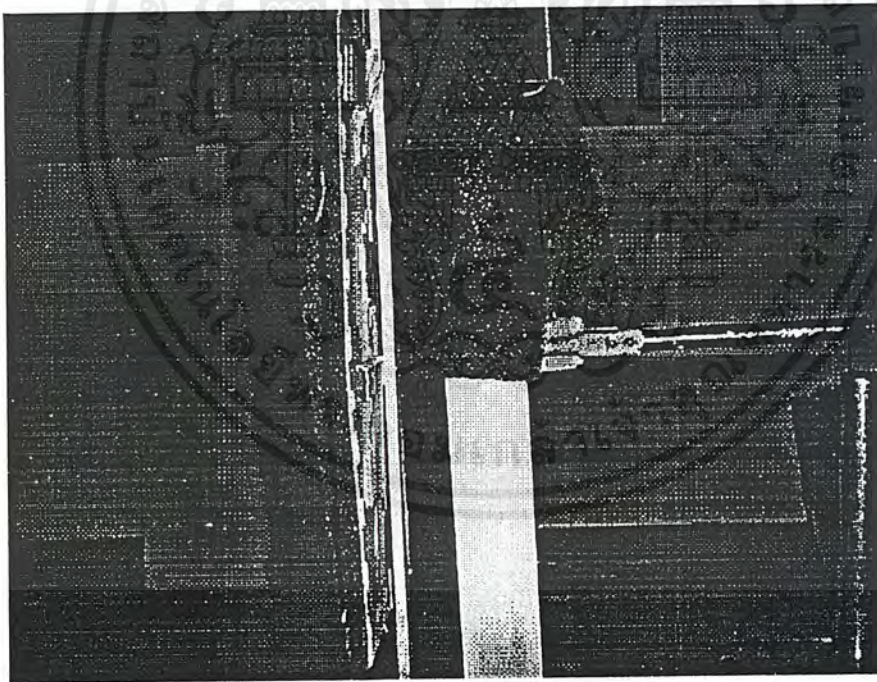


รูปที่ 3.14 รูปแสดงระยะต่างๆที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ระบบการเคลื่อนวัตถุในแนวนอนอัตโนมัติ



รูปที่ 3.16 การเคลื่อนวัตถุในแนวตั้งยังคงเป็นแบบใช้มือปรับ (manual)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการสร้างภาพกลับ

ในโครงการพิเศษนี้ เราใช้วิธีการสร้างภาพกลับมาโดยทางดิจิทัล โดยนำข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ในรูปของเมตริกซ์ ที่เป็นตัวแทนการกระจายคลื่นในรูปความเข้มซึ่งเกิดจากรีรอยการแทรกสอดของคลื่นวัตถุและคลื่นอ้างอิงมาสร้างภาพวัตถุที่ระนาบที่ต้องการ โดยใช้สมการของเฟรส์เนล ซึ่งต้องนำข้อมูลมาจัดให้อยู่ในรูปแบบตามสมการของเฟรส์เนลก่อน หลังจากนั้นทำการหาค่าสมการของเฟรส์เนลที่ระนาบที่ต้องการ โดยใช้การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast-Fourier Transform) เป็นอัลกอริทึม (Algorithm) สำหรับการคำนวณการแปลงฟูเรียร์แบบดิสครีต (Discrete Fourier Transform) ด้วยโปรแกรม แมทแล็บ (MATLAB)

$$I(u, v) = \int \int_{-\infty}^{\infty} Bt_r(x / \lambda z', y / \lambda z) \exp \left[j(\pi / \lambda z') \left(\left(\frac{x}{\lambda z'} \right)^2 + \left(\frac{y}{\lambda z'} \right)^2 \right) \right] \exp \left(-j2\pi \left[\frac{ux}{\lambda z'} + \frac{vy}{\lambda z'} \right] \right) dudv \quad (3.3)$$

I คือ ฟังก์ชันคลื่นที่ระนาบของภาพ (Image plane) ที่เกิดจากการทำเฟรสนิทธานฟอร์มต่อข้อมูลความเข้มบนฮอโลแกรม

t_r คือ ค่าความเข้มของคลื่นวัตถุแทรกสอดกับคลื่นอ้างอิงที่วัดโดยตัวตรวจวัด

B คือ อัมพลิจูดของคลื่นระนาบที่ใช้ในการสร้างภาพกลับ

z' เป็นระยะสัมพัทธ์หาได้จาก $wz / (w + z)$

w คือ ระยะห่างระหว่างตัวตรวจวัดกับวัตถุ

z คือ ระยะห่างระหว่างตัวโคโพลาระเจิงคลื่นกับวัตถุ

λ เป็นความยาวคลื่นที่มาจากวัตถุ

ความเข้มของภาพที่จะนำมาสร้างภาพวัตถุหาได้จาก $I \cdot I^*$ และในการแปลงฟูเรียร์เราจะได้นขนาดของกรอบที่แสดงภาพดังนี้

$$L(u, v) = \frac{\lambda z'}{\Delta L(x, y)} \quad (3.4)$$

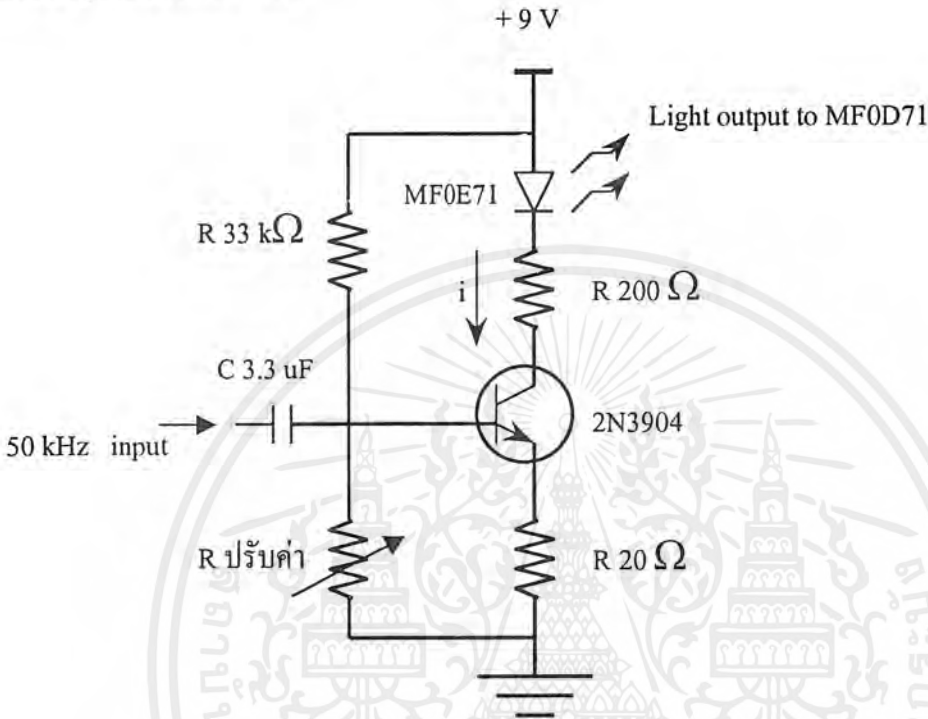
$L(u, v)$ = ขนาดของกรอบของภาพ

$\Delta L(x, y)$ คือ ขนาดช่องระหว่างจุดเก็บข้อมูลถัดกัน (grid space) ของระนาบฮอโลแกรมที่ทำกรบันทึก

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การหาจุดไบอัสที่เหมาะสม

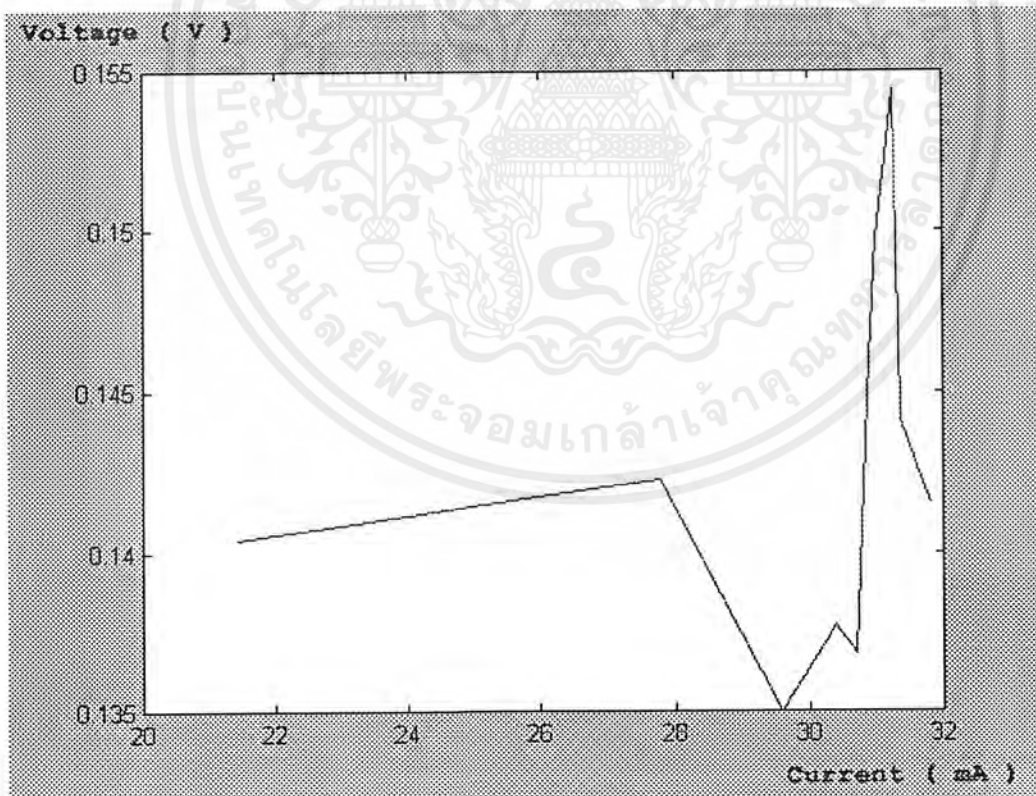


รูปที่ 4.1 วงจรทดลองการหาจุดไบอัสที่เหมาะสม

เนื่องจากกำลังคลื่นตัวส่งตลอดจนขนาดของตัวกระจงคลื่นมีค่าน้อย ทำให้สัญญาณของคลื่นกระจงมีระดับต่ำมาก ในการมอดูเลตแสงความถี่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์แบบรูปซายน์ (sinusoidal) ที่อัมปลิจูดคงที่ ค่าความเข้มแสงส่วนที่คงที่ (dc-bias) ซึ่งฉายไปยังโฟโตไดโอดเป็นไดโพลตัวกระจงคลื่นมีผลต่อระดับความแรงของสัญญาณขาออกของเครื่องขยายสัญญาณล็อกอิน จึงต้องมีการปรับค่าการทดลองหาจุดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สัญญาณแรงที่สุด จากวงจรมอดูเลตแสงเราจะปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ ตั้งแต่ 1 – 100 kΩ เราจะวัดดูส่วนกระแสตรง i ที่ไหลผ่านไดโอด MF0E71 และสังเกตสัญญาณแรงดันของไมโครเวฟที่วัดได้จาก ภาคขยายแบบล็อกอิน โดยอินพุทที่ป้อนเข้าต้องมีค่าอัมปลิจูดของสัญญาณไม่สูงเกินจนทำให้สัญญาณเอาต์พุตผิดเพี้ยนไปที่ ความถี่มอดูเลต 50 กิโลเฮิร์ตซ์

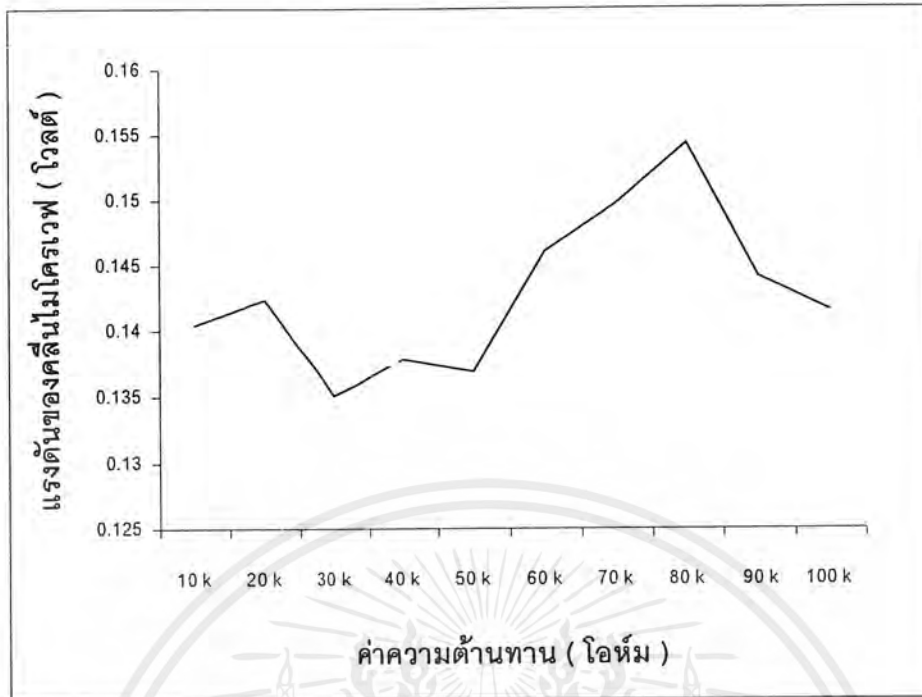
ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเปลี่ยนจุดไบอัสโดยปรับค่าความต้านทานต่างๆ

ค่าความต้านทาน	กระแสที่ไหลผ่าน MF0E71 (mA)	ความแรงของคลื่นไมโครเวฟ ที่วัดได้ (V)
10 k Ω	21.4	0.1404
20 k Ω	27.8	0.1423
30 k Ω	29.6	0.1350
40 k Ω	30.4	0.1377
50 k Ω	30.7	0.1368
60 k Ω	30.9	0.1460
70 k Ω	31	0.1497
80 k Ω	31.25	0.1544
90 k Ω	31.35	0.1441
100 k Ω	31.8	0.1415



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟระหว่างค่ากระแสเมื่อเปลี่ยนจุดไบอัสกับแรงดันไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



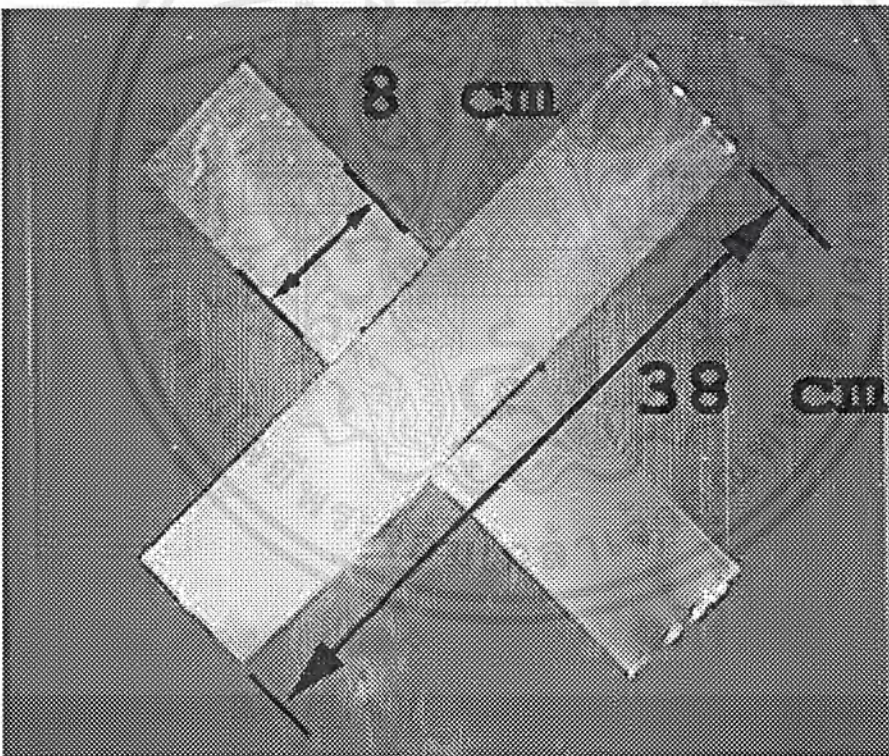
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟระหว่างค่าความต้านที่ใช้เปลี่ยนจุดไบอัสกับแรงดันไมโครเวฟ

จากการกราฟเราจะเลือกใช้ค่าความต้านทาน 80 กิโลโอห์มเพื่อให้ได้ความแรงของสัญญาณไมโครเวฟที่ดีที่สุด

4.2 รูปร่างของวัตถุต่างๆ ที่ใช้ในการถ่ายภาพ รูปแสดงความเข้มของรีวิการแทรกสอดที่ได้จากการถ่ายภาพ และการสร้างภาพกลับด้วยเงื่อนไขต่างๆ

ในการทดลองได้มีการปรับเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุ (แบบที่ 1-11), ขนาดของฮอร์นเล็ก (S) หรือ ใหญ่ (L), มุมกระทำของคลื่นอ้างอิง θ ($\theta_1 = 30^\circ$, $\theta_2 = 36.86^\circ$), ระดับการลดทอนคลื่นอ้างอิง (A - dB), จำนวนจุดเก็บข้อมูลหรือ matrix size M (64 x 64) หรือ (100 x 100), ระยะห่าง Z' ของวัตถุ, โดยสำหรับวัตถุรูปแบบที่ 1 ได้มีข้อมูลการทดลองเมื่อใช้ชุดไดโอดเลเซอร์ในการมอดูเลต (ชุดมอดูเลตเดิม) ด้วย สำหรับการทดลองนำแผ่นพลาสติกหนา 3 มิลลิเมตร มาบดบังได้มีการกระทำกับวัตถุแบบที่ 11 เท่านั้น

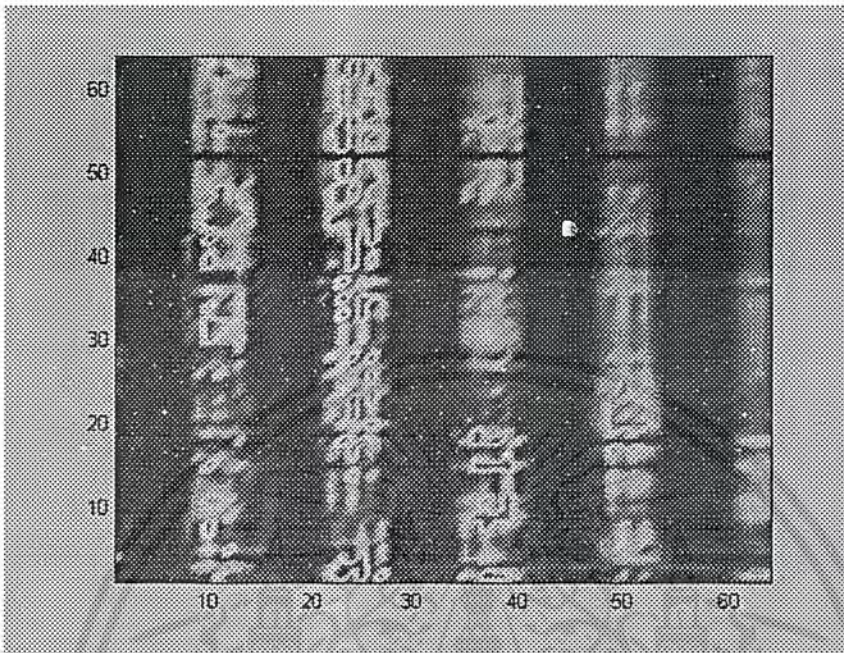
4.2.1 การทดลองกับวัตถุแบบที่ 1



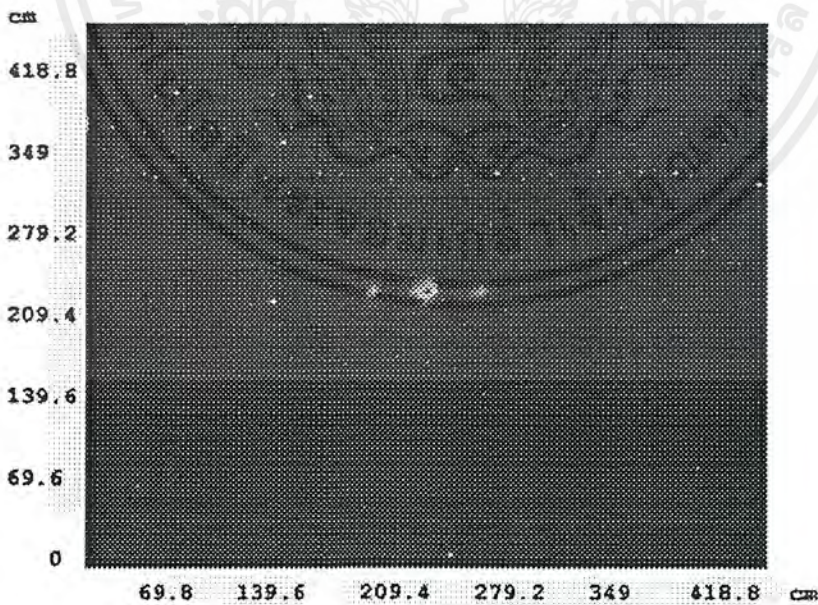
รูปที่ 4.4 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 1 ฮอรั่น L , $\theta = 30^\circ$, $A = 0 \text{ dB}$, $M = 64 \times 64$,
 $Z' = 74 \text{ cm}$ ใช้ชุดมอดูเลตด้วยไดโอดเลเซอร์

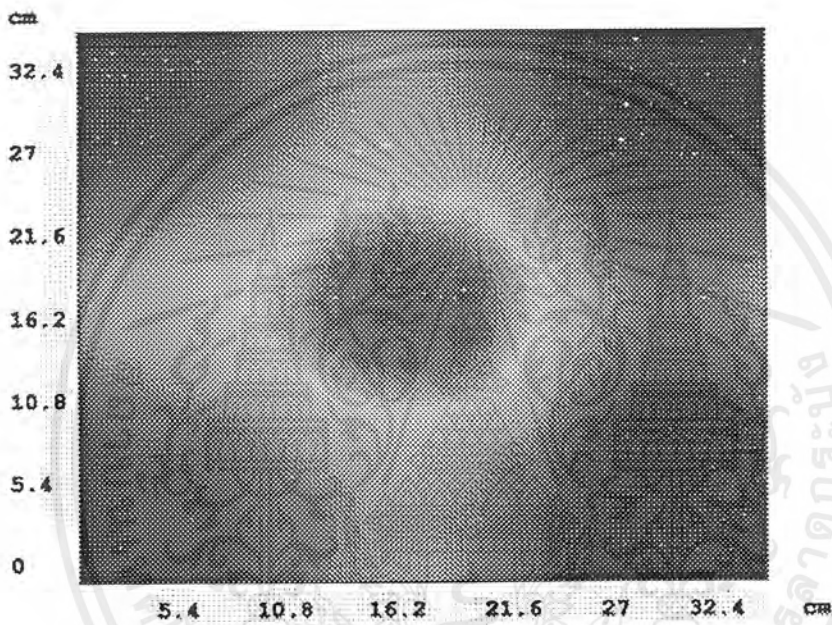


รูปที่ 4.4.1ก แสดงความเข้มของรีฟารแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 1, $L, 30^\circ, 0 \text{ dB}, 64 \times 64, 74 \text{ cm}$, ชุดมอดูเลตเดิม



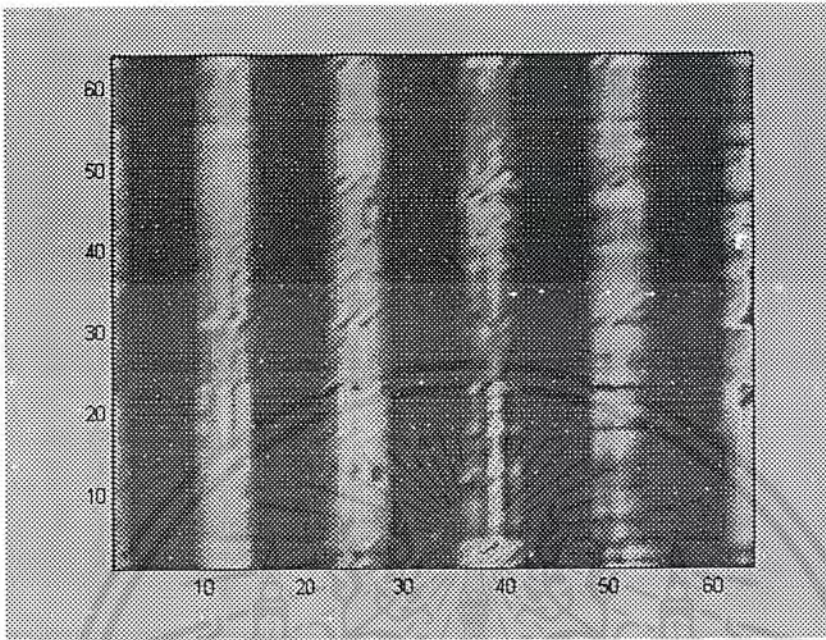
รูปที่ 4.4.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 1, $L, 30^\circ, 0 \text{ dB}, 64 \times 64, 74 \text{ cm}$, ชุดมอดูเลตเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

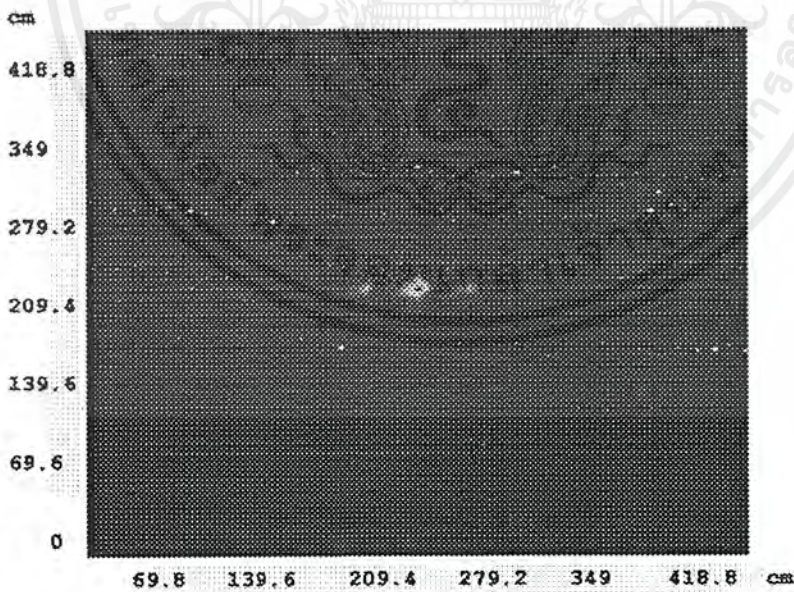


รูปที่ 4.4.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนโวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30° , 0 dB, 64 x 64, 74 cm, ชุดมอดูเลตเดิม

4.2.1.2 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 1 สอรั้น L, $\theta = 30^\circ$, A = 0 dB, M = 64 x 64,
 $Z' = 74$ cm

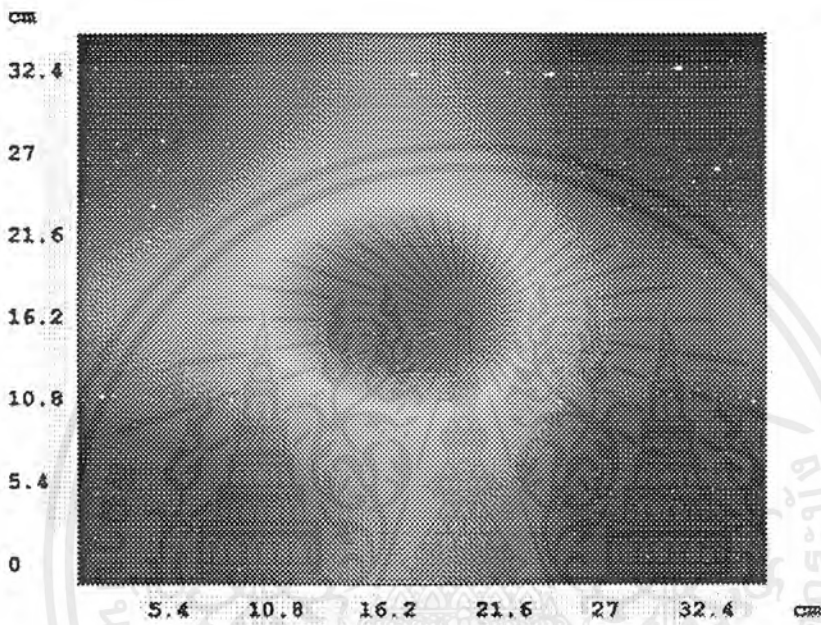


รูปที่ 4.4.2ก แสดงความเข้มของรีฟเลกชันแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30° , 0 dB, 64 x 64, 74 cm



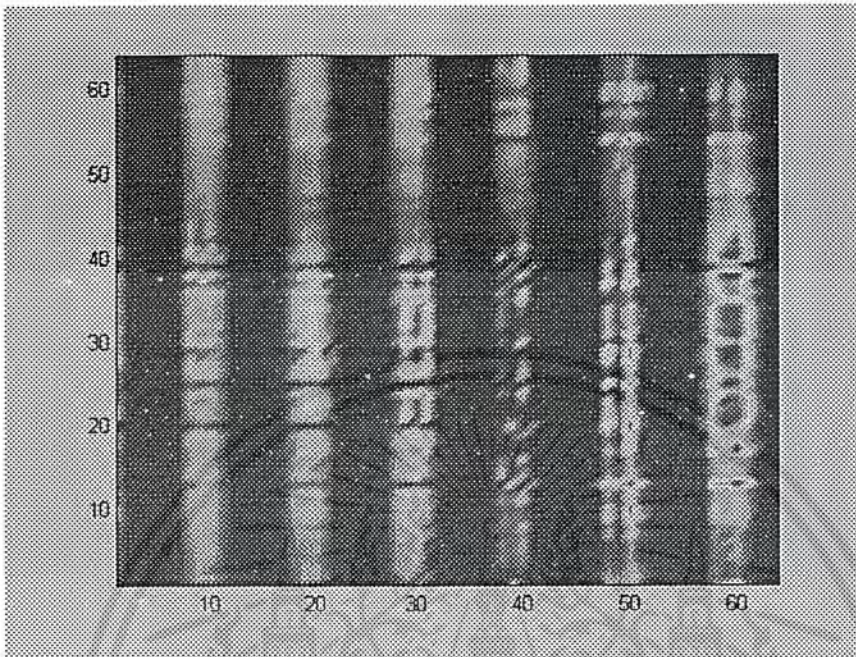
รูปที่ 4.4.2ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L, 30° , 0 dB, 64 x 64, 74 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

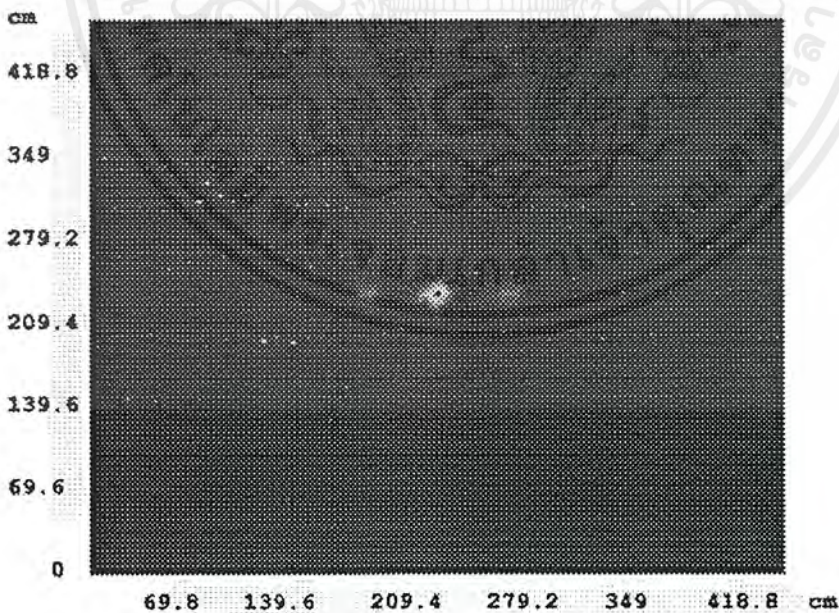


รูปที่ 4.4.2ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนโวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 1 , L, 30° , 0 dB, 64 x 64, 74 cm

4.2.1.3 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 1 สอร์น L , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 0 \text{ dB}$, $M = 64 \times 64$,
 $Z' = 74 \text{ cm}$

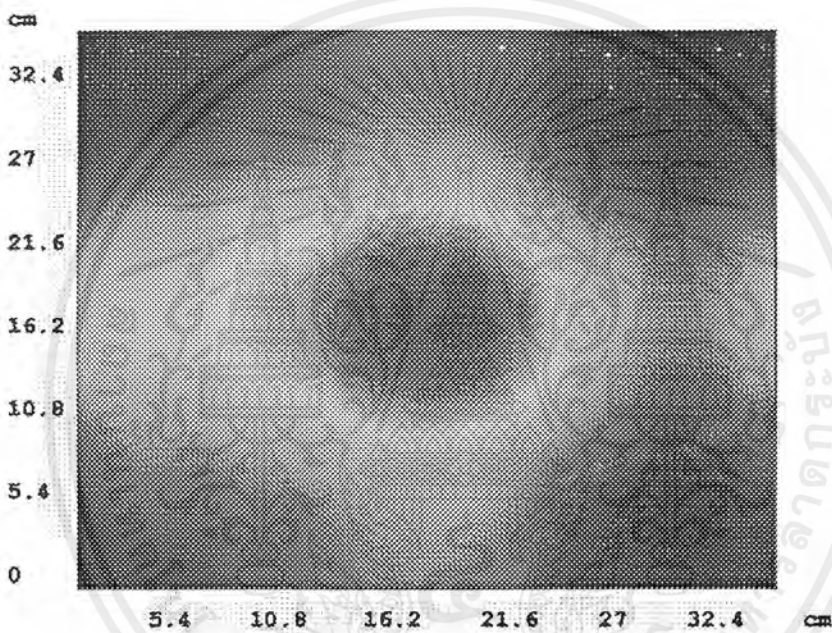


รูปที่ 4.4.3ก แสดงความเข้มของรั้วการแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L , 36.86° , 0 dB , 64×64 , 74 cm



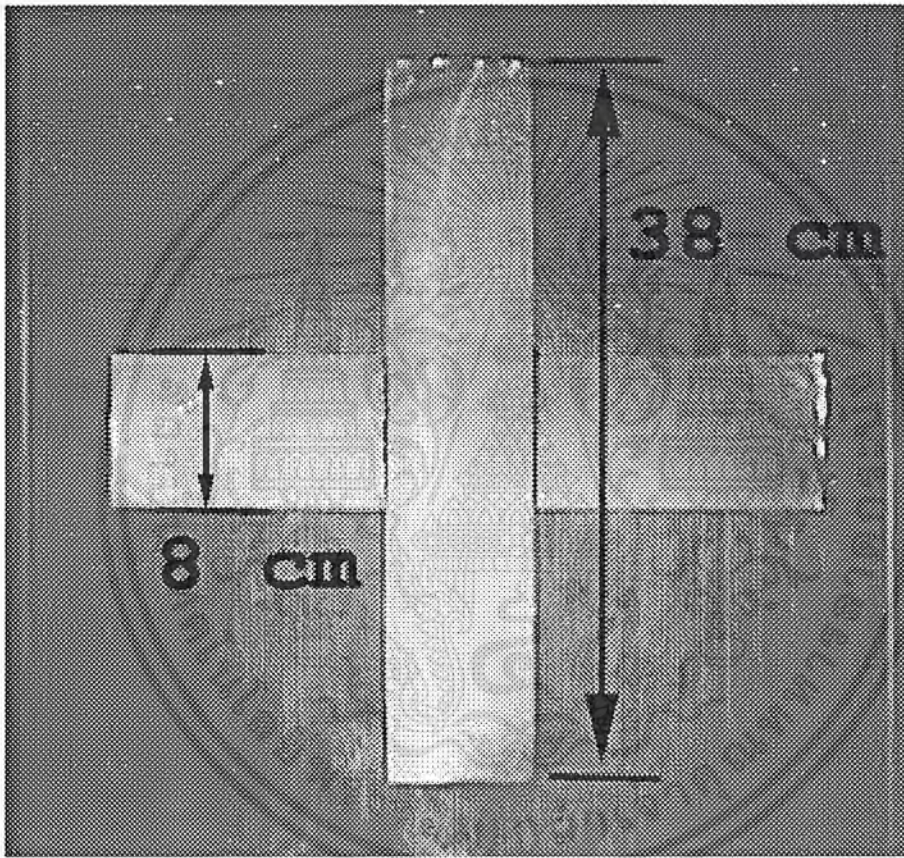
รูปที่ 4.4.3ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 1, L , 36.86° , 0 dB , 64×64 , 74 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.3ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนโวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 1 , L, 36.86° , 0 dB, 64 x 64, 74 cm

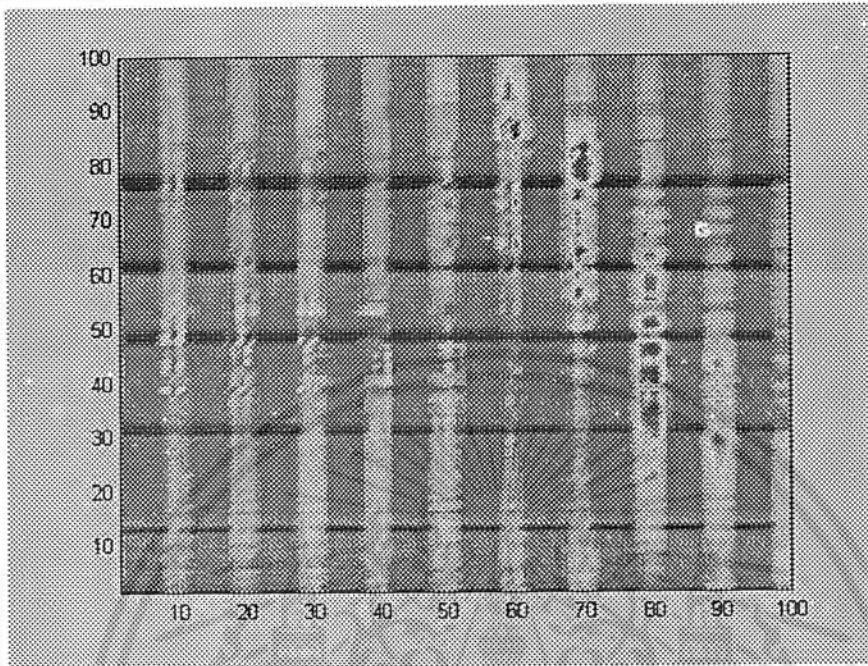
4.2.2 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 2



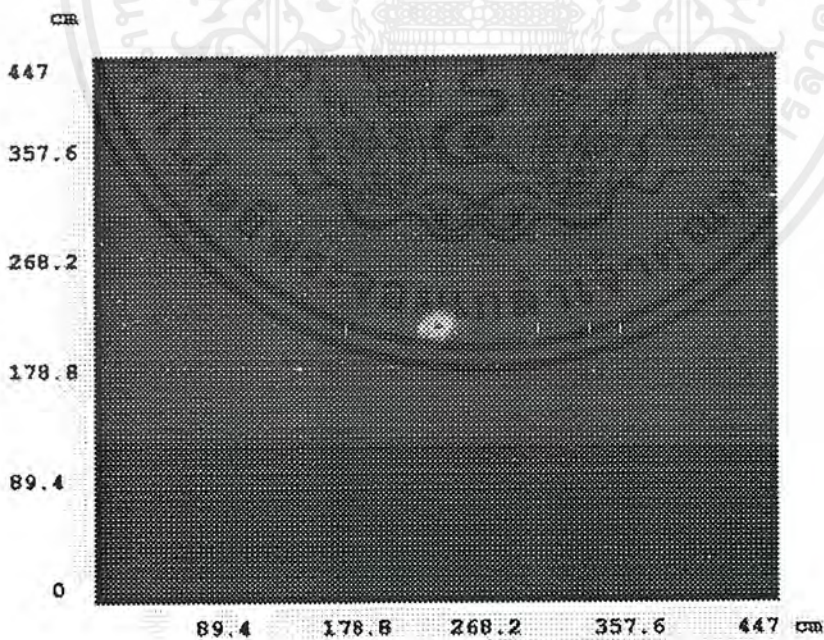
รูปที่ 4.5 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 2 ฮอรั่น L , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 0 \text{ dB}$, $M = 100 \times 100$,
 $Z' = 74 \text{ cm}$

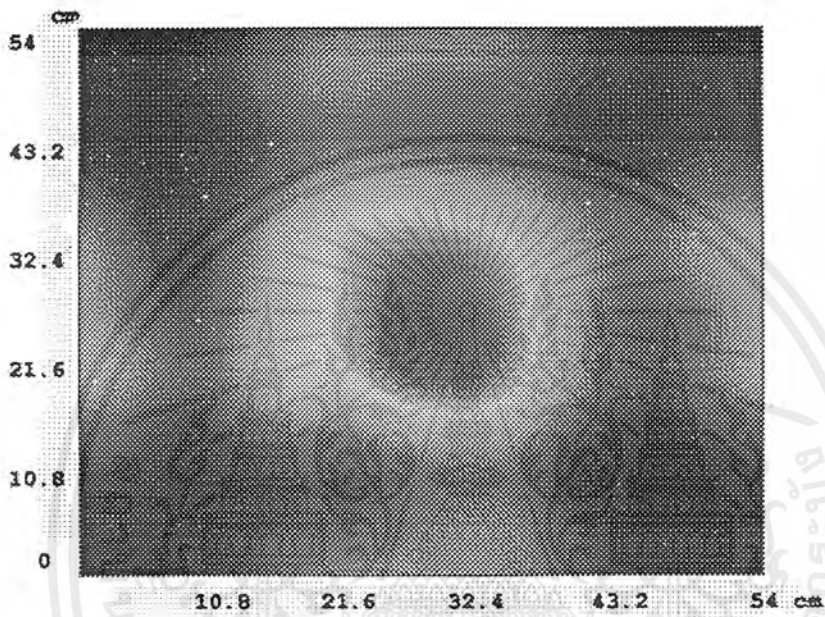


รูปที่ 4.5ก แสดงความเข้มของรีวการแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 2, L , 36.86° , 0 dB , 100×100 , 74 cm



รูปที่ 4.5ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 2, L , 36.86° , 0 dB , 100×100 , 74 cm

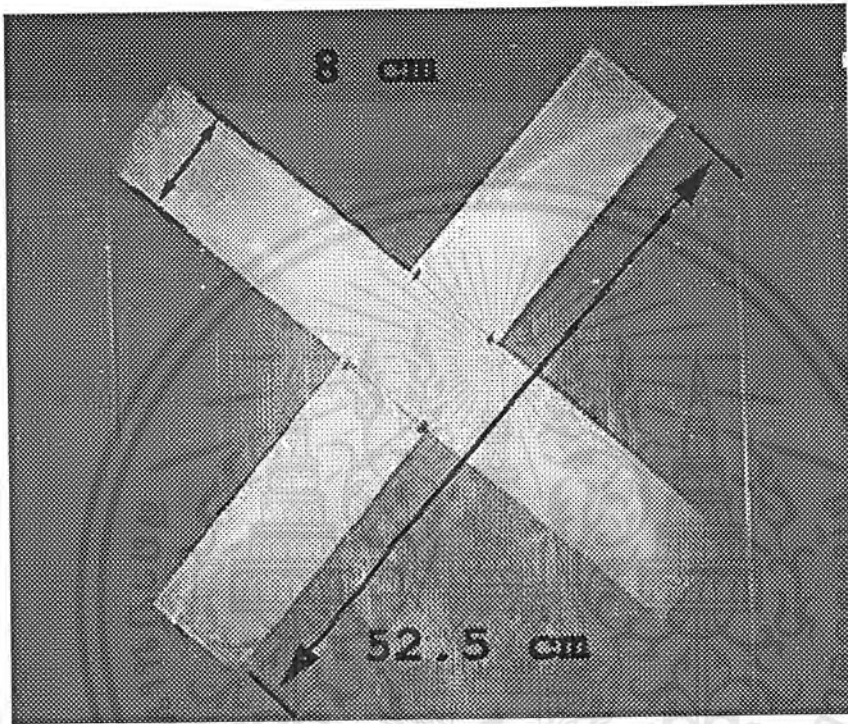
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โคขยวีริคอง โวลูชั่น
สำหรับวัตถุแบบที่ 2, L, 36.86° , 0 dB, 100 x 100, 74 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

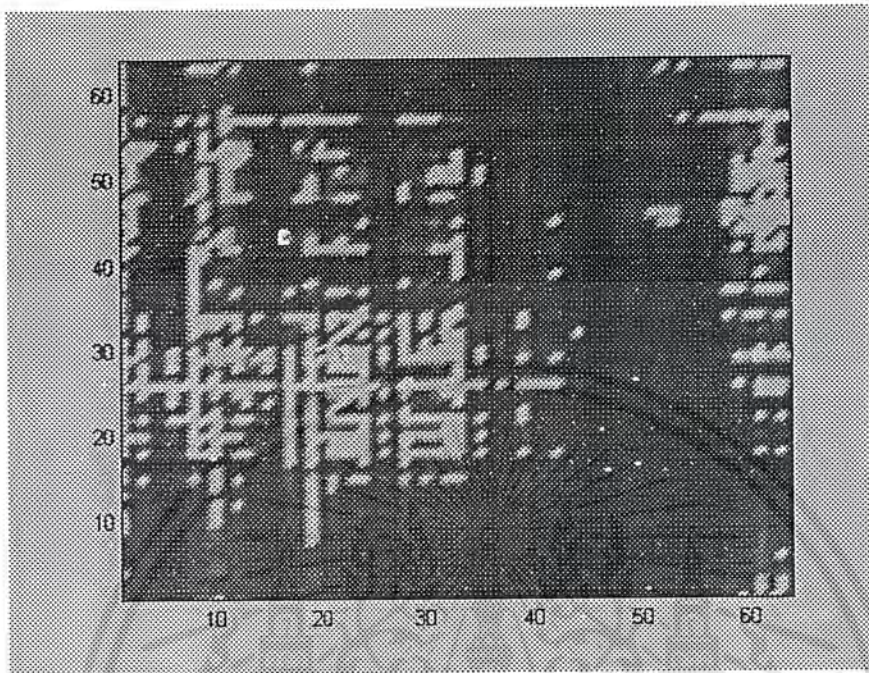
4.2.3 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 3



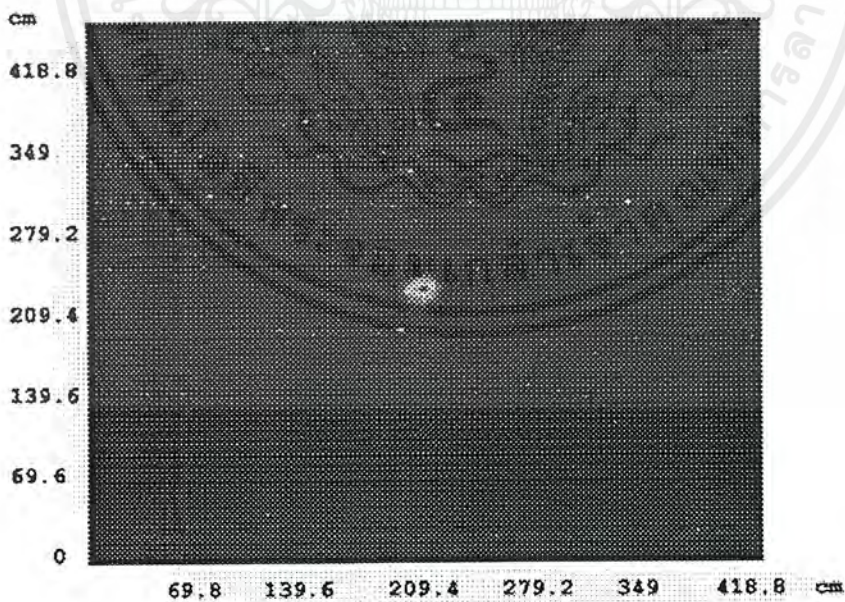
รูปที่ 4.6 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 3 สอร์น L , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 10 \text{ dB}$, $M = 64 \times 64$,
 $Z' = 74 \text{ cm}$

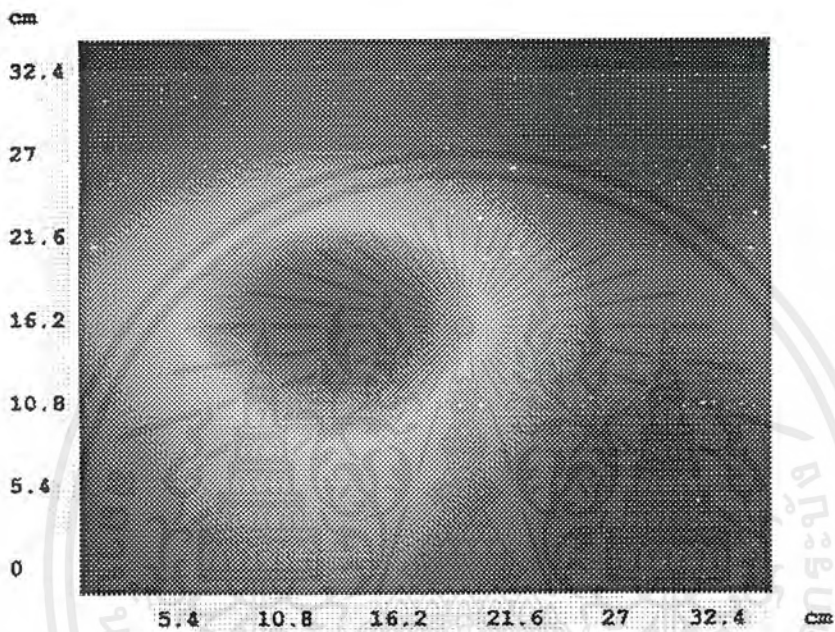


รูปที่ 4.6ก แสดงความเข้มของรีวิการ์แทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 3, L , 36.86° , 10 dB , 64×64 , 74 cm



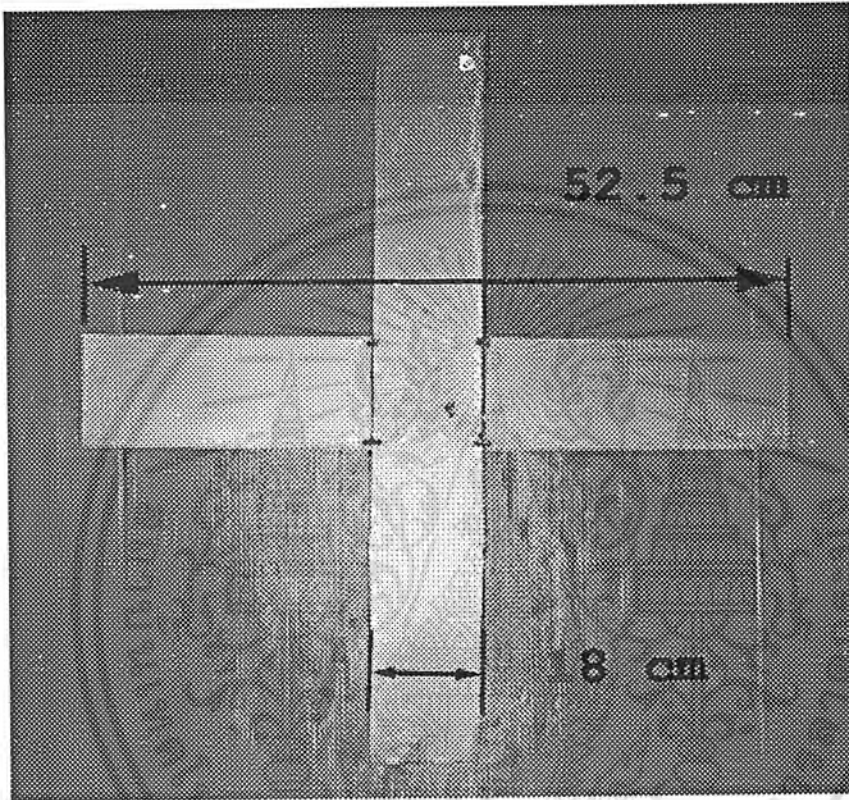
รูปที่ 4.6ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 3, L , 36.86° , 10 dB , 64×64 , 74 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนไวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 3 , L, 36.86° , 10 dB, 64 x 64, 74 cm

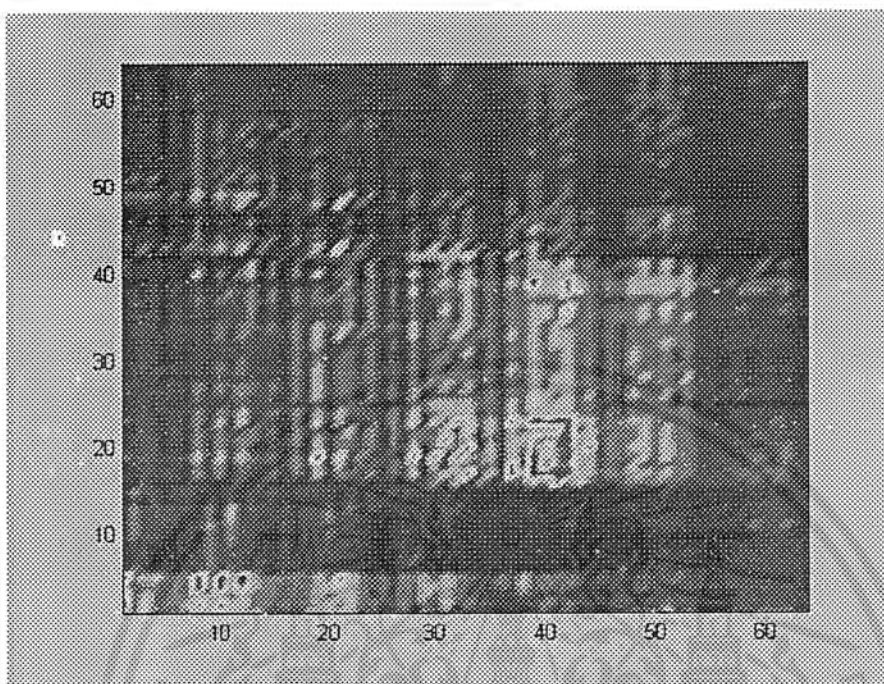
4.2.4 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 4



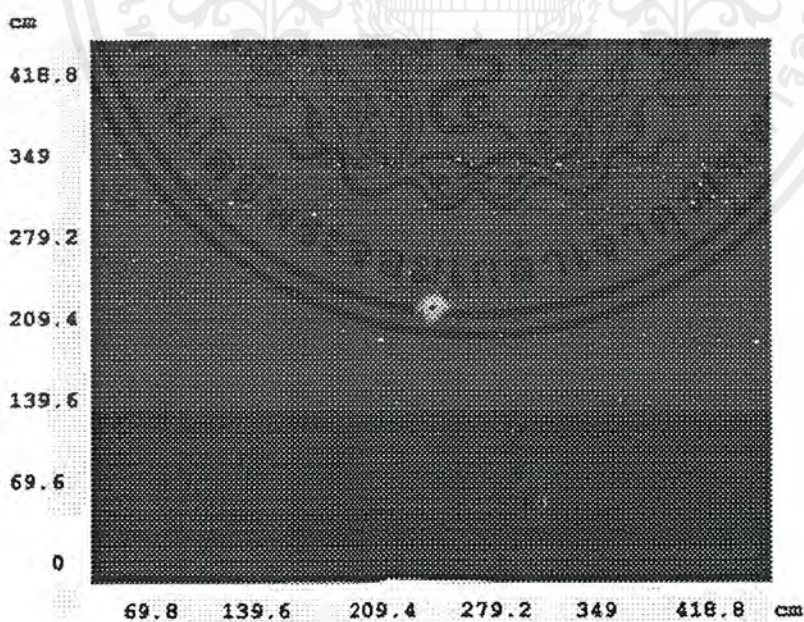
รูปที่ 4.7 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 4 ฮอรั่น L, $\theta = 36.86^\circ$, A = 10 dB, M = 64 x 64 ,
Z' = 74 cm

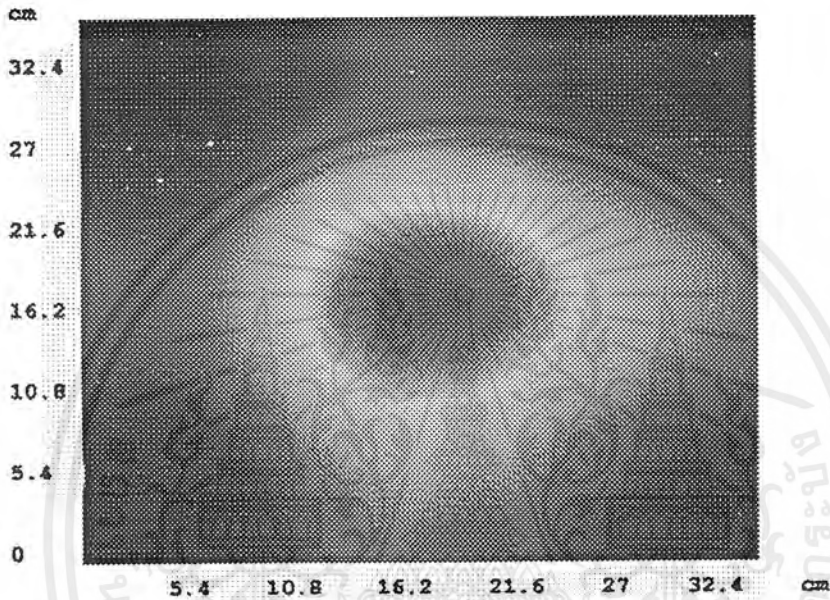


รูปที่ 4.7ก แสดงความเข้มของรีวการแทรกสอดของวัตถุ
สำหรับวัตถุแบบที่ 4 , L, 36.86° , 10 dB, 64 x 64, 74 cm



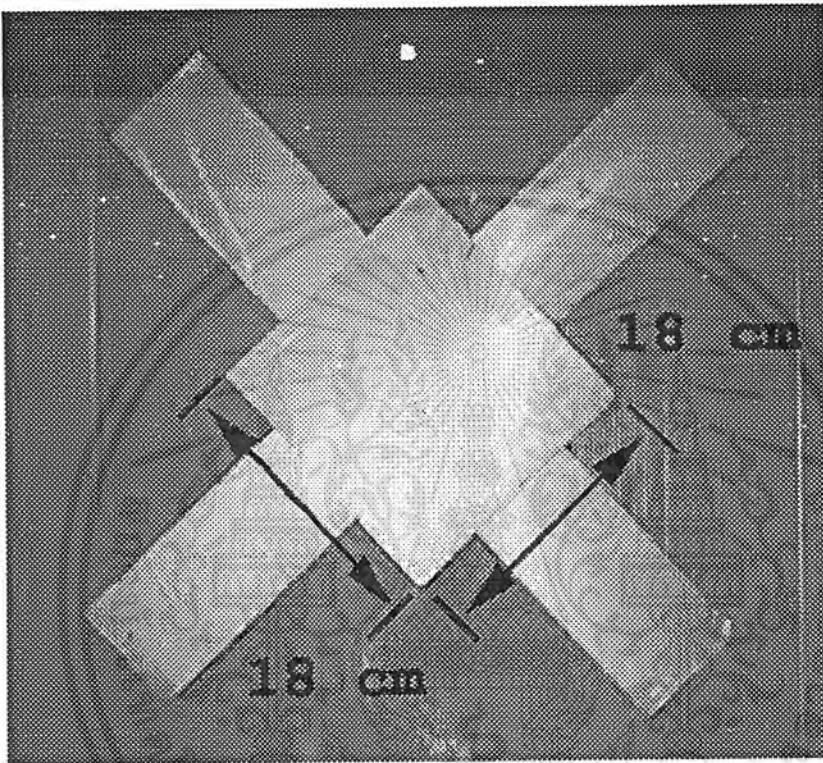
รูปที่ 4.7ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
สำหรับวัตถุแบบที่ 4 , L, 36.86° , 10 dB, 64 x 64, 74 cm

.เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนโวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 4, L, 36.86° , 10 dB, 64 x 64, 74 cm

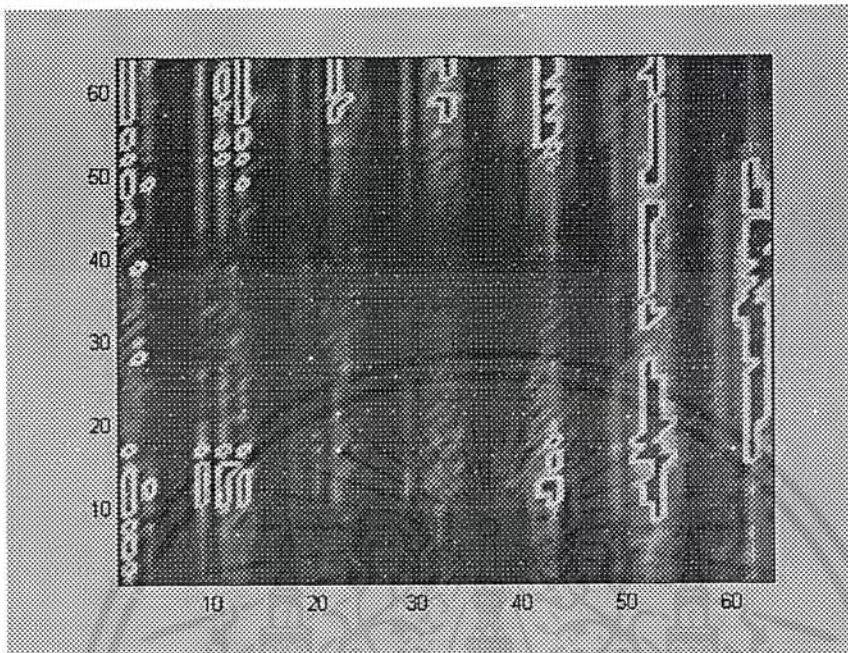
4.2.5 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 5



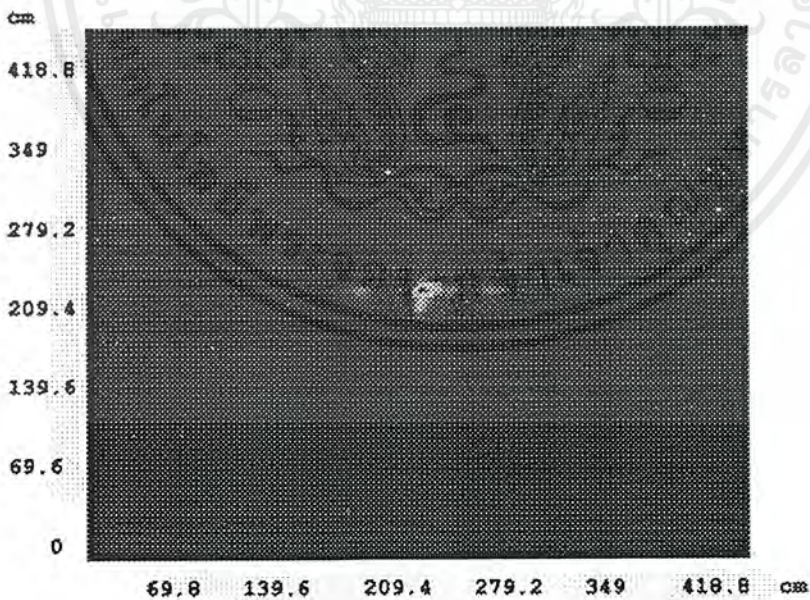
รูปที่ 4.8 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 5 สอรัน S , $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB , M = 64 x 64 ,
 $Z' = 74$ cm

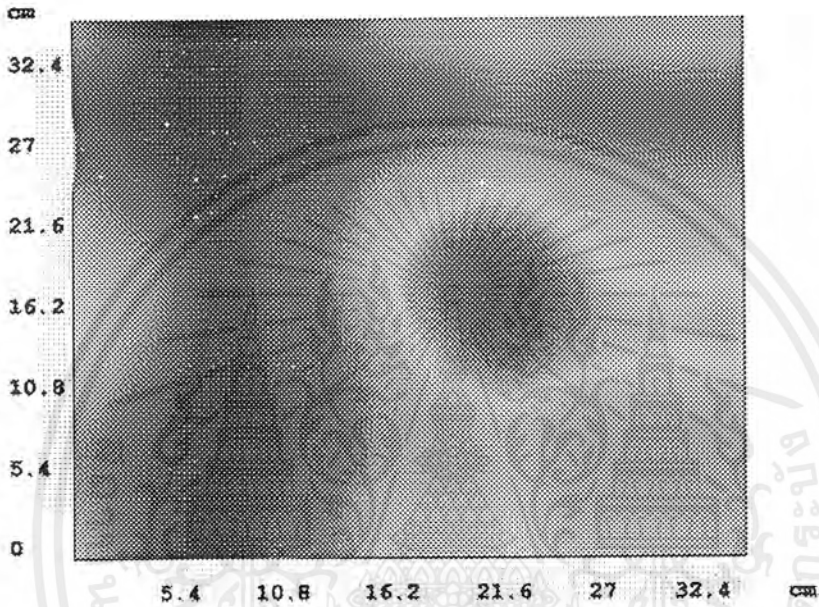


รูปที่ 4.8ก แสดงความเข้มของรีฟารแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 5 , S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 74 cm



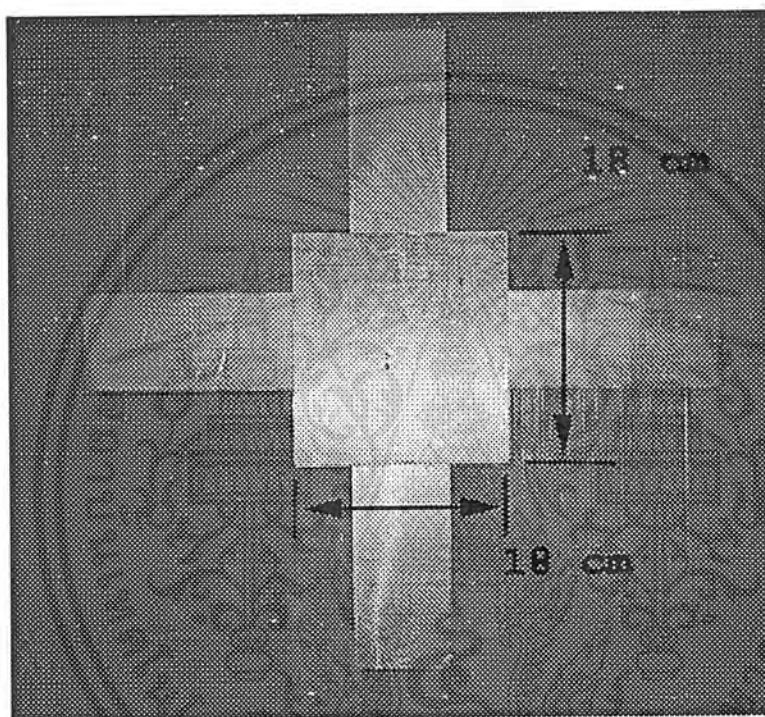
รูปที่ 4.8ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 5 , S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 74 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนโวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 5 , S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 74 cm

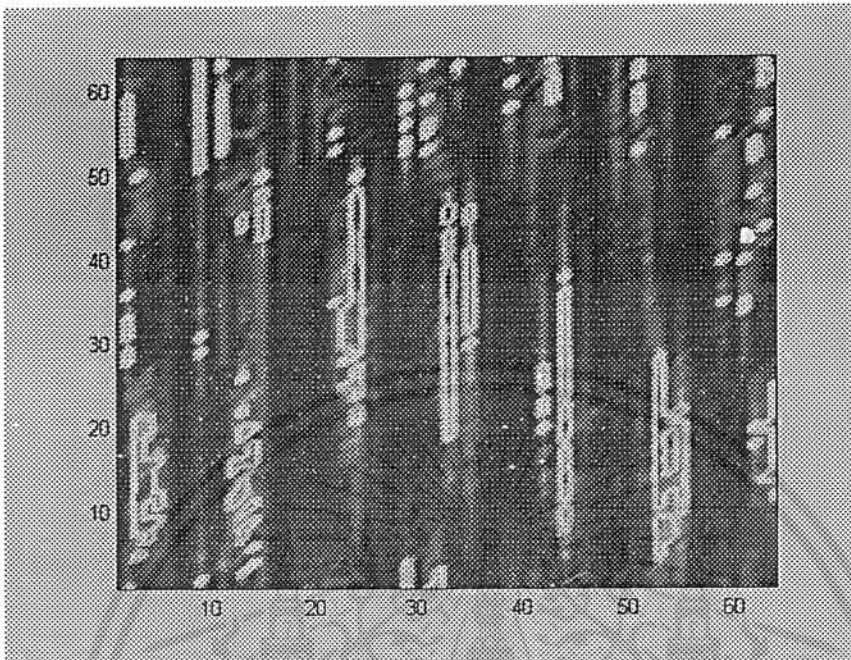
4.2.6 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 6



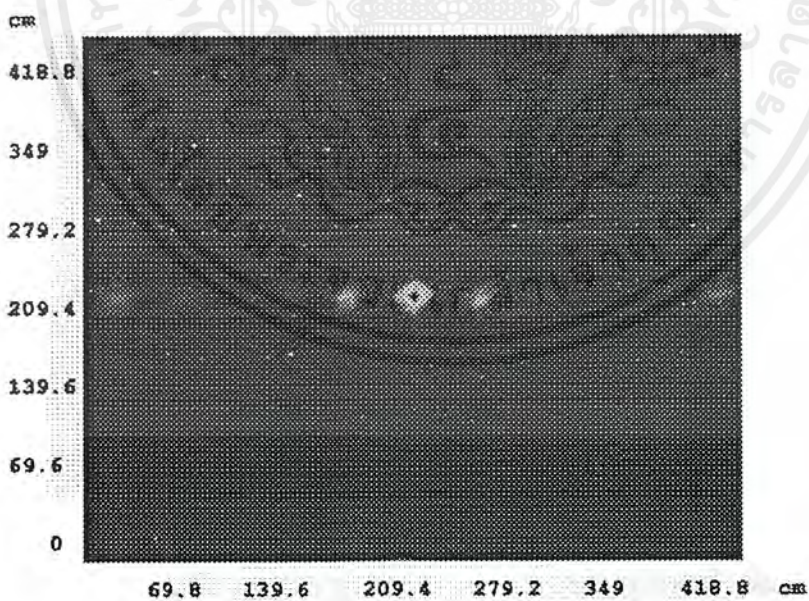
รูปที่ 4.9 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 6 สอรั้น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 10 dB, M = 64 x 64 ,
 $Z' = 74$ cm

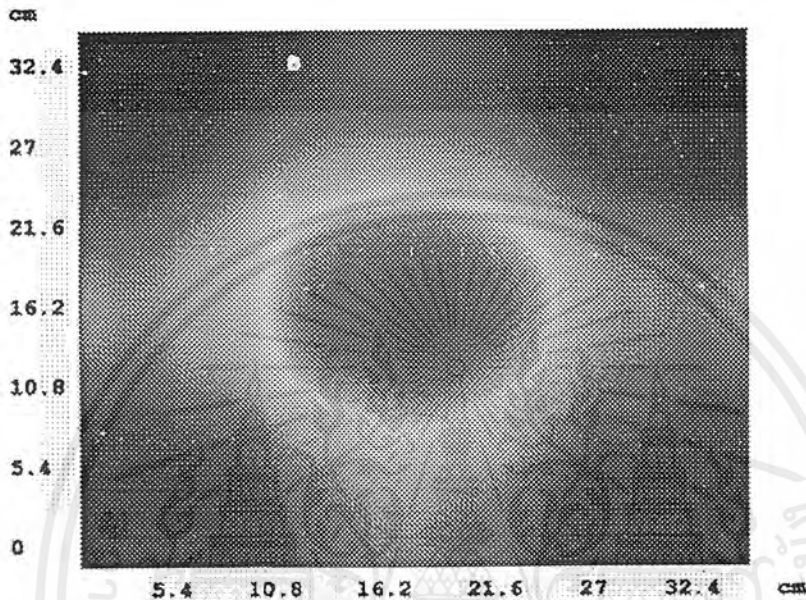


รูปที่ 4.9.1ก แสดงความเข้มของรั้วการแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 74 cm



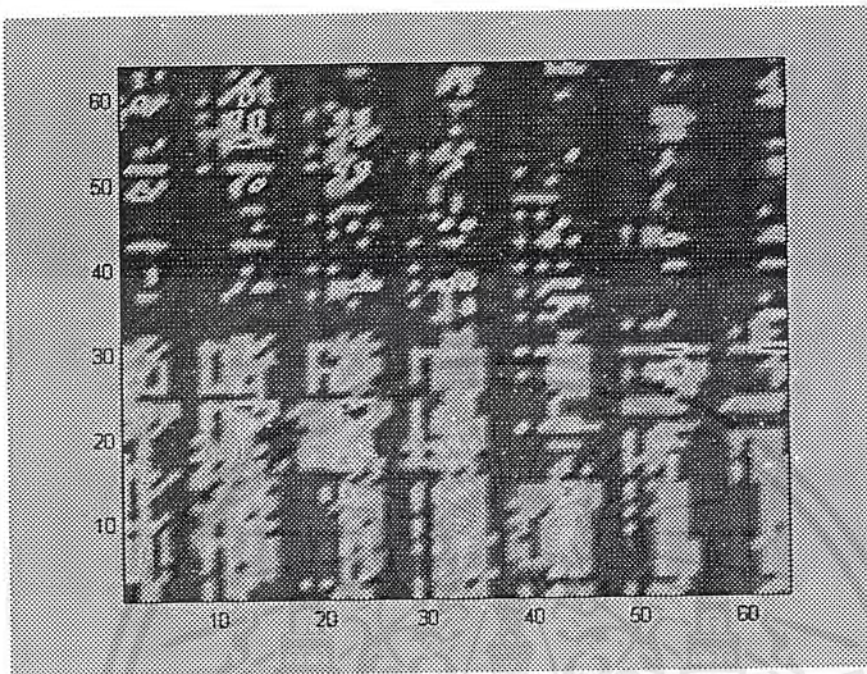
รูปที่ 4.9.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 6 , S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 74 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

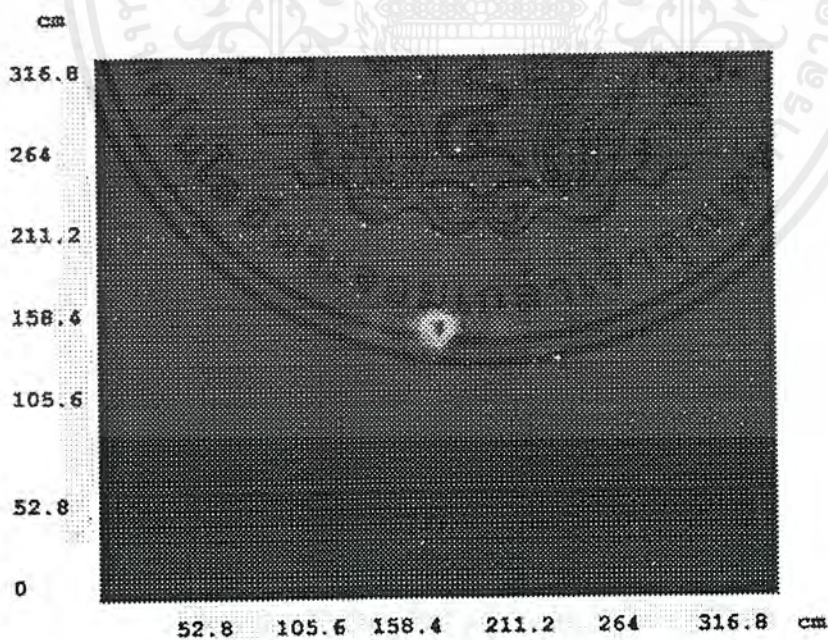


รูปที่ 4.9.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนไวดูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 6, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 74 cm

4.2.6.2 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 6 สอรั้น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB, M = 64 x 64 ,
 $Z' = 56$ cm

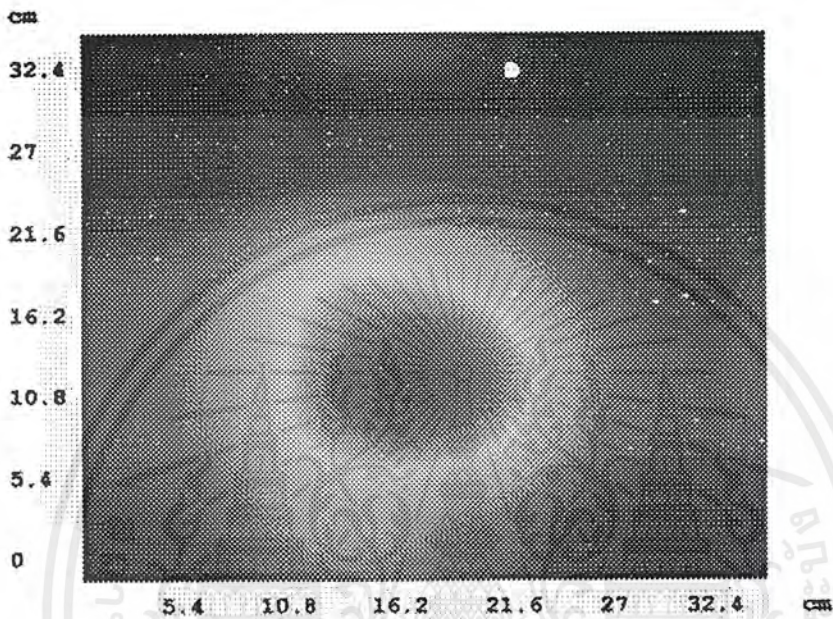


รูปที่ 4.9.2ก แสดงความเข้มของวีวการแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 6, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm



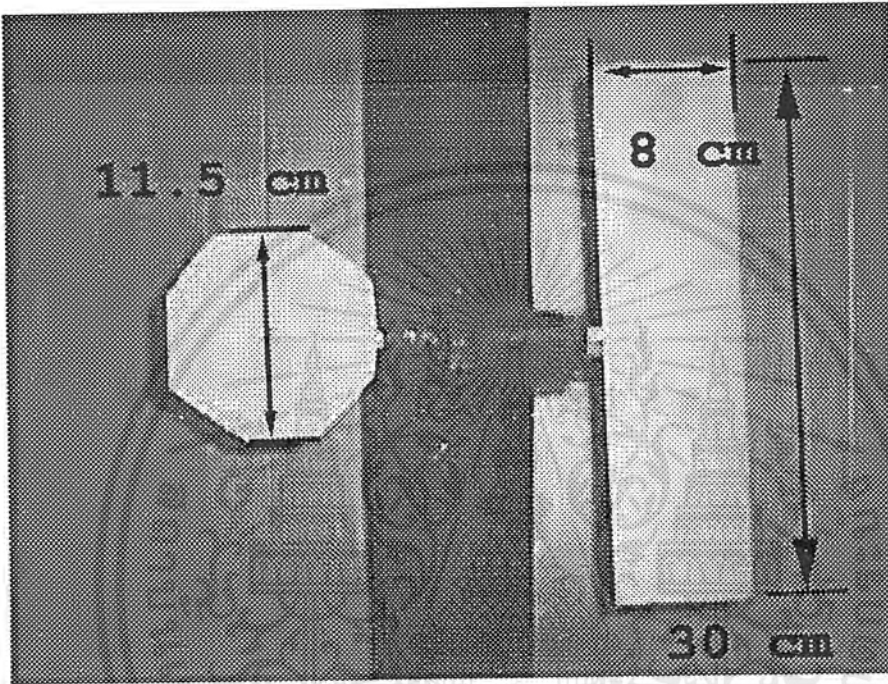
รูปที่ 4.9.2ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 6, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9.2 แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนไวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 6, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

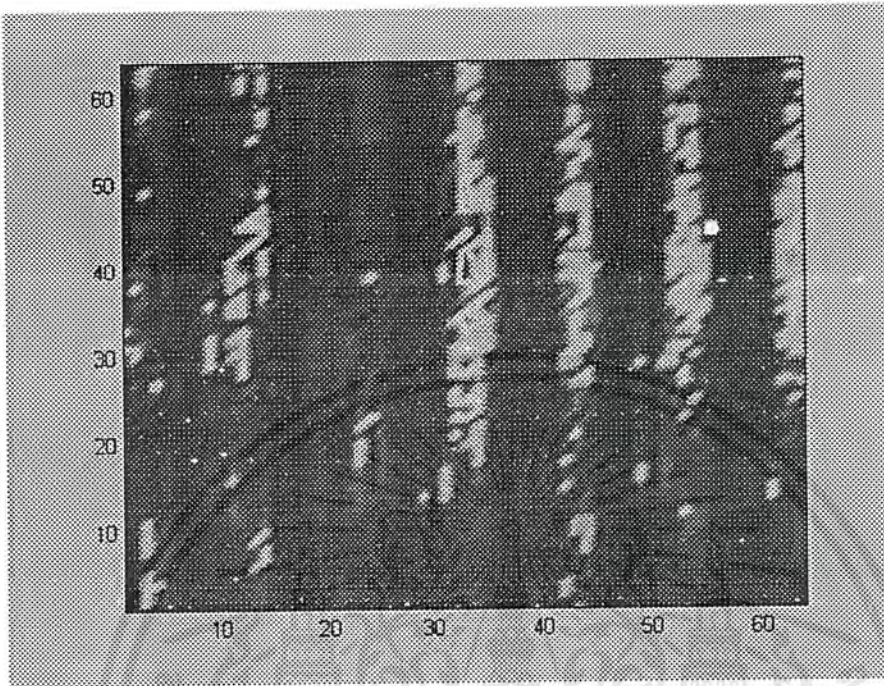
4.2.7 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 7



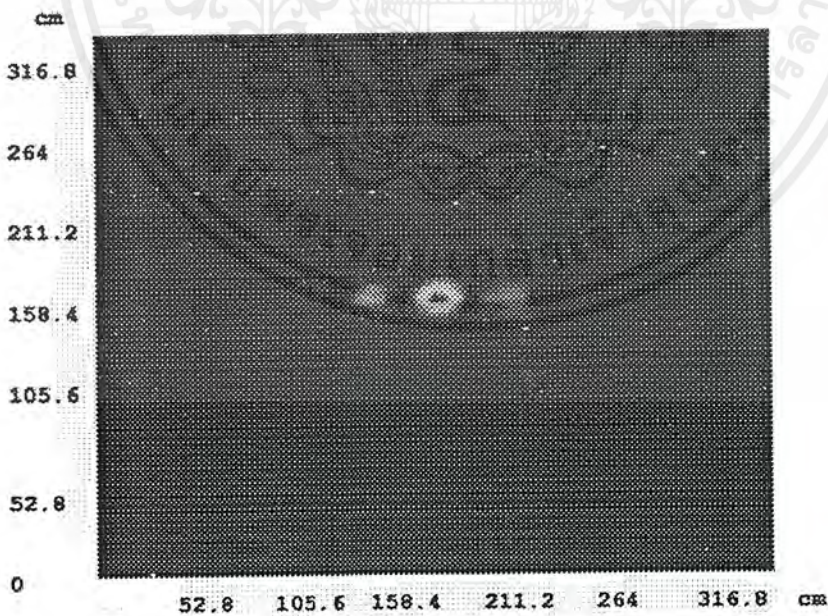
รูปที่ 4.10 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 7 ฮอรั่น S , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 5 \text{ dB}$, $M = 64 \times 64$,
 $Z' = 56 \text{ cm}$

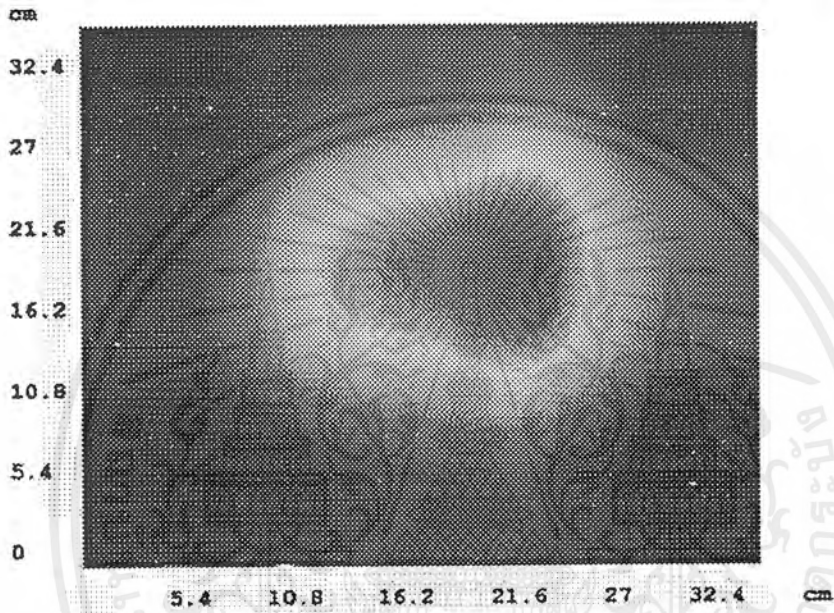


รูปที่ 4.10.1ก แสดงความเข้มของรีเวิร์กการแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 7, S , 36.86° , 5 dB , 64×64 , 56 cm



รูปที่ 4.10.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 7, S , 36.86° , 5 dB , 64×64 , 56 cm

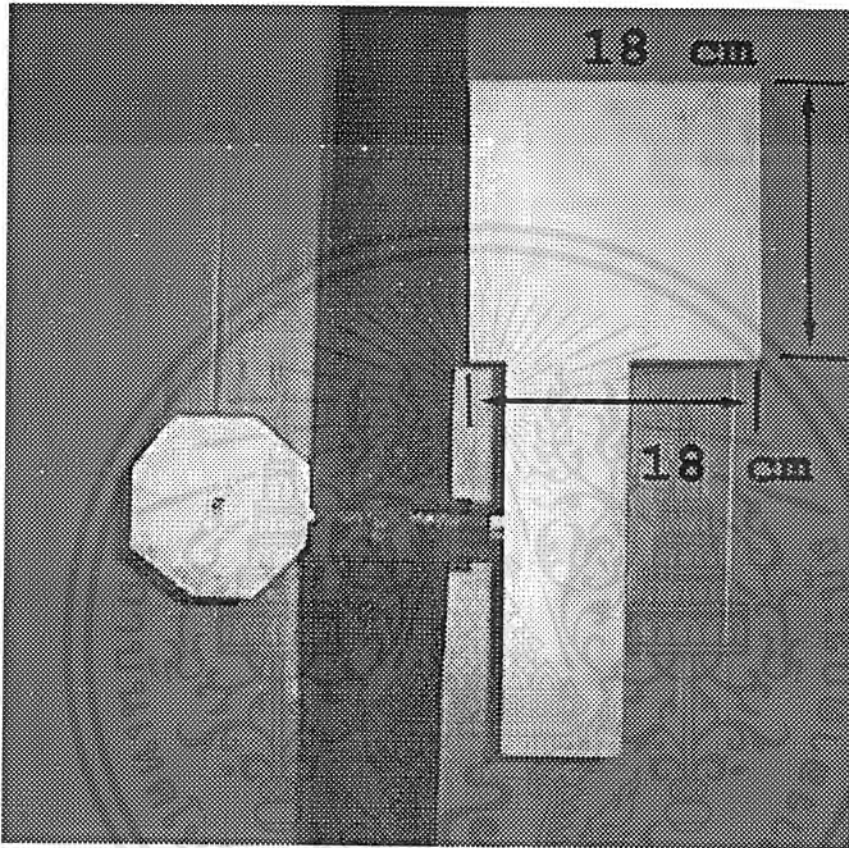
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนไวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 7 , S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

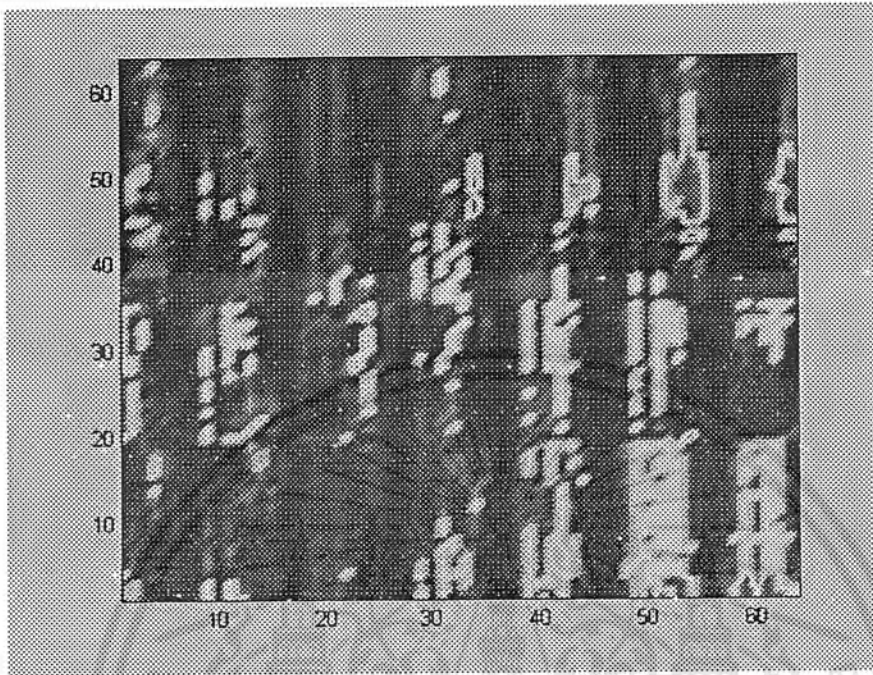
4.2.8 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 8



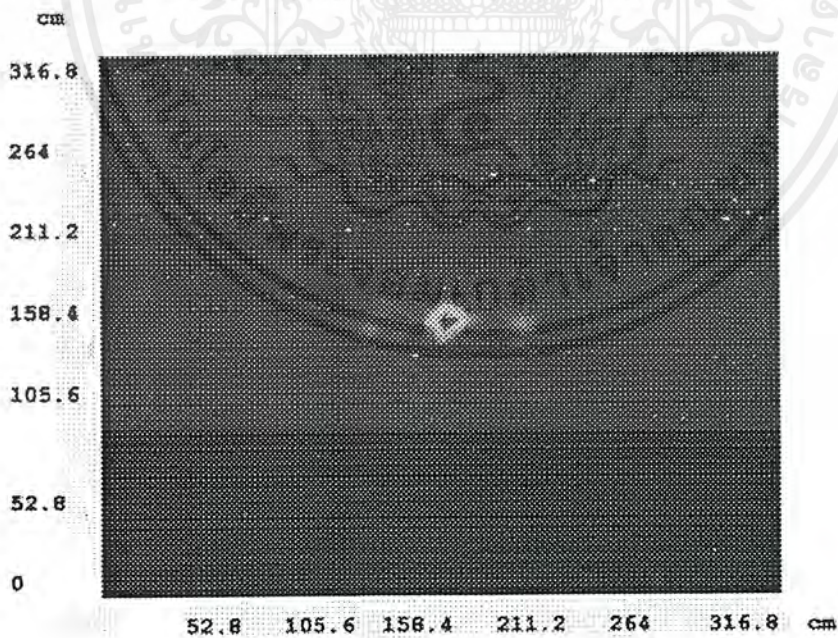
รูปที่ 4.11 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 8 สอรั้น S, $\theta = 36.86^\circ$, $A = 5 \text{ dB}$, $M = 64 \times 64$,
 $Z' = 56 \text{ cm}$

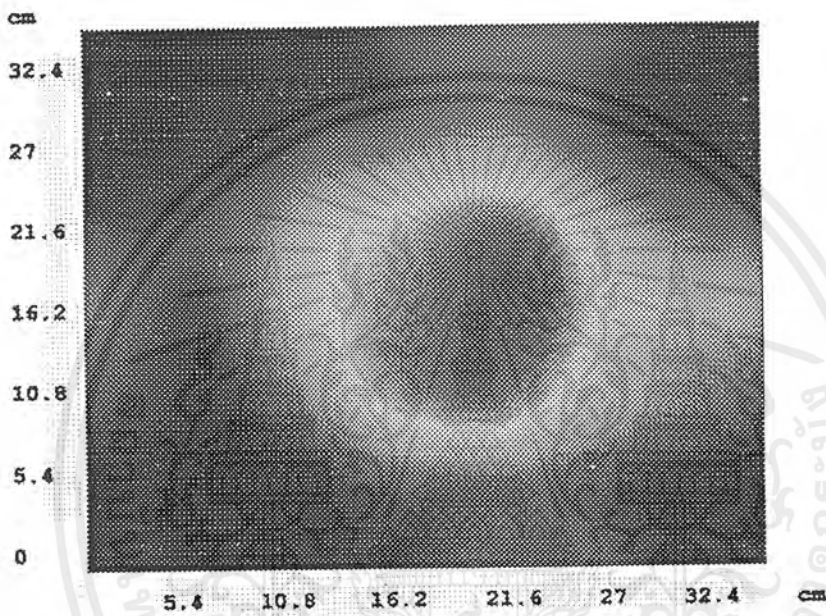


รูปที่ 4.11ก แสดงความเข้มของรีฟลักซ์การแทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 8, S, 36.86° , 5 dB, 64×64 , 56 cm



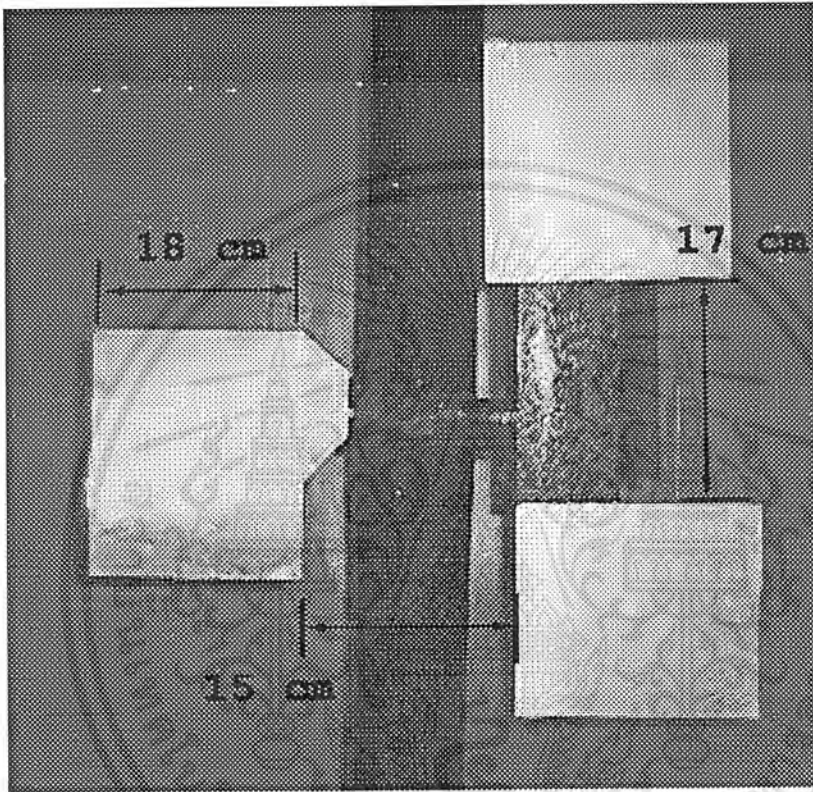
รูปที่ 4.11ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 8, S, 36.86° , 5 dB, 64×64 , 56 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนไววูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 8 , S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

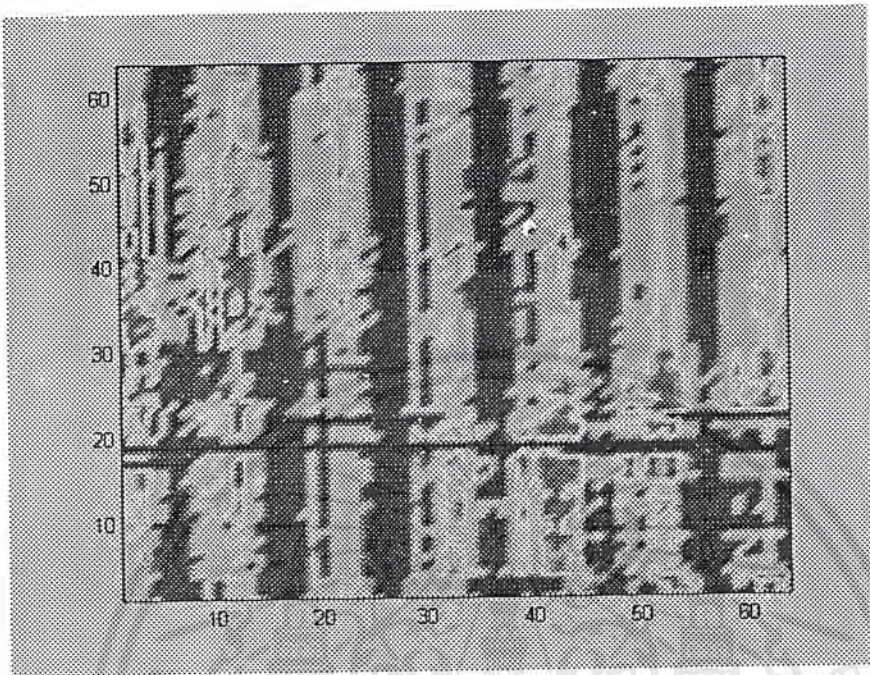
4.2.9 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 9



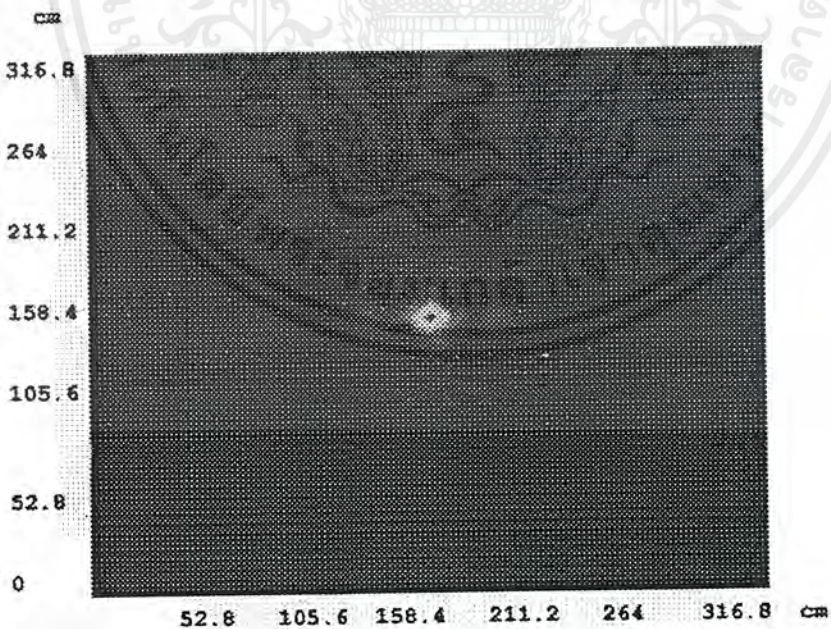
รูปที่ 4.12 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 9 ฮอว์น S, $\theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB, M = 64 x 64 ,
 $Z' = 56$ cm

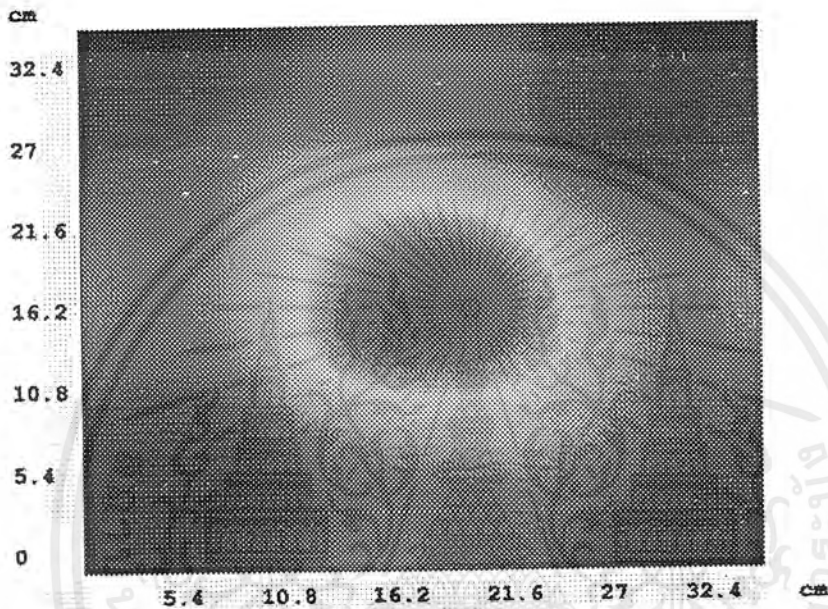


รูปที่ 4.12ก แสดงความเข้มของรีวการ์แทรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 9, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm



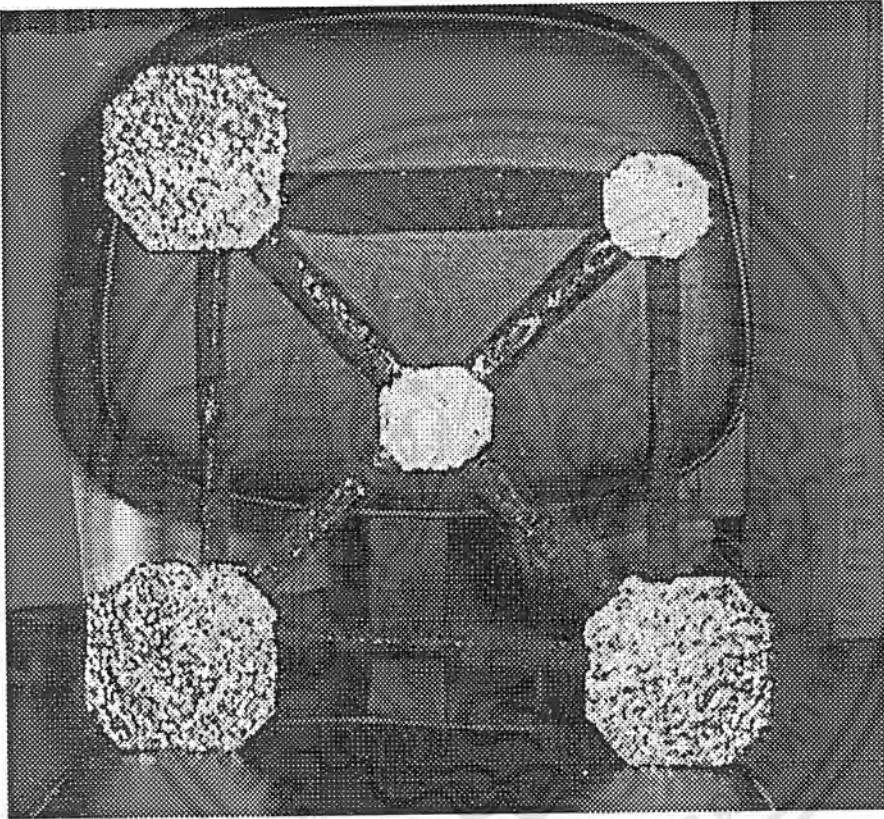
รูปที่ 4.12ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 9, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนวอกซ์
สำหรับวัตถุแบบที่ 9, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

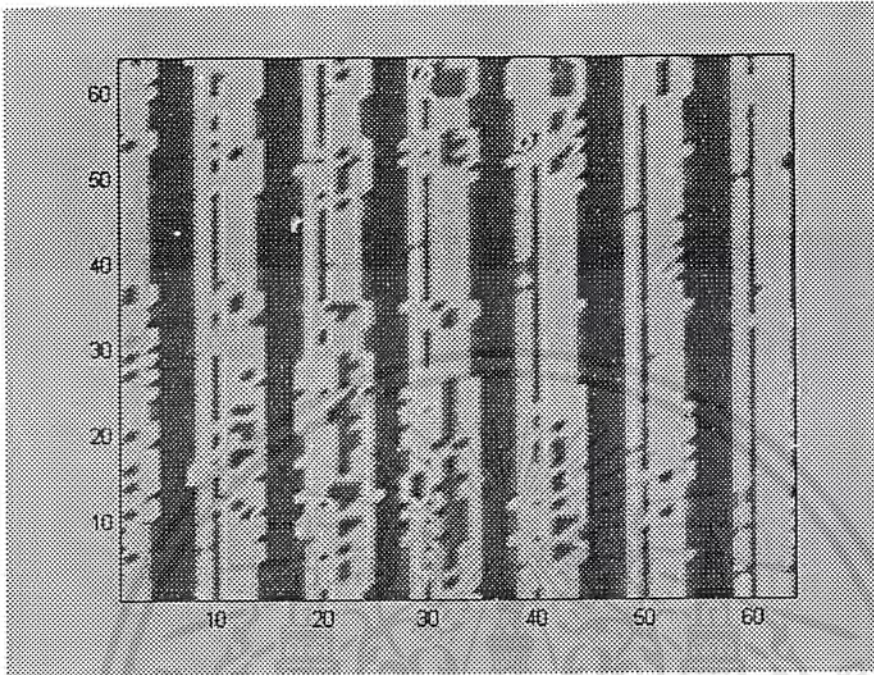
4.2.10 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 10



รูปที่ 4.13 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 10

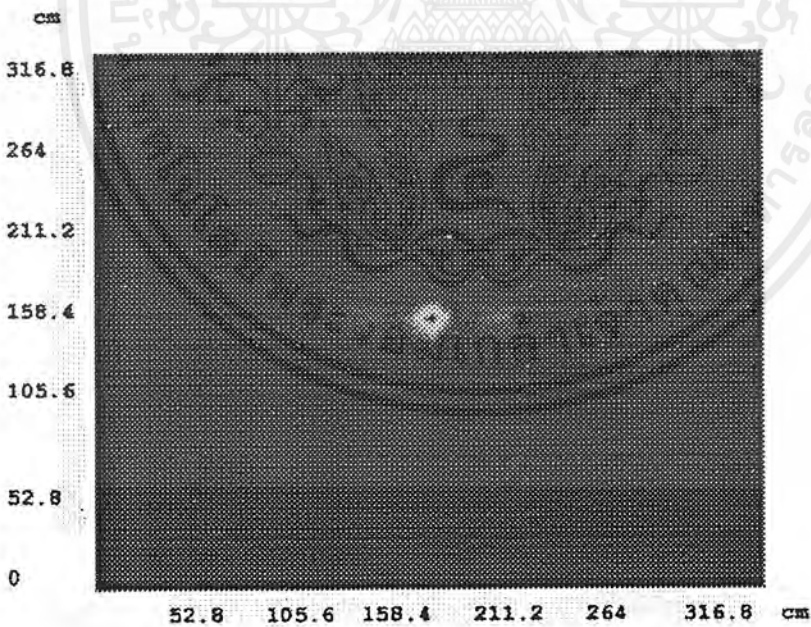
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 10 สอรั้น S, $\Theta = 36.86^\circ$, A = 5 dB, M = 64 x 64,
Z' = 56 cm



รูปที่ 4.13ก แสดงความเข้มของวีการแทรกสอดของวัตถุ

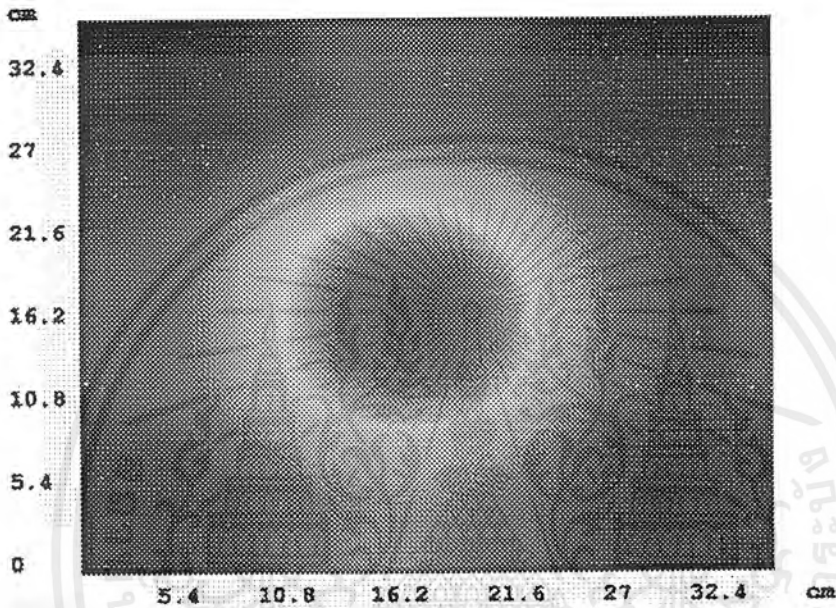
สำหรับวัตถุแบบที่ 10, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm



รูปที่ 4.13ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์

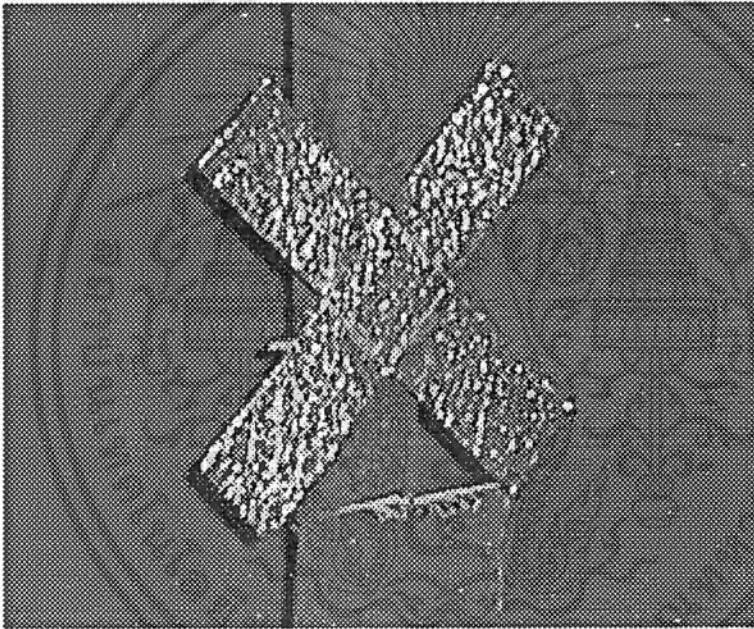
สำหรับวัตถุแบบที่ 10, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนไวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 10, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

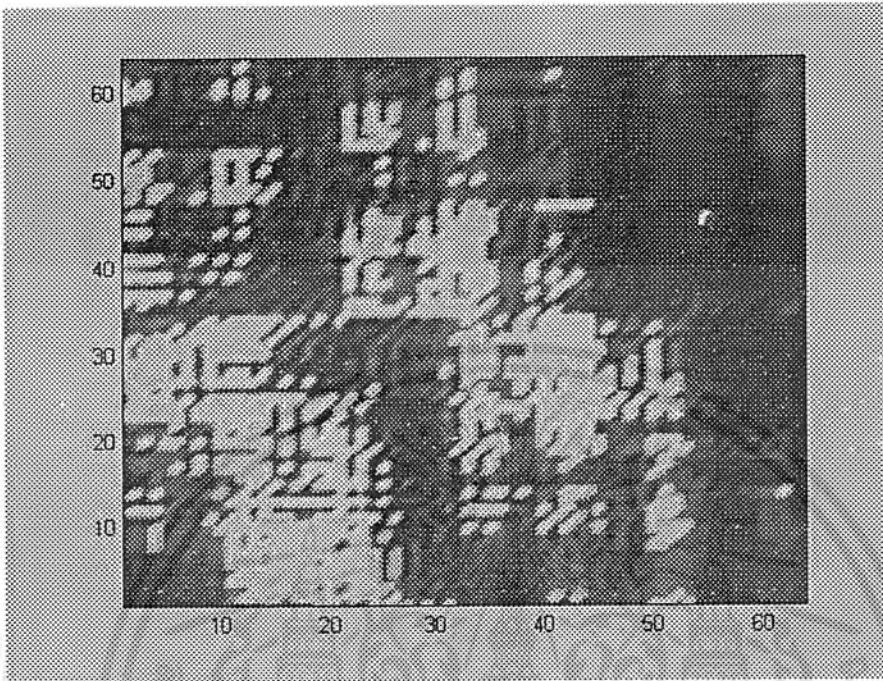
4.2.11 การทดลองกับวัตถุรูปแบบที่ 11



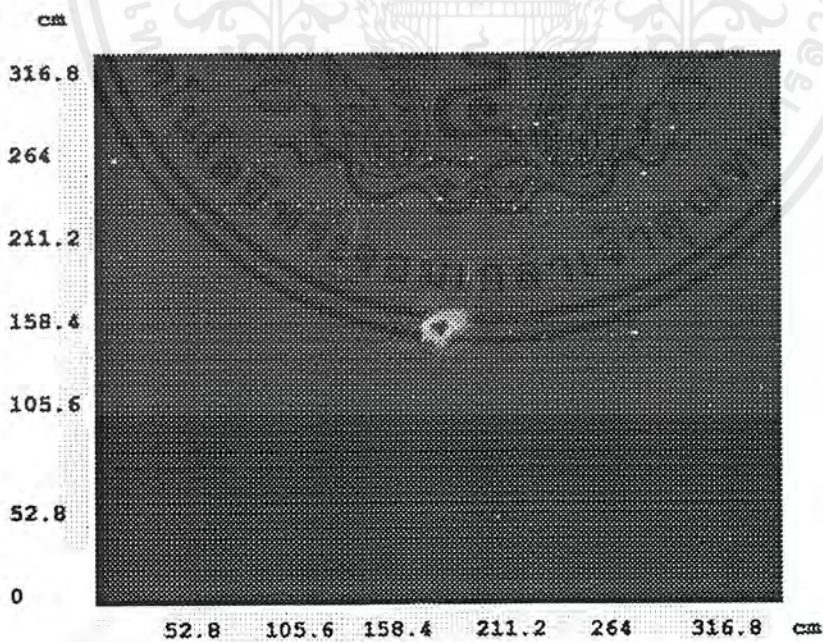
รูปที่ 4.14 รูปร่างของวัตถุแบบที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.11.1 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 11 สอรั้น S, $\theta = 36.86^\circ$, $A = 5$ dB, $M = 64 \times 64$,
 $Z' = 56$ cm

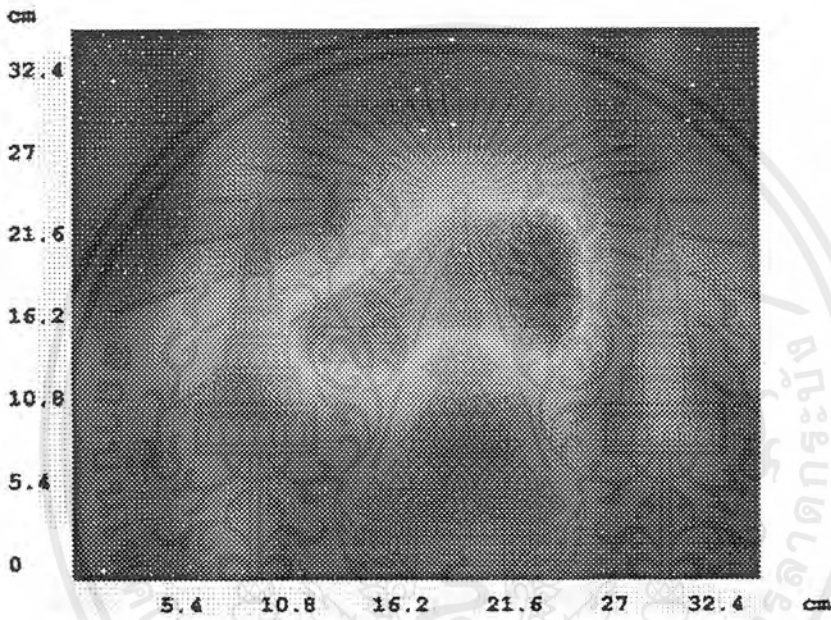


รูปที่ 4.14.1ก แสดงความเข้มของรีเวิร์กสอรั้นของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64×64 , 56 cm



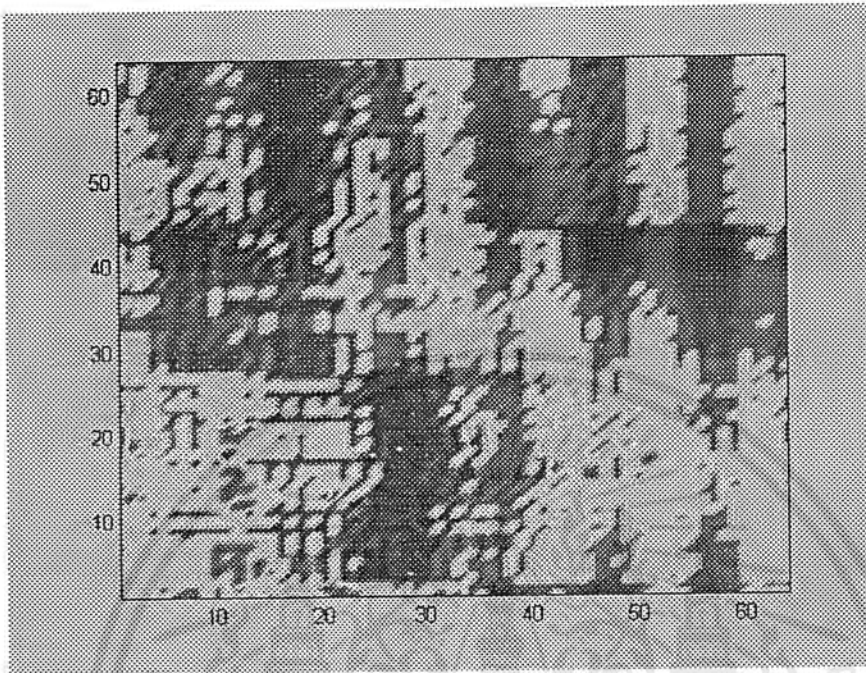
รูปที่ 4.14.1ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64×64 , 56 cm

* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14.1ค แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับ โดยวิธีคอนโวลูชัน
สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm

4.2.11.2 ผลการทดลองกับวัตถุแบบที่ 11 สอรั้น S , $\theta = 36.86^\circ$, $A = 5$ dB, $M = 64 \times 64$,
 $Z' = 56$ cm มีพลาสติกแผ่นบดบังอยู่

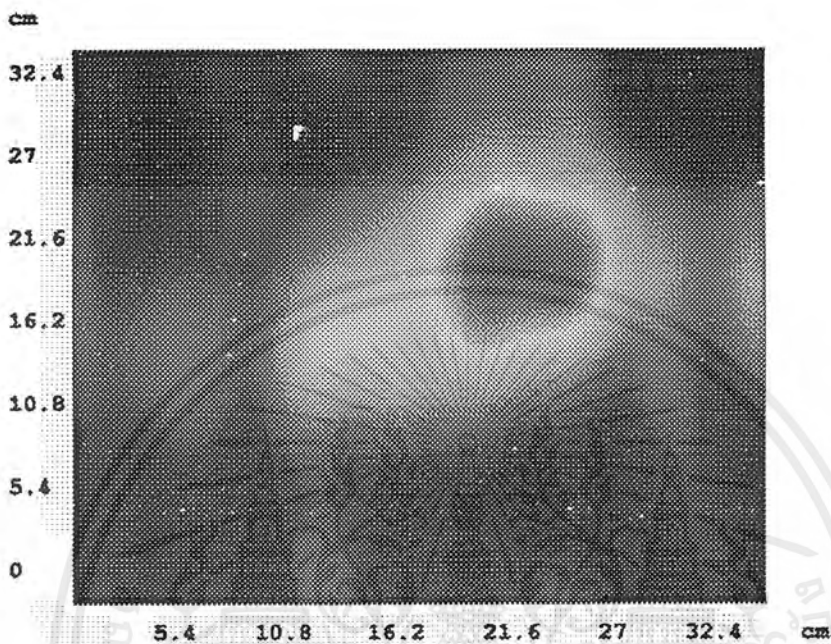


รูปที่ 4.14.2ก แสดงความเข้มของรีเวิร์กสแตรกสอดของวัตถุ
 สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S , 36.86° , 5 dB, 64×64 , 56 cm, พลาสติกแผ่นบดบัง



รูปที่ 4.14.2ข แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีฟูเรียร์
 สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S , 36.86° , 5 dB, 64×64 , 56 cm, พลาสติกแผ่นบดบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14.2 แสดงความเข้มของวัตถุที่เกิดจากการสร้างภาพกลับโดยวิธีคอนไวลูชัน สำหรับวัตถุแบบที่ 11, S, 36.86° , 5 dB, 64 x 64, 56 cm, พลาสติกแผ่นนบดบัง

บทที่ 5

บทสรุป และแนวทางในการพัฒนาโครงการพิเศษ

5.1 บทสรุป

1. เมื่อเปลี่ยนจุดไบอัสของไดโอด จะทำให้โฟโตรีซิสเตอร์ตอบสนองต่อความถี่ มอดูเลตที่ความถี่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้น ทำให้เกิดการรบกวนคลื่นไมโครเวฟมากพอ เป็นผลทำให้สัญญาณที่วัดได้ชัดเจนขึ้น
2. ในการเปลี่ยนมุมทิศทางของคลื่นอ้างอิงกับแนวตั้งฉากกับระนาบฮอโลแกรม ถ้ามุมเพิ่มขึ้น จะได้รับรู้ของการแทรกสอดเป็นจำนวนมากขึ้น ภาพรบกวนที่เกิดจากคลื่นอ้างอิงจะแยกห่างจากภาพวัตถุมากขึ้น
3. จากการสแกนวัตถุด้วยจำนวนเมตริกซ์ 64×64 ที่ได้ทำการทดลองในเงื่อนไขต่างๆของขนาดรูปร่าง และระยะห่างของวัตถุในการทำโครงการพิเศษนี้ ผลของภาพที่ได้จากการสร้างภาพกลับโดยใช้ทฤษฎีของเฟรสเนล เพื่อหาฟังก์ชันคลื่นของวัตถุที่ต้องการ ทั้งโดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วและการคอนโวลูชัน ยังไม่สามารถมองเห็นภาพชัดเจนของวัตถุได้ เนื่องจากพื้นที่ในการสแกนน้อย
4. ในการเพิ่มพื้นที่ในการสแกนวัตถุ เพื่อจะเพิ่มรายละเอียดของภาพ แต่เนื่องจากระบบที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ยังอยู่ในขั้นต้น ซึ่งจะใช้เวลาในการสแกนวัตถุเป็นเวลานาน เช่น ในการสแกนวัตถุด้วยจำนวนเมตริกซ์ขนาด 64×64 จะใช้เวลา 10 ชั่วโมง 40 นาที ถ้าทำการสแกนวัตถุด้วยจำนวนเมตริกซ์ที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 100×100 ใช้เวลาประมาณ 3 วัน เสถียรภาพของระบบจึงจัดว่ามีความสำคัญต่อคุณภาพของภาพที่ได้


5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงการพิเศษ

1. สแกนวัตถุด้วยพื้นที่ที่มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ภาพของวัตถุที่ระนาบของการสร้างภาพกลับมีความคมชัด เนื่องจากจำนวนพิกเซล (pixel) เพิ่มขึ้น
2. ทำการปรับเปลี่ยนการสแกนวัตถุเป็นอัตโนมัติทั้งระบบ
3. ลดสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อมของระบบ โดยการกั้นสัญญาณจากสิ่งแวดล้อมโดยใช้ตัวดูดกลืนทุกด้าน
4. ทำการพัฒนาระบบให้มีเสถียรภาพยิ่งขึ้น โดยใช้กั้นน้ำไดโอดแบบที่ควบคุมอุณหภูมิจุดทำงานให้คงที่
5. ลดเวลาการสแกนวัตถุลงโดยการลดความถี่สูงขึ้น ใช้เครื่องขยายสัญญาณถือคลื่นความถี่สูง การเปลี่ยนส่วนเคลื่อนเฟสของคลื่นอ้างอิงจากระบบที่มีการเลื่อนขึ้นลงของแผ่นสะท้อนคลื่น ไปเป็นระบบเคลื่อนเฟสแบบพินไดโอด (PIN diode) ซึ่งสามารถโปรแกรมด้วยสัญญาณไฟฟ้าได้

เอกสารอ้างอิง

- 1). Goodman, J.W. **“Introduction to Fourier Optics”**, Mc Graw-Hill Classic Textbook, 1968.
- 2). Aoki, Y. and Suzuki, Y. **“Hologram Conversion Computer”**, Proceedings of The IEEE, pp. 643-644, May 1974.
- 3). Aoki, Y. and Boivin, A. **“Computer Reconstruction of Images from a Microwave Hologram”**, Proceedings of The IEEE, pp. 821-822, May 1970
- 4). Orme, R.D. and Anderson, A.P. **“High-Resolution Microwave Hologram Technique”**, IEEE Electronics, Vol. 120 , pp. 401-405, No.4, April 1973
- 5). Yue, O., Rope, E.L. and Tricoles, G. **“ Two Reconstruction Methods for Microwave Imaging of Buried Dielectric Anomalies”**, IEE transactions on computers, pp. 381-389, Vol. c-24, No.4, April 1975
- 6). Hygate, G. and Nye, J.F. **“Measuring microwave fields directly with an optically modulated scatterer”**, Meas. Sci. Technol, pp. 703-709, Jan 1990
- 7). Tricoles, G. and Farhat, Nabil H. **“Microwave Holography: Applications and Techniques”**, Proceedings of the IEEE, Vol.65, pp. 108-120, No.1, Jan 1977
- 8). Anderson, A.P. **“Microwave holography”**, Proceedings of The IEEE, No.124(11R), pp. 946-962, 1977
- 9). Cullen, A.L. and PARR, J.C. **“A new perturbation method for measuring microwave fields in free space”**, Proceedings of the IEEE, Vol.102B, pp. 836-844, 1955

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

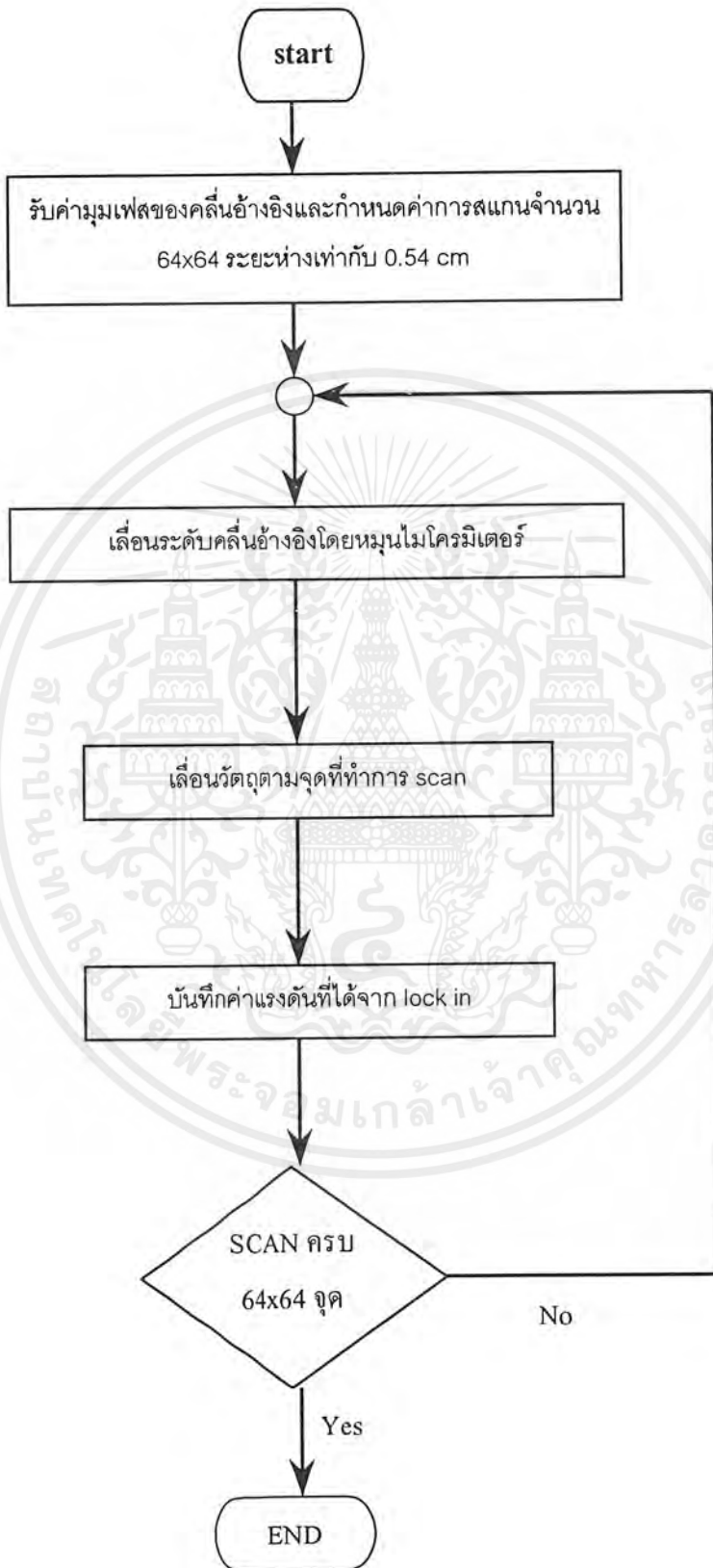
The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a tiered umbrella. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The Thai text around the border reads "มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์" at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" at the bottom.

ภาคผนวก ก.

แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานและ โปรแกรมภาษา C ควบคุมสตีปมอเตอร์และบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงแผนภาพขั้นตอนการควบคุมเตีปมอเตอร์และบันทึกข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาษา C ควบคุมสแต็คปมอเตอร์และบันทึกข้อมูล

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include<math.h>
#include<stdlib.h>

void record(float at);
int atten(int mil,int step2);
int k2,j2,step2,step3,mil,input1,input2;
float test1,test2,a1,b1,value1,value2,at;
int a[4] = { 0x40,0x10,0x04,0x01 };
int b[4] = { 0x50,0x14,0x05,0x41 };
int c[4] = { 0x80,0x20,0x08,0x02 };
int d[4] = { 0xa0,0x28,0x0a,0x82 };

FILE *datay1file;
struct datay1type{float y1;}datay1;
FILE *datay2file;
struct datay2type {float y2;}datay2;
FILE *dataxfile;
struct dataxtype{float x;}datax;

main()
{
char ch;
int z,i,j2,k,k2,l,step,final,dist2,step2,step3,input,count,mil,at;
float dist,initial;
z = 1;

```

// เปิดไฟล์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

```
datay1file = fopen("datay1.dat","ab");
```

```
datay2file = fopen("datay2.dat","ab");
```

```
dataxfile = fopen("datax.dat","ab");
```

```
goto name;
```

```
out:  if(count>9)
```

```
{
```

```
    atten(4,dist);
```

```
    count=0;
```

```
    if(step>0)
```

```
        goto in;
```

```
    goto in2;
```

```
}else
```

```
{
```

```
    atten(1,dist);
```

```
    if(step>0)
```

```
        goto in;
```

```
    goto in2;
```

```
}
```

```
name:  clrscr ();
```

```
printf ("*****\n");
```

```
printf (" THE STEPPING CONTROL & RECORD VALUE  \n");
```

```
printf (" FOR MICROWAVE IMAGESENSOR VER 2.0  \n");
```

```
printf (" DEVELOP BY D.S. \n");
```

```
printf ("*****\n");
```

```
printf ("\n");
```

```
printf (" PRESS ANY KEY TO CONTINUE OR 'Q' TO QUIT \n");
```

```
printf ("\n");
```

```
printf ("*****\n");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while ((ch = getch()) != 'q')
{
    if ((ch = getch()) != '\n')
    {
        printf ("BEFORE THE EXPERIMENT SET THE BAR");
        printf ("AT POSITION THAT YOU WANT \n");
        printf ("ENTER THE TIMES TO MOVE & INITIAL POSITION ,");
        printf ("DISTANT AND STATE OF ATTENUATOR\n");
        printf ("STATE 1 = 0\n" );
        printf ("STATE 2 = *1\n");
        printf ("STATE 3 = *2\n");
        printf ("STATE 4 = *3\n");

        //รับค่ามุมเฟสของคลื่นอ้างอิงและกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ
        scanf ("%f",&dist);
        final = 64;
        initial = 50.5;
        count = 1;
        dist = dist*1000;
        step = final;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// ควบคุมการเลื่อนของสเต็ปมอเตอร์ที่เลื่อนวัตถุในแนวนอน
if (step > 0)
{
    while( step>0 )
    {
        for(i=0;i<=27;i++)
        {
            for(j=0;j<=3;j++)
            {
                output (0x378,b[j]);
                delay (10);
            }
        }
        output (0x378,0);
        goto out;
        in: count++;
        record(initial);
        initial = initial - 0.54;
printf(" %d THIS POSITION IS %f AND ATTENUATOR AT %d \n",z,initial,count);
        z++;
        delay(1);
        step--;
    }
}
}

```

```

// บันทึกข้อมูลลงในไฟล์ข้อมูลที่เปิดไว้

```

```

clrscr();
printf("Saving data to disk\n");
fclose(datay1file);
fclose(datay2file);
fclose(dataxfile);
printf("Data save complete");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// หมุนสแต็ปมอเตอร์ที่ปรับมุมเฟสอ้างอิงกลับสู่จุดเริ่มต้น
step3 = dist*4;
while (step3 > 0)
{
    for (j2=0;j2<=3;j2++)
    {
        outport (0x378,d[j2]);
        delay (3);
    }
    step3--;
}
outport (0x378,0);
printf("PRESS ENTER TO CONTINUE OR 'Q' TO QUIT\n");
}else
{
    printf ("bad command please try again\n");
    goto name;
}
}
return count;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

// ฟังก์ชันควบคุมการเลื่อนของสเตปมอเตอร์ที่เปลี่ยนมุมเฟสของคลื่นอ้างอิง

```

int atten(int mil,int step2)
{
    printf("please wait \n ");
    if(mil>3)
    {
        step3 = step2*9;
        while (step3 > 0)
        {
            for (j2=0;j2<=3;j2++)
            {
                outport (0x378,d[j2]);
                delay (3);
            }
            step3--;
        }
        outport (0x378,0);
    } else
    {
        while( step2 > 0)
        {
            for(j2=3;j2>=0;j2--)
            {
                outport (0x378,d[j2]);
                delay (3);
            }
            step2--;
        }
        outport (0x378,0);
    }
    return mil; return step2;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

// ฟังก์ชันแปลงค่าแรงดันจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล และทำการบันทึกข้อมูล

```
void record(float at)
```

```
{
```

```
    int i,x,y,inp1,inp2,z3;
```

```
    unsigned char z1,z2;
```

```
    a1 = 5; b1 = 4095; z3 = 256;
```

```
    delay(1000);
```

```
    outport(627,0);
```

```
    delay(10);
```

```
    outport(624,1);
```

```
    delay(10);
```

```
    for(i=0; i<700; i++)
```

```
        x = inp(628);
```

```
    for(i=0; i<700; i++)
```

```
        y = inp(629);
```

```
    z1 = inportb(626);
```

```
    z2 = inportb(625);
```

```
    z1 = z1 & 0x0f;
```

```
    inp1 = z1*z3;
```

```
    inp2 = z2;
```

```
    input1 =inp1+inp2;
```

```
    delay(100);
```

```
    outport(627,0);
```

```
    delay(10);
```

```
    outport(624,8);
```

```
    delay(10);
```

```
    for(i=0; i<700; i++)
```

```
        x = inp(628);
```

```
    for(i=0; i<700; i++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    y = inp(629);
    z1 = inportb(626);
    z2 = inportb(625);
    z1 = z1 & 0x0f;
    inp1 = z1*z3;
    inp2 = z2;
    input2 =inp1+inp2;
    test1=input1;
    test2=input2;
    value1 = test1*(a1/b1);
    value2 = test2*(a1/b1);
    datay1.y1 = value1;
    clrscr();
    printf("y1 = %f input1 = %d\n",value1,input1);
    datay2.y2 = value2;
    printf("y2 = %f input2 = %d\n",value2,input2);
    datax.x= at;
    printf("x = %f\n",at);
    fwrite(&datay1,sizeof(struct datay1 type),1,datay1file);
    fwrite(&datay2,sizeof(struct datay2type),1,datay2file);
    fwrite(&datax,sizeof(struct dataxtype),1,dataxfile);
}

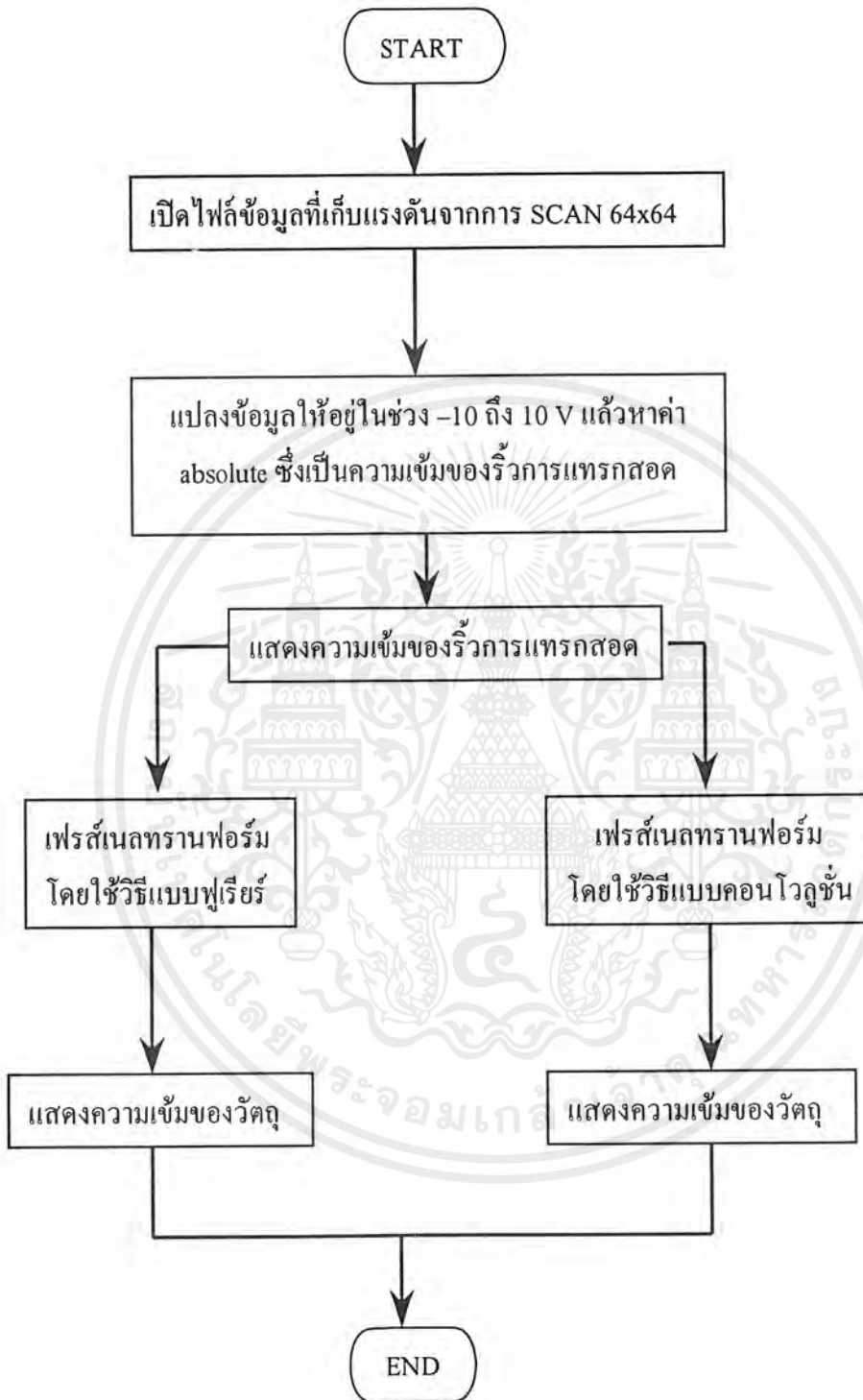
```

ภาคผนวก ข.
แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานและ โปรแกรม MATLAB ในการสร้างภาพกลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงแผนภาพขั้นตอนในการสร้างภาพกลับ



โปรแกรม MATLAB ในการสร้างภาพกลับ

```

clear
format long e

% load ข้อมูลแรงดันที่วัดได้
fid = fopen('datay1.dat','rb')
m = fread(fid,[64,64],'float');
fclose(fid);
fid = fopen('datay2.dat','rb')
n = fread(fid,[64,64],'float');
fclose(fid);

% แปลงค่าให้อยู่ในช่วง -10 ถึง 10 V
a0 = 4*m1-10;
b0 = 4*n1-10;

% แปลงเป็นความเข้ม
aa0 = a0.*a0;
bb0 = b0.*b0;
c = abs(sqrt(aa0+bb0));

% แสดงความเข้มวีการแทรกสอด
figure(1)
pcolor(c)
colormap(jet)
shading interp

```

```

% สร้างฟังก์ชันองค์ประกอบตามสมการเฟรส์เนล
d = pi/(3.26.*ระยะ Z ');
for x = 1:64
    for y = 1:64
        l1 = 33 - x;
        l2 = -33 + y;
        p(x,y) = exp(j*d*0.54*0.54*(l1^2+l2^2));
    end
end
end
e=c.*p;

% filter ข้อมูล
load ft_hann.mat
e = e.*hann;

% สร้างภาพกลับโดยใช้สมการเฟรส์เนลด้วยวิธีฟูเรียร์และแสดงรูปภาพที่ได้
r = fft2(e);
r = fftshift(r);
rr = r.*conj(r);

figure(2)
pcolor(rr)
colormap(jet)
shading interp

```

% สร้างภาพกลับโดยใช้สมการเฟรส์เนลด้วยวิธีคอนโวลูชันและแสดงรูปภาพที่ได้

```
c = c.*hann;
```

```
r2 = fft2(c);
```

```
p = p.*hann;
```

```
r3 = fft2(p);
```

```
r5 = r2.*r3;
```

```
r5 = ifft2(r5);
```

```
r5 = fftshift(r5);
```

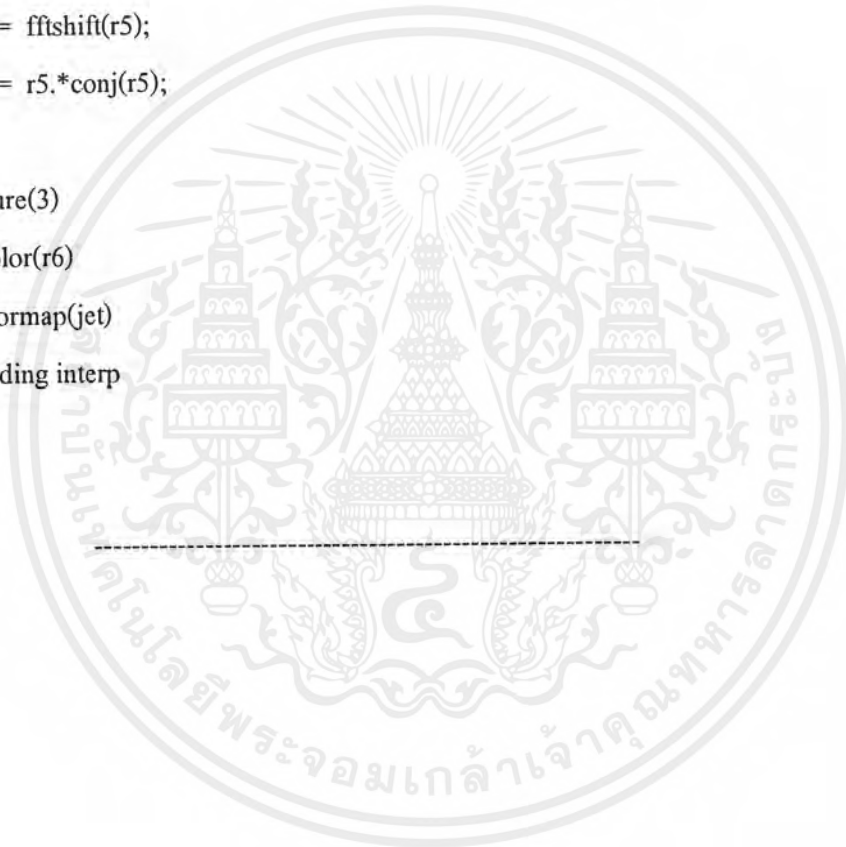
```
r6 = r5.*conj(r5);
```

```
figure(3)
```

```
pcolor(r6)
```

```
colormap(jet)
```

```
shading interp
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

โครงการพิเศษเล่มนี้จัดทำโดย นาย รัชชัย คำศรี เกิดเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน 2521 ที่ อำเภอ บางคล้า จังหวัด ฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมจากโรงเรียน เบญจมราชรังสฤษฎิ์ อำเภอเมือง จังหวัด ฉะเชิงเทรา เมื่อปีการศึกษา 2538 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ ในปีการศึกษา 2539 ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้