

การศึกษาการเลี้ยวเบนทางแสง



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

416.

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

01364

คณะวิทยาศาสตร์

727

เลขหมู่.....สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขทะเบียน.....36700.....ไว้สำหรับการแจ้งปีการศึกษา 2541 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วัน, เดือน, ปี.....23 ส.ค. 2543.....ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Diffraction Optics

Miss. Sakonwan Charonnarong

Mr. Somphop Klyosumphan



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 1998 ษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการเลี้ยวเบนทางแสง
โดย	นางสาวสกันธ์วรรณ ชาญณรงค์
	นายสมภพ เกติยวสันพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล
	ดร. วิริยะ ชูปวีณ
	อ. สุนัน จ่างประยูร
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2541

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนแบบเฟรานโฮเฟอร์ ซึ่งเราได้ เราได้ใช้สิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างต่างกัน ขนาดต่างกัน และใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง กัน 3 ค่าความยาวคลื่น ระบบการตรวจวัดเราได้ใช้กล้อง CCD ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บภาพ ของรูปแบบการเลี้ยวเบน ซึ่งจากการศึกษาเราพบว่าความกว้างของแถบสว่างจะเป็นสัดส่วนโดยตรง กับค่าความยาวคลื่นของแสง และเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของสิ่งกีดขวาง โดยผลการทดลองทั้งหมดได้ถูกแสดงและวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	A Study of Diffraction Optics
Name	Miss. Sakonwan Charnnarong Mr. Somphop Klyosumphan
Special Project Adviser	Asst. Prof. Dr. Sirisak Techathawiekul Dr. Wiriyah Chupaween Mr. Soon Changprayoon
Department	Applied Physics
Academic year	1998

Abstract

The aim of this project is to study Fraunhofer diffraction phenomena. In doing so, apertures with different shapes and sizes were used as well as three light sources with different wavelengths. Detection System for taking photograph of the diffraction patterns was a CCD camera connected to a computer. It has been found that the width of the central maximum is proportional to the wavelength of light and is inversely proportional to the dimension of the aperture. All the experimental results shown were also discussed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในทุกๆด้านของ ผศ.ดร.ศิริศักดิ์ เตชะทวีกุล ดร.วิริยะ ชูปวีณ และอ.สุน จ่างประยูร ผู้ทำโครงการพิเศษรู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ได้ให้การสนับสนุน รวมทั้งกำลังใจ จนจบการศึกษาระดับปริญญาตรี

ขอขอบพระคุณ เนคเทค (EOL) และพี่ๆที่เนคเทคทุกคน ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์ และเครื่องมือ ทั้งหมด ตลอดจนคำปรึกษา และความช่วยเหลือที่สำคัญต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณครูและอาจารย์ทุกท่าน ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชา ตั้งแต่ระดับอนุบาล ประถม มัธยมต้น มัธยมปลาย และปริญญาตรี ทำให้มีโอกาสนี้ในวันนี้ได้

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ รุ่น 13 สำหรับข้อมูลบางส่วนที่สำคัญ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ รุ่น 14 ที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ ขออภัย และขอขอบคุณ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ หากแต่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

ผู้ทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
- ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
- จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
- ขอบเขตของการทำโครงการพิเศษ	1
- วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การเลี้ยวเบน	3
2.1.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว	3
2.1.2 การเลี้ยวเบนจากช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยม	8
2.1.3 การเลี้ยวเบนจากช่องเปิดรูปวงกลม	9
2.2 การทำงานของซีซีดี (CCD: Charged Couple Device)	11
2.2.1 แบบส่งท่งเฟรม (Frame Transfer)	14
2.2.2 แบบเลื่อนส่งทีละแถว (Interline Transfer)	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง	16
บทที่ 4 ผลการทดลอง	19
4.1 กรณีของสลิตเดี่ยว	19
4.2 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส	37
4.3 กรณีของช่องเปิดวงกลม	55
บทที่ 5 การวิเคราะห์และสรุปผล	73
5.1 กรณีของสลิตเดี่ยว	73
5.2 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส	85
5.3 กรณีของช่องเปิดวงกลม	91
- สรุปผลและวิเคราะห์การทดลอง	100
บรรณานุกรม	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

1. รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยวในแบบเฟรานโฮเฟอร์
2. รูปที่ 2.2 แสดงกราฟของ $\text{sinc}\beta$ กับ β และกราฟของ irradiance I กับ β
3. รูปที่ 2.3 แสดงกราฟของ $y = \tan\beta$ กับ $y = \beta$ เพื่อหาค่า β ที่ $\text{sinc}\beta$ มีค่าสูงสุด
4. รูปที่ 2.4(a) แสดงการเลี้ยวเบนของแสงจากสลิตเดี่ยว
5. รูปที่ 2.4(b) แสดงการเลี้ยวเบนของแสงจากช่องเปิดสี่เหลี่ยม
6. รูปที่ 2.4(c) แสดงภาพถ่ายของกรณี (a)
7. รูปที่ 2.4(d) แสดงภาพถ่ายของกรณี (b)
8. รูปที่ 2.5 แสดง Bessel function $J_1(\gamma)$ ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์ค่าแรกที่ $\gamma = 3.832$
9. รูปที่ 2.6(a) แสดงค่า irradiance บนฉากในกรณีการเลี้ยวเบนจากช่องเปิดวงกลม
10. รูปที่ 2.6(b) แสดงภาพถ่ายของ irradiance บนฉาก วงกลมกลางเรียกว่า Airy disk
11. รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไปของซีซีดี
12. รูปที่ 2.8 แสดงการถ่ายเทประจุภายในโครงสร้างซีซีดี
13. รูปที่ 2.9 แบบส่งทั้งเฟรม (Frame Transfer)
14. รูปที่ 2.10 แบบส่งทีละเส้น (Interline Transfer)
15. รูปที่ 3.1 เครื่องถ่ายย่อส่วนของ Kodak
16. รูปที่ 3.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์
17. รูปที่ 3.3 Air-cooled Ion Argon Laser (Tunable)
18. รูปที่ 3.4 กล้อง CCD (Charge Coupled Device)
19. รูปที่ 4.1 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
20. รูปที่ 4.2 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
21. รูปที่ 4.3 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
22. รูปที่ 4.4 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
23. รูปที่ 4.5 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
24. รูปที่ 4.6 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

25. รูปที่ 4.7 ภาพจากกล้องซีซีดีของสไลด์เดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 26. รูปที่ 4.8 ภาพจากกล้องซีซีดีของสไลด์เดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 27. รูปที่ 4.9 ภาพจากกล้องซีซีดีของสไลด์เดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 28. รูปที่ 4.10 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 29. รูปที่ 4.11 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 30. รูปที่ 4.12 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 31. รูปที่ 4.13 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 32. รูปที่ 4.14 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 33. รูปที่ 4.15 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 34. รูปที่ 4.16 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 35. รูปที่ 4.17 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 36. รูปที่ 4.18 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 37. รูปที่ 4.19 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 38. รูปที่ 4.20 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 39. รูปที่ 4.21 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

40. รูปที่ 4.22 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 41. รูปที่ 4.23 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 42. รูปที่ 4.24 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 43. รูปที่ 4.25 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 44. รูปที่ 4.26 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 45. รูปที่ 4.27 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 46. รูปที่ 5.1 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 47. รูปที่ 5.2 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 48. รูปที่ 5.3 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 49. รูปที่ 5.4 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 50. รูปที่ 5.5 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 51. รูปที่ 5.6 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
 52. รูปที่ 5.7 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 53. รูปที่ 5.8 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 54. รูปที่ 5.9 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
- เอกสารนี้เป็นเอกสารทศวรรษวิสาห์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

55. รูปที่ 5.10 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
56. รูปที่ 5.11 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
57. รูปที่ 5.12 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
58. รูปที่ 5.13 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
59. รูปที่ 5.14 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
60. รูปที่ 5.15 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
61. รูปที่ 5.16 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
62. รูปที่ 5.17 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
63. รูปที่ 5.18 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
64. รูปที่ 5.19 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
65. รูปที่ 5.20 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
66. รูปที่ 5.21 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
67. รูปที่ 5.22 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
68. รูปที่ 5.23 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
69. รูปที่ 5.24 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

70. รูปที่ 5.25 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
71. รูปที่ 5.26 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
72. รูปที่ 5.27 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

1. กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
2. กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
3. กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
4. กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
5. กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
6. กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
7. กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
8. กราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
9. กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
10. กราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
11. กราฟที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
12. กราฟที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
13. กราฟที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
14. กราฟที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
15. กราฟที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

สารบัญกราฟ (ต่อ)

16. กราฟที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
17. กราฟที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
18. กราฟที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
19. กราฟที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
20. กราฟที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
21. กราฟที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
22. กราฟที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
23. กราฟที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
24. กราฟที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
25. กราฟที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
26. กราฟที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
27. กราฟที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
28. กราฟที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบนที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
29. กราฟที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบนที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
30. กราฟที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบนที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

สารบัญกราฟ (ต่อ)

31. กราฟที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 200 ไมโครเมตร
32. กราฟที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 425 ไมโครเมตร
33. กราฟที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 600 ไมโครเมตร
34. กราฟที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
35. กราฟที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
36. กราฟที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
37. กราฟที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของลำแสงกับความสูงของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 200 ไมโครเมตร
38. กราฟที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของลำแสงกับความสูงของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 425 ไมโครเมตร
39. กราฟที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของลำแสงกับความสูงของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 600 ไมโครเมตร
40. กราฟที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 200 ไมโครเมตร
41. กราฟที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 425 ไมโครเมตร
42. กราฟที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 600 ไมโครเมตร
43. กราฟที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
44. กราฟที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ (ต่อ)

45. กราฟที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
46. กราฟที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบนที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
47. กราฟที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบนที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
48. กราฟที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบนที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
49. กราฟที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 200 ไมโครเมตร
50. กราฟที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 425 ไมโครเมตร
51. กราฟที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 600 ไมโครเมตร
52. กราฟที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
53. กราฟที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
54. กราฟที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
55. กราฟที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
56. กราฟที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
57. กราฟที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
58. กราฟที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

59. กราฟที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
60. กราฟที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
61. กราฟที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
62. กราฟที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
63. กราฟที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

การเลี้ยวเบนทางแสงเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่น เมื่อแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนไปจากทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต

สำหรับโครงการพิเศษนี้จะเป็นการศึกษาการเลี้ยวเบนทางแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่น 632.8 nm, 514 nm และ 488 nm โดยผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างต่างกัน ได้แก่ สลิตเดี่ยว ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และช่องเปิดรูปวงกลมที่มีขนาด 200 μm , 425 μm และ 600 μm โดยใช้กล้อง CCD ตรวจวัดและแสดงภาพถ่ายของการเลี้ยวเบนของแสงทางคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นกราฟแล้วทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ

จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาถึงปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนทางแสงเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างต่างกัน
2. เพื่อศึกษาถึงปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนทางแสงเมื่อผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดต่างกัน
3. เพื่อศึกษาถึงปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนทางแสงเมื่อใช้แสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน

ขอบเขตของการทำโครงการพิเศษ

เนื่องจากโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเลี้ยวเบนทางแสง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่น เพราะเมื่อแสงเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างต่างๆกัน ได้แก่ สลิตเดี่ยว ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ช่องเปิดรูปวงกลม ที่มีขนาดต่างๆกันคือ 200 μm , 425 μm และ 600 μm โดยแสงที่ใช้ตกกระทบนั้นมีความยาวคลื่นเป็น 632.8 nm (แสงสีแดง) 514 nm (แสงสีเขียว) และ 488 nm (แสงสีน้ำเงิน) จากนั้นใช้กล้อง CCD ตรวจวัดและแสดงภาพถ่ายของการเลี้ยวเบนของแสงทางคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์แล้วสรุปเป็นความสัมพันธ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตการดำเนินงานทั้งหมด
2. ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนทางแสง และการใช้กล้อง CCD
3. สร้างสไลด์เดี่ยว ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และช่องเปิดรูปวงกลม ขนาด $200\ \mu\text{m}$, $425\ \mu\text{m}$ และ $600\ \mu\text{m}$
4. จัดเตรียมการทดลอง
5. เปลี่ยนขนาดของสิ่งกีดขวาง
6. เปลี่ยนรูปร่างของสิ่งกีดขวาง
7. เปลี่ยนค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้
8. นำผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดความเข้มด้วยกล้อง CCD แล้วนำมาสร้างเป็นกราฟ
9. วิเคราะห์กราฟจากผลข้อมูลที่ได้
10. สรุปผลการทำโครงการพิเศษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

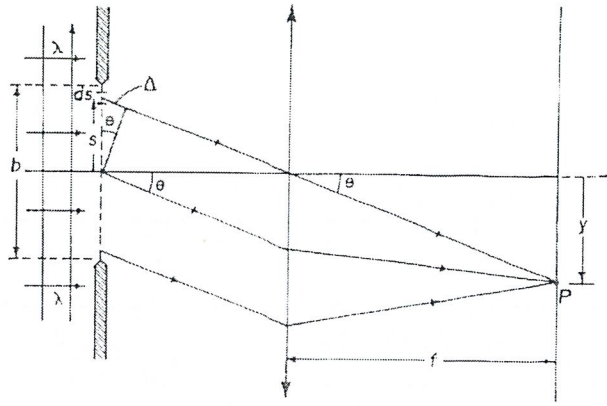
2.1 การเลี้ยวเบน

การเลี้ยวเบนของแสงเป็นการเบี่ยงเบนไปจากทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต อันเนื่องมาจากการกีดขวางต่อคลื่นแสงนั้น เช่นถ้าเจาะรูกลมเล็กๆบนกระดาษทึบเพื่อใช้เป็นสิ่งกีดขวางคลื่น เมื่อมองภาพบนฉากที่อยู่หลังรูกลม จะเห็นภาพวงกลมสว่างที่มีของไม่คมชัดเหมือนในกรณีของการเกิดเงาในทัศนศาสตร์เชิงเรขาคณิต หากแต่ที่ขอบของวงกลมนั้นจะมีแถบของวงกลมมืด-สว่างที่ไม่คมชัดนักเพื่อออกไปด้านข้างอีกด้วย การเลี้ยวเบนของแสงนี้เป็นผลสืบเนื่องมาจากความเป็นคลื่นของแสงนอกจากจะเกิดได้กับสิ่งกีดขวางที่ทึบแล้ว ยังอาจเกิดได้ในกรณีที่สิ่งกีดขวางทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดหรือเฟสของแสงที่ผ่านไปได้ เช่นฟองอากาศเล็กๆ หรือสิ่งเจือปนในเลนส์ก็จะทำให้เกิดภาพจากการเลี้ยวเบนได้เมื่อมีแสงเลเซอร์ผ่านไป การเกิดการเลี้ยวเบนในอุปกรณ์ทางแสงนี้จะเป็นอุปสรรคในการใช้งานอุปกรณ์เหล่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากขอบของภาพจากการเลี้ยวเบนมีลักษณะไม่คมชัด ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้แยกความแตกต่าง

การแบ่งชนิดของการเลี้ยวเบนเป็นผลมาจากการประมาณค่าทางคณิตศาสตร์ที่เกิดขึ้นในการคำนวณหาค่าสนามรวม ถ้าทั้งแหล่งกำเนิดแสงและฉากอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางมากพอที่จะทำให้ถือว่าหน้าคลื่นที่มาถึงสิ่งกีดขวางและหน้าคลื่นที่มาจากเป็นหน้าคลื่นระนาบ เราเรียกการเลี้ยวเบนแบบนี้ว่าการเลี้ยวเบนแบบเฟรานโฮเฟอร์ (Fraunhofer) หรือแบบfar-field แต่ถ้าหน้าคลื่นนั้นเป็นหน้าคลื่นทรงกลมเราเรียกการเลี้ยวเบนแบบเฟรเนล (Fresnel) หรือ near-field

2.1.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว

ในที่นี้จะศึกษาการเลี้ยวเบนแบบเฟรานโฮเฟอร์จากสลิตเดี่ยวรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาวมากกว่าความกว้าง และจากที่กล่าวมาแล้วในการเลี้ยวเบนแบบเฟรานโฮเฟอร์นั้น แหล่งกำเนิดจะอยู่ห่างจากสลิตมากจนทำให้แสงที่ไปถึงสลิตมีหน้าคลื่นระนาบ ในทางปฏิบัติทำได้โดยวางเลนส์ขนานไว้ระหว่างแหล่งกำเนิดกับสลิต โดยให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ที่ระนาบโฟกัสของเลนส์ ในทำนองเดียวกันฉากก็ควรจะต้องอยู่ห่างจากสลิตมากด้วย จึงใช้เลนส์ขนานอีกอันหนึ่งวางระหว่างสลิตกับฉากเพื่อรวมแสงจากจุดต่างๆบนสลิตให้ไปตกบนฉาก ดังนั้นฉากจึงต้องอยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ด้วย โดยอาศัยหลักการของฮอยเกนส์-เฟรเนล (Huygens-Fresnel principle) คลื่นระนาบที่ไปถึงสลิตจะให้คลื่นลูกใหม่ออกมาจากทุกจุดบนหน้าคลื่น และโดยการรวมคลื่นที่เกิดใหม่นี้จะทำให้ได้สนามรวมที่ P บนฉากในรูปที่ 2.1 คลื่นที่มาถึง P ทั้งหลายนี้เฟสจะไม่ตรงกัน กำหนดให้ Δ เป็น OPL ของคลื่น ที่จากจุดกึ่งกลางสลิต กับจุดที่อยู่ห่างขึ้นไปเป็นระยะ r นั้น ไม่นับญาติให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยวในแบบเฟรานัวโฮเฟอร์

ที่ระยะสูงจากจุดกึ่งกลางสลิตขึ้นมาเป็นระยะ s นี้ ถ้าให้ช่วงเล็กๆ ds ทำตัวเป็นแหล่งกำเนิด ทำให้ได้สนามไฟฟ้าอันเนื่องมาจาก ds ณ จุด P เป็น

$$dE_p = \left(\frac{dE_0}{r} \right) \sin(\omega t - kr) \quad (2.1)$$

โดยที่ r เป็น OPL จาก ds ถึง P และ dE_0 เป็นแอมพลิจูดของสนามจาก ds ที่ระยะห่าง 1 หน่วย ซึ่ง dE_0 นี้มีค่าขึ้นอยู่กับ ds โดย

$$dE_0 = E_L ds \quad (2.2)$$

เมื่อ E_L เป็นแอมพลิจูดของสนามจากสลิตที่มีความกว้าง 1 หน่วย และที่ระยะห่างจากสลิต 1 หน่วย ถ้าให้ $r = r_0$ สำหรับคลื่นที่มาจากช่วง ds ที่มี $s = 0$ หรือที่จุดกึ่งกลางของสลิต จะได้ว่าคลื่นจาก ds อื่นๆ ที่ระยะ s จะให้สนามที่จุด P เป็น

$$dE_p = \left(\frac{E_L ds}{r} \right) \sin[\omega t - k(r_0 + \Delta)] \quad (2.3)$$

เนื่องจาก $\Delta \ll r_0$ จึงได้ r ในส่วนของแอมพลิจูดเป็น r_0 แต่ในส่วนของเฟสต้องคงเดิมไว้ และจากรูปจะได้ $\Delta = s \sin \theta$ สมการ (2.3) จึงเปลี่ยนเป็น

$$dE = dE_{+s} + dE_{-s}$$

$$dE = \left(\frac{E_L ds}{r_0} \right) [\sin(\omega t - kr_0 - k s \sin \theta) + \sin(\omega t - kr_0 + k s \sin \theta)] \quad (2.4)$$

และโดยการใช้ความสัมพันธ์ $\sin A + \sin B = 2 \sin \left(\frac{A+B}{2} \right) \cos \left(\frac{A-B}{2} \right)$ จะได้

$$dE = \left(\frac{E_L ds}{r_0} \right) [2 \cos(-k s \sin \theta) \sin(\omega t - kr_0)]$$

สามารถหาสนามรวมที่ P จากจุดทุกจุดบนสลิตได้โดยการอินทิเกรตบนช่วงความกว้างของสลิต b

นั่นคือ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \left(\frac{2E_L}{r_0} \right) \int_{-b/2}^{b/2} \cos(k s \sin \theta) \sin(\omega t - k r_0) ds$$

$$E = \left(\frac{2E_L}{r_0} \right) \frac{\sin[(kb/2)\sin\theta]}{k \sin \theta} \sin(\omega t - k r_0) \quad (2.5)$$

$$E = E_0 \sin(\omega t - k r_0) \quad (2.6)$$

สนาม E นี้จะเป็นคลื่นฮาร์โมนิกที่มีแอมพลิจูด E_0 นั้นเอง โดยที่

$$E_0 = \left(\frac{2E_L}{r_0} \right) \frac{b \sin[(kb/2)\sin\theta]}{(kb/2)\sin\theta} \quad (2.7)$$

ถ้าให้

$$\beta \equiv \frac{kb}{2} \sin \theta \quad (2.8)$$

จะเขียนได้ว่า

$$E_0 = \left(\frac{E_L b}{r_0} \right) \frac{\sin \beta}{\beta} = \frac{E_L b}{r_0} \text{sinc} \beta \quad (2.9)$$

เนื่องจาก β แปรตาม θ ดังสมการ (2.8) จะได้สนามบนฉากมีแอมพลิจูดมีค่าเปลี่ยนแปลงตาม θ ด้วย ค่า β นี้เมื่อพิจารณาแล้ว จะเห็นว่าคือค่าความต่างเฟสระหว่างคลื่นจากจุดกึ่งกลางสลิตกับขอบสลิตนั่นเอง

ค่า irradiance ที่จุด P จะแปรตามกำลังสองของแอมพลิจูดของสนามที่จุดนั้น หรือได้ว่า

$$I = \frac{\epsilon_0 c}{2} E_0^2 = \frac{\epsilon_0 c}{2} \left(\frac{E_L b}{r_0} \right)^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$$

หรือ

$$I = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} = I_0 \text{sinc}^2 \beta \quad (2.10)$$

สามารถนำผลจากสมการ (2.8) และ (2.10) ไปเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลง irradiance บนฉากได้ โดยพิจารณาจากสมบัติของฟังก์ชัน $\text{sinc} \beta$ ขณะที่ β มีค่าเข้าใกล้ 0 จะได้

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \text{sinc} \beta = \lim_{\beta \rightarrow 0} \frac{\sin \beta}{\beta} = 1 \quad (2.11)$$

และถ้า $\sin \beta = 0$ จะได้ $\text{sinc} \beta$ เป็น 0 ซึ่งจะเป็นไปได้เมื่อ

$$\beta = \frac{1}{2} (kb \sin \theta) = m\pi \quad \text{โดยที่ } m = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

สำหรับกรณีที่ $m = 0$ จะเกิดในกรณีจึงสมการที่ (2.11) ถ้าให้ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ จะได้เงื่อนไขสำหรับ

$\text{sinc} \beta = 0$ เป็น

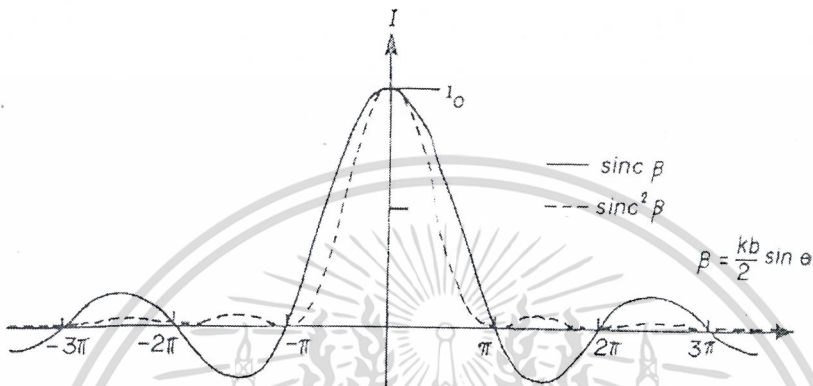
$$m\lambda = b \sin \theta \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขนี้เป็นเงื่อนไขที่ทำให้ irradiance มีค่าเป็น 0 ด้วย ถ้าพิจารณาบนฉากค่าสูงสุดของ irradiance จะเกิดขึ้นเมื่อ $\beta = 0$ หรือ $\theta = 0$ หรือ $y = 0$ และค่าต่ำสุดเกิดเมื่อ $m\lambda \cong \frac{by}{f}$ เนื่องจาก θ มีค่าน้อย

จึงได้ว่า $\sin\theta \cong \frac{y}{f}$ ดังนั้น

$$y \cong \frac{mf\lambda}{b} \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.2 แสดงกราฟของ $\text{sinc } \beta$ กับ β และกราฟของ irradiance I กับ β

ความสัมพันธ์ของ irradiance กับ β แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจากการวิเคราะห์จะพบว่าค่าสูงสุดของ I ในอันดับที่สองนั้น ไม่ได้อยู่ที่กลางระหว่างตำแหน่งที่ $I = 0$ อันดับที่หนึ่งและสอง สามารถหาค่าตำแหน่งที่ I มีค่าสูงสุดได้ โดยทำการหาค่า β ที่ทำให้การหาอนุพันธ์ของ $\text{sinc } \beta / \beta$ มีค่าเป็นศูนย์ หรือ

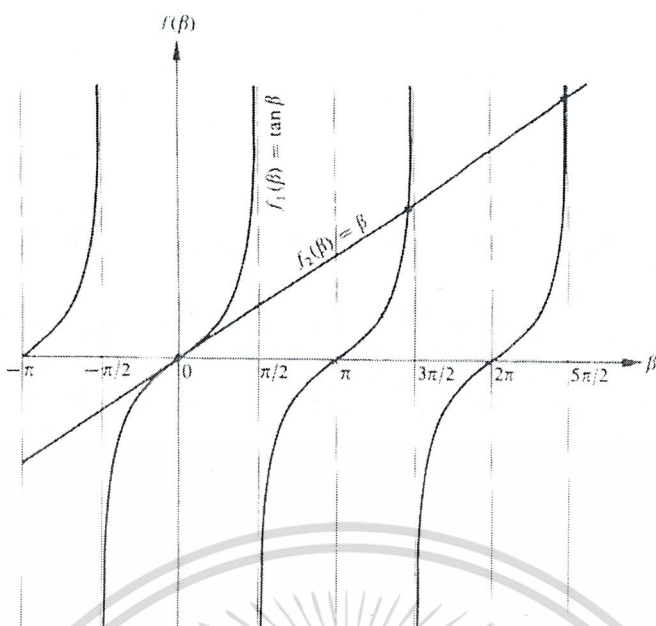
$$\frac{d}{d\beta} \left(\frac{\sin\beta}{\beta} \right) = \frac{(\beta \cos\beta - \sin\beta)}{\beta^2} = 0$$

ซึ่งจะได้

$$\beta = \tan\beta$$

ค่า β ที่จะทำให้ $\beta = \tan\beta$ นี้สามารถหาได้จากการตัดกันของกราฟ $y = \beta$ และ $y = \tan\beta$ ในรูปที่ 2.3 ซึ่งจะพบนอกจากค่า $\beta = 0$ แล้วก็จะมี $\beta = 1.43\pi, 4.3\pi, 7.72\pi, \dots$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงกราฟของ $y = \tan\beta$ กับ $y = \beta$ เพื่อหาค่า β ที่ $\text{sinc}\beta$ มีค่าสูงสุด

จะเห็นได้ว่ายิ่ง β เพิ่มขึ้น จุดตัดของกราฟทั้งสองก็จะยิ่งเข้าใกล้เส้นโค้งมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าตำแหน่งที่ I มีค่าสูงสุดจะอยู่ใกล้จุดกึ่งกลางของตำแหน่งที่ I มีค่าต่ำมากขึ้นด้วย

จากค่า irradiance นี้จะเห็นได้ว่าพลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดของแถบสว่างกลาง (central maximum) ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบดังนี้

$$\frac{I_{\beta=0}}{I_{\beta=1.43\pi}} = \frac{\left(\frac{\sin^2\beta}{\beta^2}\right)_{\beta=0}}{\left(\frac{\sin^2\beta}{\beta^2}\right)_{\beta=1.43\pi}} = \frac{1}{\left(\frac{\sin^2\beta}{\beta^2}\right)_{\beta=1.43\pi}} = \left(\frac{\beta^2}{\sin^2\beta}\right)_{\beta=1.43\pi} = 21.2$$

นั่นคือค่า I สูงสุดของแถบอันดับที่สองจะเป็นเพียง 4.7% ของอันดับแรก

แถบสว่างกลางนี้จะเป็ภาพของสลิตบนฉากซึ่งขอบภาพไม่คมชัดเนื่องจากจะมีแถบสว่างสลั้กับแถบมืดแผ่อยู่โดยรอบ ความกว้างเชิงมุม (angular width) ของแถบสว่างกลางนี้ นิยามว่าเป็นมุม $\Delta\theta$ ระหว่างแถบมืดสองแถบที่อยู่ข้างแถบสว่างกลาง เมื่อใช้สมการ (2.12) ในกรณีที $m = \pm 1$ และประมาณว่า $\sin\theta = \theta$ จะได้

$$\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b} \quad (2.14)$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า ถ้าความกว้างของสลิตลดลง แถบสว่างกลางจะกว้างขึ้น และเนื่องจากโดยทั่วไปความยาวของสลิตมีค่ามากกว่าความกว้างมาก ดังนั้นผลของการเลี้ยวเบนของหน้าคลื่นตามความยาวของสลิตจึงมีความกว้างเชิงมุมน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเลี้ยวเบนจากช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยม

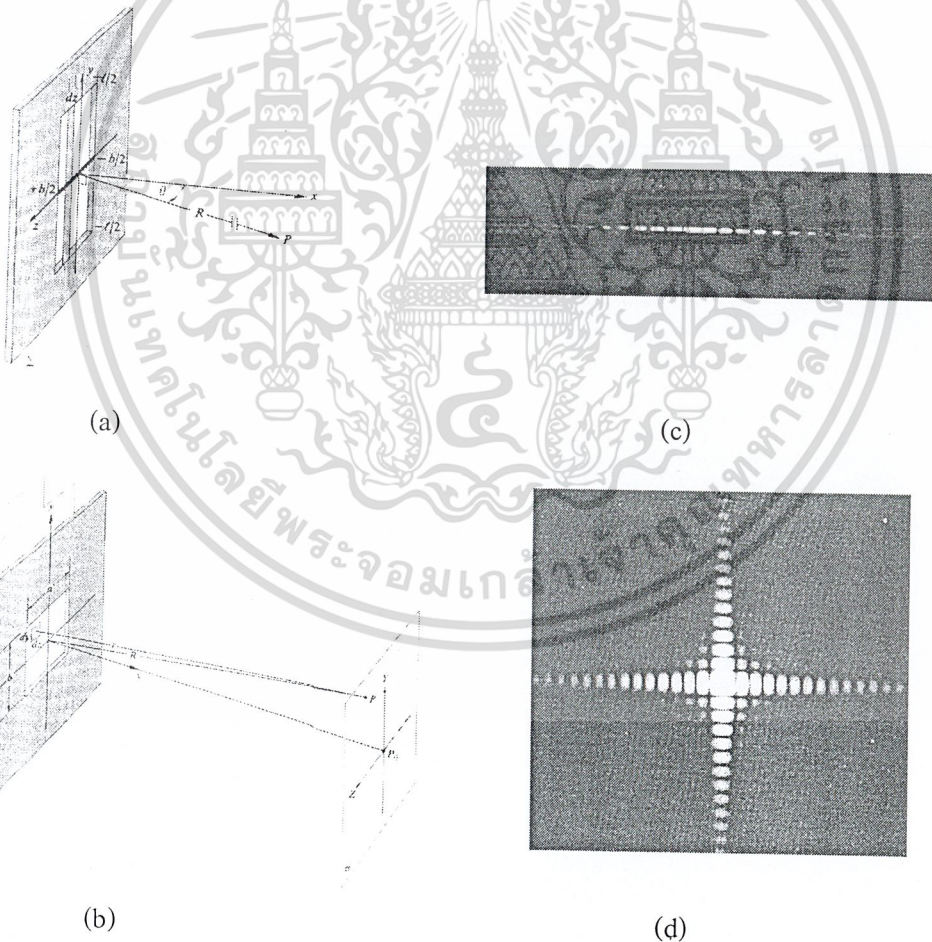
จากหัวข้อที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นแล้วว่า การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง b ให้ความสว่างบนฉากดังรูปที่ 2.4(a) สำหรับกรณีที่ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยม แต่ละด้านจะทำให้เกิดการแผ่กระจายในทำนองเดียวกัน จะทำให้ได้ภาพการเลี้ยวเบนเป็นดังลักษณะในรูปที่ 2.4(b) สามารถเขียนโดยเปรียบเทียบกับสมการ (2.10) ได้ว่า ในกรณีที่ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง b และความยาว a นั้น irradiance ที่เป็นผลมาจากแสงในส่วนของความยาวมีค่าเป็น

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad \text{เมื่อ } \alpha = \frac{k}{2} a \sin \theta \quad (2.15)$$

ดังนั้นภาพบนฉากจะมีตำแหน่งที่ irradiance เป็นศูนย์ในสองทิศทางคือ x และ y โดยมีค่าตามสมการ

$$x = \frac{m\lambda}{a} \quad \text{และ} \quad y = \frac{n\lambda}{b}$$

เมื่อ m และ n ต่างก็เป็นเลขจำนวนเต็มที่ไม่ใช่ศูนย์



รูปที่ 2.4 (a) แสดงการเลี้ยวเบนของแสงจากสลิตเดี่ยว

(b) แสดงการเลี้ยวเบนช่องเปิดสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (c) และ (d) แสดงภาพถ่ายของกรณี (a) และ (b) ตามลำดับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า irradiance บนฉากสามารถเขียนได้เป็นผลคูณของ irradiance ของแต่ละแนว กล่าวคือ

$$I = I_0 (\text{sinc}^2 \beta) (\text{sinc}^2 \alpha) \quad (2.16)$$

สมการ (2.16) นี้หาได้โดยการทำการอินทิเกรตสองชั้น ตลอดความยาวและความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยม

2.1.3 การเลี้ยวเบนจากช่องเปิดรูปวงกลม

ในกรณีที่เป็นช่องเปิดรูปวงกลม การอินทิเกรตสองชั้นนั้น จะเป็นการอินทิเกรตบนพื้นที่ของวงกลม และแทนที่จะได้ฟังก์ชัน sine ก็จะได้ first order Bessel function J_1 แทนซึ่งฟังก์ชัน J_1 นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายๆ กับฟังก์ชัน sine ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ข้อแตกต่างของฟังก์ชันทั้งสองนี้คือ J_1 จะมีแอมพลิจูดลดลงเรื่อยๆ เมื่อมุม θ มีค่ามากขึ้น และ irradiance ที่ได้ ในกรณีของช่องเปิดรูปวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง D จะมีค่าเป็น

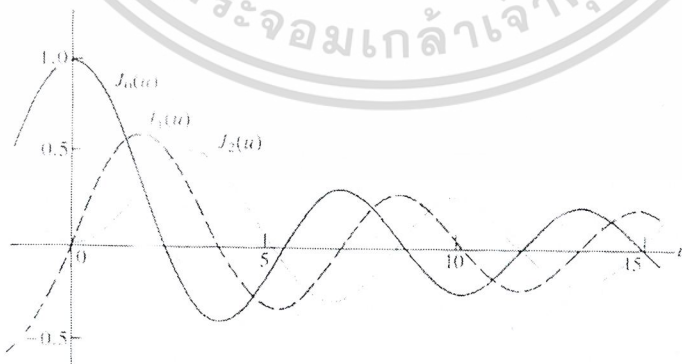
$$I = I_0 \left(\frac{J_1(\gamma)}{\gamma} \right)^2 \quad \text{เมื่อ } \gamma \equiv \frac{k}{2} D \sin \theta \quad (2.17)$$

ฟังก์ชัน $\frac{J_1(\gamma)}{\gamma}$ นี้จะมีสมบัติคล้ายๆ กับ $\frac{\sin x}{x}$ กล่าวคือจะมีค่าสูงสุดเมื่อ γ เข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น irradiance จึงมีค่าสูงสุดที่จุดศูนย์กลางของภาพคือที่ $\theta = 0$ ภาพที่ปรากฏบนฉากจะมีสมมาตรเทียบกับแกนทัศนที่ผ่านจุดศูนย์กลางของวงกลมมายังฉาก และตำแหน่งที่เกิดแถบมืดแถบแรกคือ เมื่อ $\gamma = 3.832$ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หรือเมื่อ

$$\gamma = \frac{k}{2} D \sin \theta = 3.832$$

ซึ่งจะได้

$$D \sin \theta = 1.22 \lambda \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.5 แสดง Bessel function $J_1(\gamma)$ ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์ค่าแรกที่ $\gamma = 3.832$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

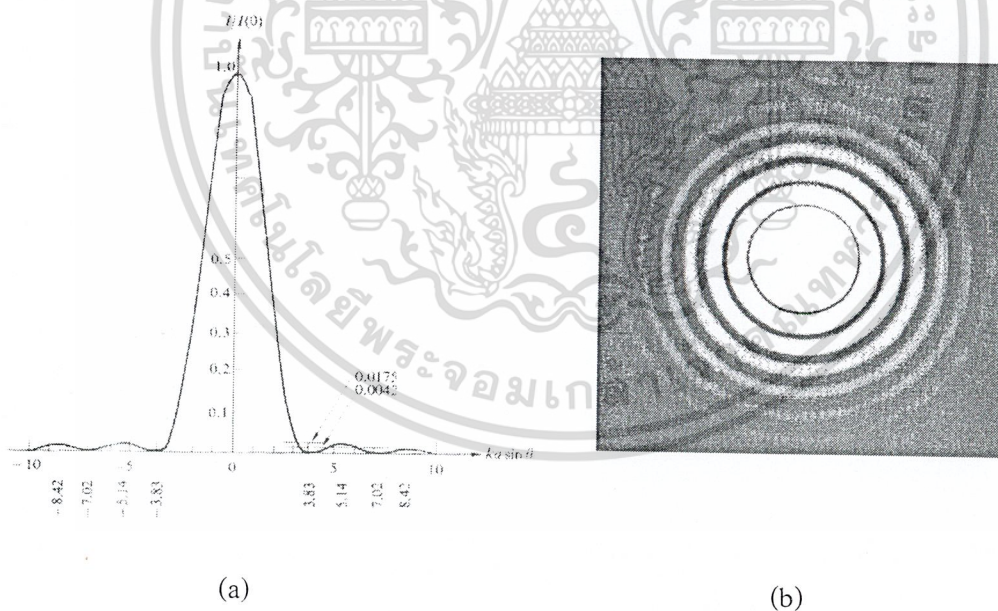
เมื่อเปรียบเทียบสมการ (2.18) $D\sin\theta = 1.22\lambda$ ของช่องเปิดรูปวงกลม กับสมการ (2.12) ของช่องเปิดสี่เหลี่ยม $b\sin\theta = m\lambda$ และ $a\sin\theta = n\lambda$ แล้ว จะเห็นว่าในกรณีของแถบมืดแถบแรกของช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยม $m = 1$ และ $n = 1$ หรือ

$$b\sin\theta = \lambda$$

$$a\sin\theta = \lambda$$

สมการนี้จะต่างจากกรณีของช่องเปิดรูปวงกลมในส่วนขวามือของสมการซึ่งจะเป็น 1.22λ ในกรณีของแถบมืดอันดับอื่นๆของช่องเปิดรูปวงกลม ก็จะสามารถได้จากตำแหน่งที่ $J_1(\gamma)$ มีค่าเป็นศูนย์ที่อันดับต่อไปได้ ค่า irradiance ที่ได้ในสมการ (2.17) เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.6(a) ลักษณะของกราฟจะคล้ายกับกรณีของช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมในรูปที่ 2.2 มาก จะต่างกันตรงที่ในกรณีของช่องเปิดรูปวงกลม irradiance จะมีสมมาตรรอบแกนทัศน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.6(b) แถบสว่างกลางในกรณีนี้จะอยู่ในรูปวงกลมโดยมีวงมืด-สว่างสลับกันแผ่อยู่รอบๆ เราเรียกแถบสว่างกลางนี้ว่า Airy disk หรือ Airy ring ซึ่งรัศมีเชิงมุมของ Airy disk ในการเลี้ยวเบนแบบเฟรานโฮเฟอร์นี้ มีค่าเป็น

$$\Delta\theta = \frac{1.22\lambda}{D} \quad (2.19)$$



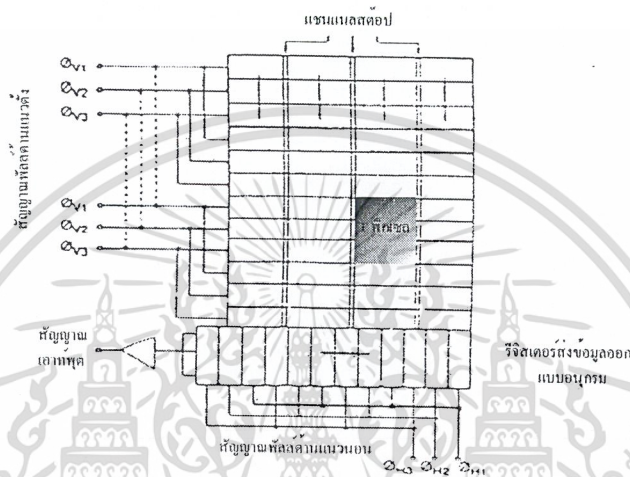
รูปที่ 2.6 (a) แสดงค่า irradiance บนฉากในกรณีการเลี้ยวเบนจากสลิตวงกลม

(b) แสดงภาพถ่ายของ irradiance บนฉากวงกลมกลางเรียกว่า Airy disk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทำงานของซีซีดี(CCD: Charge Coupled Device)

อุปกรณ์ซีซีดี (CCD: Charge Coupled Device) ถือกำเนิดขึ้นมาหลายทศวรรษแล้ว และได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อประมาณพ.ศ. 2493 หลังจากมีการวิจัยเกี่ยวกับการผลิตทรานซิสเตอร์รูปแบบใหม่ประสบผลสำเร็จ ต่อจากนั้นจึงมีการพัฒนา ไปสู่การผลิตวงจรรวมหรือไอซี (IC: Integrated Circuit) ด้วยเทคโนโลยีเมอส (MOS: Metal Oxide Semiconductor) และในที่สุดก็ประสบผลสำเร็จอีกครั้งกับการผลิตวงจรรวมซิลิคอนซีซีดี สำหรับใช้งานเป็นอุปกรณ์ถ่ายภาพเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการทำงาน โดยการถ่ายเทของประจุไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.2.1



รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้างพื้นฐานโดยทั่วไปของซีซีดี

จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างภายใน และทิศทางการถ่ายเทของประจุไฟฟ้าภายในอุปกรณ์ โครงสร้างภายในซีซีดีถูกแบ่งออกเป็นเซลล์ (Cell) หรือพื้นที่เล็กๆ มากมายซึ่งแต่ละเซลล์เล็กๆนี้เรียกว่า พิกเซล (Pixel) นั่นคือยังมีการแบ่งพิกเซลมากเท่าใดก็จะทำให้ภาพ ที่ได้จากการตรวจจับนั้นมีความละเอียดมากขึ้น ในแต่ละพิกเซลถูกแบ่งการควบคุมการทำงานเป็นแบบด้านแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) โดยมีส่วนที่คั่นกลางที่เรียกว่าแชนเนลสตอป (Channel Stop) เป็นตัวคั่นกลางระหว่างแต่ละแนวตั้ง ในแต่ละพิกเซลจะมีประจุไฟฟ้าสำหรับถ่ายเทเมื่อในพิกเซล (Pixel) นั้นได้รับพลังงานจากภายนอกในที่นี้ก็คือแสงที่มากกระทบ

การถ่ายเทประจุไฟฟ้าเกิดขึ้น โดยใช้หลักการหมุนเฟส (Phase Clock Voltage) ซึ่งจากรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าในแต่ละพิกเซลนั้นจะถูกเชื่อมต่อกับขาสัญญาณ สัญญาณที่ปรากฏที่ขาสัญญาณทั้งสามนี้จะมีเฟสที่สัมพันธ์กันตลอดเวลาทั้งระดับแรงดันและช่วงเวลา ค่าแรงดันที่ปรากฏทั้ง 3 เฟสนี้ จะทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้นจากตำแหน่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้ เมื่อประจุไฟฟ้าถูกถ่ายเทมาจนถึงปลายสุดของพิกเซล ค่าประจุไฟฟ้าเหล่านั้นจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์ (Register) รับข้อมูลต่อไป เมื่อรีจิสเตอร์รับข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็จะถ่ายเทข้อมูลออกในลักษณะอนุกรมออกสู่เอาต์พุตโดยส่งผ่านบัฟเฟอร์แอมป์ (Buffer Amplifier) ก่อนส่งออกสู่เอาต์พุต จึงหะการถ่ายเทข้อมูลออกจากรีจิสเตอร์ถูกควบคุมจากสัญญาณพัลส์ด้านแนวนอนหรือแถวที่ขาสัญญาณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

ด้วยหลักการหมุนเฟสเช่นเดียวกันการหมุนเฟสทั้งด้านแนวอนและแนวตั้งนี้จะมีความสัมพันธ์กันตลอดเวลา แต่ทว่าในซีซีดีบางรุ่นนั้นอาจจะใช้จำนวนเฟสในการควบคุมมากกว่าหรือน้อยกว่า 3 เฟสก็ได้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบโครงสร้างภายในซีซีดี

ซีซีดีเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำงานเหมือนชิฟต์รีจิสเตอร์ (Shift Register) ที่ใช้ในการเลื่อนประจุเป็นวงจรรวมหน่วยความจำที่มีความจุมากชนิดหนึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.8 บนแผ่นสารกึ่งตัวนำจะมีชั้นฉนวนและบนชั้นฉนวนจะมีแผ่นโลหะเป็นขั้วไฟฟ้าเรียงต่อกันไปเป็นตัวมอสเฟต (MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) หลากยี่ห้อต่อกันตัวเก็บประจุในรูปที่ 2.8 บนแผ่นฐานซิลิกอนชนิดพี จะสร้างชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และฉาบผิวด้วยไอโลหะอลูมิเนียมเพื่อสร้างแผ่นขั้วไฟฟ้า A, B และ C 3 ชุดเรียงกันไปแผ่นขั้ว A, A', A'', B, B', B'' และ C, C', C'' จะเชื่อมต่อกันและต่อกับสัญญาณพัลส์ (Pulse) 3 เฟส

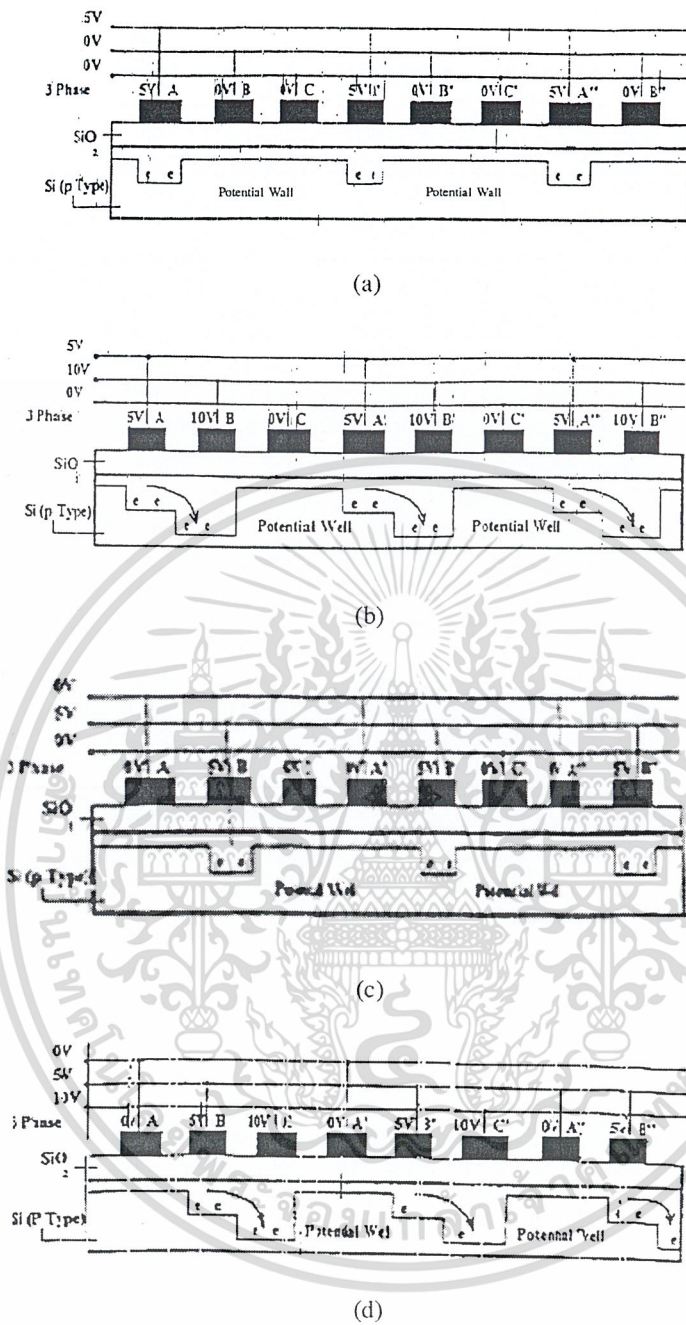
รูปที่ 2.8(a) เมื่อมีพัลส์เข้าที่ขั้ว A, A' และ A'' แรงดันไฟฟ้า 5V จะปรากฏที่ขั้วไฟฟ้าเหล่านั้นแรงดันไฟฟ้านี้จะผลักให้โฮลในชั้นพี ให้ออกไปจากบริเวณใกล้ขั้วไฟฟ้านั้นเกิดเป็นบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Layer) บริเวณนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนกับบ่อศักย์ไฟฟ้า (Potential Well) ที่สามารถเก็บกักอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้ามาในบริเวณนี้ ไม่ว่าอิเล็กตรอนนั้นจะมาจากภายนอกหรือจากผลของแสงก็ตาม

รูปที่ 2.8(b) เมื่อมีพัลส์ที่แผ่นขั้ว B, B' และ B'' เป็นพัลส์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า A ก็จะเกิดบริเวณปลอดพาหะลึกกว่าที่เกิดที่ขั้ว A ทำให้อิเล็กตรอนที่ถูกกักไว้ที่แผ่นขั้ว A ไหลเข้ามาที่ได้แผ่นขั้ว B เป็นการโยกย้ายอิเล็กตรอนไปสู่บริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า

รูปที่ 2.8(c) สัญญาณพัลส์จะเหลือแต่ที่ขั้ว B ส่วนที่ขั้ว A จะหายไปบริเวณปลอดพาหะใต้แผ่นขั้ว B จะตื้นลง แต่ยังคงกักอิเล็กตรอนทั้งหมดอยู่ในบริเวณนี้

รูปที่ 2.8(d) สัญญาณพัลส์จะปรากฏที่ขั้ว C เหมือนกรณีแรกคือมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าที่ขั้ว B ก็จะดูดอิเล็กตรอนที่อยู่ใต้ขั้ว B ให้มาอยู่ใต้ขั้ว C ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



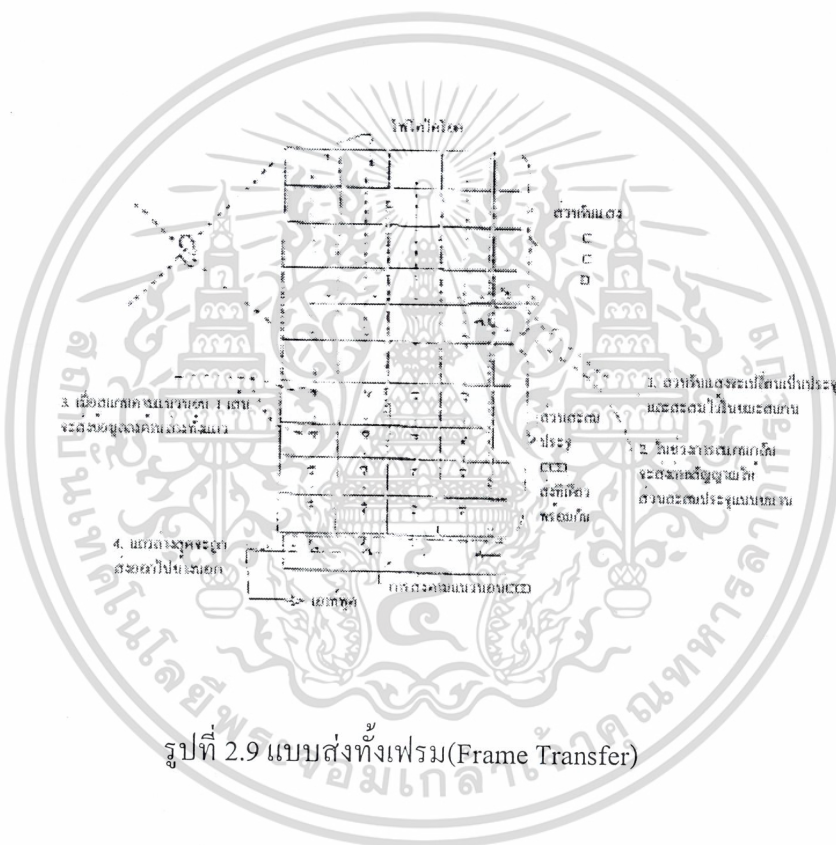
รูปที่ 2.8 แสดงการถ่ายเทประจุภายใน โครงสร้างซีซีดี

ถ้าทำให้ซีซีดีเป็นฉีกรับแสง แสงที่ตกกระทบก็จะสร้างประจุตามความเข้มของแสง ประจุเหล่านี้สามารถเคลื่อนออกไปเป็นสัญญาณออกได้ตามหลักการทำงานของซีซีดี ภาครับแสงและภาคเคลื่อนข้อมูลนี้จะแยกตัวจากซีซีดี เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาของแสงที่เข้ามาซึ่งจะมีผลต่อประจุภายใน

เอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แบบส่งทั้งเฟรม (Frame Transfer)

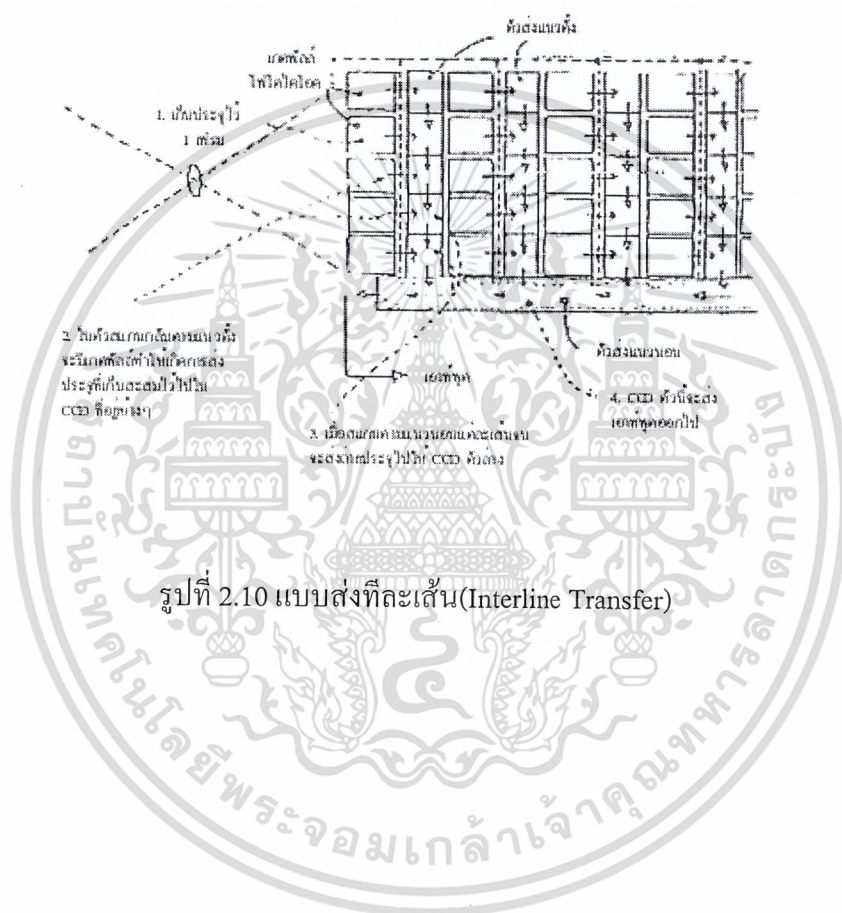
ซีซีดีแบบนี้จะมีอยู่ 2 ส่วนที่มีตัวรับแสงและส่วนที่เก็บสะสมประจุ โดยส่วนเก็บสะสมประจุนี้จะเป็นส่วนที่ไม่โดนแสง การสแกนสัญญาณภาพ 1 จอภาพเรียกว่า 1 เฟรม (Frame) ส่วนรับแสงจะสร้างประจุจากแสงและยังคงเก็บสะสมประจุนั้นไว้เมื่อจบการสแกนในเฟรมและจะเริ่มการสแกนใหม่จากบนซ้ายของจอภาพ ในช่วงนั้นจะส่งถ่ายประจุที่เก็บสะสมประจุจะเลื่อนประจ่ออกไปเป็นสัญญาณออกทีละแถวโดยเริ่มจากแถวล่างสุด เมื่อเลื่อนจบหนึ่งแถวประจุจากแถวนั้นจะเลื่อนมาที่แถวล่างถัดไปแถวล่างก็จะถูกเลื่อนเป็นสัญญาณออกเป็นเช่นนี้เรื่อยๆ จนหมดทุกแถวหรือหนึ่งจอภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แบบเลื่อนส่งทีละแถว (Interline Transfer)

แบบนี้จะใช้โฟโตไดโอด หรือไดโอดแสง (Photodiode) เป็นตัวรับแสงและจับซีซีดีที่อยู่ข้างๆ เมื่อโฟโตไดโอดเปลี่ยนแสงเป็นประจุก็จะเก็บสะสมประจุไว้ในช่วง 1 เฟรม เมื่อจบเฟรมการสแกนก็จะวิ่งกลับจากจุดต่ำสุดมาจุดบนสุด ช่วงนี้คือช่วงสแกนกลับในแนวตั้งในช่วงนี้จะมีพัลส์เพื่อส่งถ่ายประจุไปให้ซีซีดีที่อยู่ข้างๆ ซีซีดีตัวล่างสุดจะส่งสัญญาณออกโดยการเลื่อนประจุออกทางแนวนอนเมื่อจบการเลื่อนหนึ่งเส้นก็จะเลื่อนประจุจากซีซีดีด้านบนลงมาด้านล่างทีละแถว



รูปที่ 2.10 แบบส่งทีละเส้น (Interline Transfer)

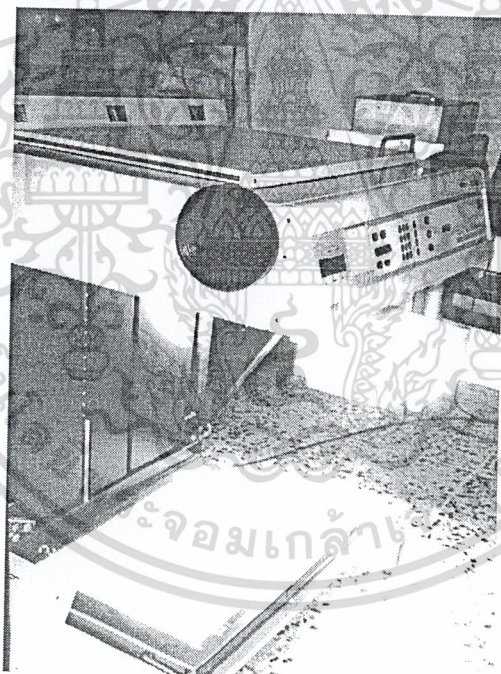
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

1. ทำการสร้างสลิตเดี่ยว ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และช่องเปิดรูวงกลม ที่มีขนาด $200\ \mu\text{m}$, $425\ \mu\text{m}$ และ $600\ \mu\text{m}$ โดยกระบวนการสร้างมาส์คแบบอ่อน โดยมีขั้นตอนดังนี้
 - สร้างรูปแบบทางคอมพิวเตอร์โดยมีขนาด 10 มม. 21.25 มม. และ 30 มม.
 - เตรียมฟิล์มที่ใช้สำหรับการฉายแสงโดยที่ระยะเวลาที่ใช้ในการฉายแสงจะสัมพันธ์กับชนิดของฟิล์ม และระยะเวลาที่แช่ในน้ำยา developer
 - นำแบบที่สร้างจากคอมพิวเตอร์มาเป็นต้นแบบในการถ่ายย่อ โดยที่ทำการถ่ายย่อ 3 ครั้ง ครั้งแรกและครั้งที่สอง 25% ครั้งสุดท้าย 32% เพื่อให้ได้ขนาด $200\ \mu\text{m}$, $425\ \mu\text{m}$ และ $600\ \mu\text{m}$ ตามลำดับ



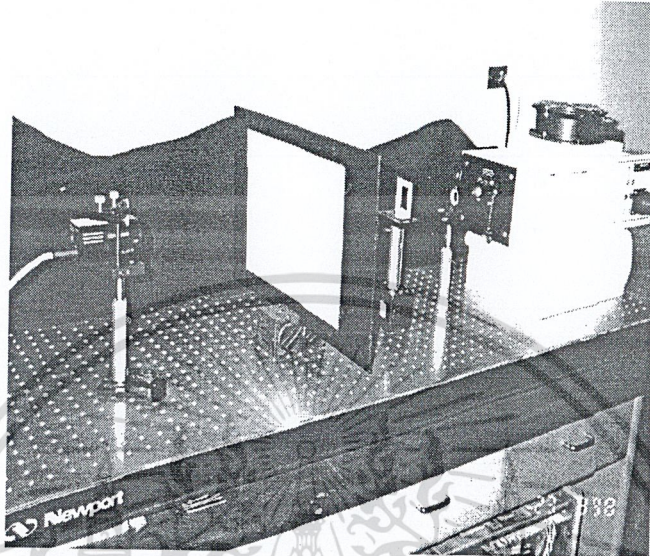
รูปที่ 3.1 เครื่องถ่ายย่อส่วนของ Kodak

- เมื่อทำการฉายแสงเรียบร้อยแล้ว โดยใช้เวลาในการฉายแสง 12 วินาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำยา developer ของ Kodak RA2000 CGP 1:2 นาน 90 วินาที แล้วนำไปแช่ในน้ำยา stop bath CGP 1:4 นาน 30 วินาที จากนั้นนำไปแช่ในน้ำยา fixer CGP 1:3 นาน 90 วินาที

- นำฟิล์มที่ผ่านขั้นตอนดังกล่าวแล้วไปอบให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการจัดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.2 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 488 nm ใช้เลนส์เพื่อให้แสงตกกระทบเป็นคลื่นระนาบ ใช้สลิตเดี่ยวกว้าง 200 μm ใช้กล้อง CCD เป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสง และใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผล

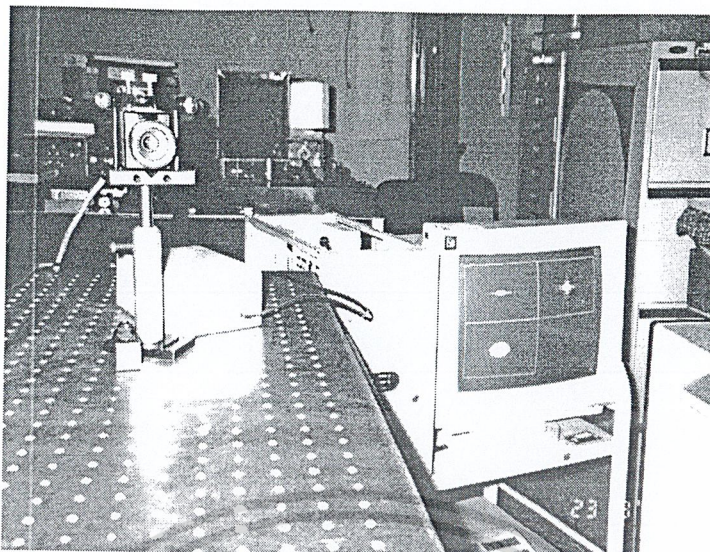


รูปที่ 3.2 แสดงการจัดวางอุปกรณ์



รูปที่ 3.3 Air-cooled Argon Ion Laser (Tunable)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กล้อง CCD (Charge Coupled Device)

3. เปลี่ยนขนาดของสลิตเดี่ยวจากขนาดกว้าง 200 μm เป็น 425 μm และ 600 μm ตามลำดับ
4. เปลี่ยนรูปร่างของสิ่งกีดขวางจากสลิตเดี่ยวเป็นช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 μm
5. เปลี่ยนขนาดของช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากขนาดกว้าง 200 μm เป็น 425 μm และ 600 μm ตามลำดับ
6. เปลี่ยนรูปร่างของสิ่งกีดขวางจากช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นช่องเปิดรูปวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 μm
7. เปลี่ยนขนาดของช่องเปิดรูปวงกลม จากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 μm เป็น 425 μm และ 600 μm ตามลำดับ
8. เปลี่ยนเลเซอร์จากความยาวคลื่น 488 nm เป็น 514 nm
9. ทำซ้ำจากข้อ 3. ถึง ข้อ 7.
10. เปลี่ยนเลเซอร์จากความยาวคลื่น 514 nm เป็น 632.8 nm
11. ทำซ้ำจากข้อ 3. ถึง ข้อ 7.
12. นำผลที่ได้มาวัดความเข้มแต่ละจุด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นกราฟ
13. ทำการวิเคราะห์ลักษณะของกราฟจากข้อมูลที่ได้
14. สรุปผลการทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กรณีของสลิตเดี่ยว

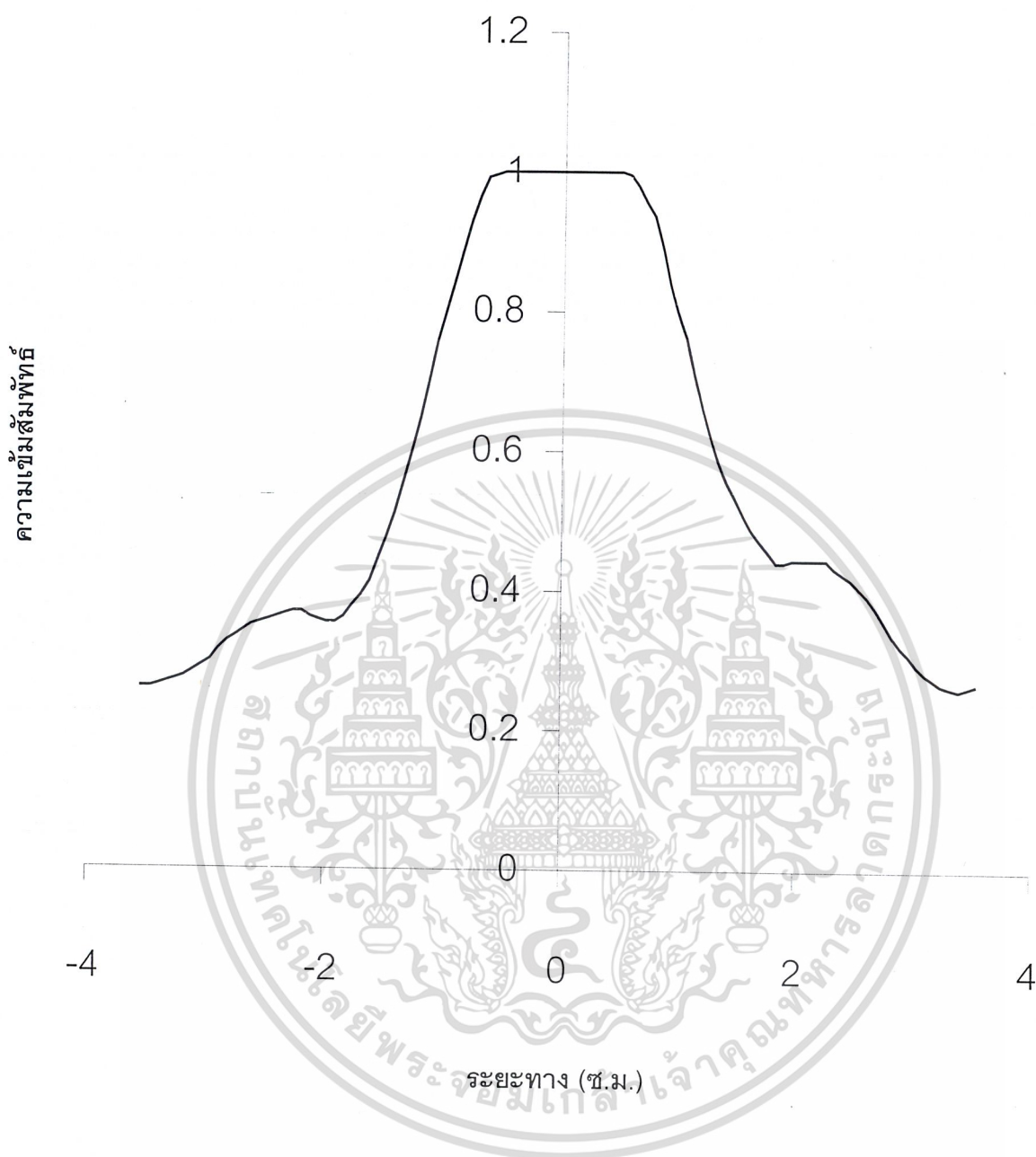
4.1.1 กรณีความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

4.1.1.1 กรณีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.1 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

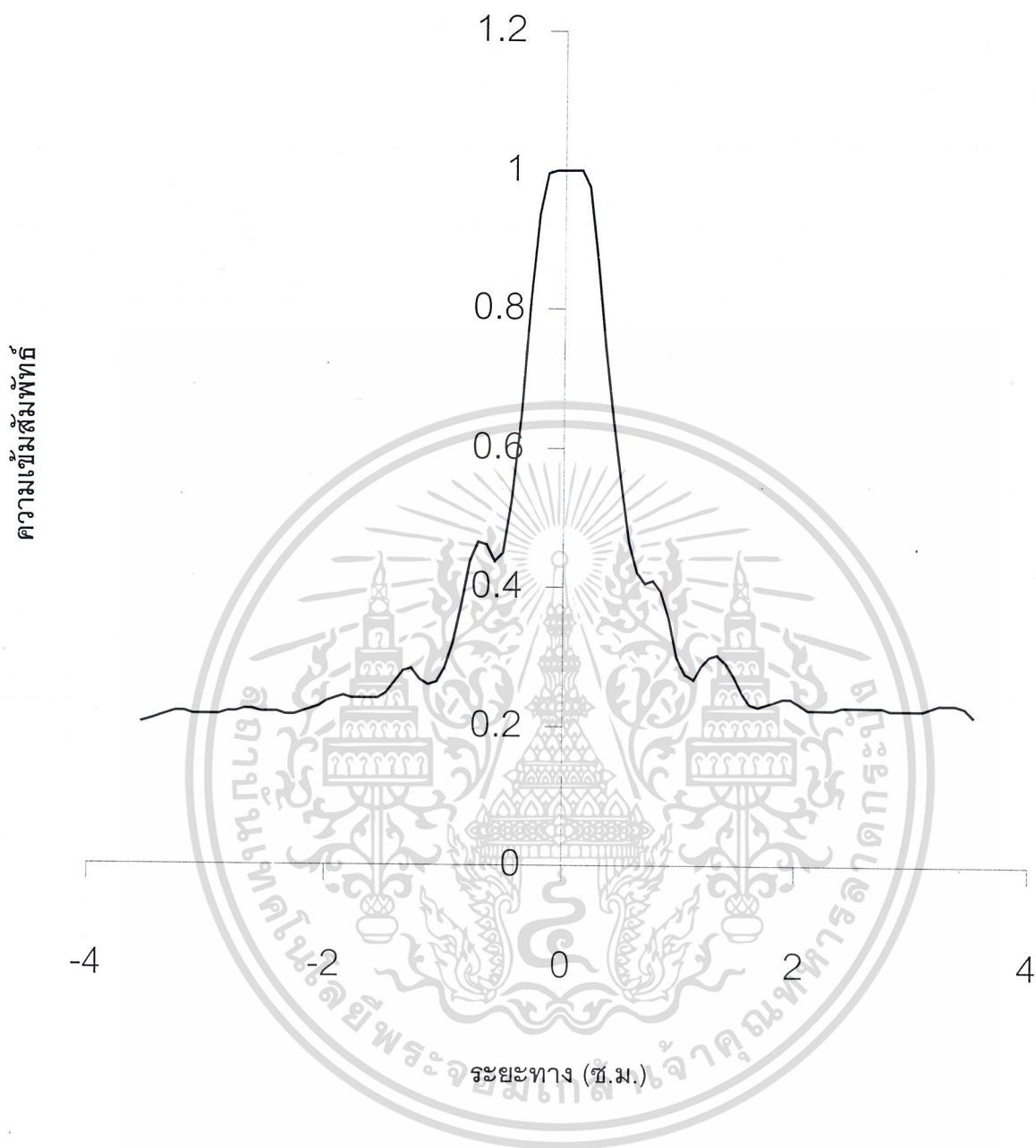
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 กรณีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.2 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

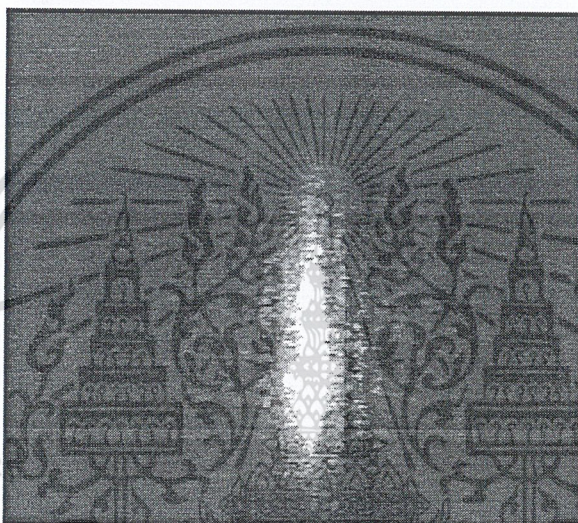
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

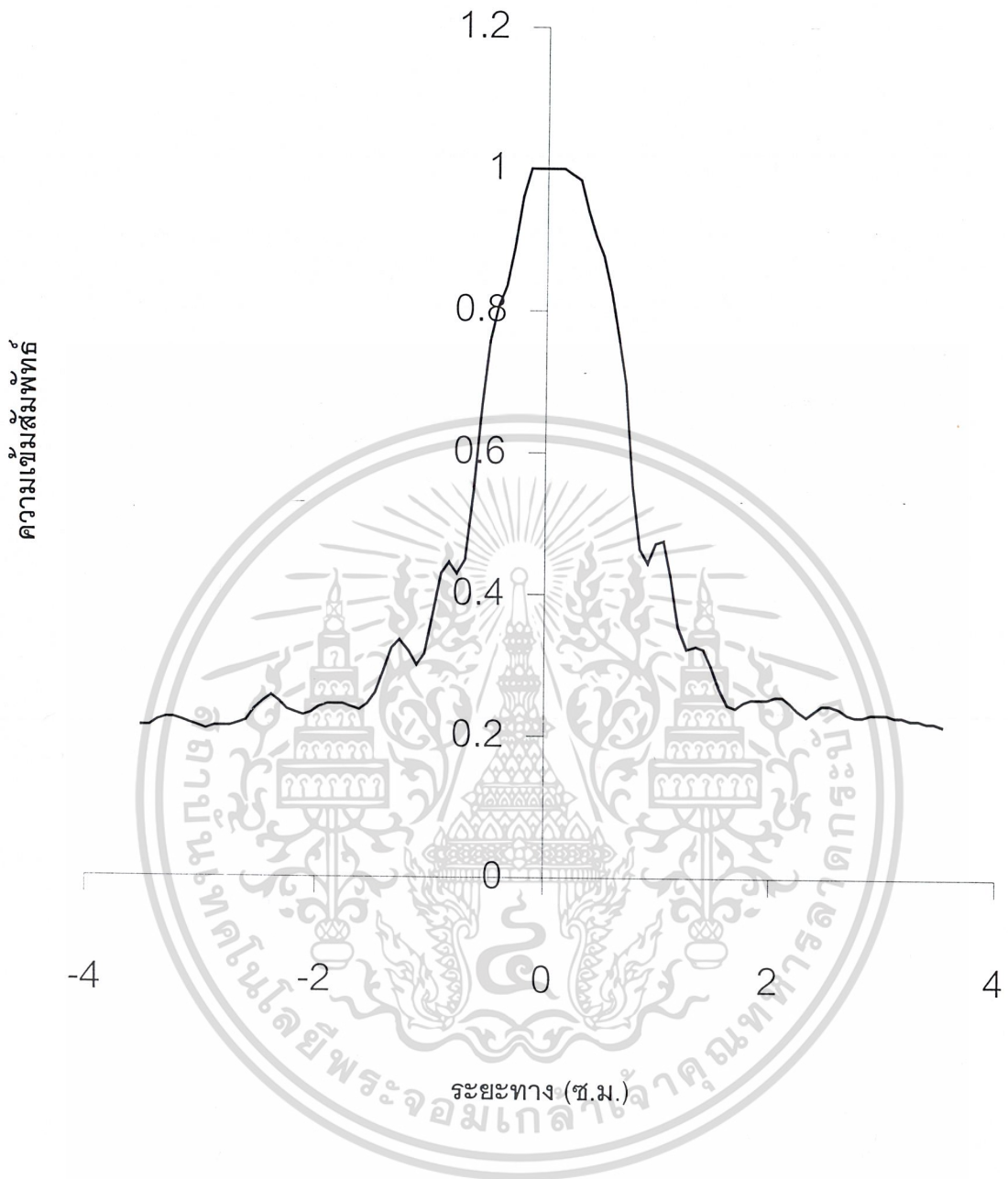
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 กรณีสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.3 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตร
ที่มีความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

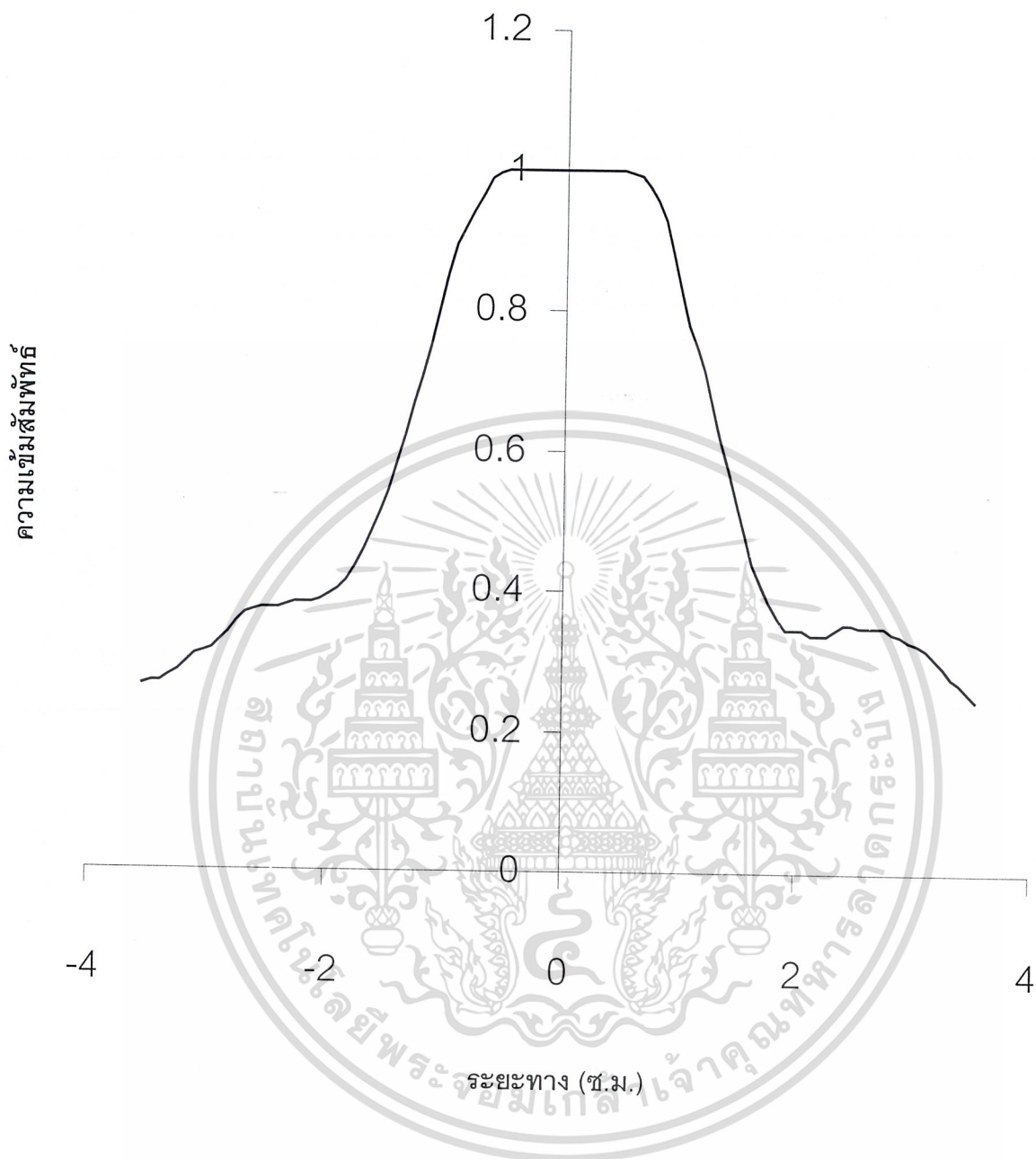
4.1.2 กรณีความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

4.1.2.1 กรณีสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.4 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

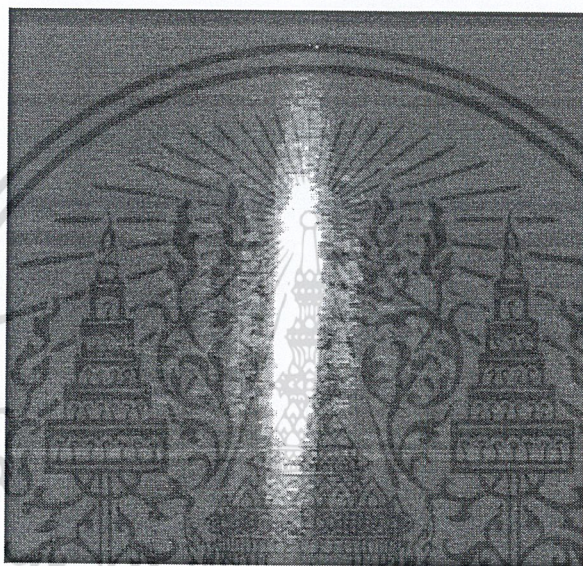
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

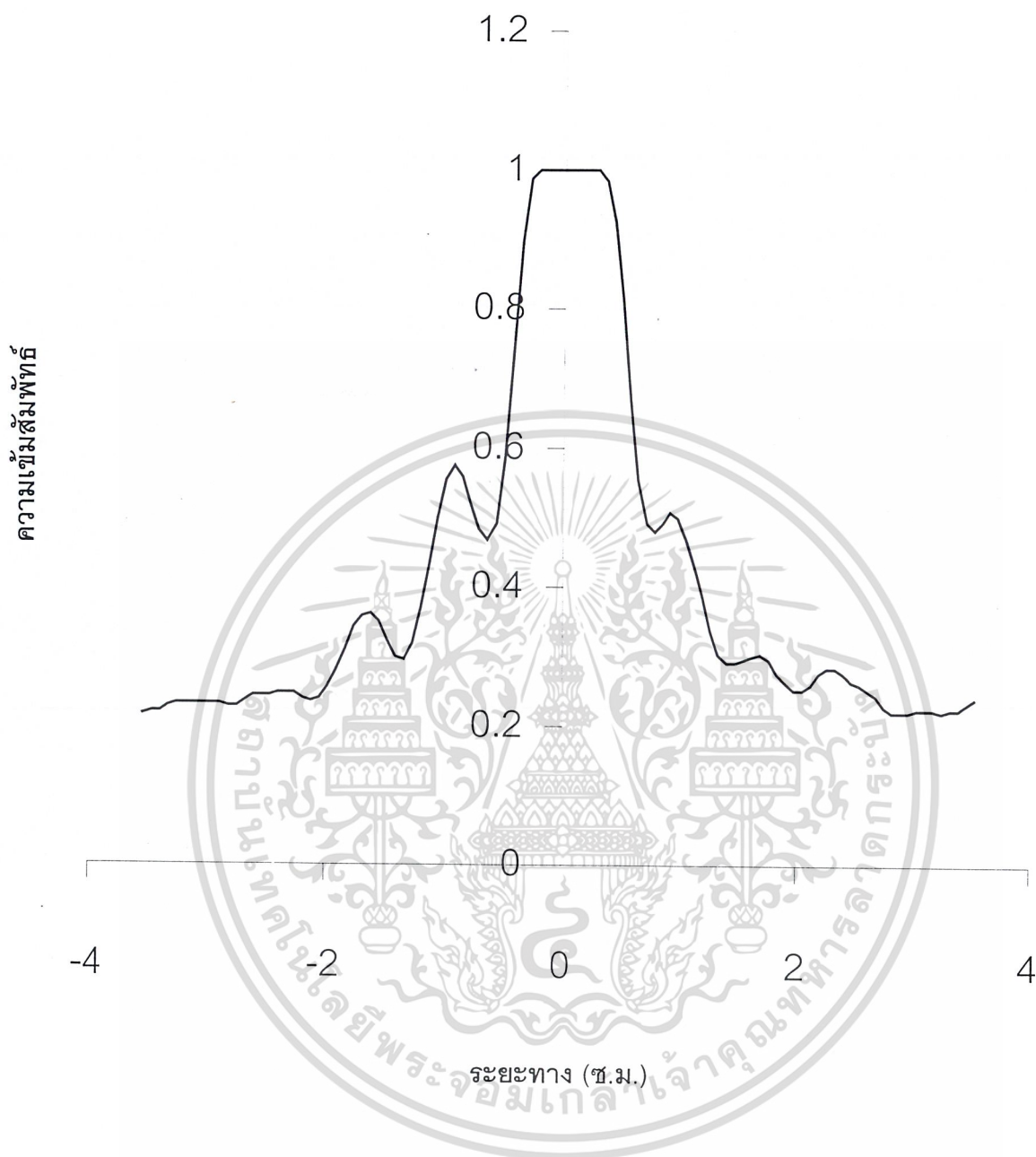
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 กรณีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.5 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

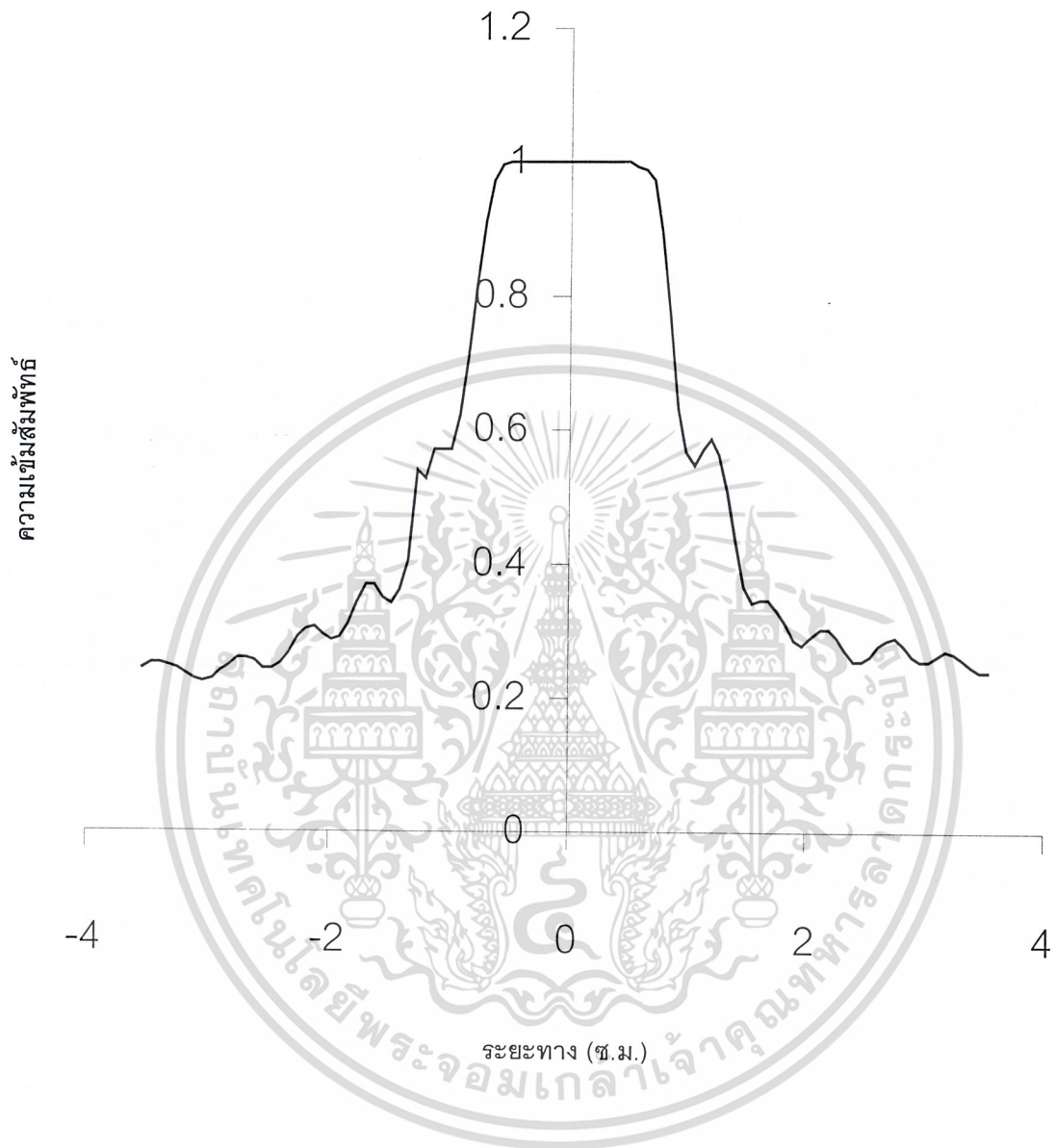
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3 กรณีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.6 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

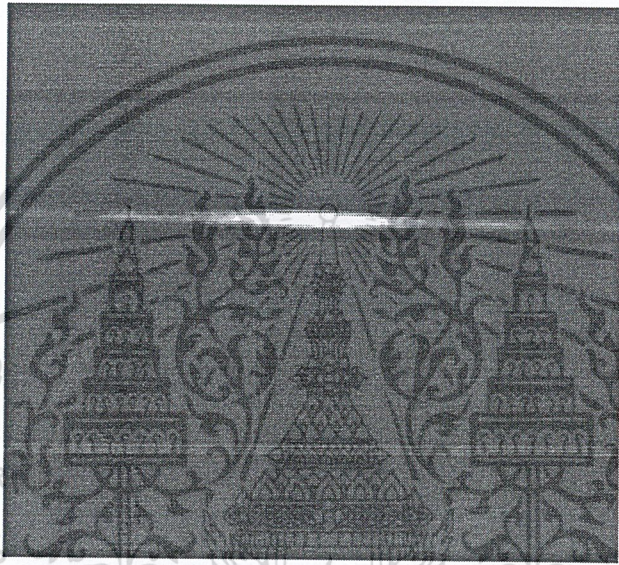


กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

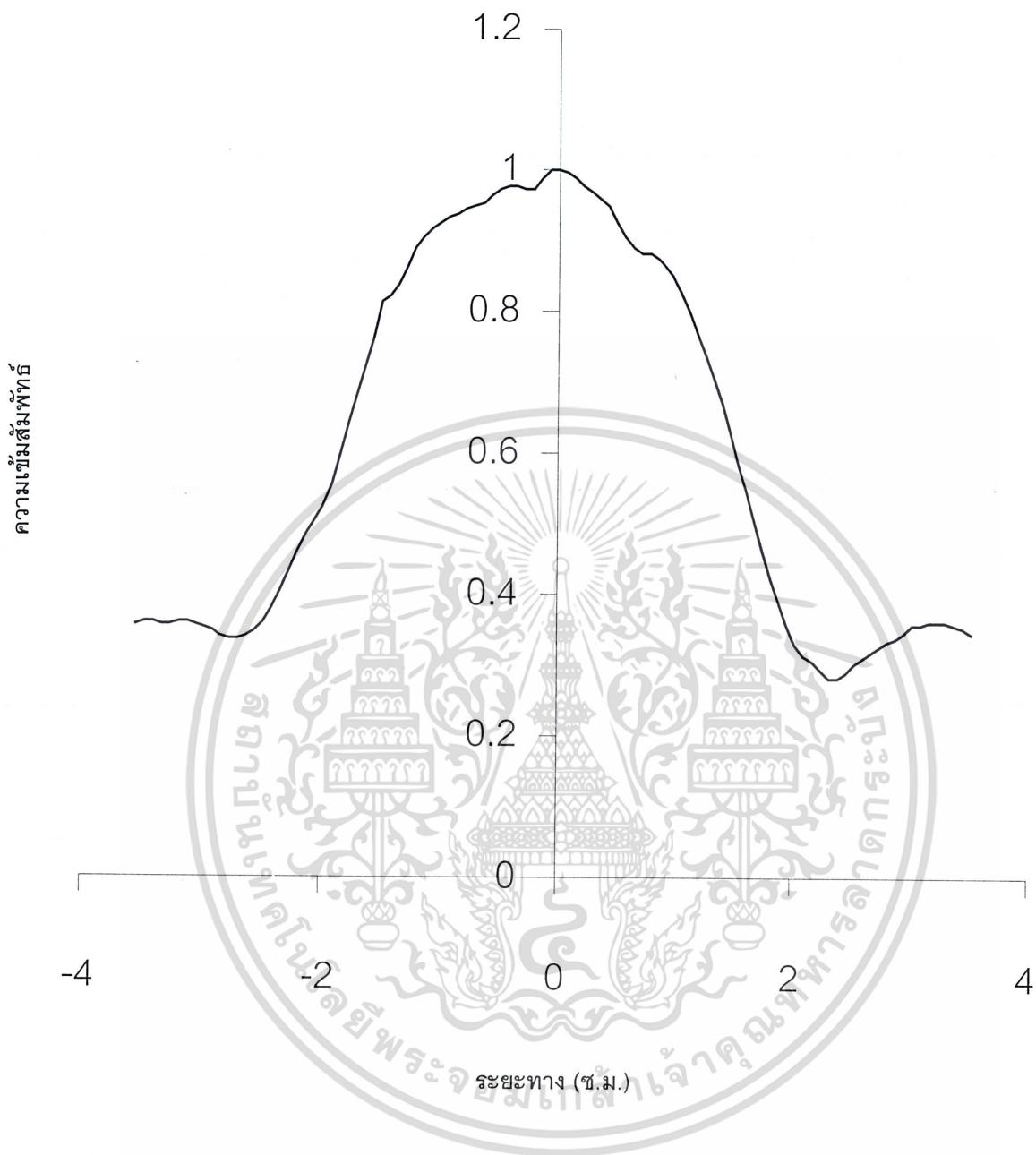
4.1.3 กรณีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

4.1.3.1 กรณีสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.7 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

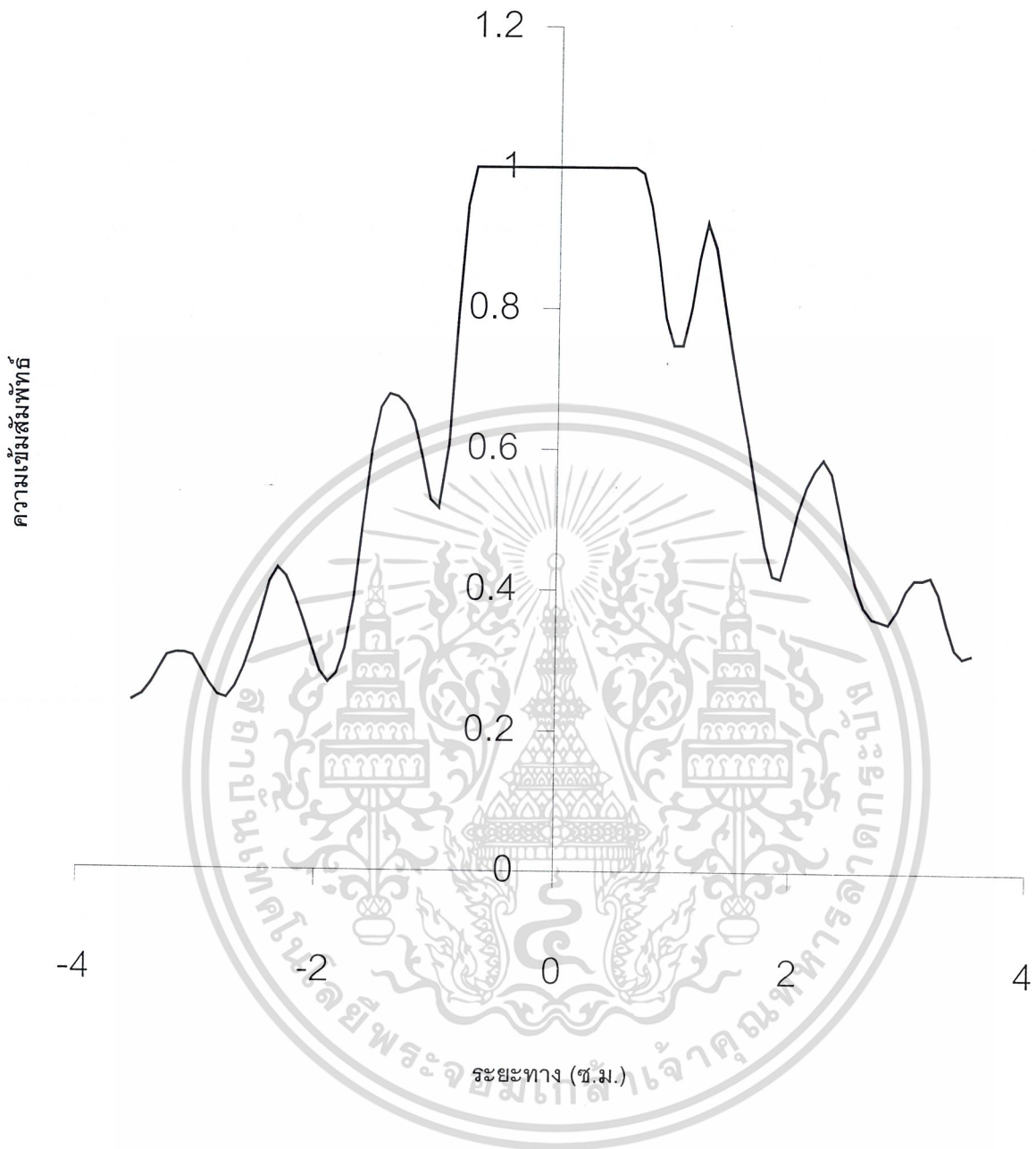
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 กรณีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.8 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

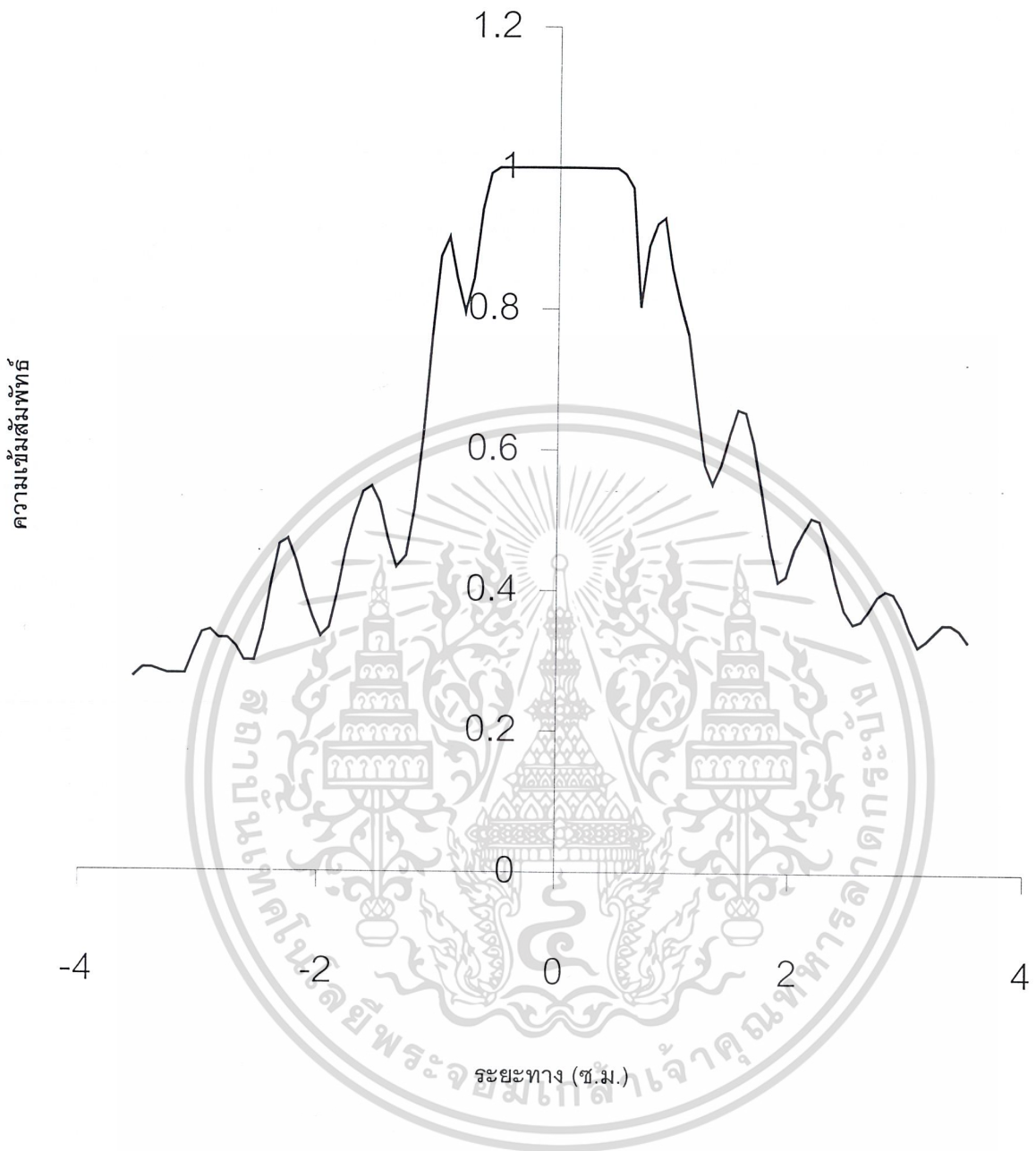
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.3 กรณีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.9 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพันธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ฤทธิ์ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

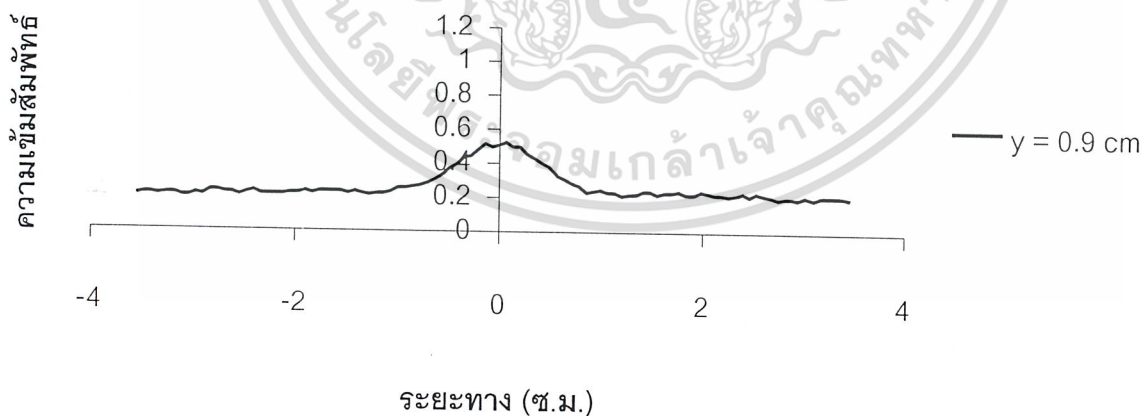
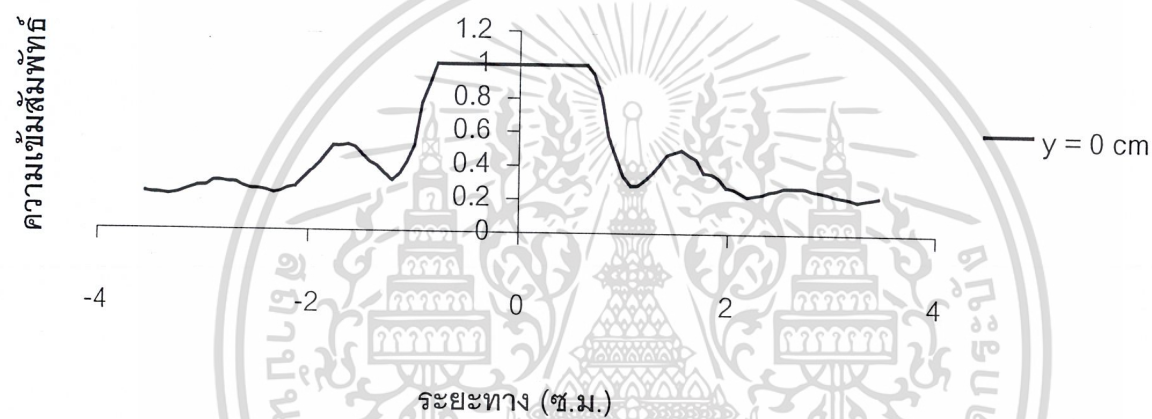
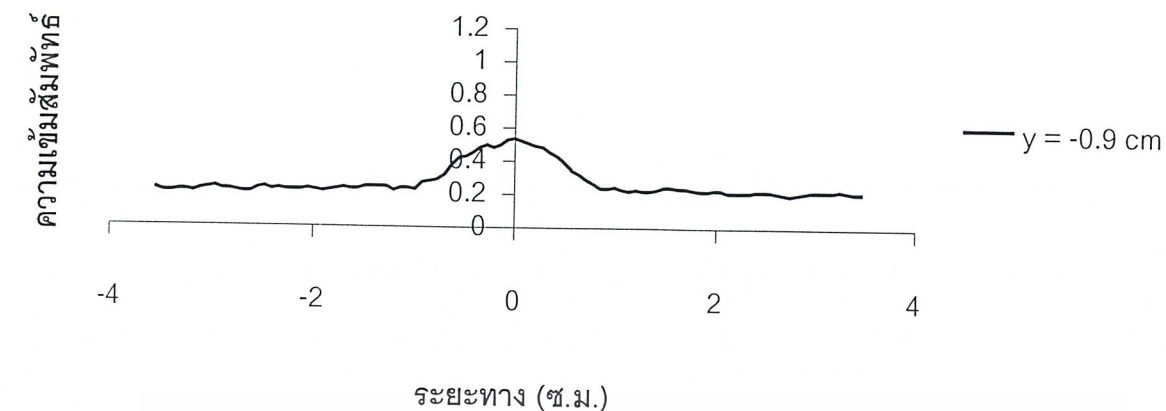
4.2.1 ฤทธิ์ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

4.2.1.1 ฤทธิ์ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.10 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ

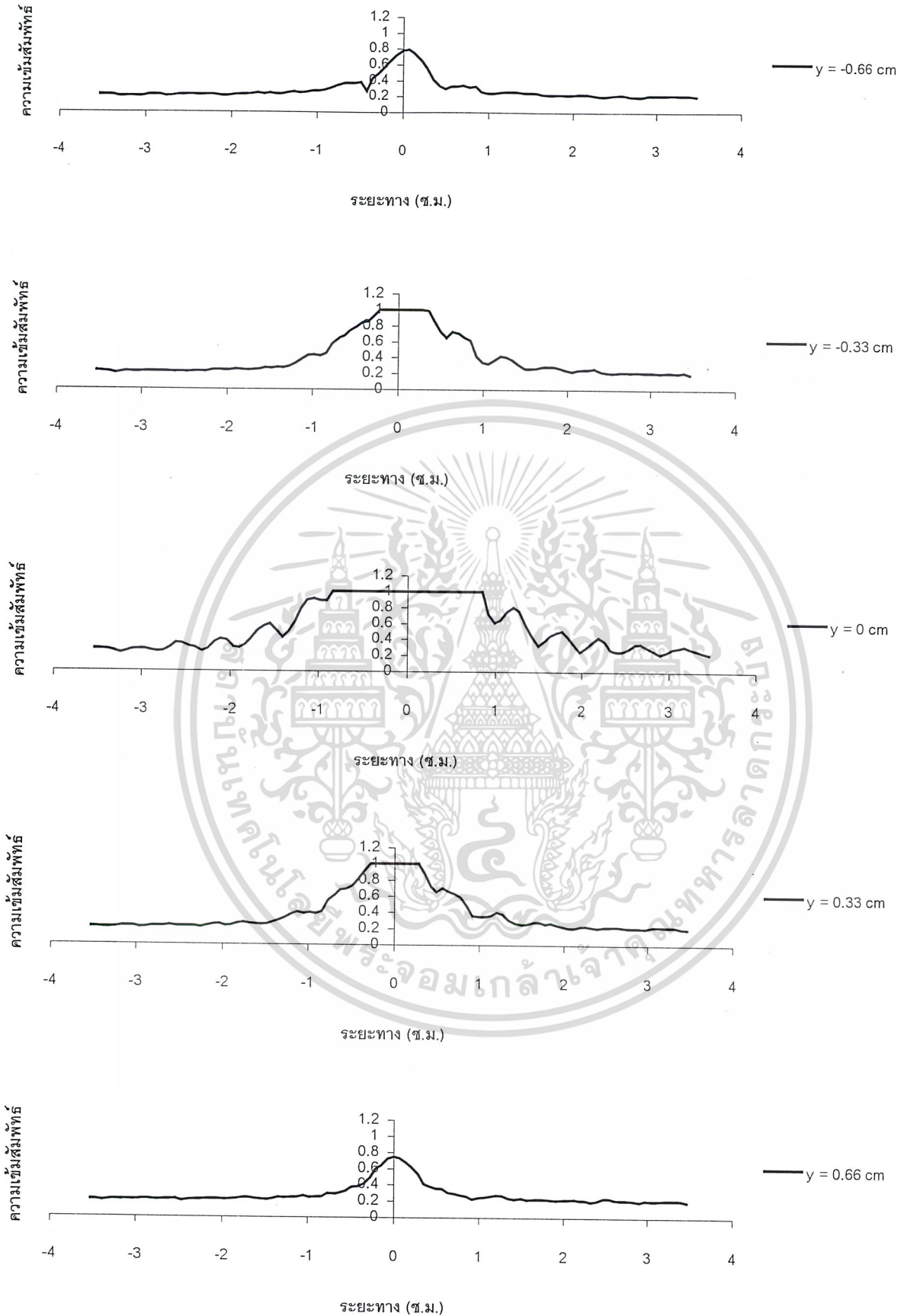
ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.11 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



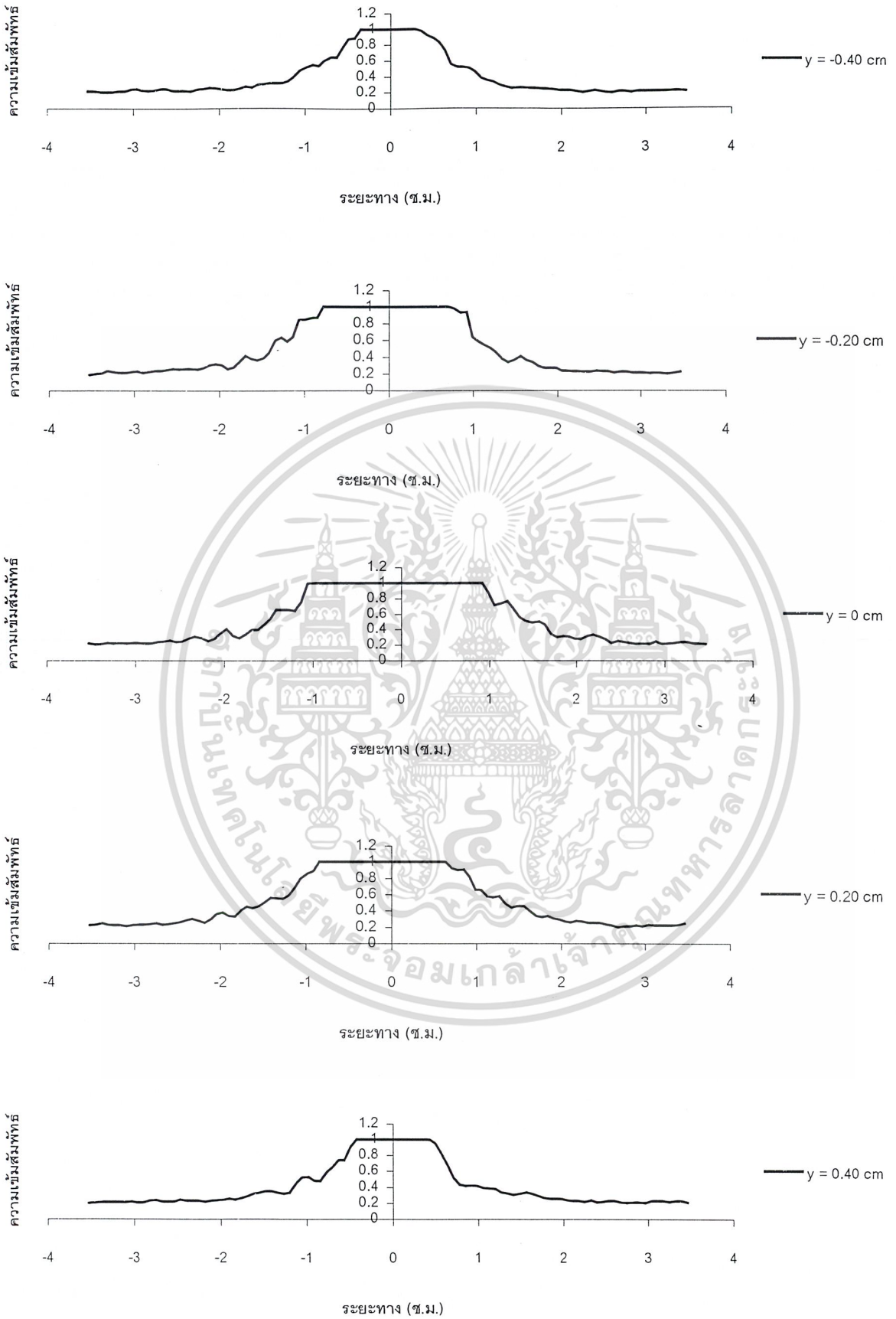
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ
 ไม่ว่าจะทำได้ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุคนปลงเรือหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ของของเบ็ดเตล็ดลิขสิทธิ์ขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

4.2.1.3 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.12 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

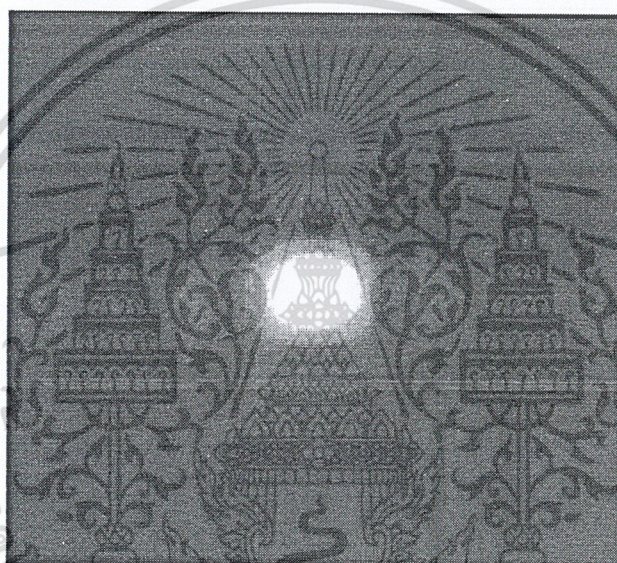
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพันธ์ ที่ y ค่าต่างๆ
 ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม ห้าฟังก์ชันไม่มีให้เห็นแต่สิ่งเหล่านี้และตั้งอยู่ข้างเคียงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

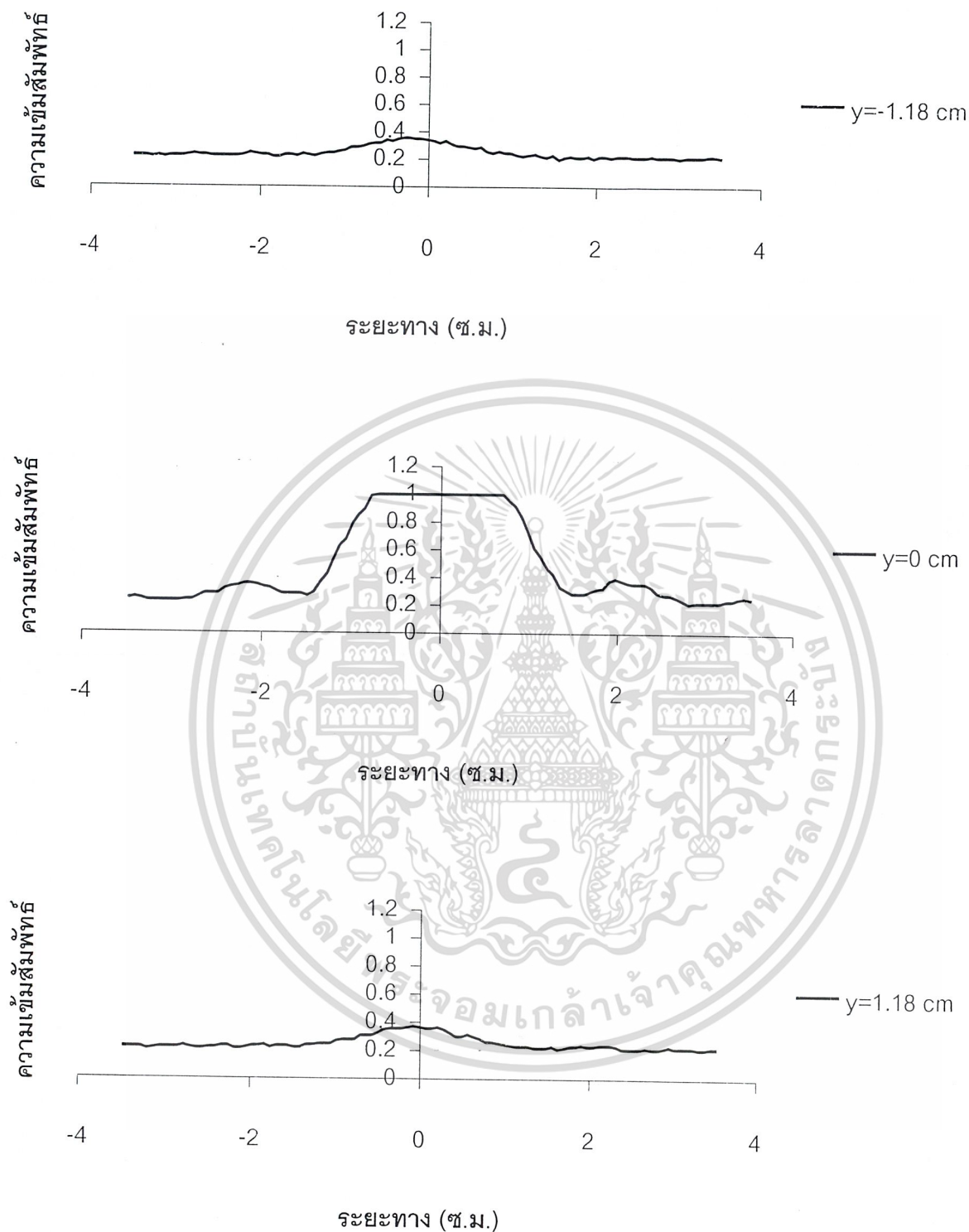
4.2.2 กรณีความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

4.2.2.1 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.13 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ

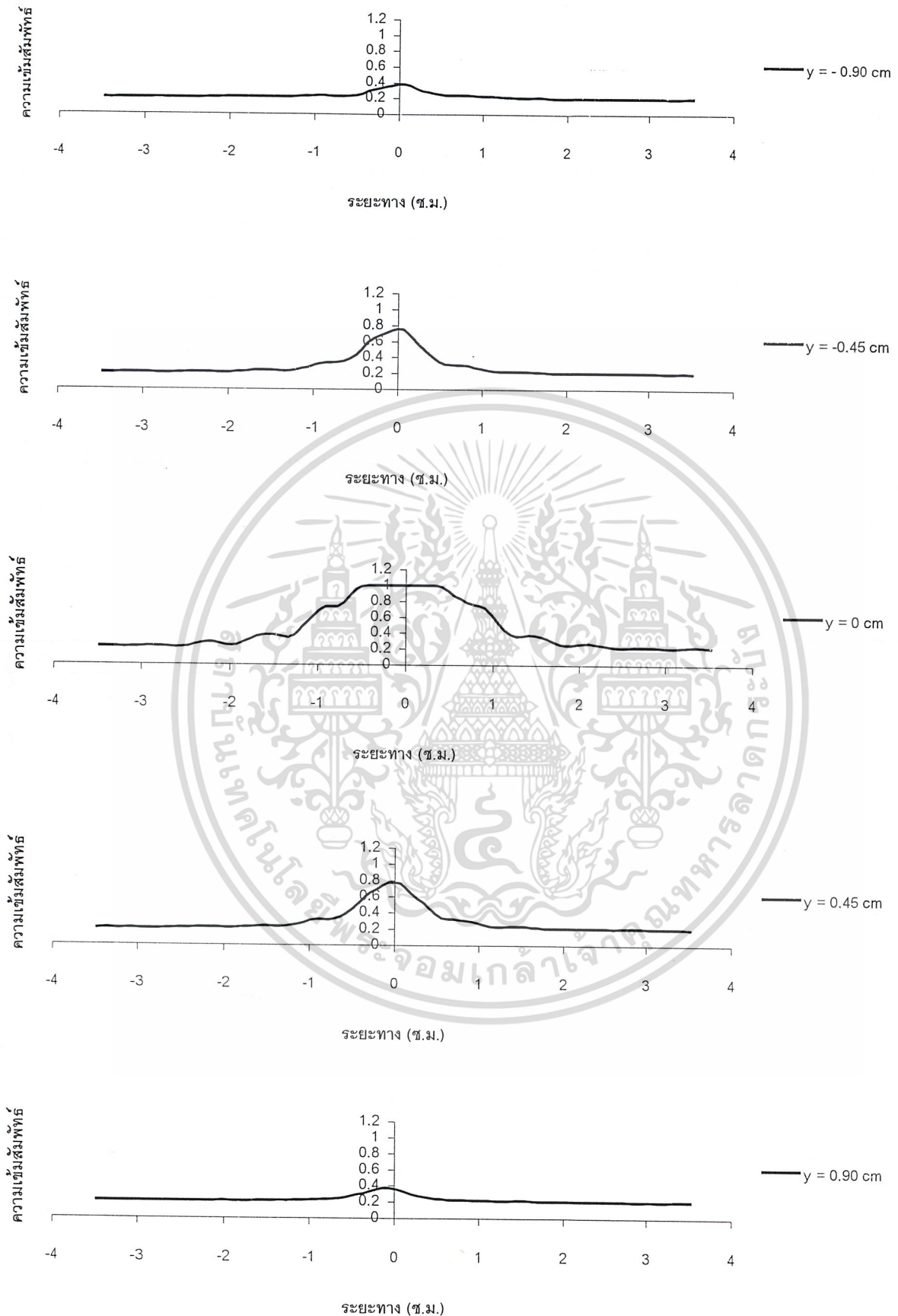
ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.14 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



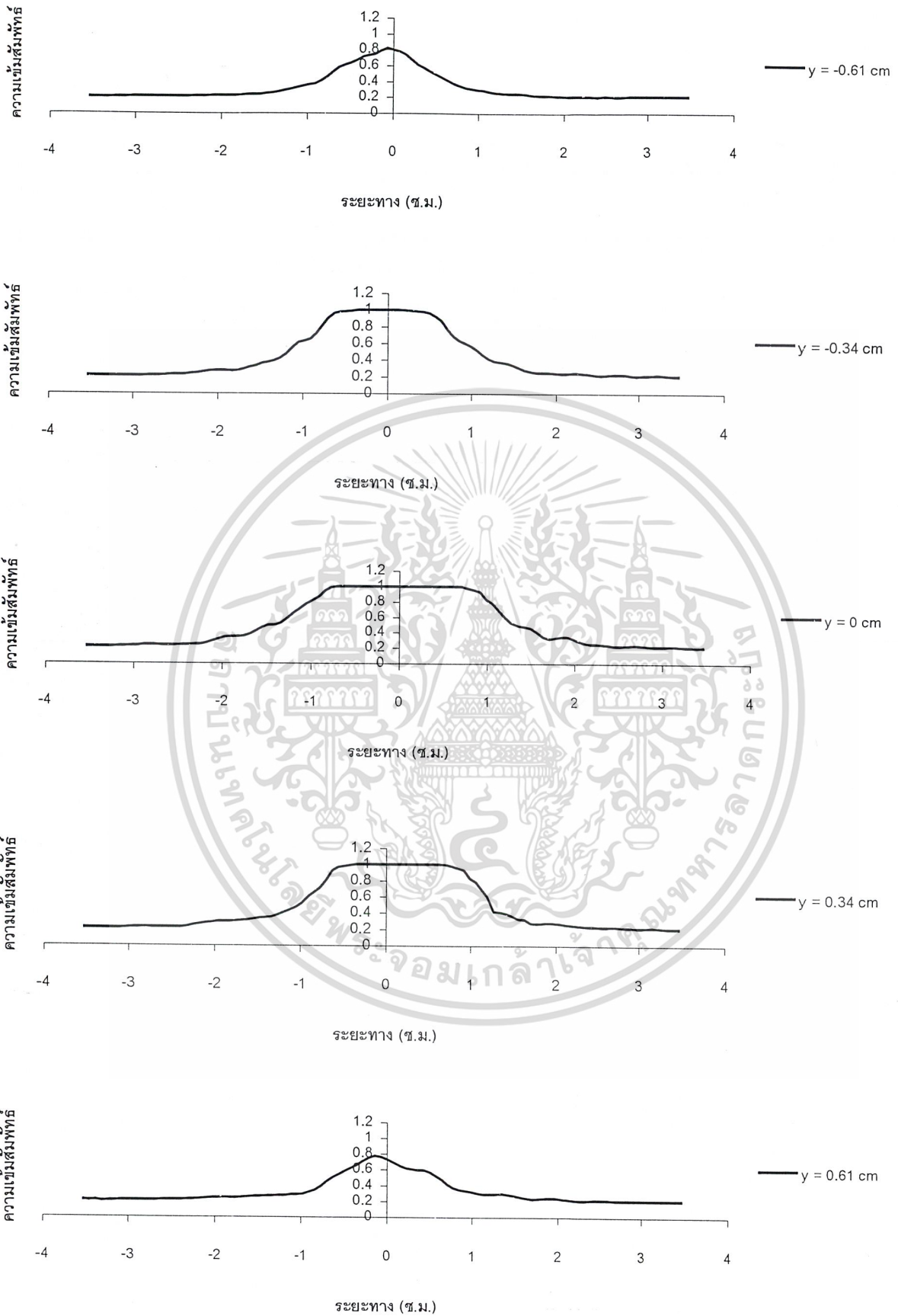
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

4.2.2.3 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.15 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งก็ไม่มีเห็นเห็นแต่เพียงอย่างเดียวซึ่งเพียงเข้าเรียนเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

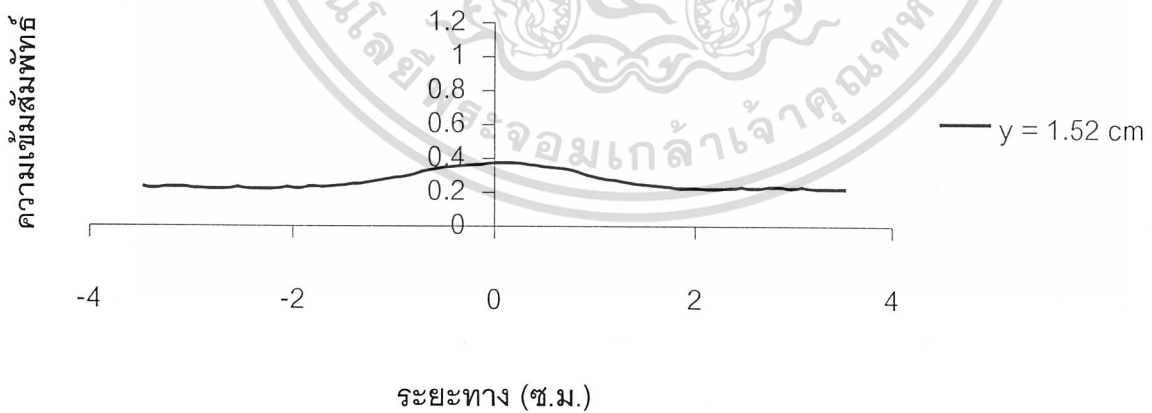
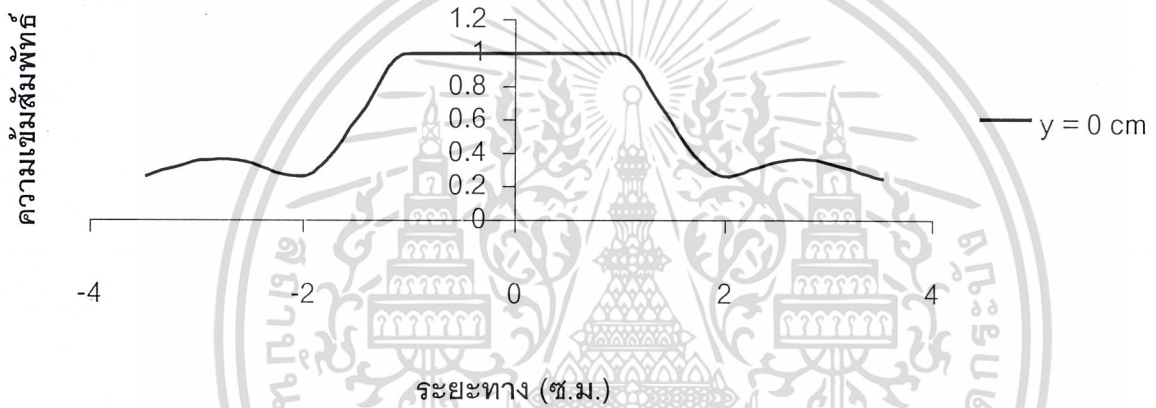
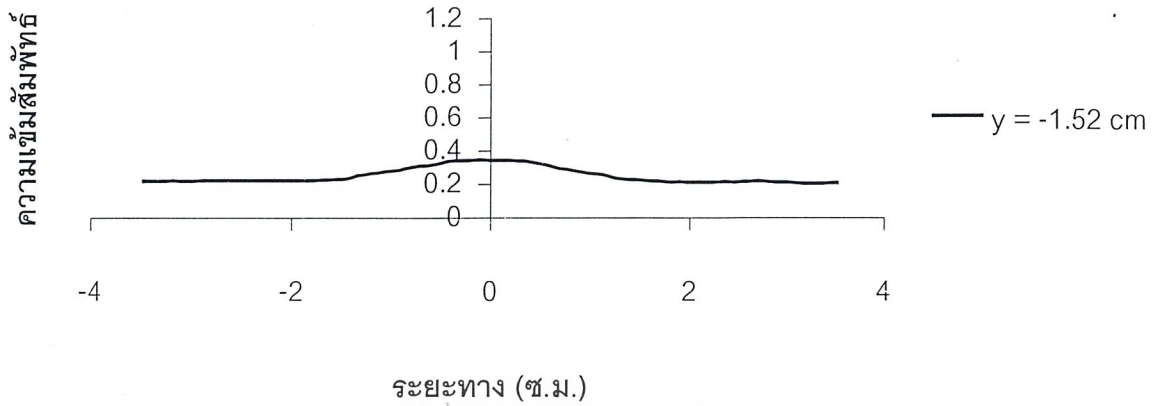
4.2.3 กรณีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

4.2.3.1 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.16 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

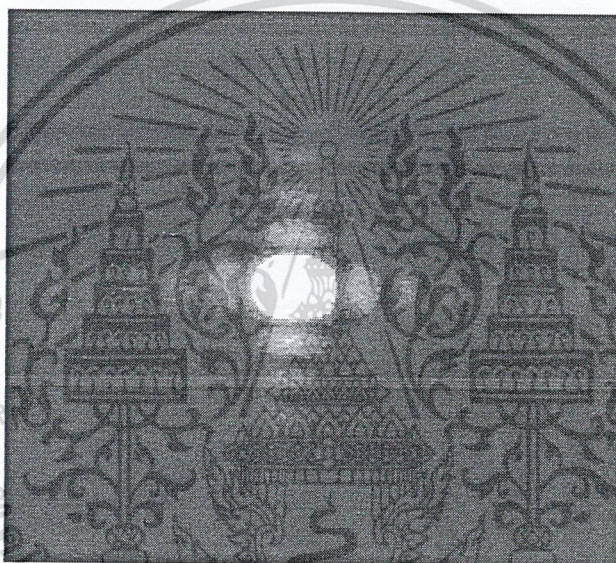
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ

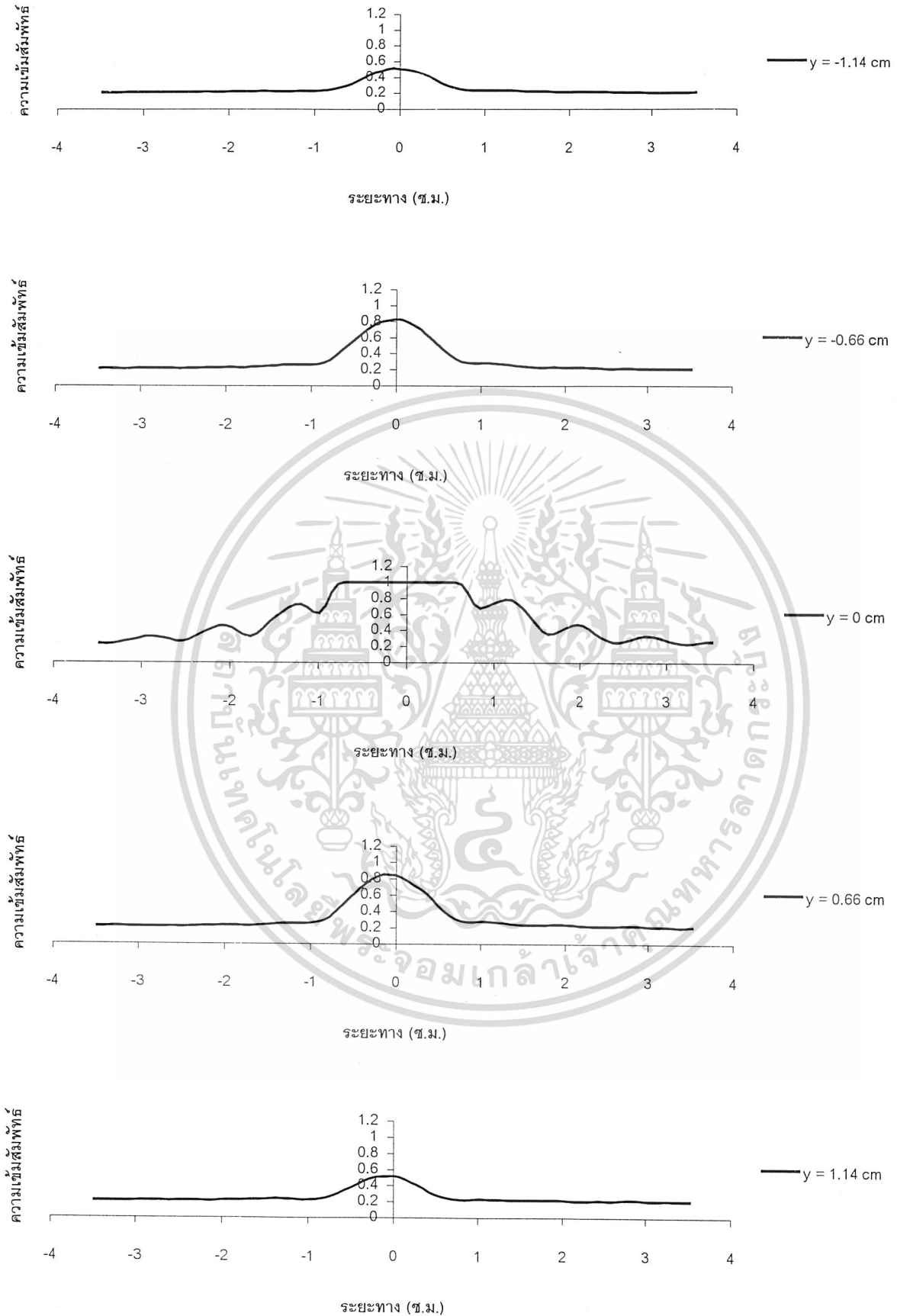
ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 กรณีช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตร



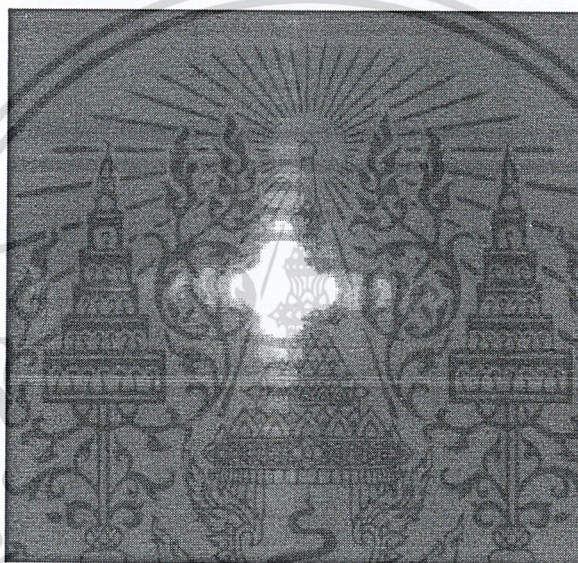
รูปที่ 4.17 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



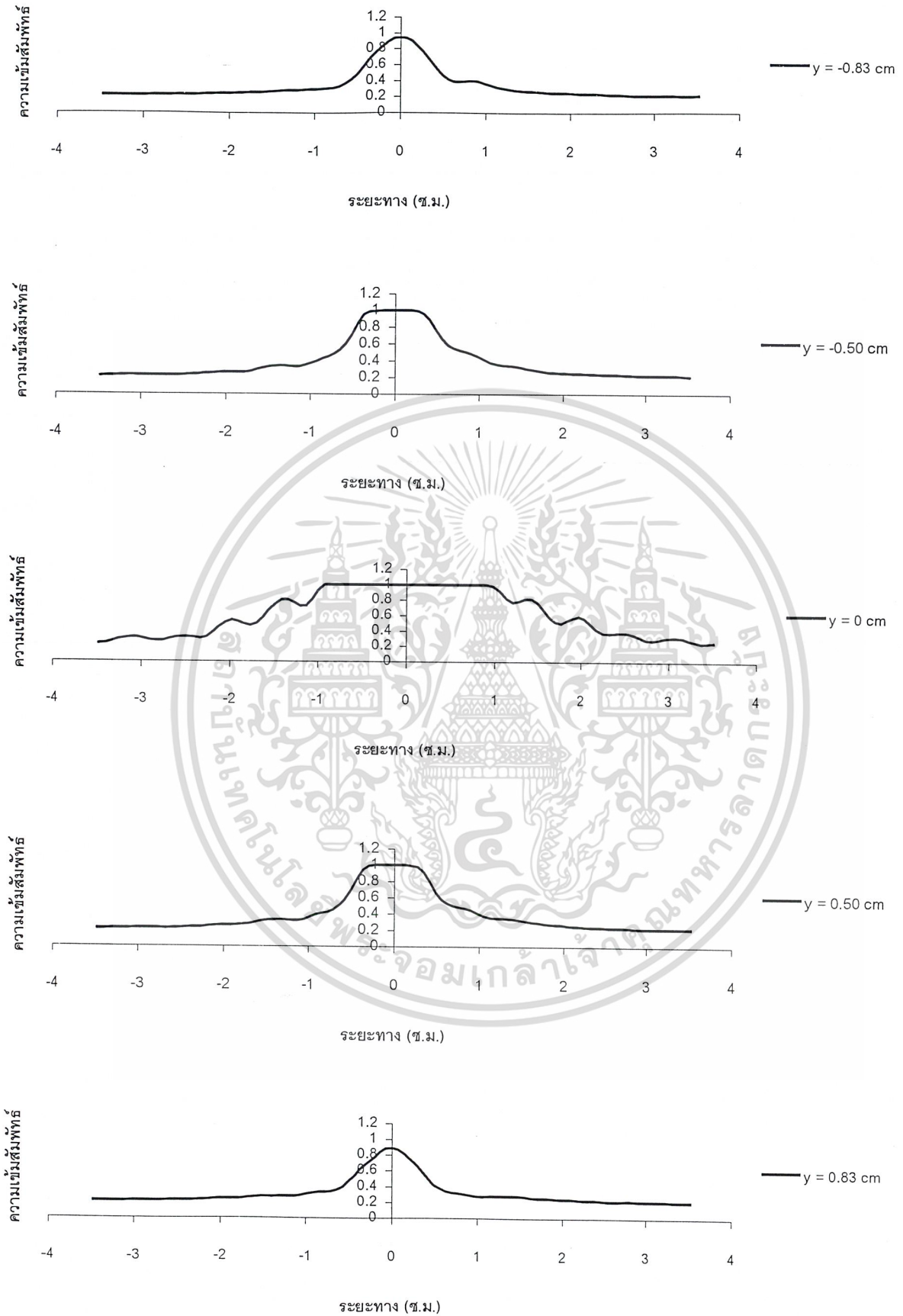
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ
 ไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะสิ่งเนื้อหาและตอขงอิงเพื่งใจของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

4.2.3.3 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.18 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 กราฟที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ ที่ y ค่าต่างๆ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

4.3 กระจกช่องเปิดวงกลม

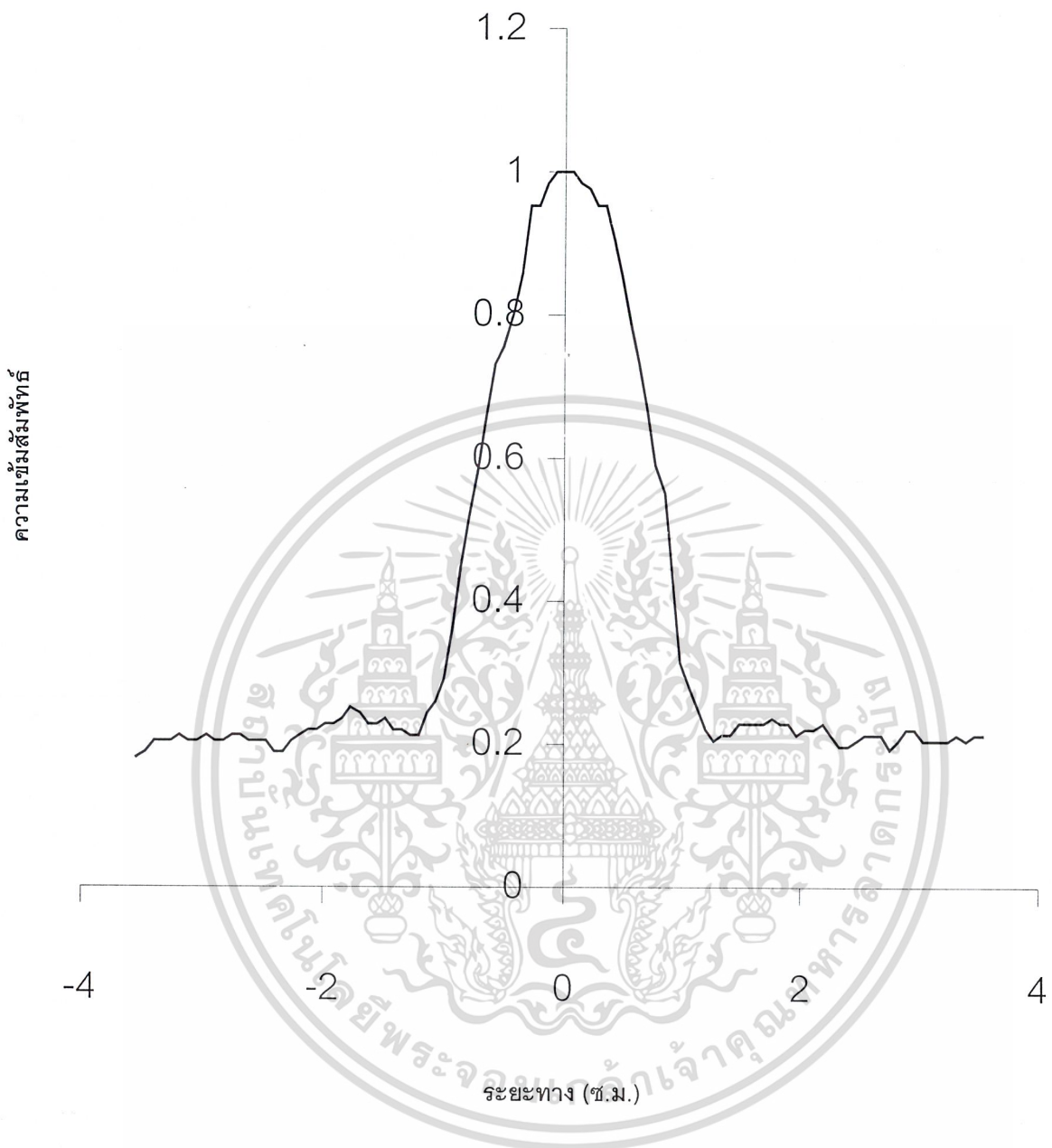
4.3.1 กระจกความยาวคลื่น 488 ไมโครเมตร

4.3.1.1 กระจกช่องเปิดวงกลมที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.19 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตร
ที่มีความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

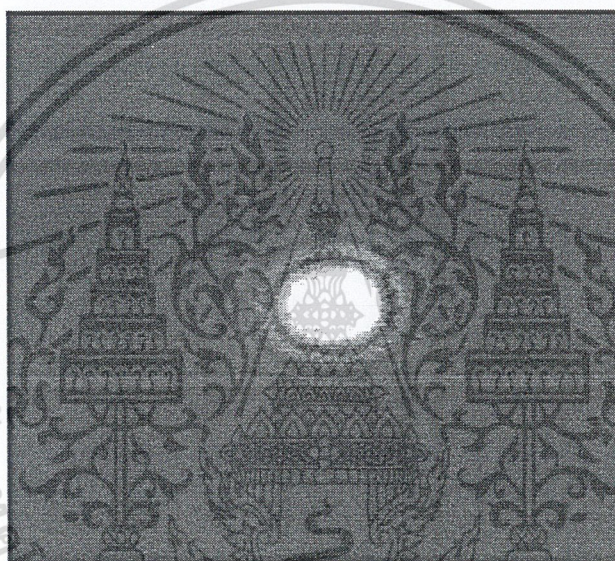
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

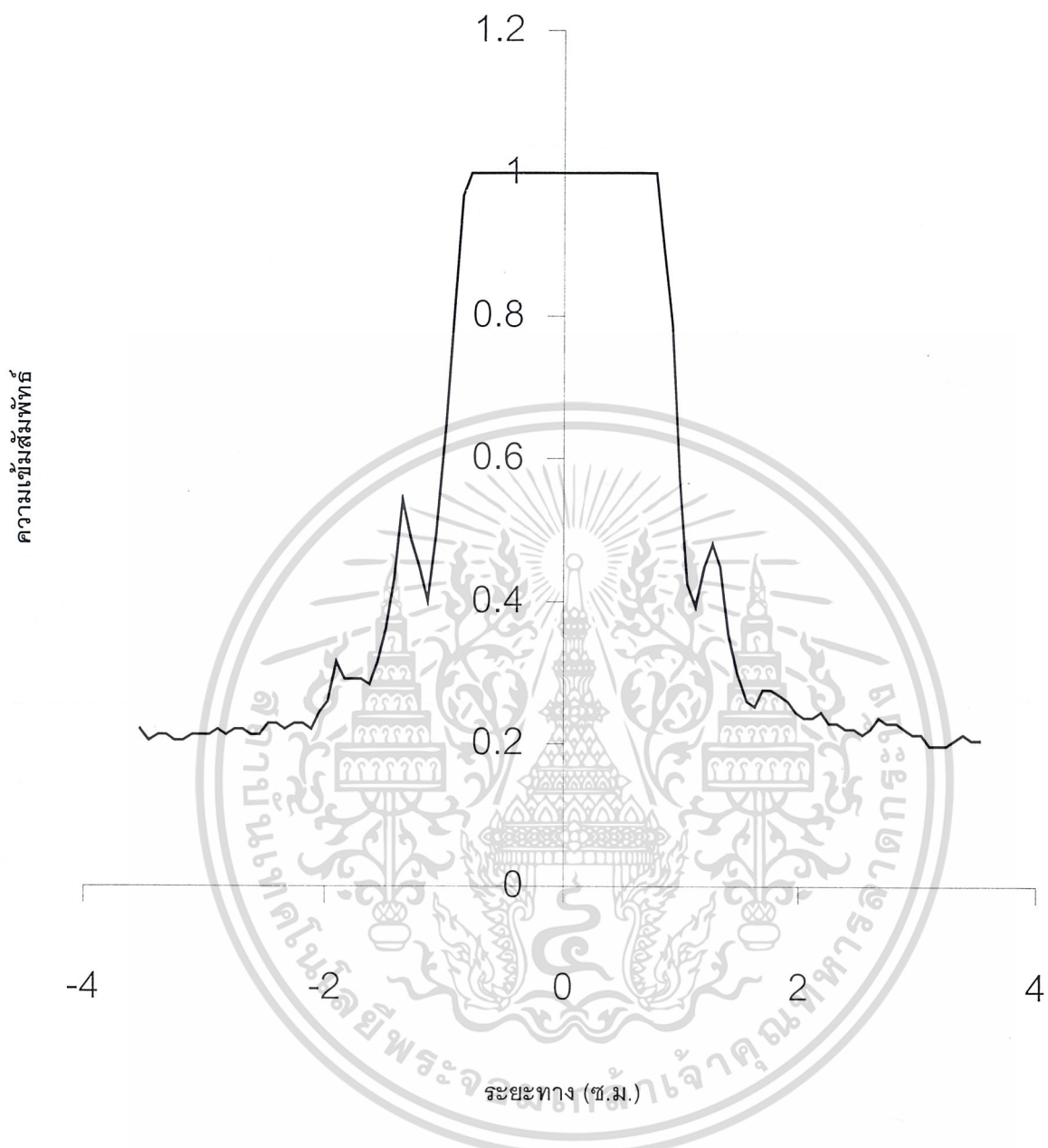
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 กรณีช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.20 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

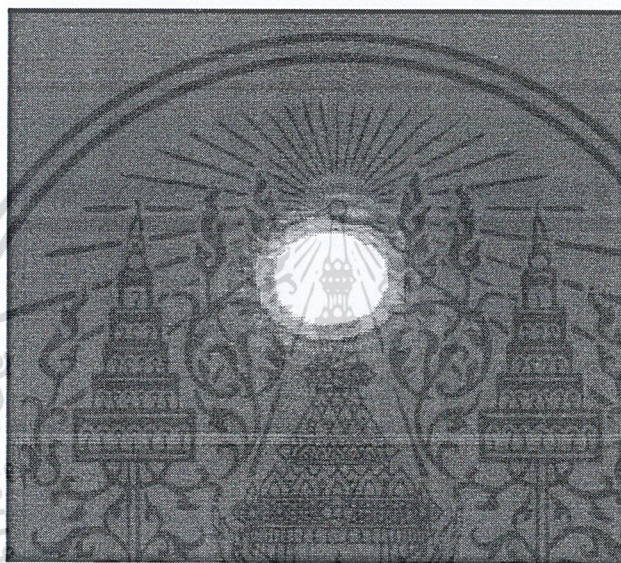
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

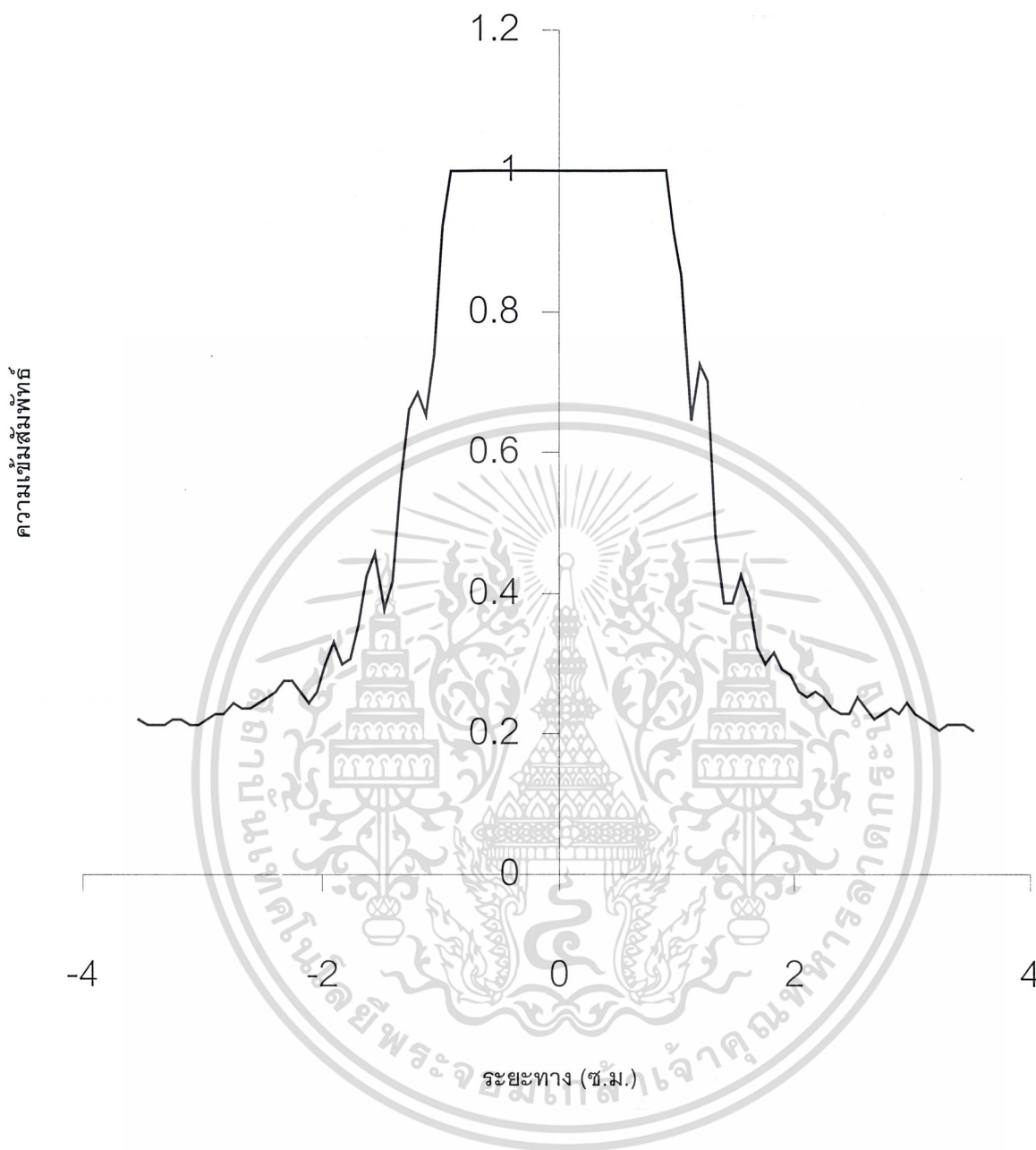
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 กรณีช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.21 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

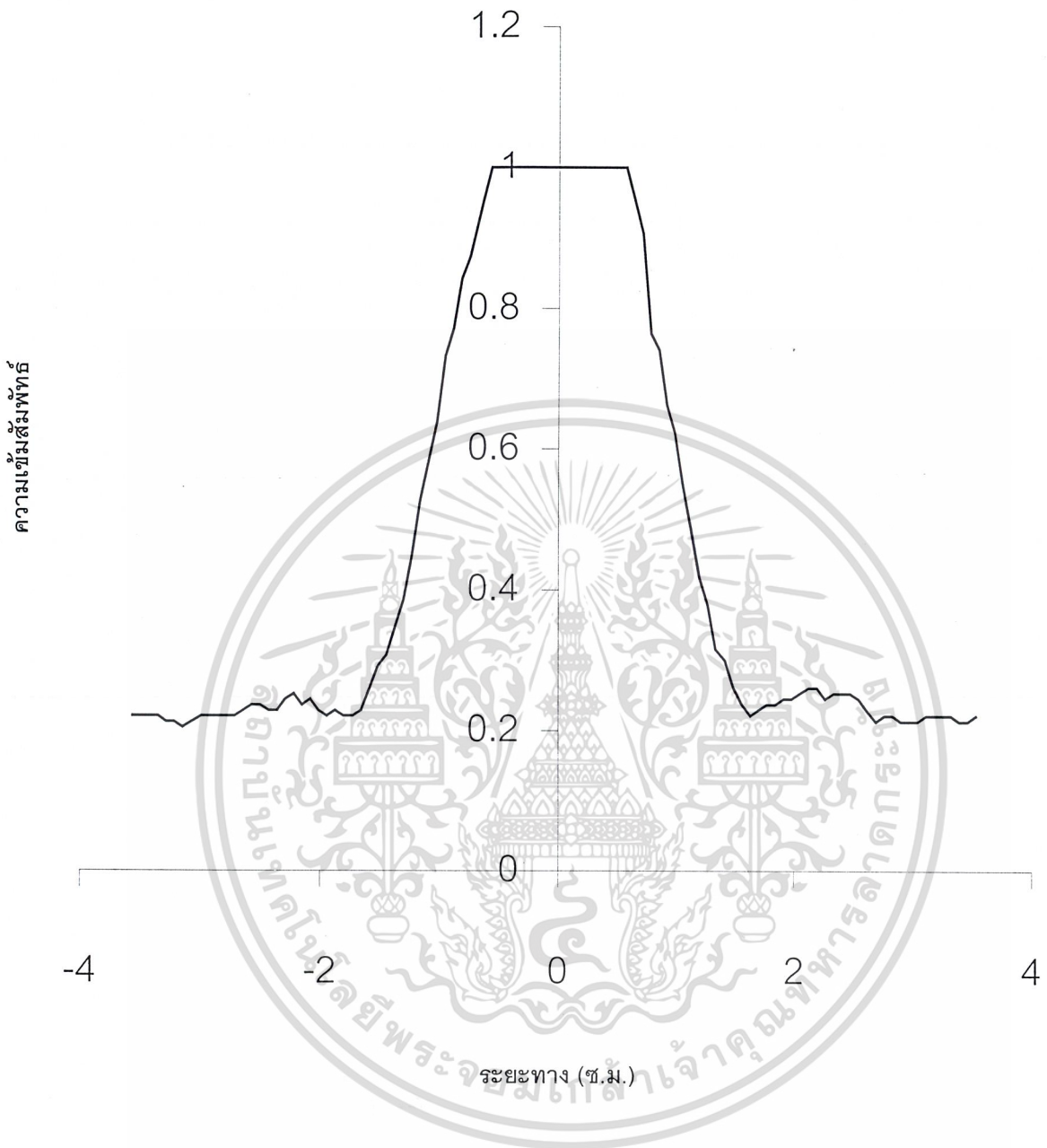
4.3.2 กรณีความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

4.3.2.1 กรณีช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.22 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

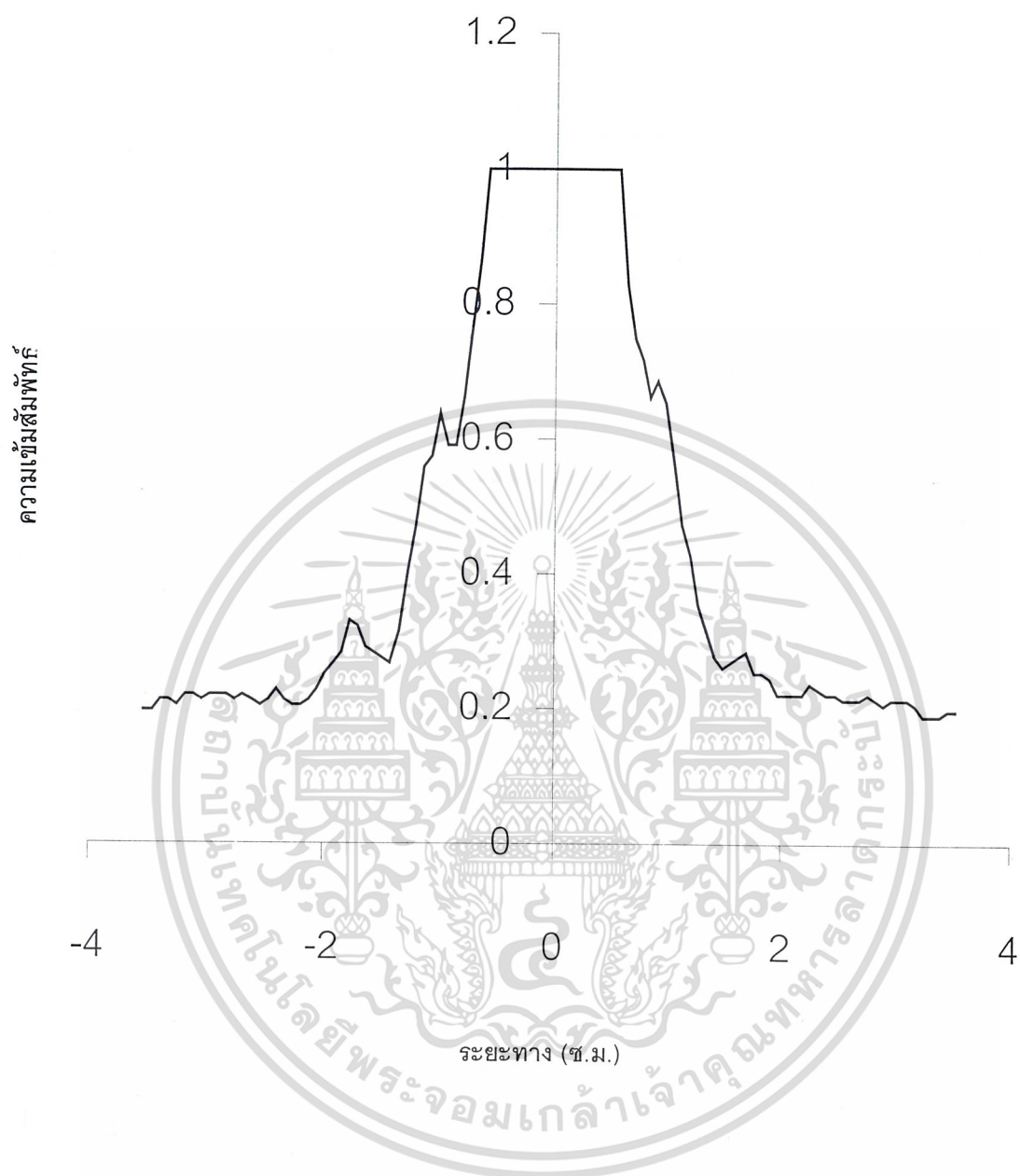
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 กรณีช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.24 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

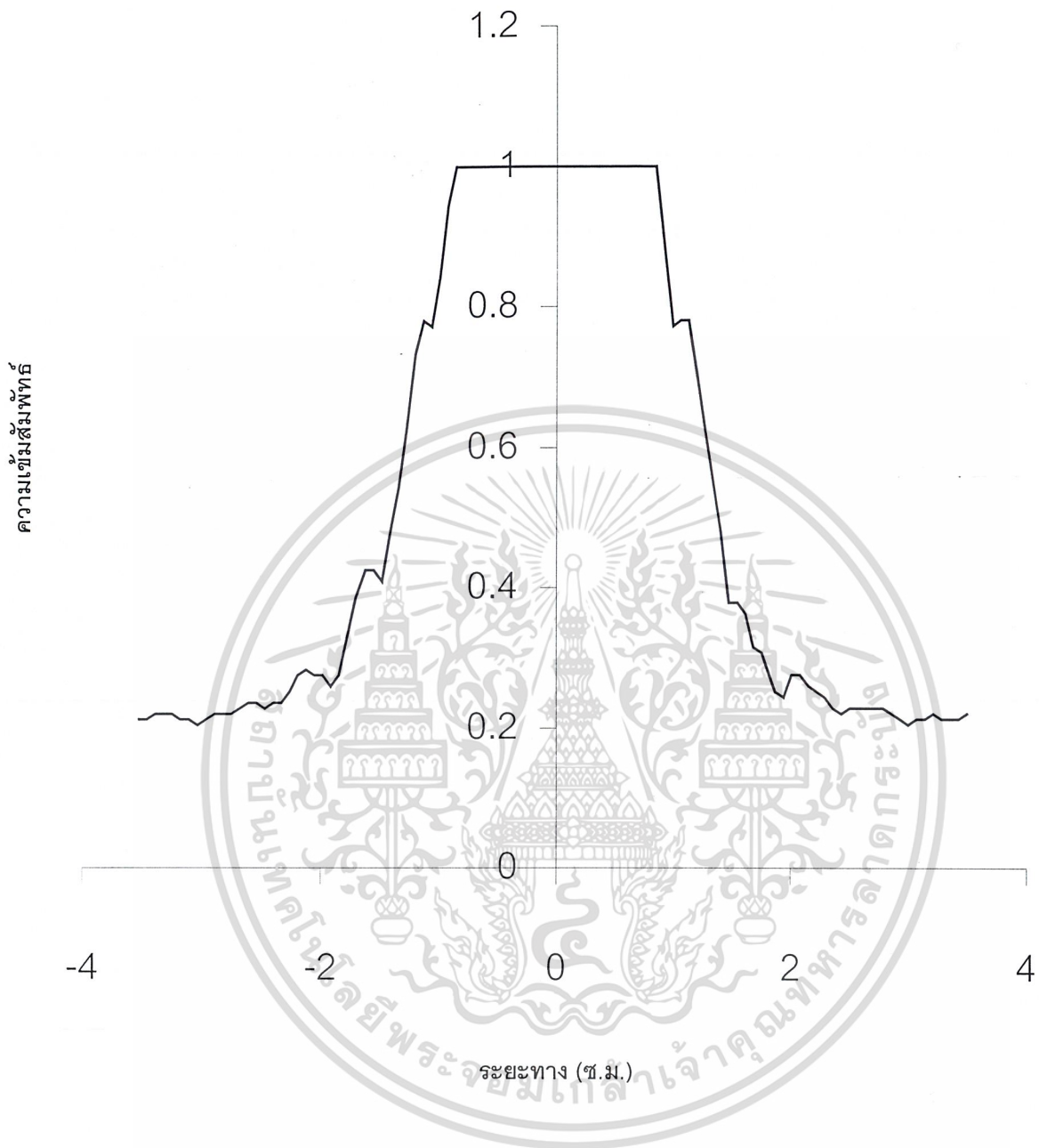
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 กรณีช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.24 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

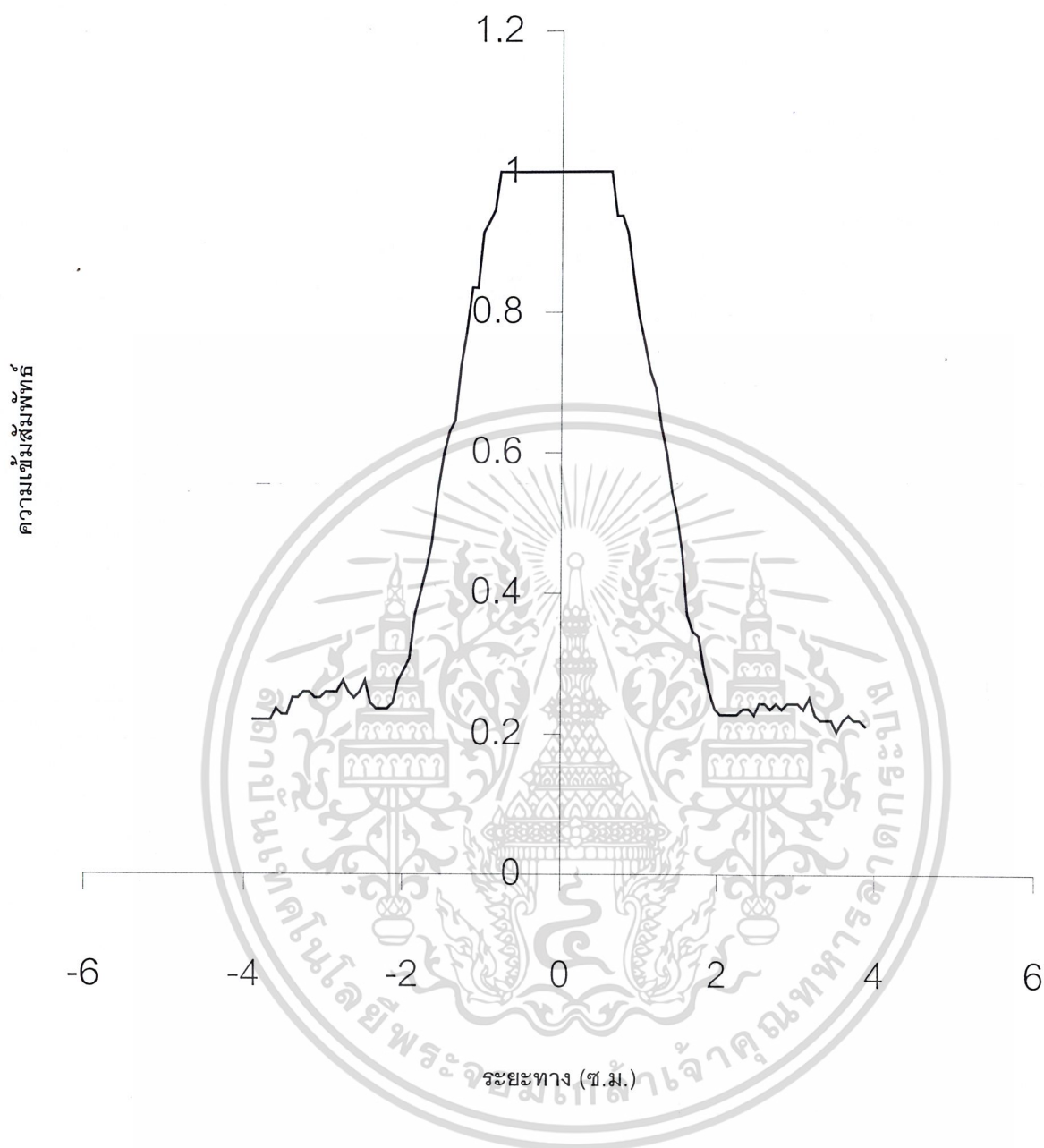
4.3.3 ทัศนียภาพยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

4.3.3.1 ทัศนียภาพช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.25 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

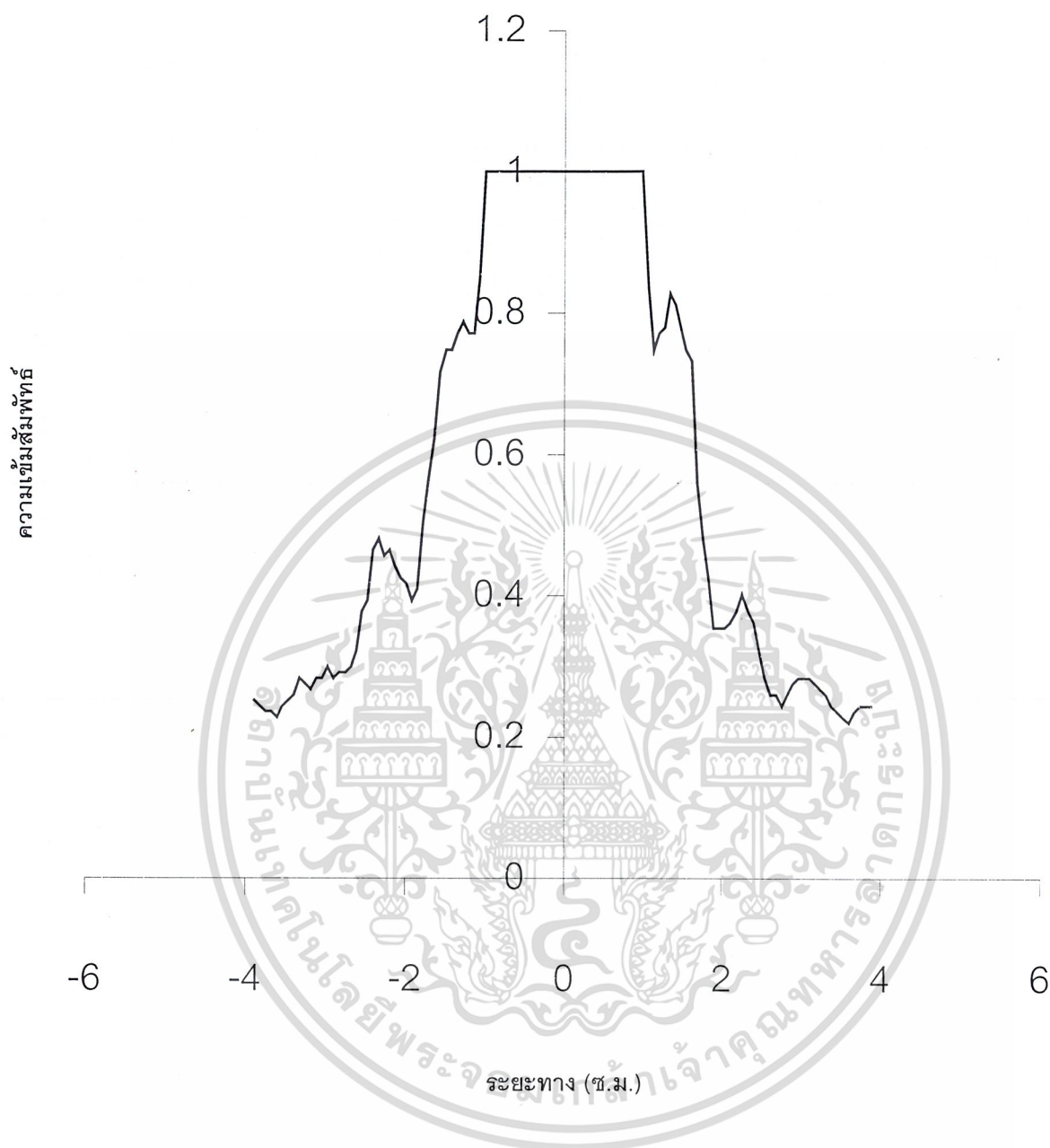
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2 กรณีช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.26 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

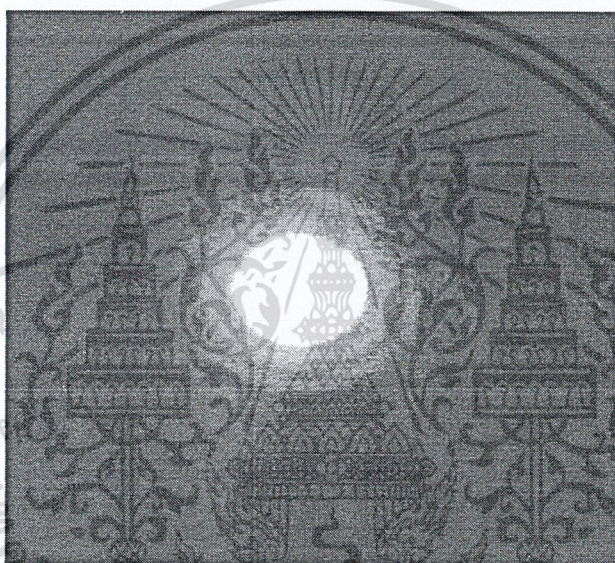
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

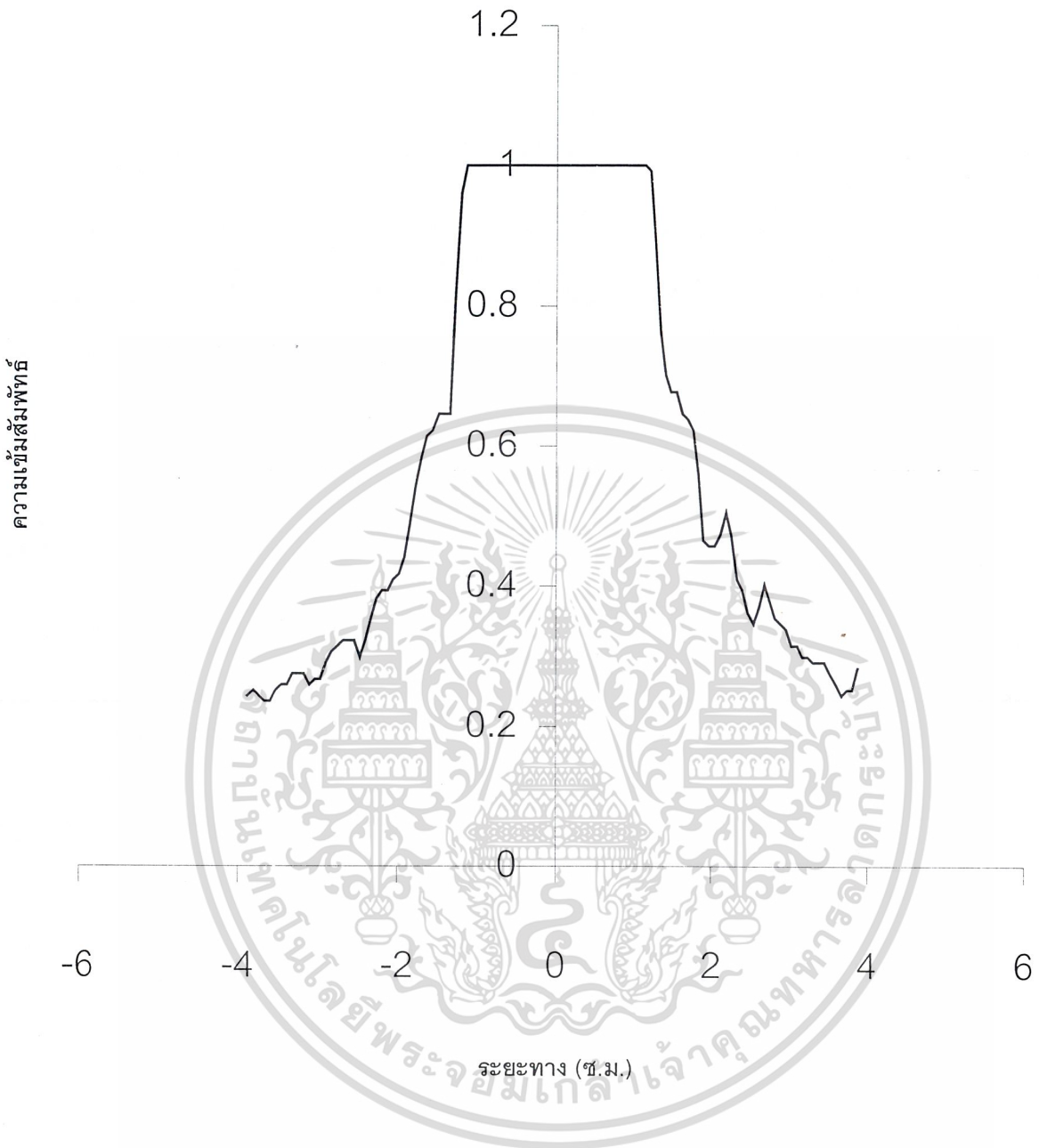
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3 กรณีช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.27 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตร
ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 ไมโครเมตร ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์และสรุปผล

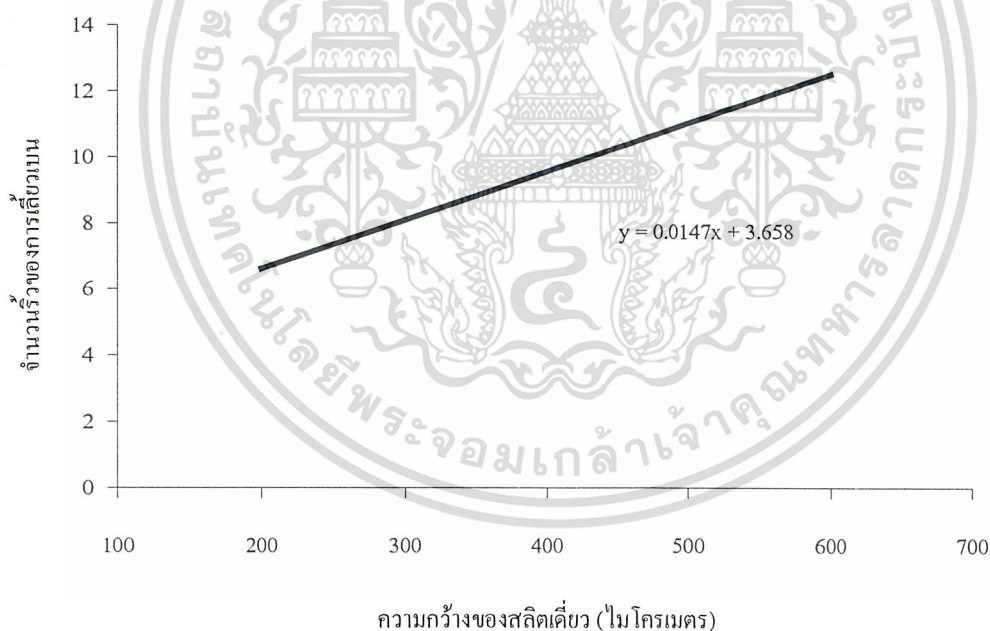
จากผลการทดลองนำมาวิเคราะห์ได้ดังนี้

5.1 กรณีของสลิตเดี่ยว

5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของสลิตเดี่ยว กับ จำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน

ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

ความกว้างของสลิตเดี่ยว (ไมโครเมตร)	200	425	600
จำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน	7	9	13

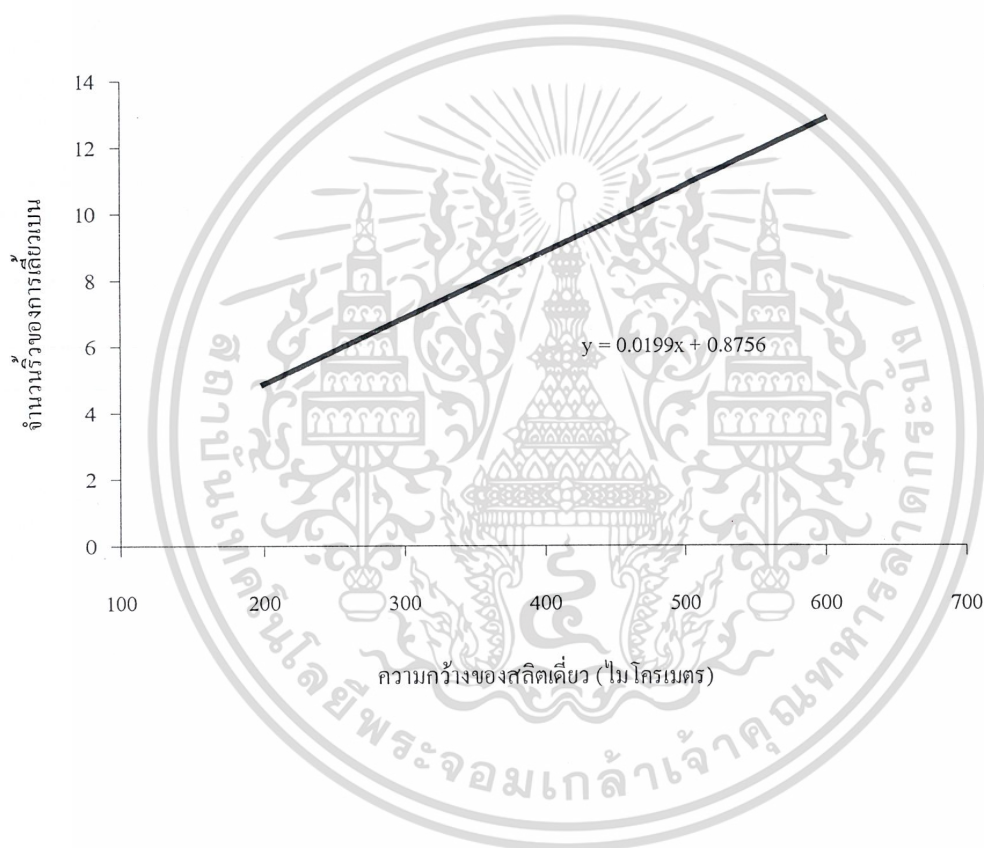


กราฟที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน
ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

ความกว้างของสลิตเดี่ยว (ไมโครเมตร)	200	425	600
จำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน	5	9	13

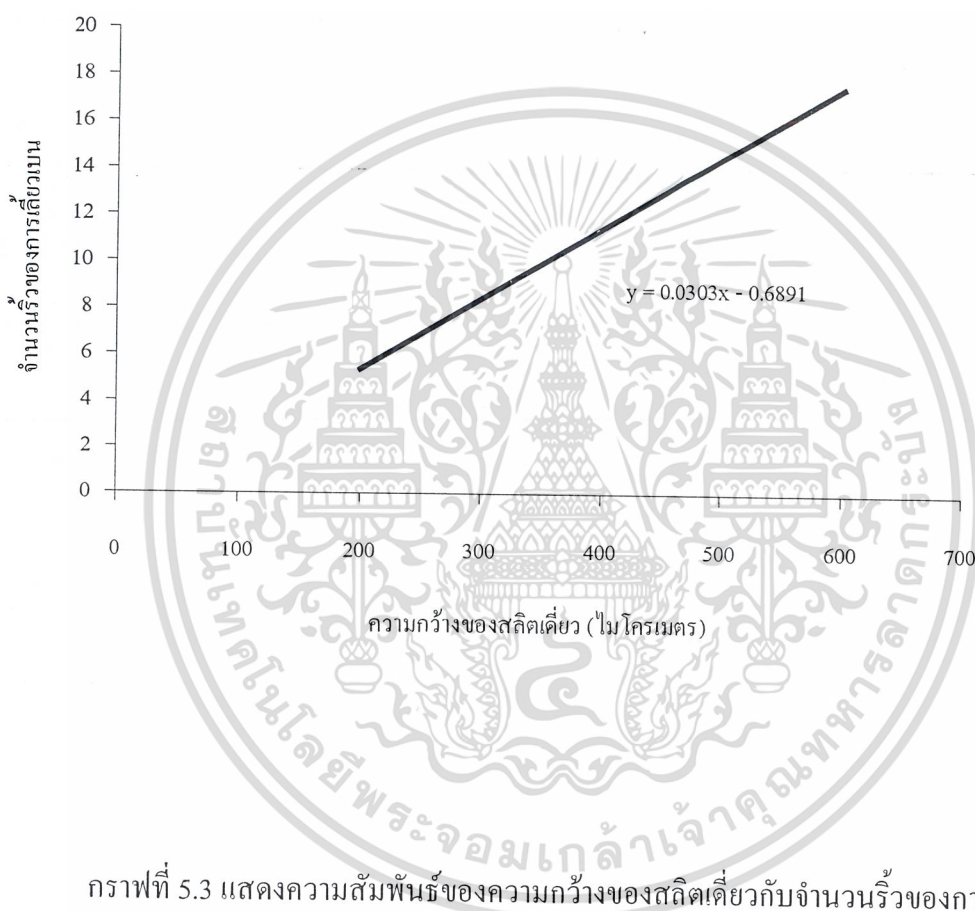


กราฟที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน
ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

ความกว้างของสลิตเดี่ยว (ไมโครเมตร)	200	425	600
จำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน	5	13	17



กราฟที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

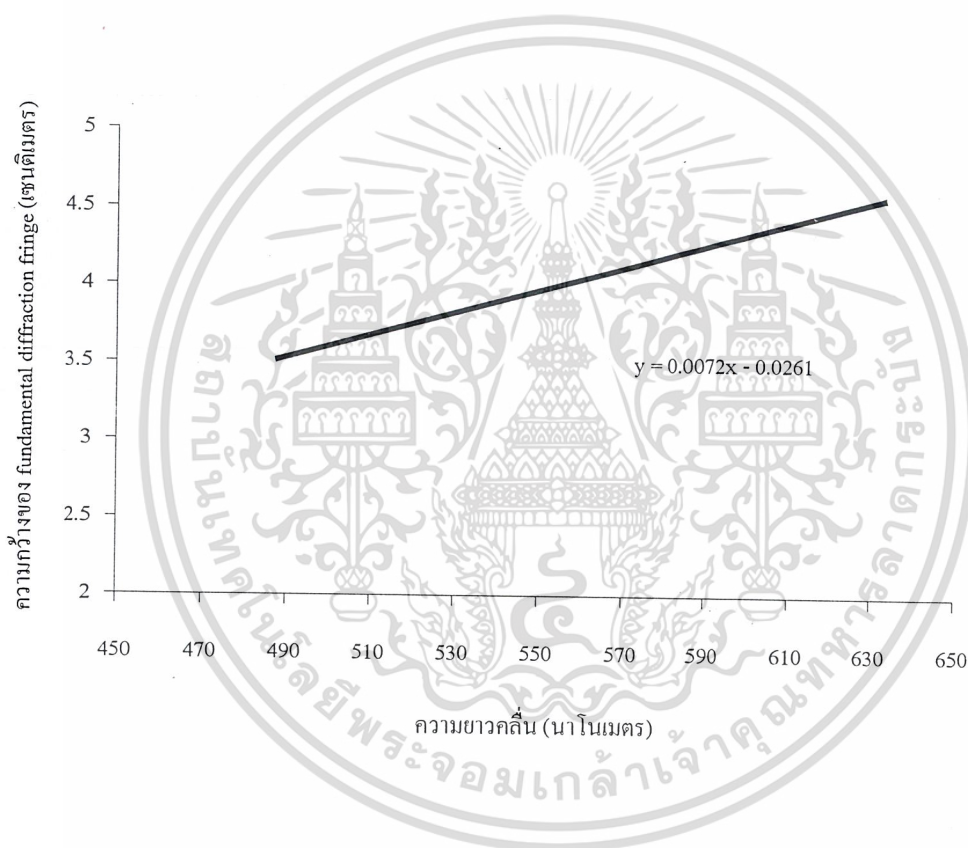
สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความกว้างของสลิตเดี่ยวแปรผันตรงกับจำนวนริ้ว โดยความกว้างของสลิตเพิ่มขึ้นจำนวนของริ้วของการเลี้ยวเบนก็เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น กับ ความกว้างของ fundamental diffraction fringe

ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 200 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความกว้างของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	3.51	3.70	4.56

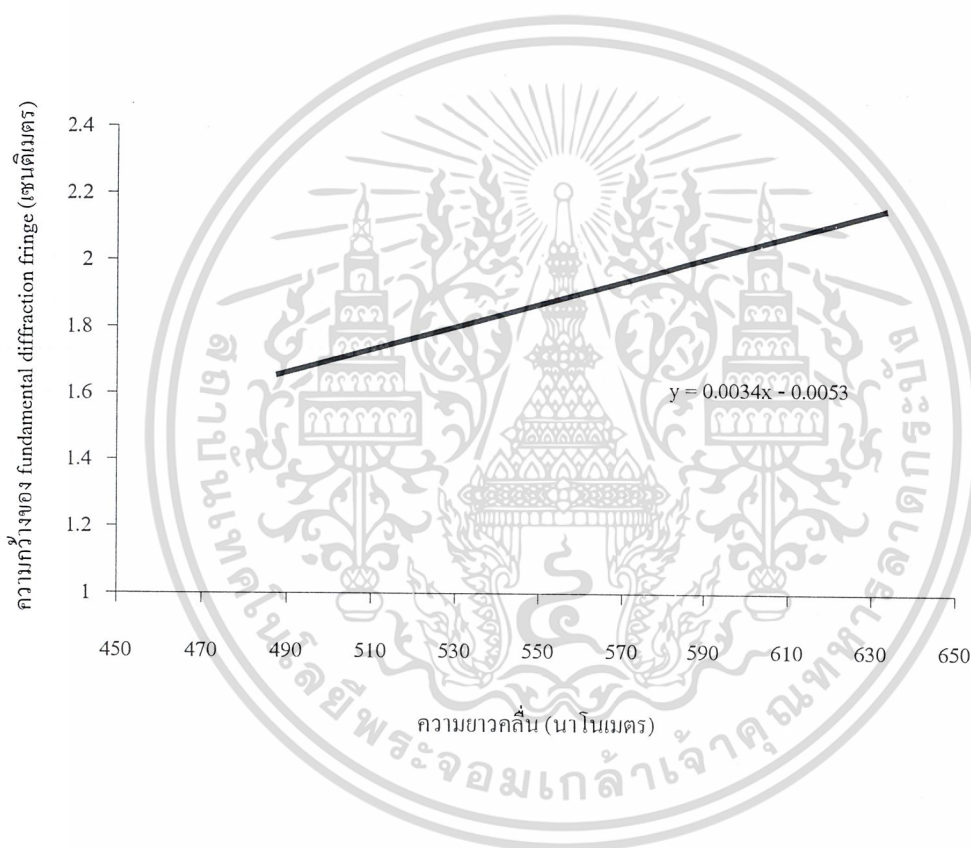


กราฟที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 200 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 425 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความกว้างของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	1.66	1.74	2.15

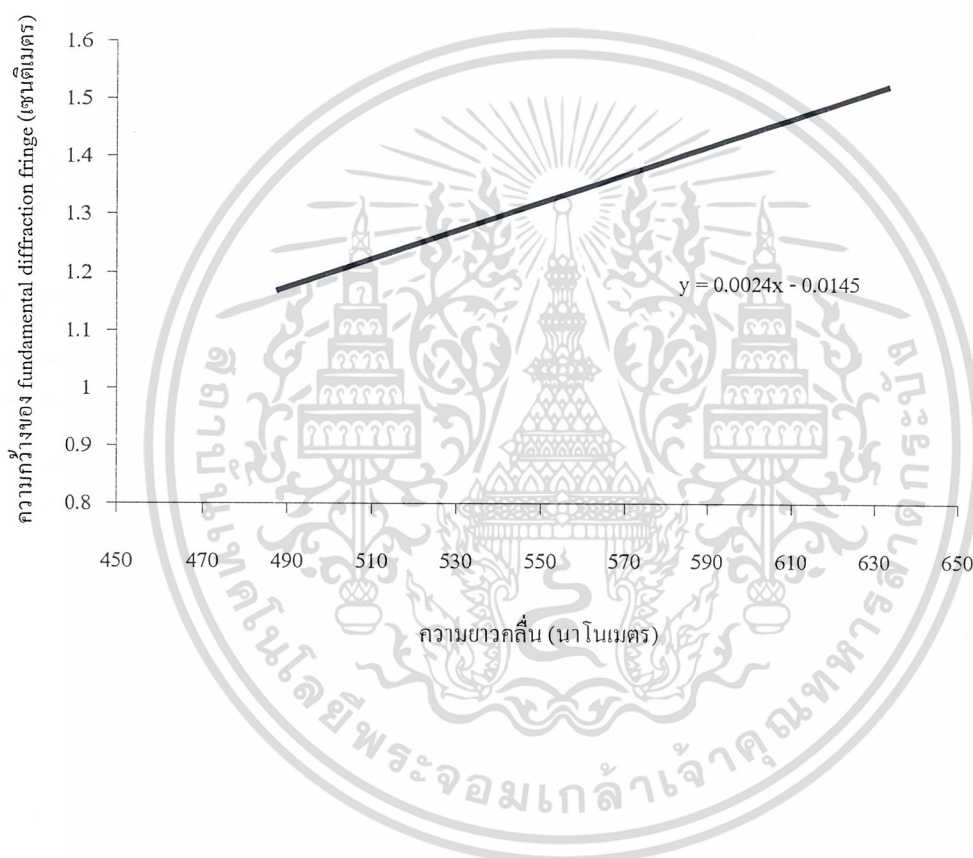


กราฟที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 425 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 600 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความกว้างของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	1.17	1.23	1.52



กราฟที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 600 ไมโครเมตร

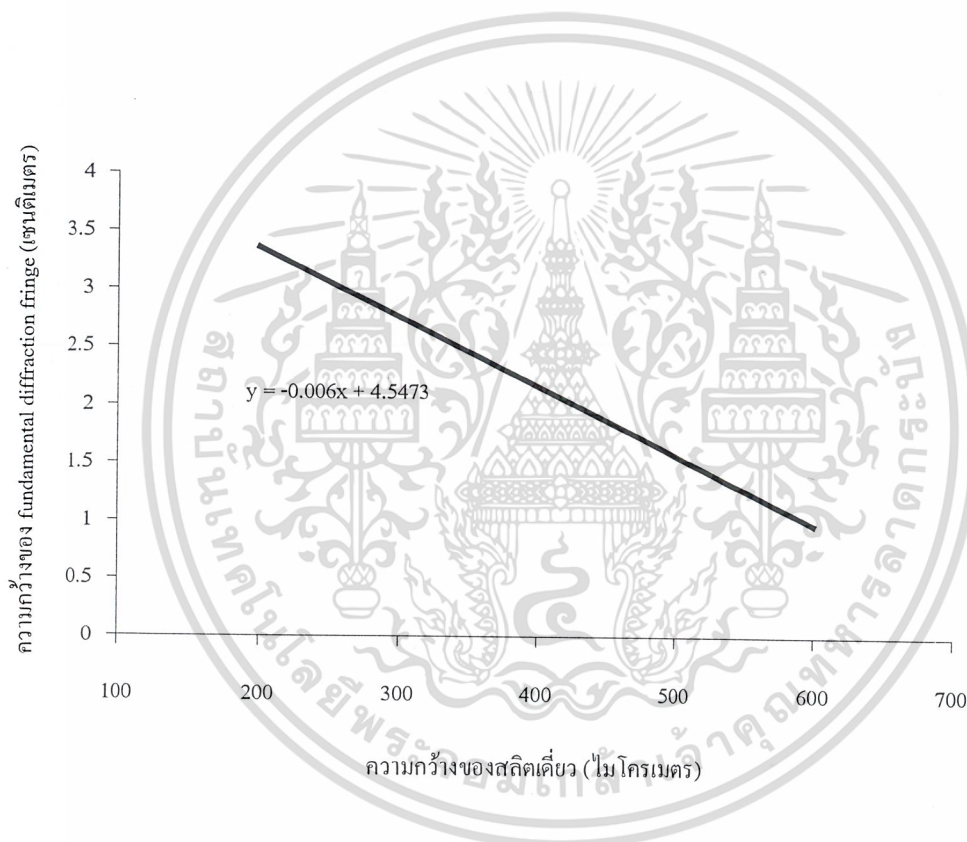
สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความกว้างของ fundamental diffraction fringe แปรผันตรงกับความยาวคลื่น โดยความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ความกว้างของ fundamental diffraction fringe ก็เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของสลิตเดี่ยว กับ ความกว้างของ *fundamental diffraction fringe*

ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

ความกว้างของสลิตเดี่ยว (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความกว้างของ <i>fundamental diffraction fringe</i> (เซนติเมตร)	3.51	1.66	1.17

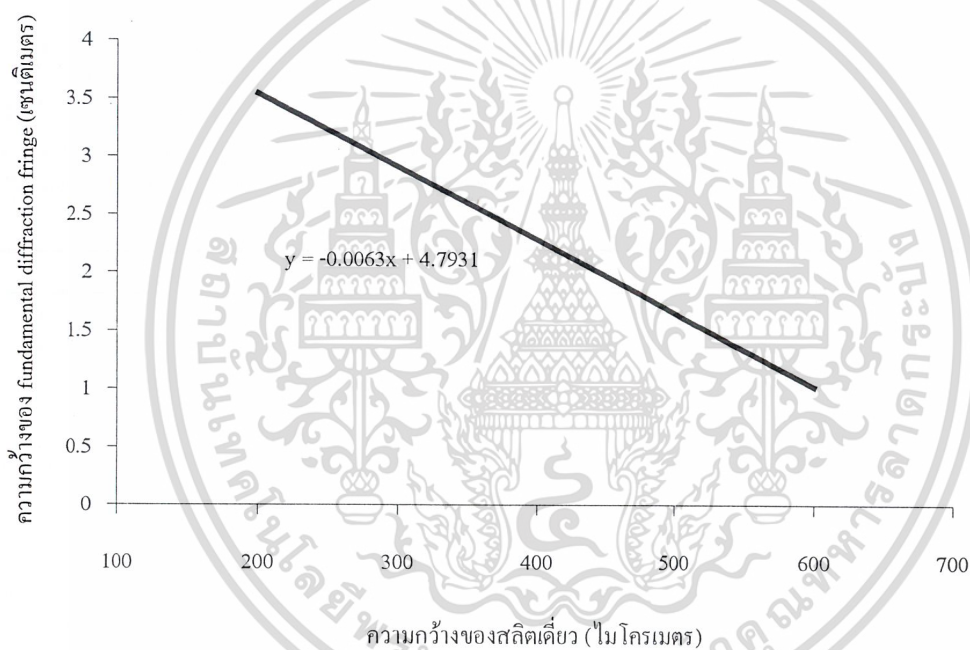


กราฟที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับความกว้างของ *fundamental diffraction fringe* ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

ความกว้างของสลิตเดี่ยว (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความกว้างของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	3.70	1.74	1.23

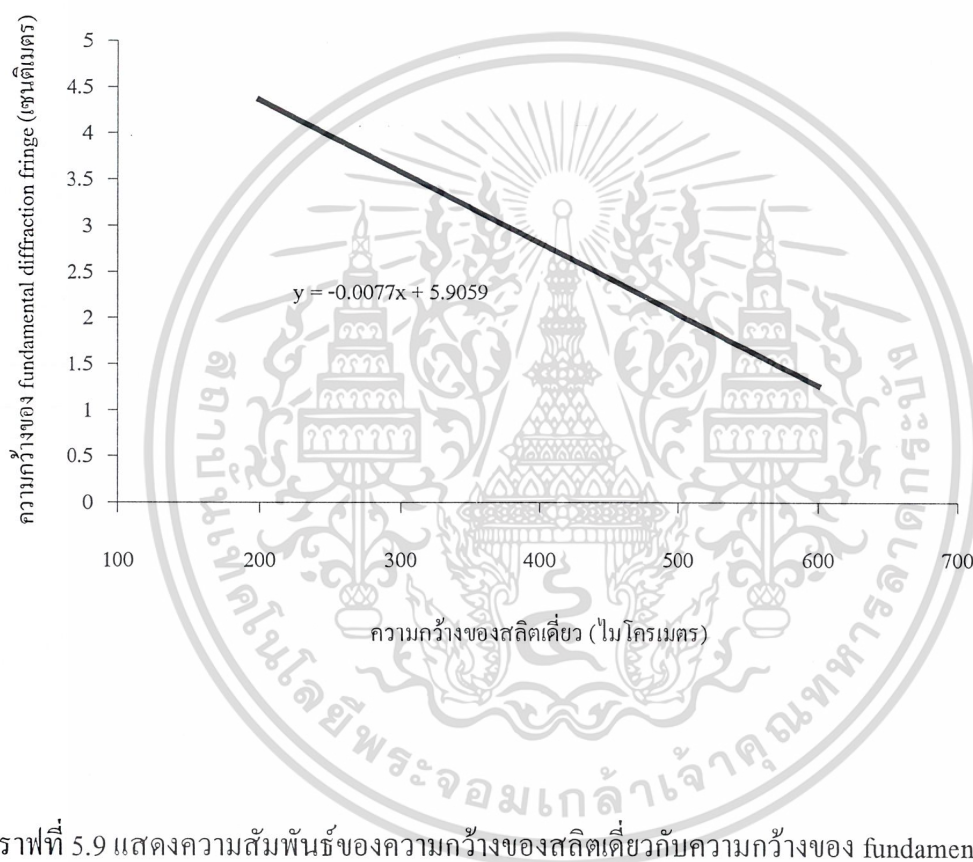


กราฟที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

ความกว้างของสลิตเดี่ยว (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความกว้างของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	4.56	2.15	1.52



กราฟที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตเดี่ยวกับความกว้างของ fundamental diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

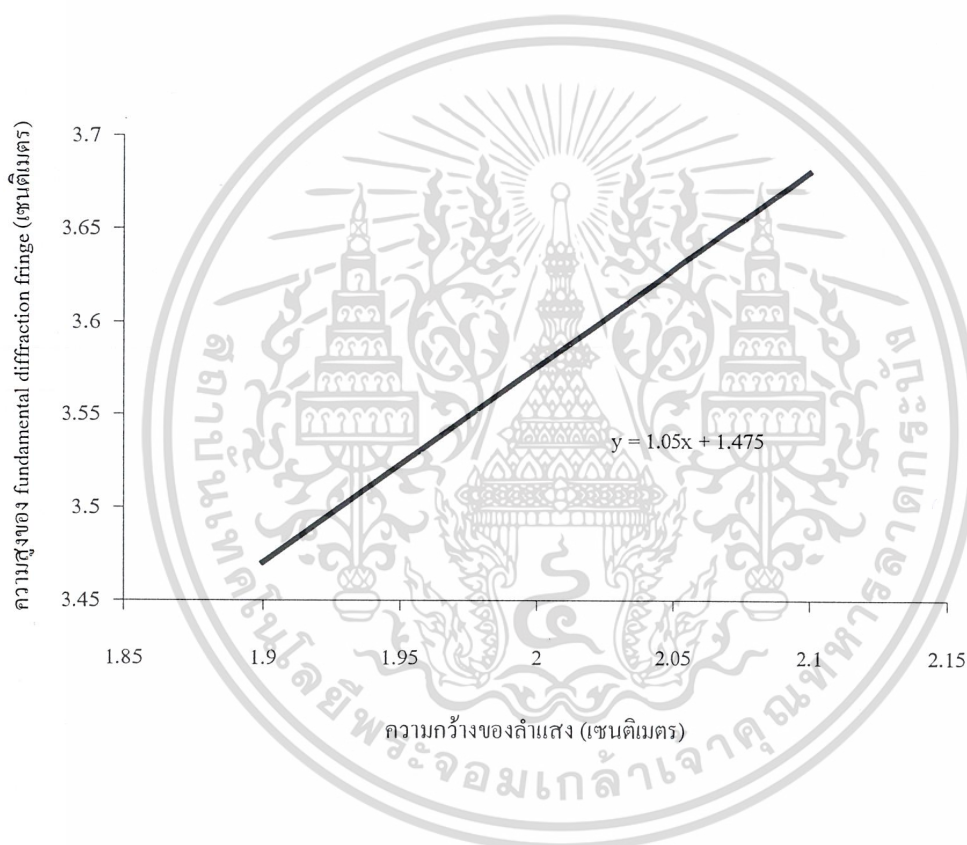
สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความกว้างของ fundamental diffraction fringe แปรผกผันกับความกว้างของสลิตเดี่ยว โดยความกว้างของสลิตเดี่ยวเพิ่มขึ้น ความกว้างของ fundamental diffraction fringe จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของลำแสง กับ ความสูงของ fundamental diffraction fringe

ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 200 ไมโครเมตร

ความกว้างของลำแสง (เซนติเมตร)	0.3	1.9	2.1
ความสูงของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	0.21	3.47	3.68

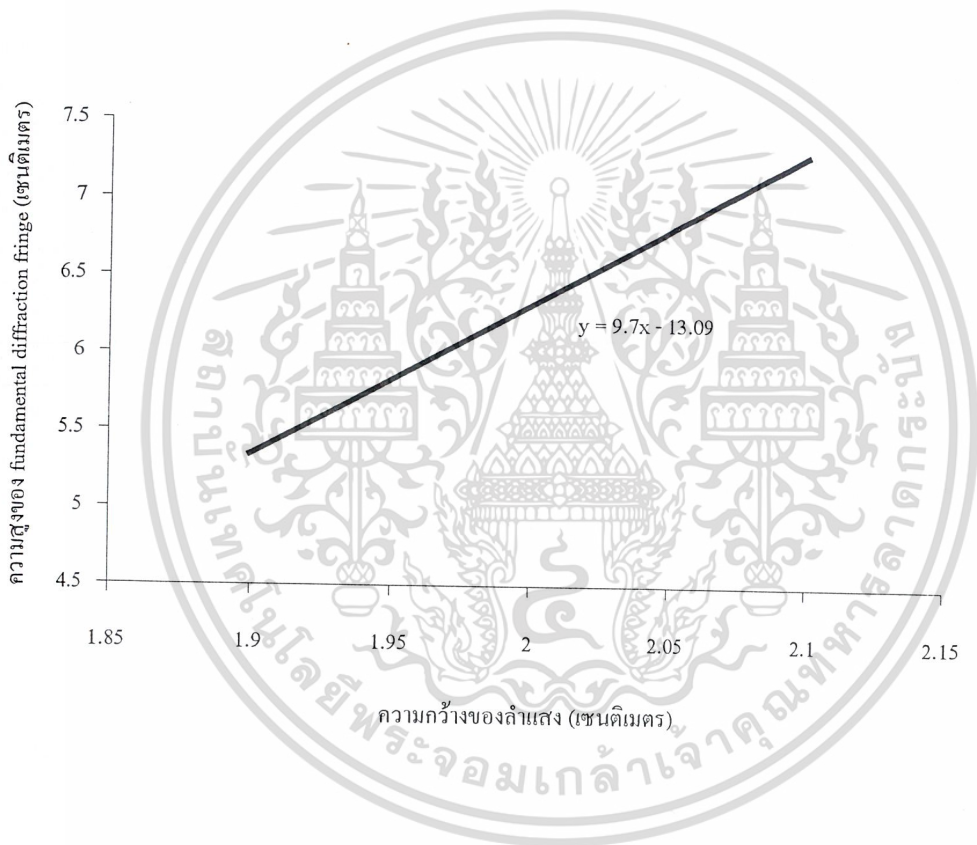


กราฟที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของลำแสงกับความสูงของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 200 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 425 ไมโครเมตร

ความกว้างของลำแสง (เซนติเมตร)	0.3	1.9	2.1
ความสูงของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	0.74	5.34	7.28

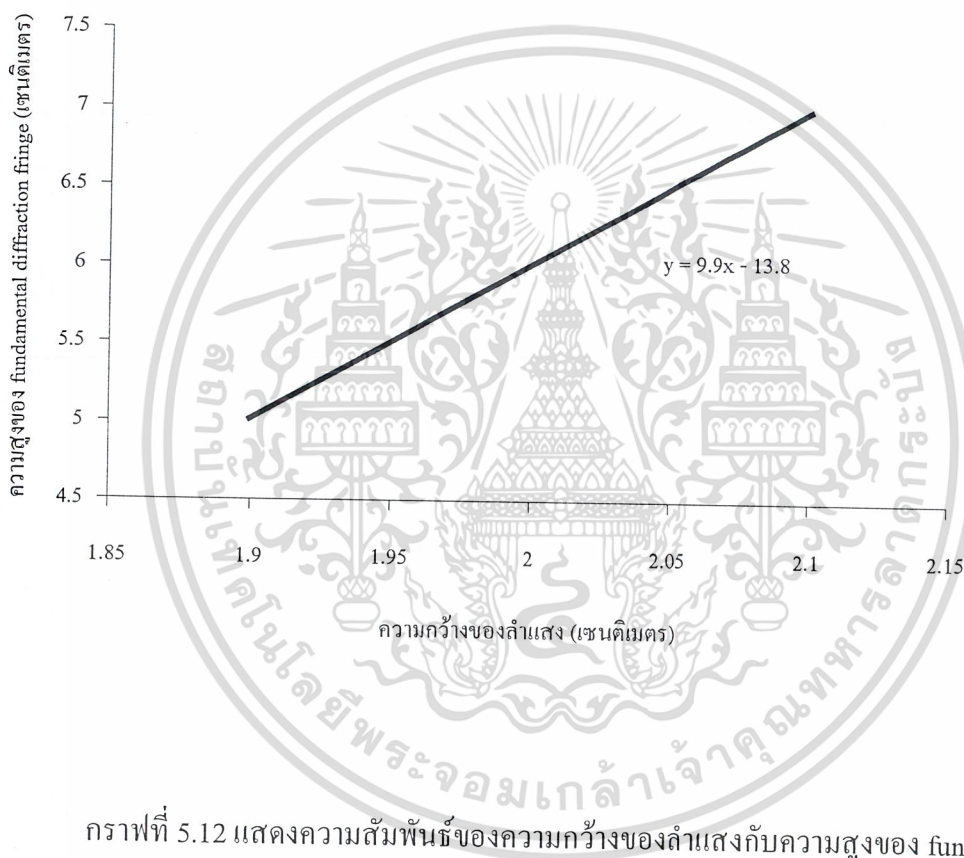


กราฟที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของลำแสงกับความสูงของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 425 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 600 ไมโครเมตร

ความกว้างของลำแสง (เซนติเมตร)	0.3	1.9	2.1
ความสูงของ fundamental diffraction fringe (เซนติเมตร)	0.64	5.01	6.99



กราฟที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของลำแสงกับความสูงของ fundamental diffraction fringe ที่ความกว้างของสลิตเดี่ยว 600 ไมโครเมตร

สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความสูงของ fundamental diffraction fringe แปรผันตรงกับความกว้างของลำแสง โดยความกว้างของลำแสงเพิ่มขึ้น ความสูงของ fundamental diffraction fringe ก็เพิ่มขึ้น

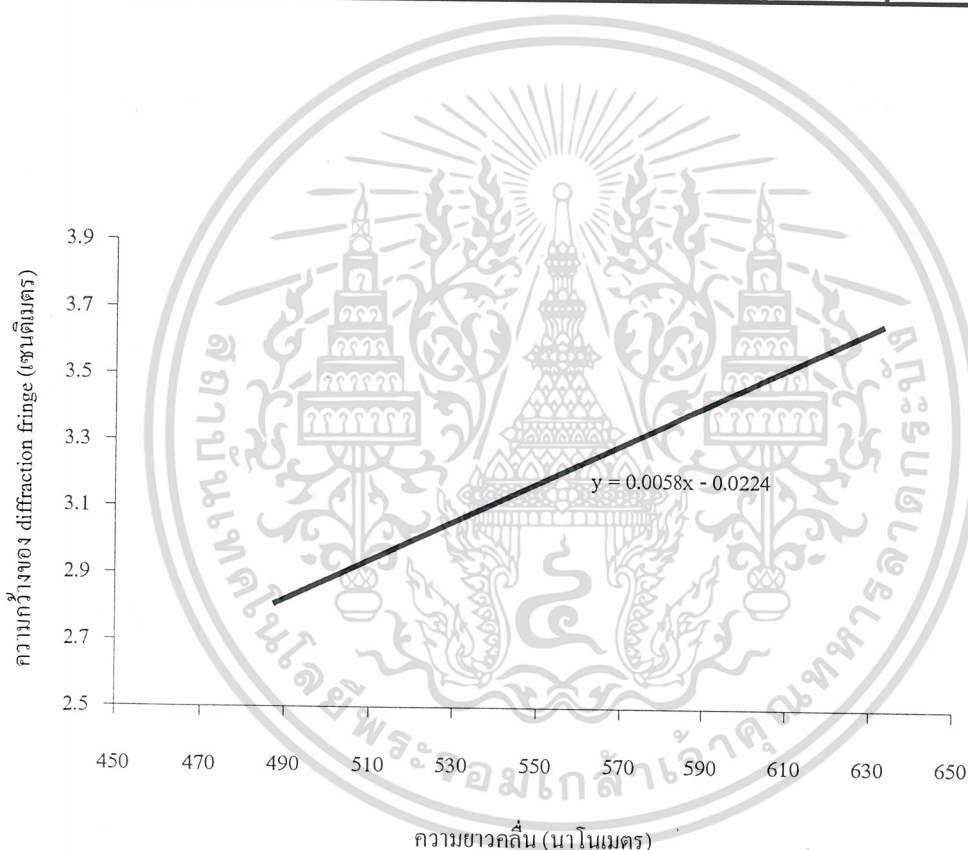
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 กรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

5.2.1 ความสัมพันธ์ความยาวคลื่น กับ ความกว้างของ diffraction fringe

ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 200 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความกว้างของ diffraction fringe (เซนติเมตร)	2.81	2.96	3.65

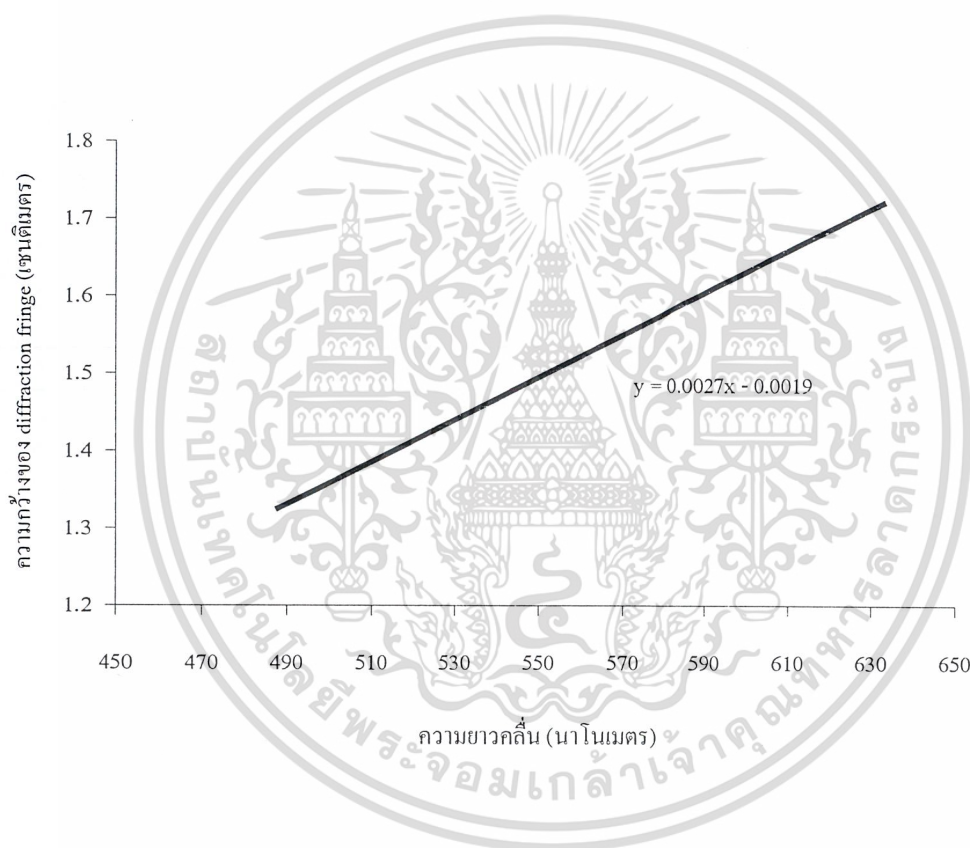


กราฟที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 200 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 425 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความกว้างของ diffraction fringe (เซนติเมตร)	1.33	1.39	1.72

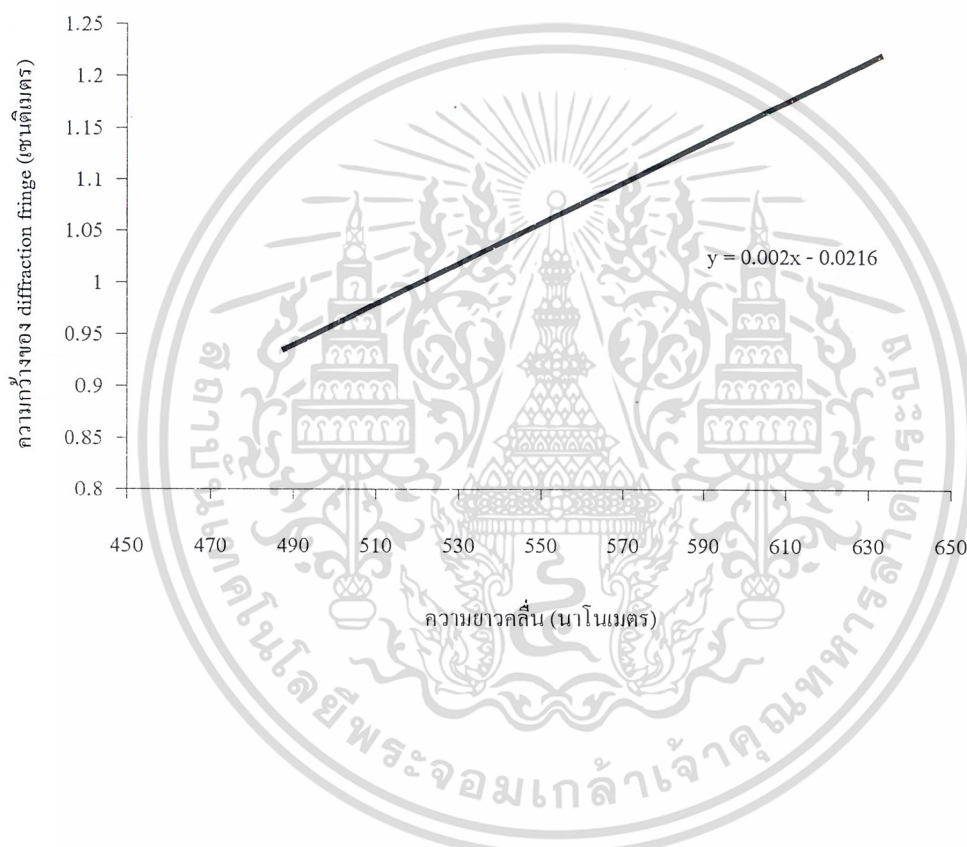


กราฟที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 425 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 600 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความกว้างของ diffraction fringe (เซนติเมตร)	0.94	0.98	1.22



กราฟที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 600 ไมโครเมตร

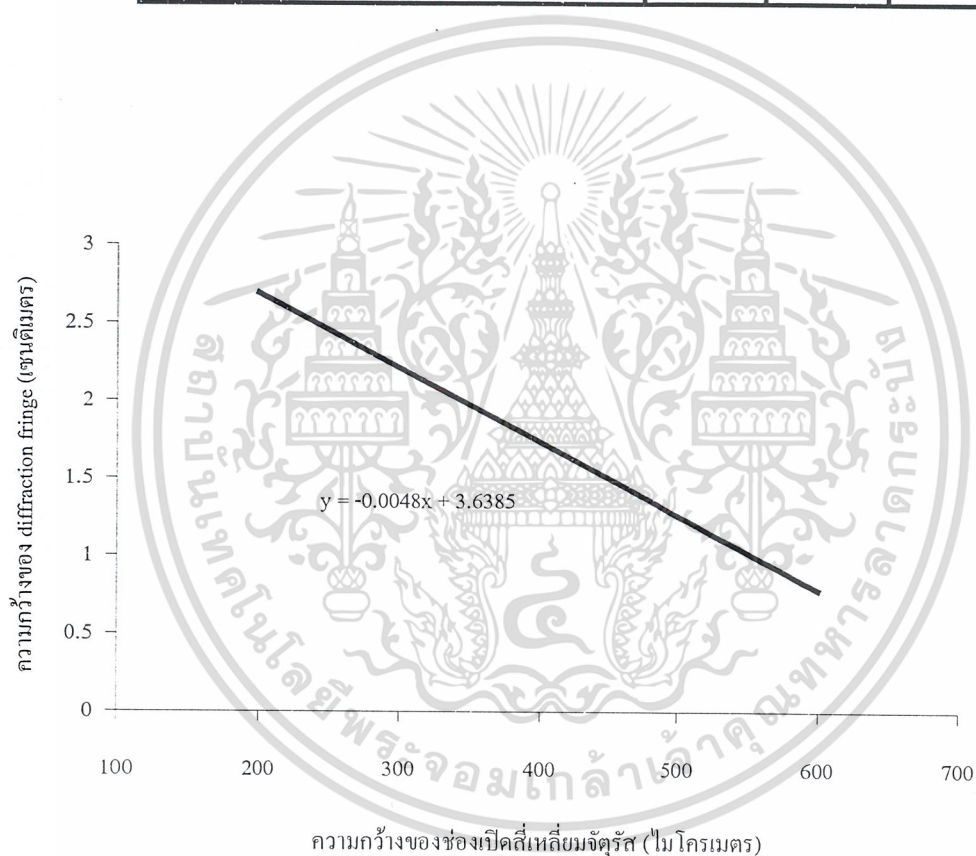
สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความกว้างของ diffraction fringe แปรผันตรงกับความยาวคลื่น โดยความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ความกว้างของ diffraction fringe ก็เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับกรณีของสลิตเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส กับ ความกว้างของ diffraction fringe

ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

ความกว้างของ ช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความกว้างของ diffraction fringe (เซนติเมตร)	2.81	1.33	0.94

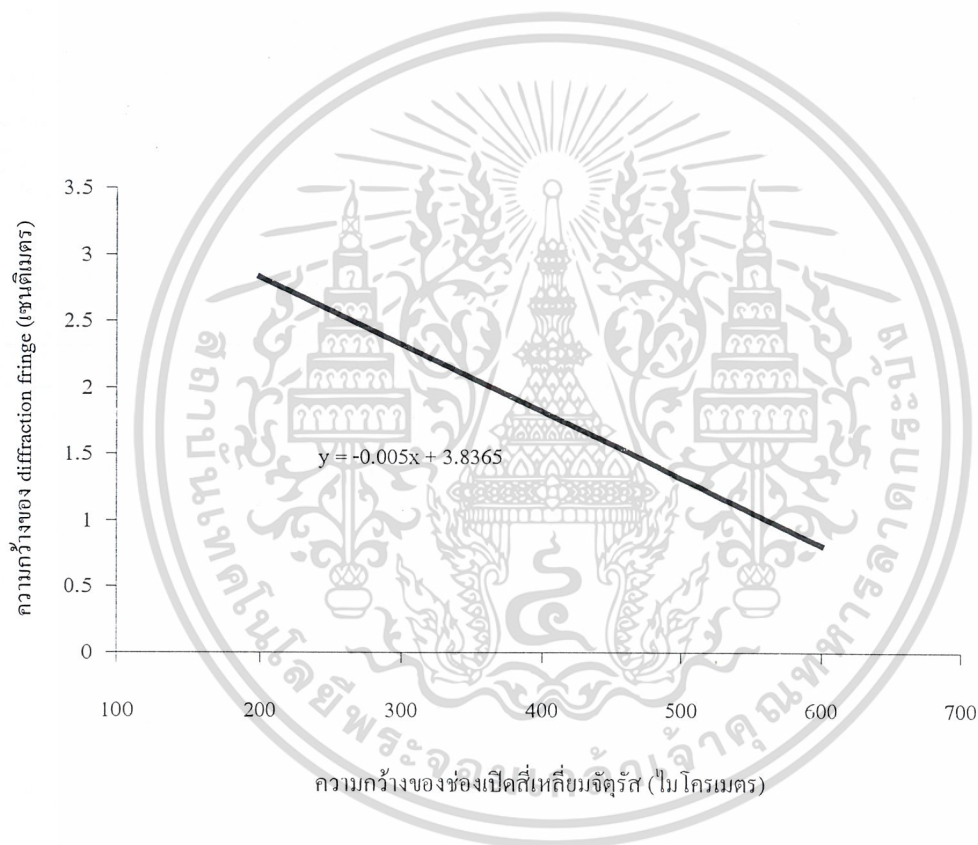


กราฟที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

ความกว้างของ ช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความกว้างของ diffraction fringe (เซนติเมตร)	2.96	1.39	0.98

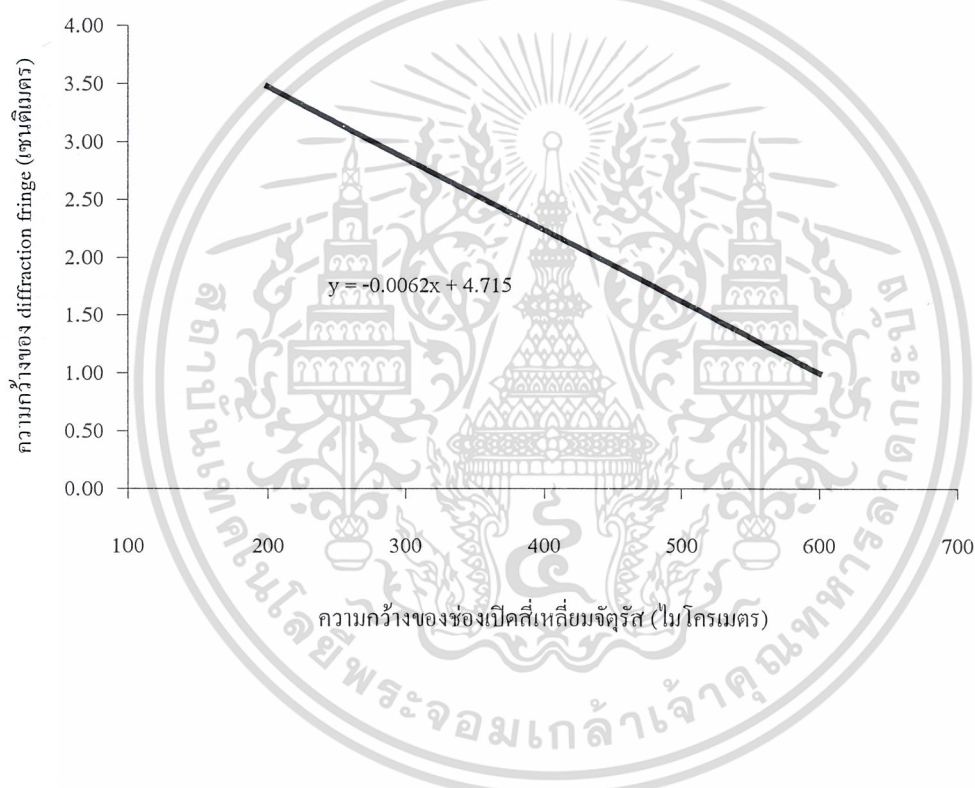


กราฟที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

ความกว้างของ ช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความกว้างของ diffraction fringe (เซนติเมตร)	3.65	1.68	1.22



กราฟที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ของความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกับความกว้างของ diffraction fringe ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความกว้างของ diffraction fringe แปรผกผันกับความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพิ่มขึ้น ความกว้างของ diffraction fringe จะลดลง ซึ่งตรงกับในกรณีของสลิตเดี่ยว

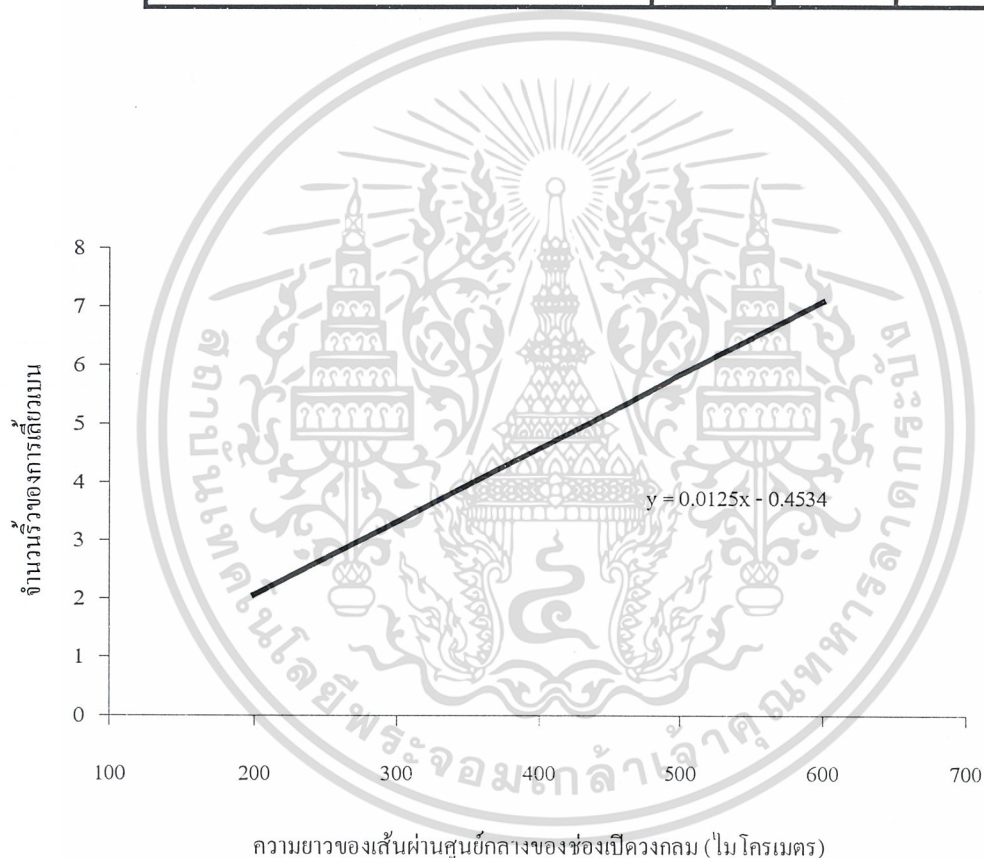
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กรณีของช่องเปิดวงกลม

5.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลม กับ จำนวนรีวของการเลี้ยวเบน

ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม (ไมโครเมตร)	200	425	600
จำนวนรีวของการเลี้ยวเบน	2	5	7

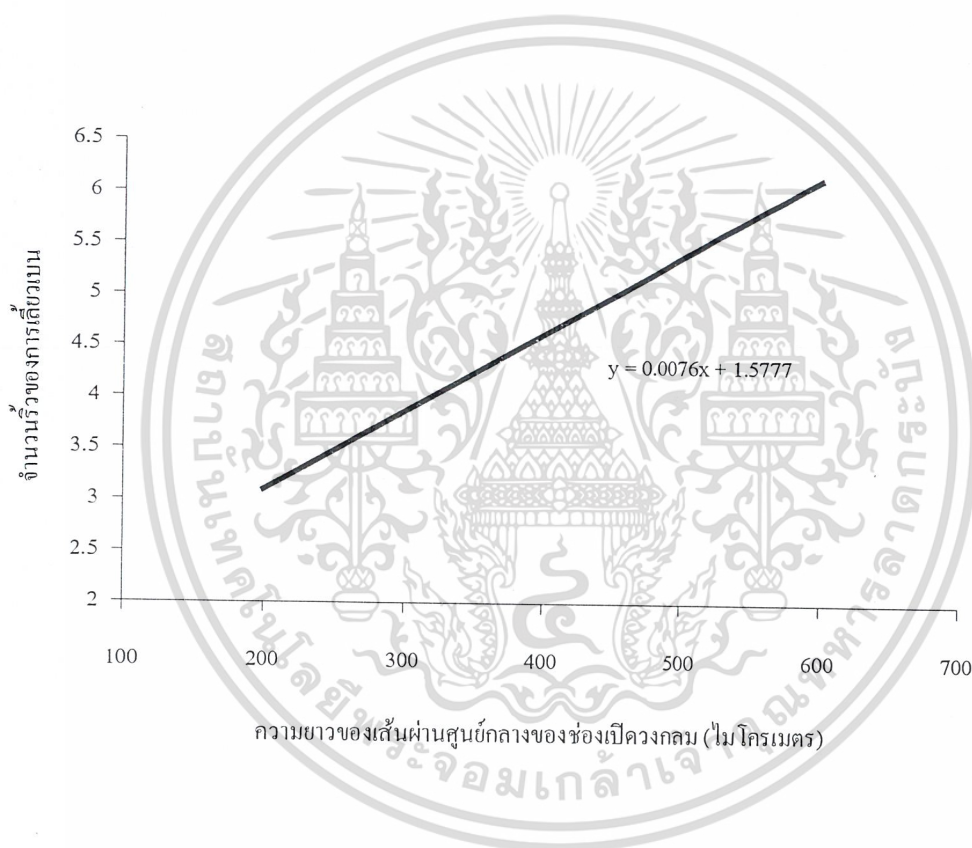


กราฟที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม กับจำนวนรีวของการเลี้ยวเบน ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของช่องเปิดวงกลม (ไมโครเมตร)	200	425	600
จำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน	3	5	6

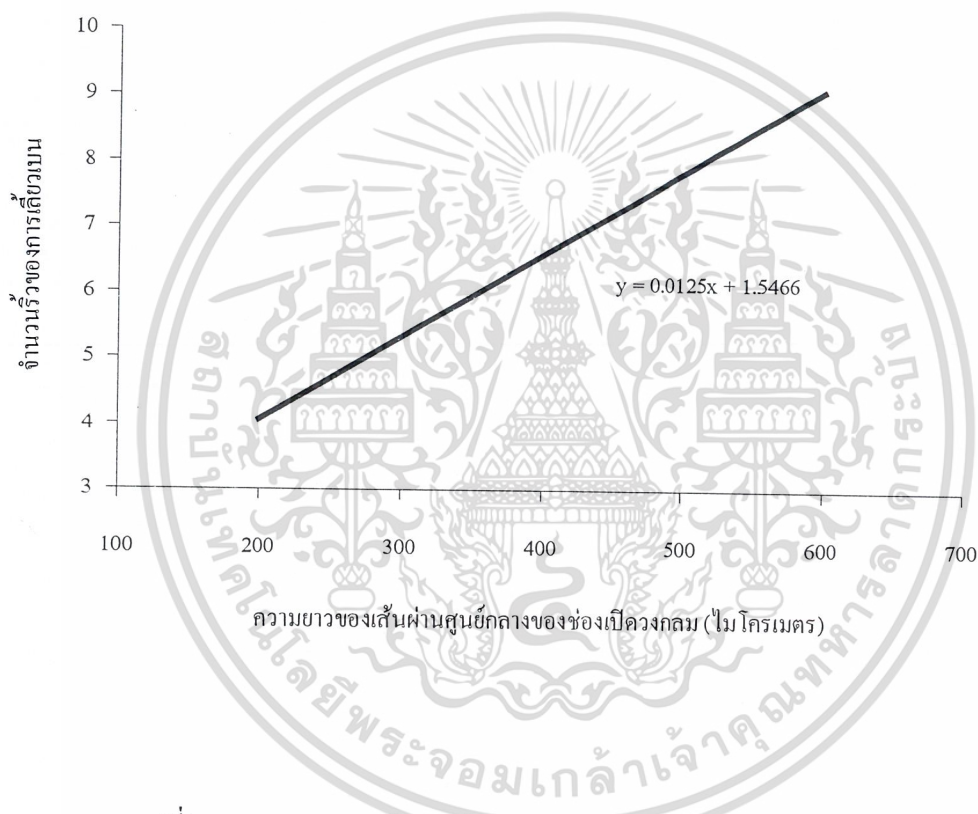


กราฟที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม กับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของช่องเปิดวงกลม (ไมโครเมตร)	200	425	600
จำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน	4	7	9



กราฟที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม กับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

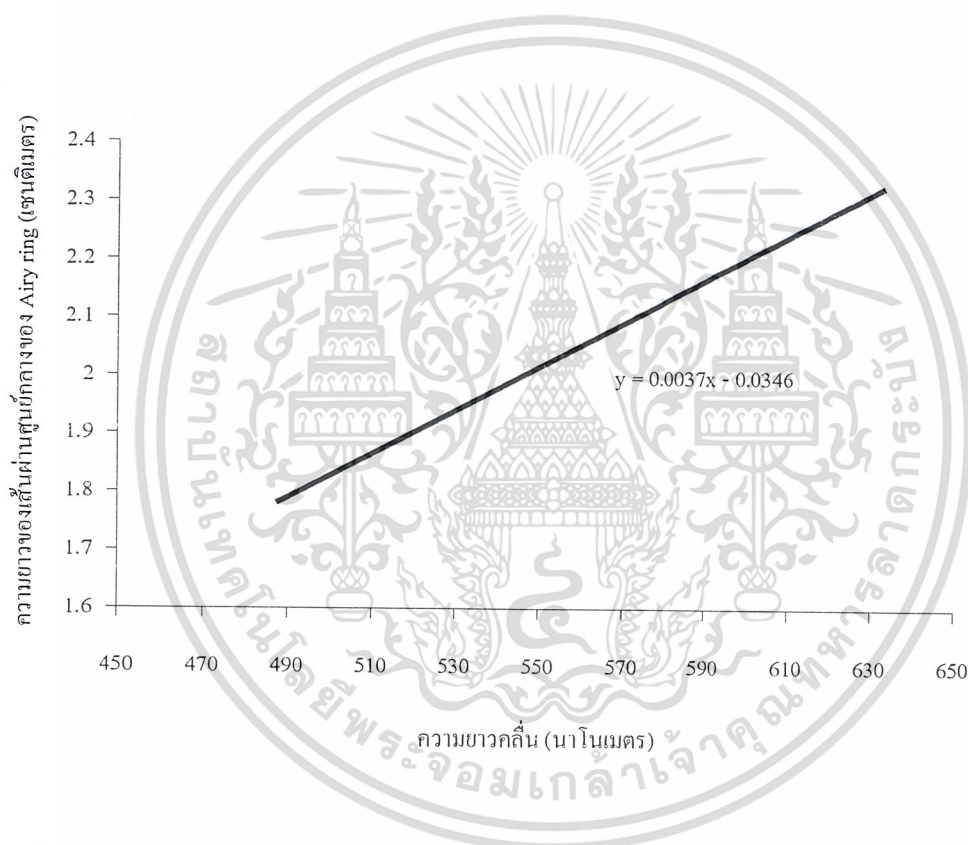
สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมแปรผันตรงกับจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบน โดยความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นจำนวนริ้วของการเลี้ยวเบนก็เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับในกรณีของสลิตเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น กับ ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring

ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 200 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ Airy ring (เซนติเมตร)	1.78	1.88	2.32

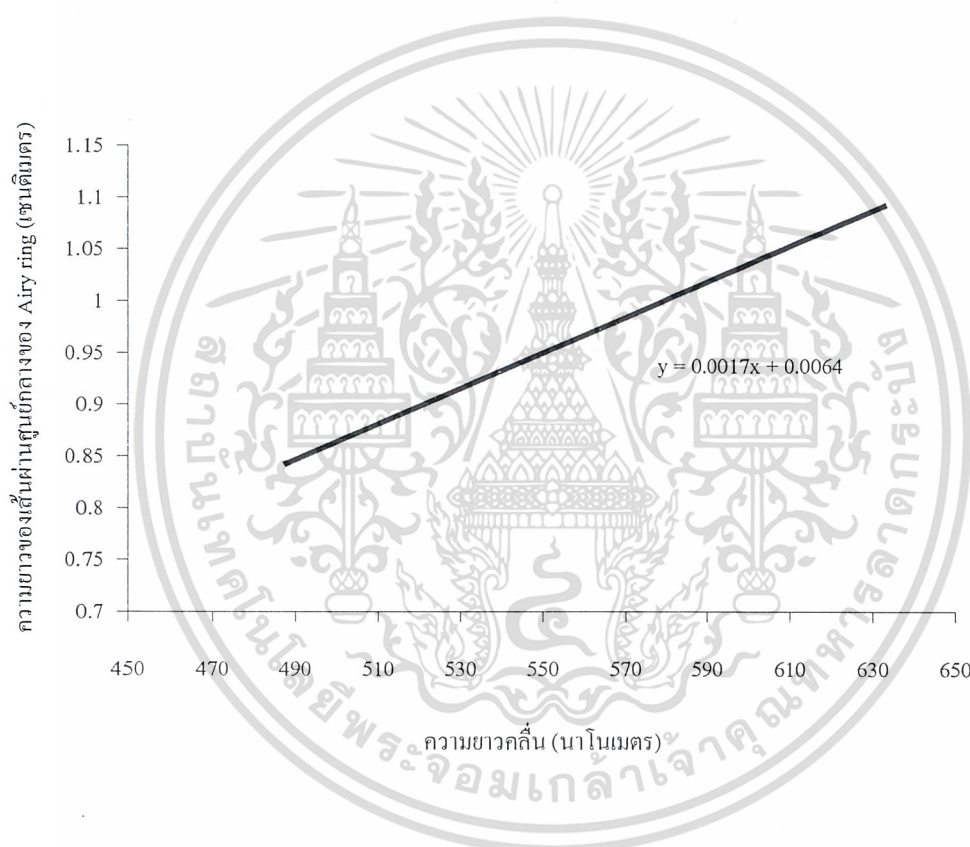


กราฟที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 200 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 425 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ Airy ring (เซนติเมตร)	0.84	0.89	1.09

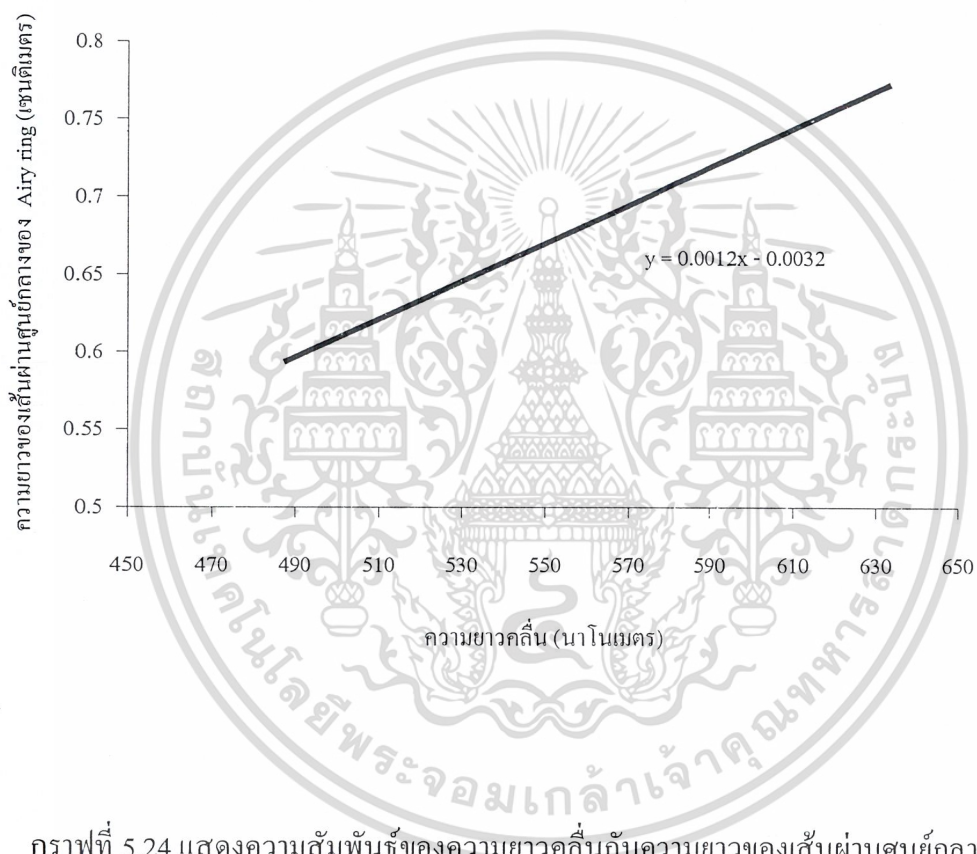


กราฟที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 425 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 600 ไมโครเมตร

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	488	514	632.8
ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring (เซนติเมตร)	0.59	0.63	0.77



กราฟที่ 5.24 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม 600 ไมโครเมตร

สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring แปรผันตรงกับความยาวคลื่น โดยความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ก็เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับทั้งในกรณีของสลิตเดี่ยว และกรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม กับ
ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring

ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของช่องเปิดวงกลม (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ Airy ring (เซนติเมตร)	1.78	0.84	0.59

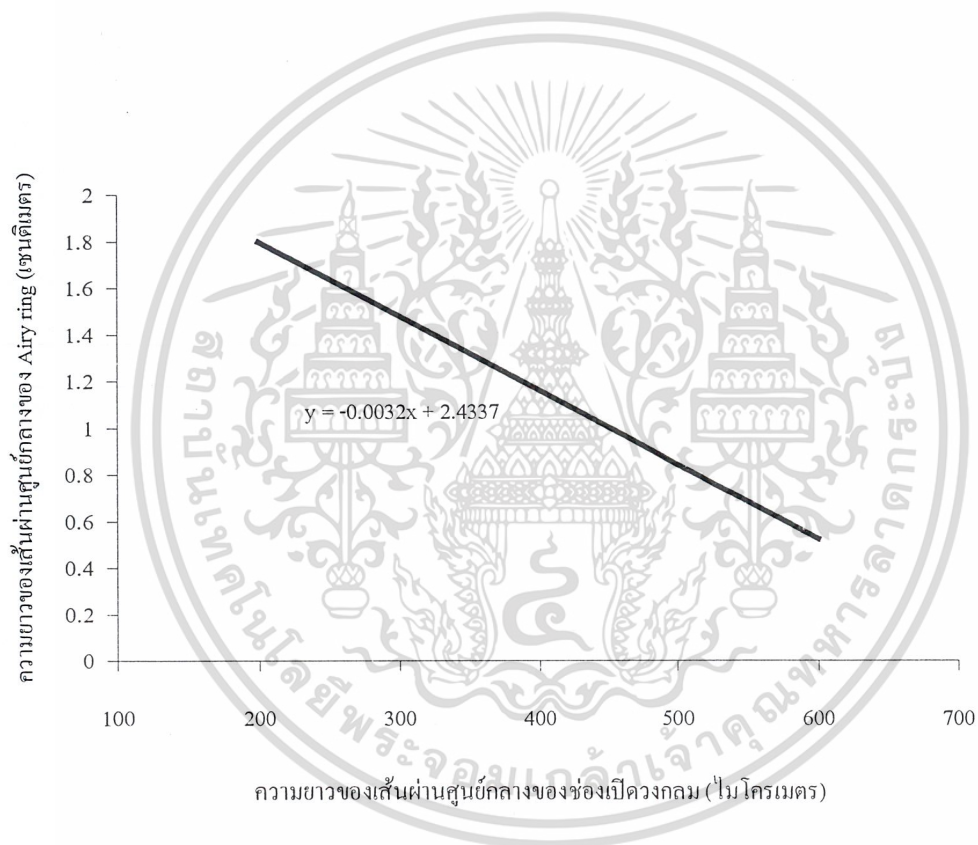


กราฟที่ 5.25 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม
กับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของช่องเปิดวงกลม (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ Airy ring (เซนติเมตร)	1.88	0.89	0.63

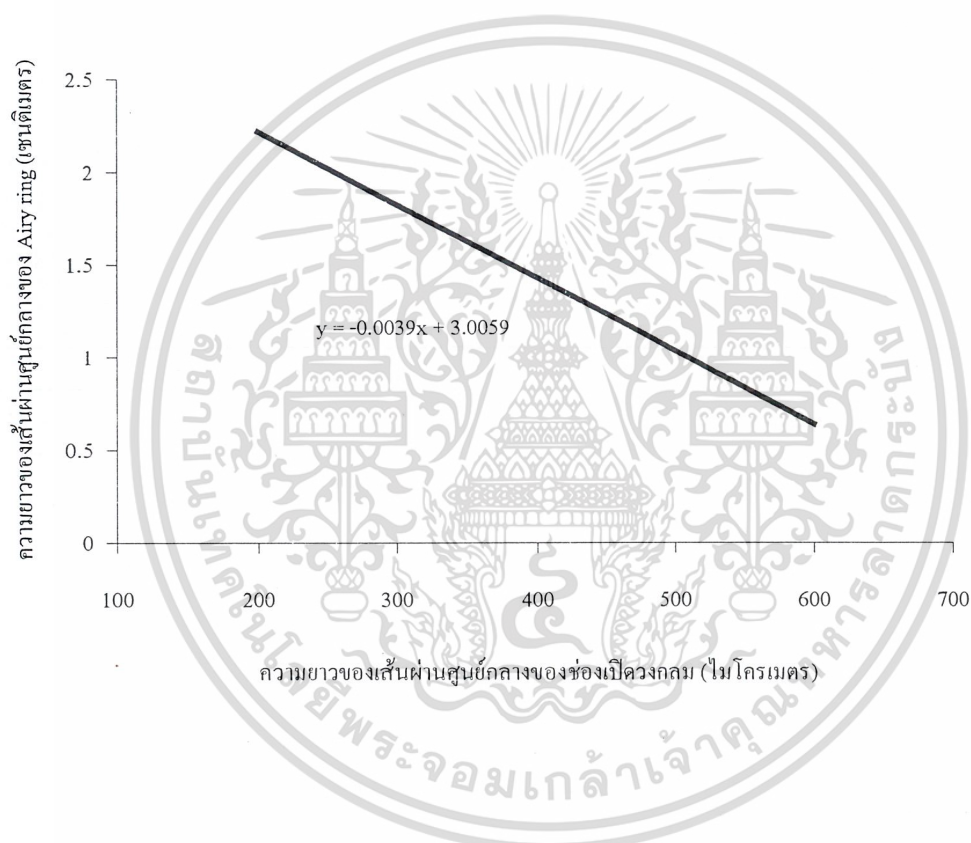


กราฟที่ 5.26 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม
กับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของช่องเปิดวงกลม (ไมโครเมตร)	200	425	600
ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง ของ Airy ring (เซนติเมตร)	2.32	1.09	0.77

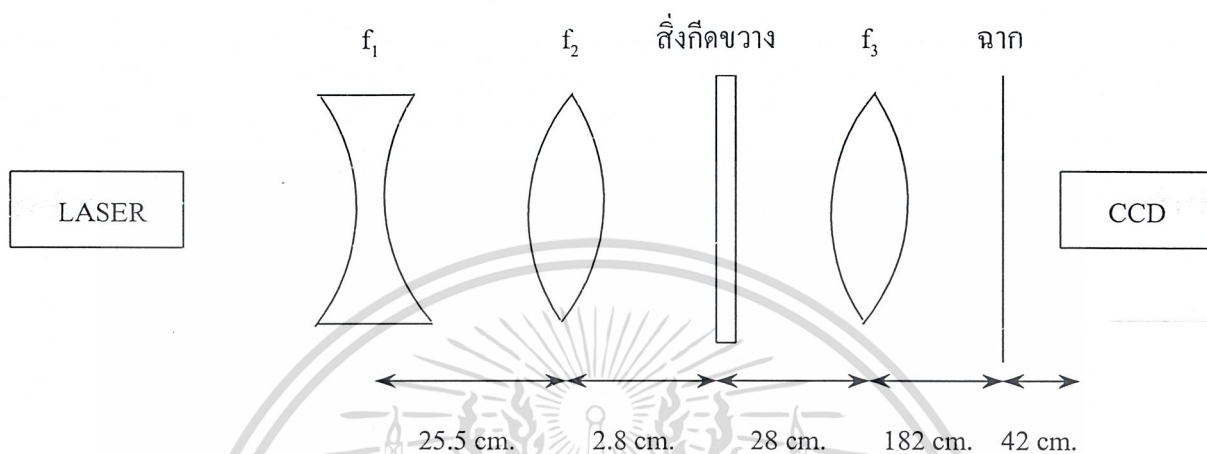


กราฟที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ของความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลมกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring ที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

สรุป จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสาม จะได้ว่าความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring แปรผกผันกับความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องเปิดวงกลม โดยความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Airy ring จะลดลง ซึ่งตรงกับทั้งในกรณีของสลิตเดี่ยว และกรณีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมาเราพบว่าจุดยอดกราฟของแต่ละค่าความเข้มจะถูกตัดเพราะเกิดการอิมิตัว เราคือแก้ไขโดยลดความเข้มของแสงลง เพื่อไม่ให้เกิดการอิมิตัวที่หัววัด CCD นอกจากนั้นเรายังปรับโฟกัสและจัดระบบการทดลองใหม่ดังรูป



จากรูปค่าความยาวโฟกัสต่างๆ มีค่าดังนี้

$$f_1 = -300 \text{ cm.}$$

$$f_2 = 148.8 \text{ cm.}$$

$$f_3 = 100.19 \text{ cm.}$$

ค่าความกว้างของลำแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ มีค่าดังนี้

$$\text{ที่ } 632.8 \text{ nm.} = 0.3 \text{ cm.} \quad ; \quad 514 \text{ nm.} = 1.9 \text{ cm.} \quad ; \quad 488 \text{ nm.} = 2.1 \text{ cm.}$$

ค่ากำลังไฟฟ้าของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ มีค่าดังนี้

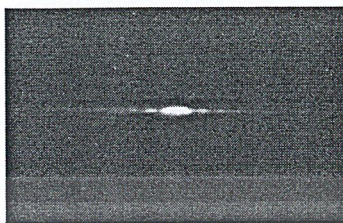
$$\text{ที่ } 632.8 \text{ nm.} = 3\text{-}4 \text{ mW.} \quad ; \quad 514 \text{ nm.} = 15 \text{ mW.} \quad ; \quad 488 \text{ nm.} = 15 \text{ mW.}$$

ซึ่งผลของการทดลองใหม่ทำให้เราแก้ไขความผิดพลาดได้ โดยจะได้รูปและกราฟใหม่ดังนี้

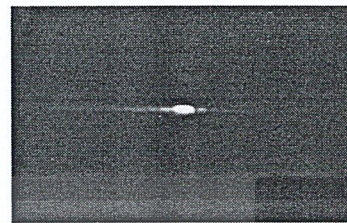
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



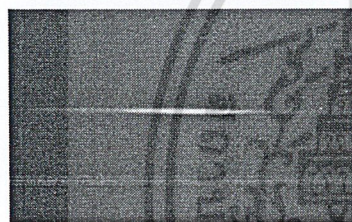
รูปที่ 5.1



รูปที่ 5.2



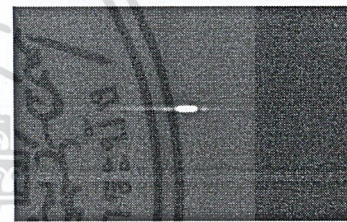
รูปที่ 5.3



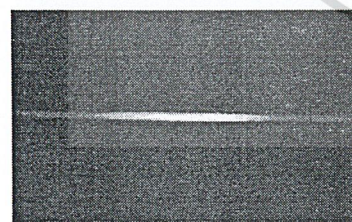
รูปที่ 5.4



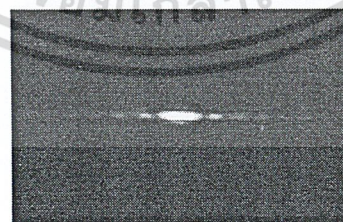
รูปที่ 5.5



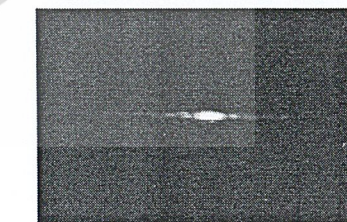
รูปที่ 5.6



รูปที่ 5.7

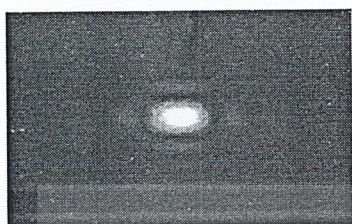


รูปที่ 5.8

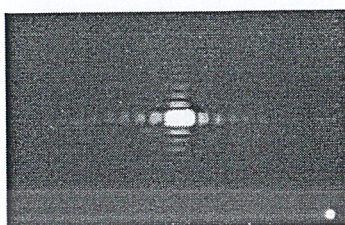


รูปที่ 5.9

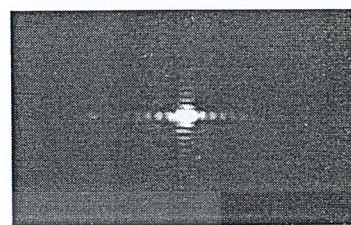
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10



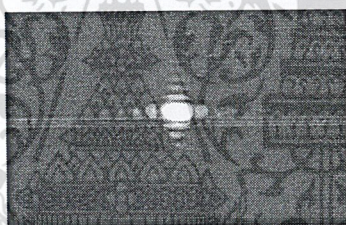
รูปที่ 5.11



รูปที่ 5.12



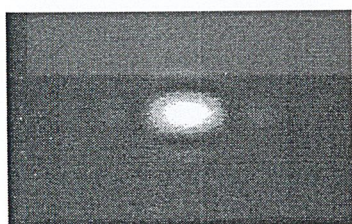
รูปที่ 5.13



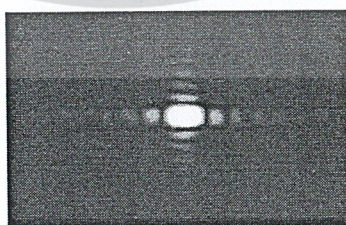
รูปที่ 5.14



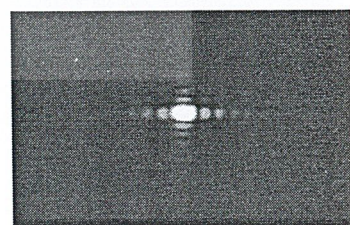
รูปที่ 5.15



รูปที่ 5.16

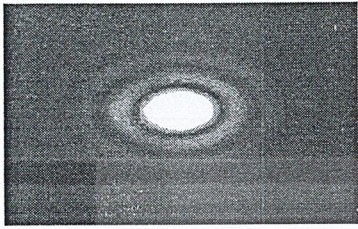


รูปที่ 5.17

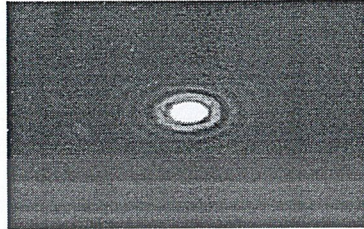


รูปที่ 5.18

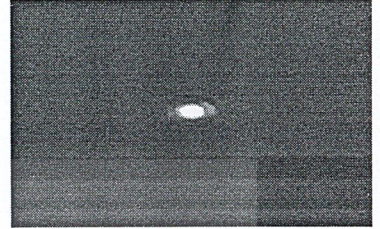
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



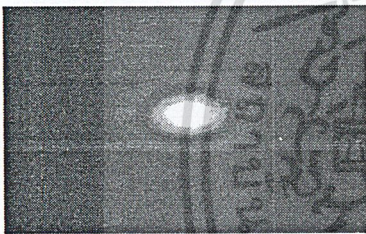
รูปที่ 5.19



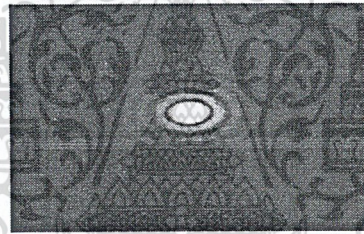
รูปที่ 5.20



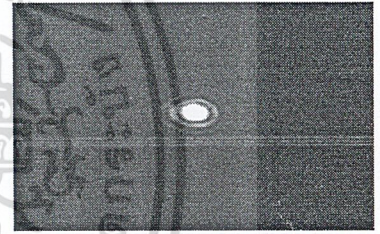
รูปที่ 5.21



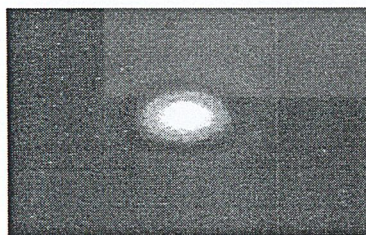
รูปที่ 5.22



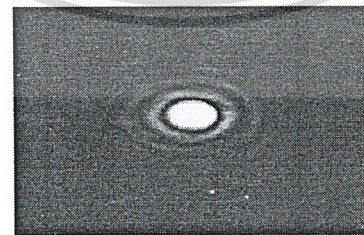
รูปที่ 5.23



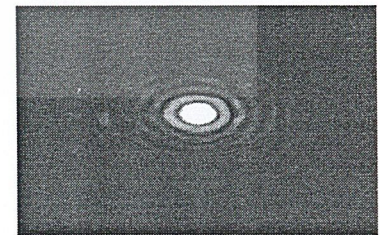
รูปที่ 5.24



รูปที่ 5.25



รูปที่ 5.26



รูปที่ 5.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

รูปที่ 5.2 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

รูปที่ 5.3 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

รูปที่ 5.4 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

รูปที่ 5.5 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

รูปที่ 5.6 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

รูปที่ 5.7 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

รูปที่ 5.8 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

รูปที่ 5.9 ภาพจากกล้องซีซีดีของสลิตเดี่ยวกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

รูปที่ 5.10 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488

นาโนเมตร

รูปที่ 5.11 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488

นาโนเมตร

รูปที่ 5.12 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488

นาโนเมตร

รูปที่ 5.13 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514

นาโนเมตร

รูปที่ 5.14 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514

นาโนเมตร

รูปที่ 5.15 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514

นาโนเมตร

รูปที่ 5.16 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น

632.8 นาโนเมตร

รูปที่ 5.17 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น

632.8 นาโนเมตร

รูปที่ 5.18 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น

632.8 นาโนเมตร

รูปที่ 5.19 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่

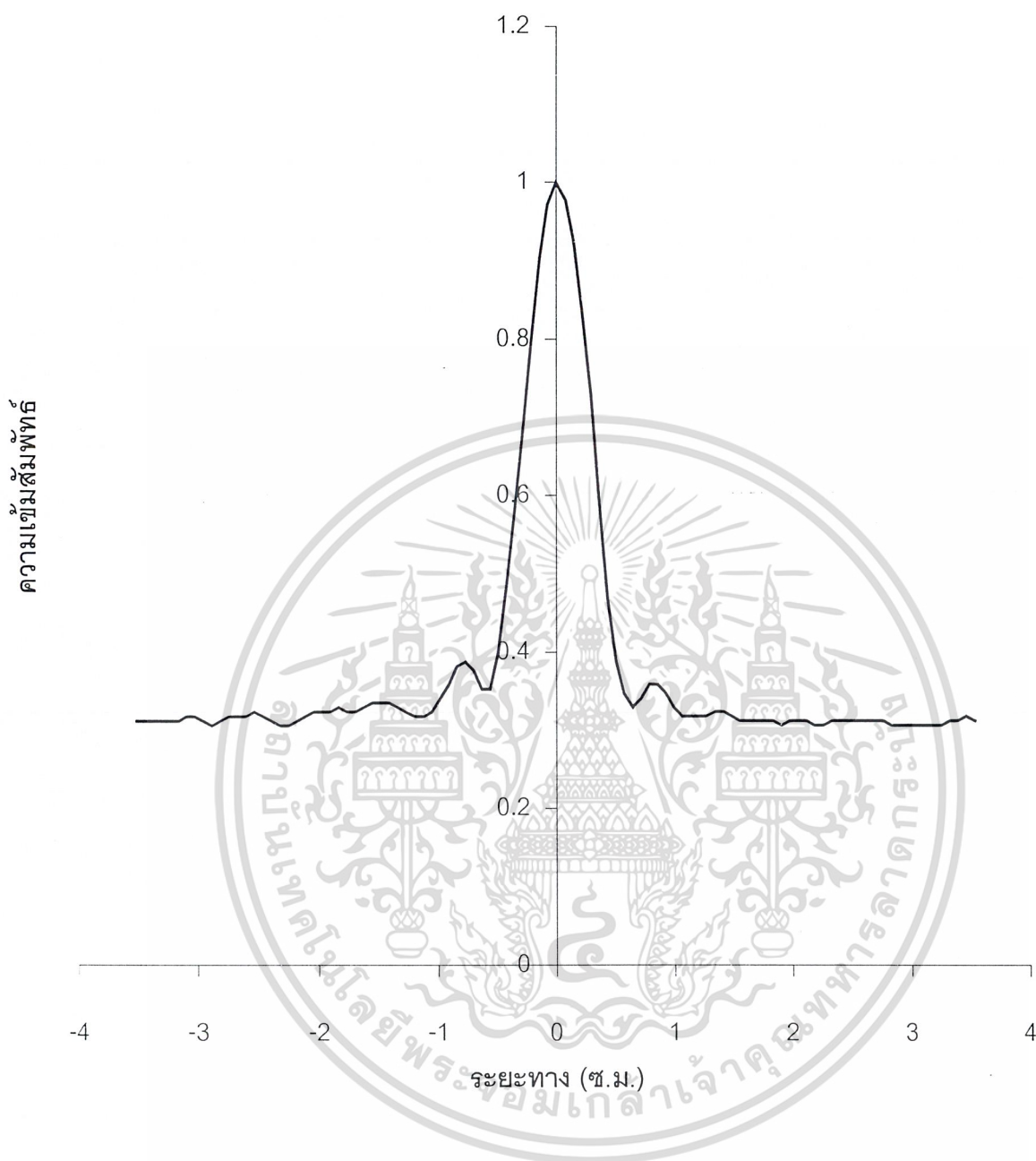
ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

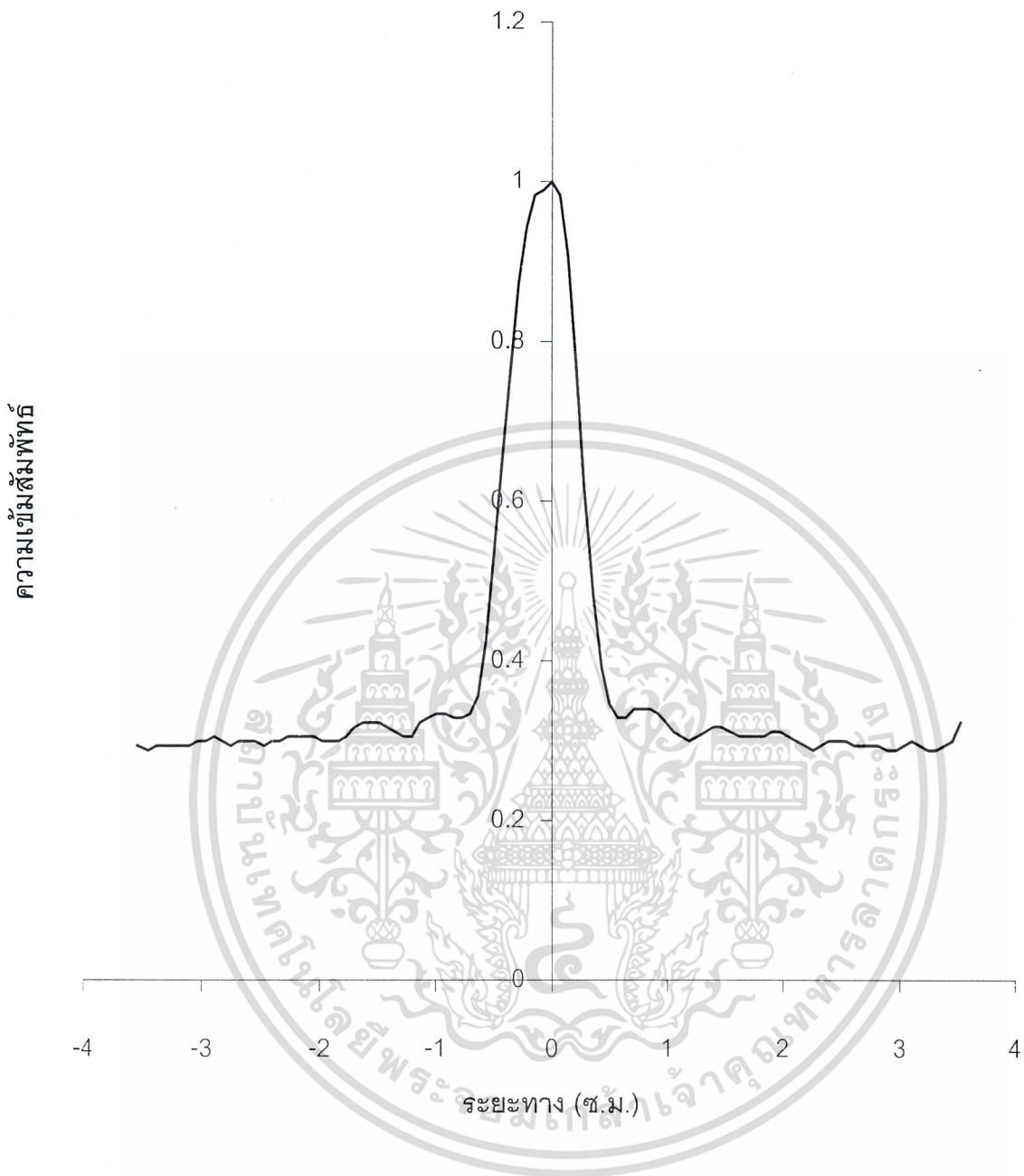
- รูปที่ 5.20 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
- รูปที่ 5.21 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
- รูปที่ 5.22 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
- รูปที่ 5.23 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
- รูปที่ 5.24 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร
- รูปที่ 5.25 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 200 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
- รูปที่ 5.26 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
- รูปที่ 5.27 ภาพจากกล้องซีซีดีของช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 600 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.28 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

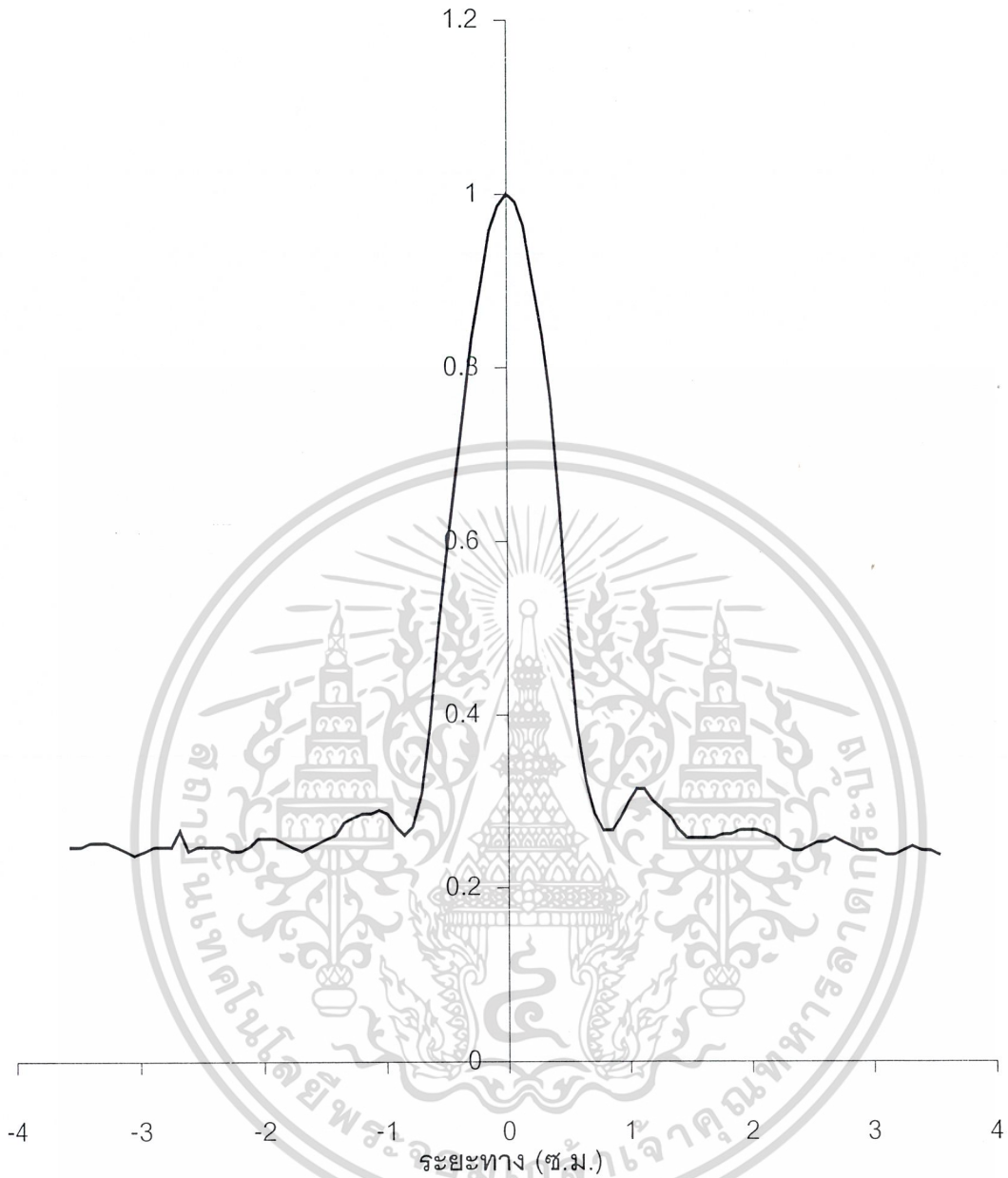
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.29 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

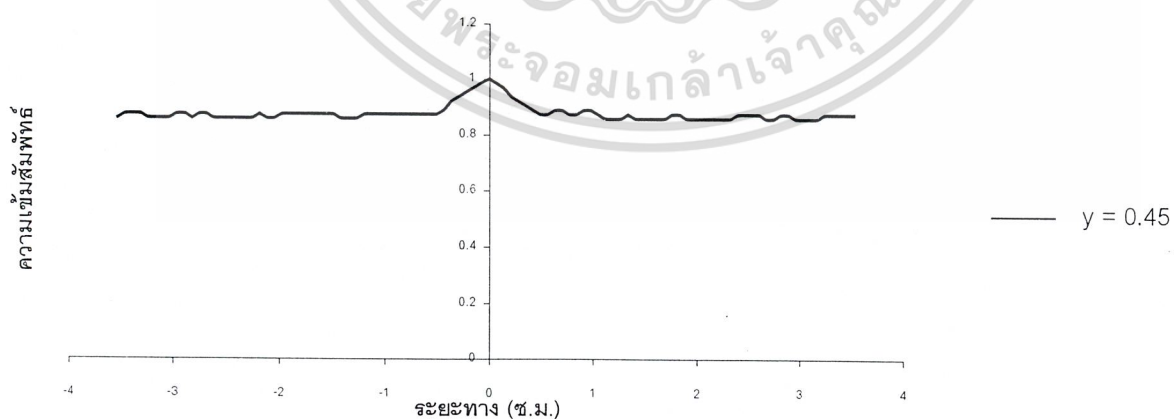
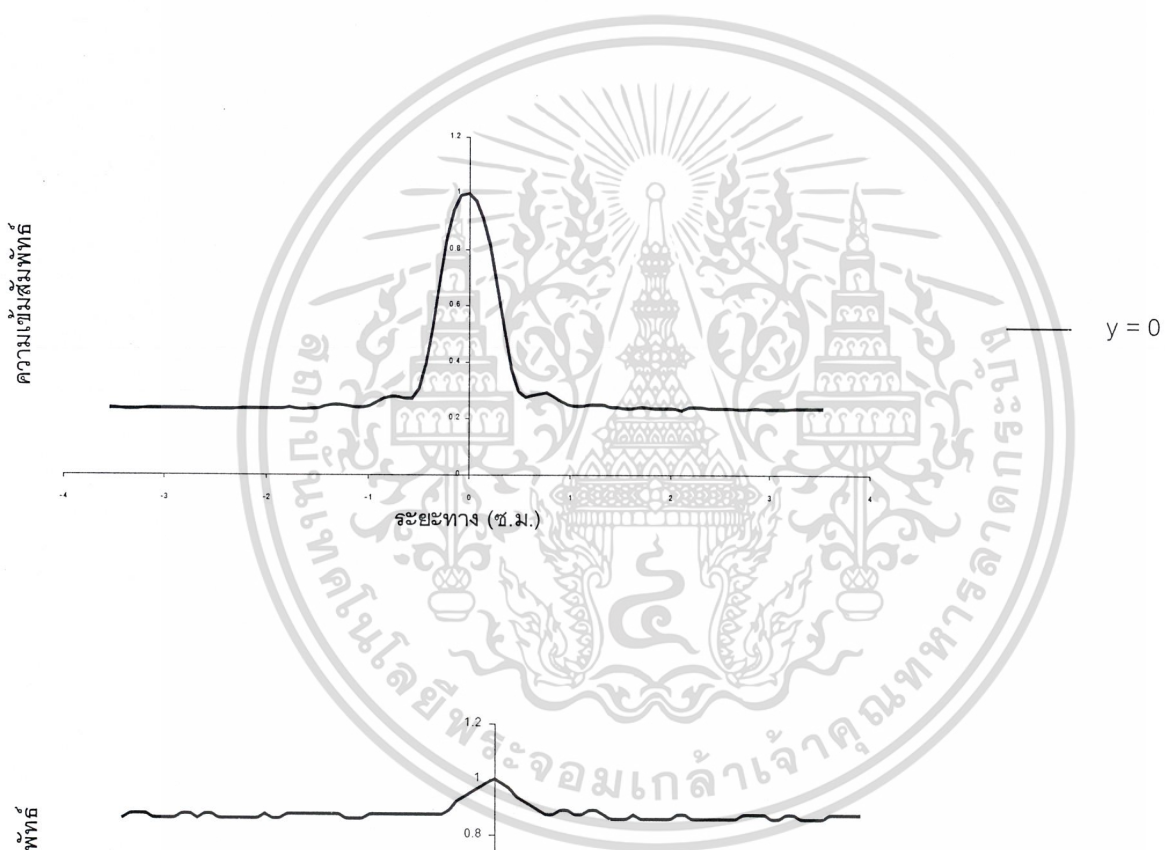
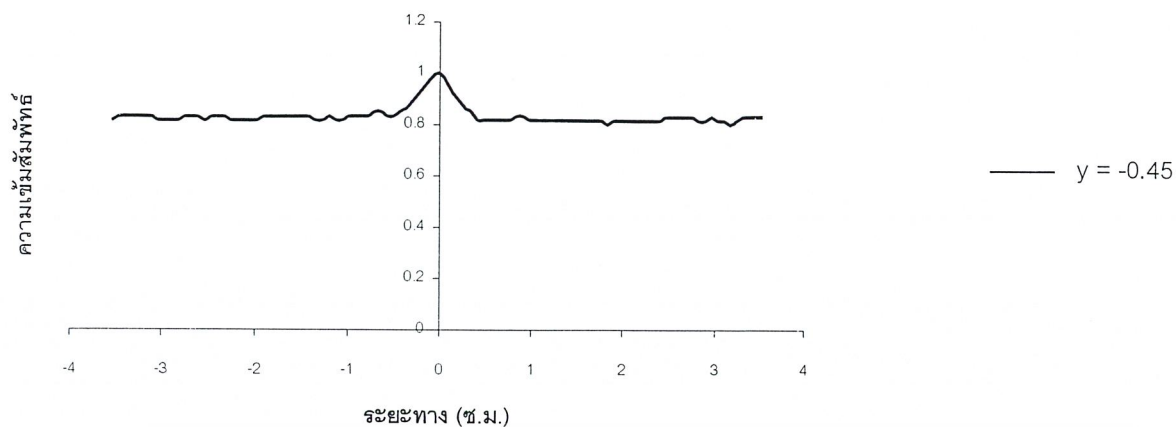
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มสัมพัทธ์

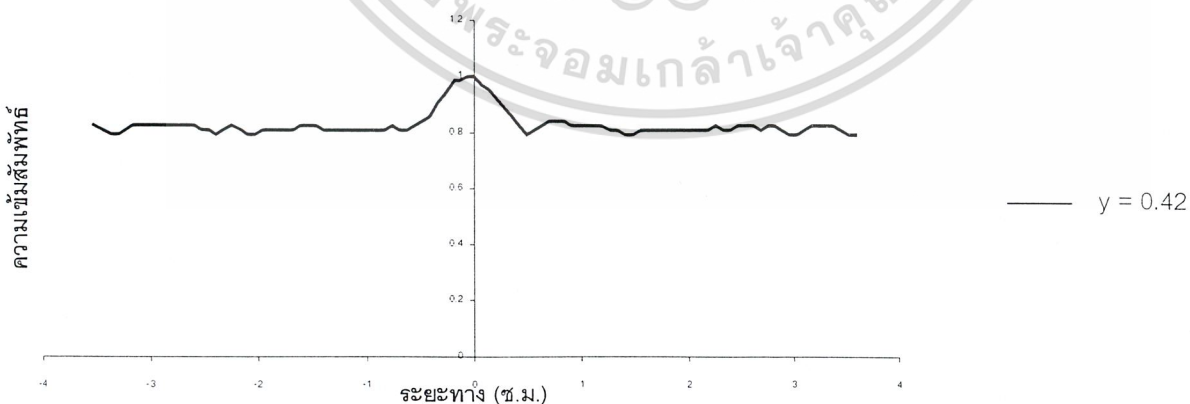
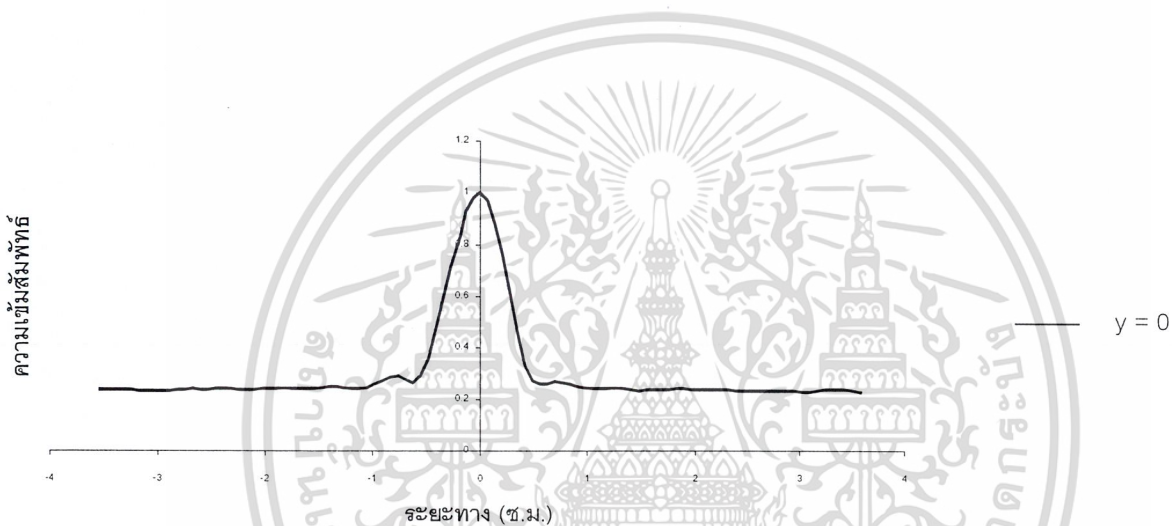
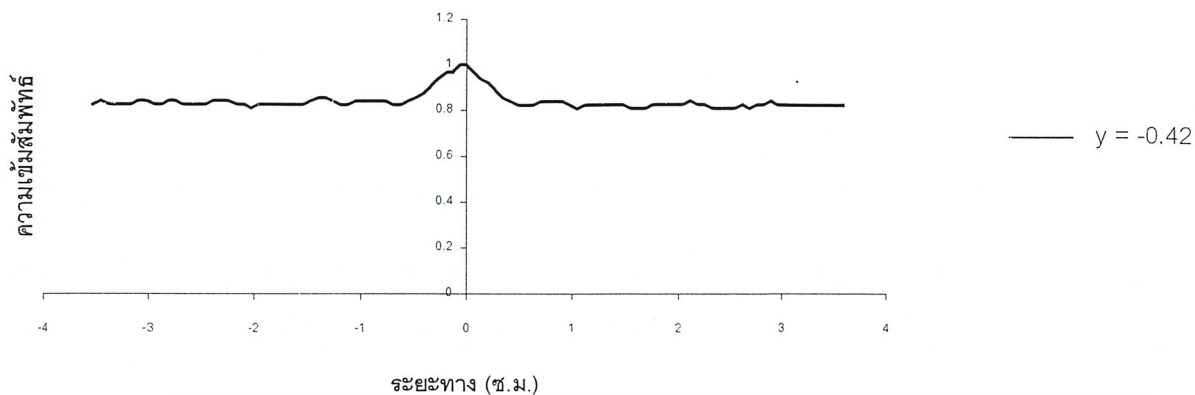


กราฟที่ 5.30 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของสลิตเดี่ยวขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

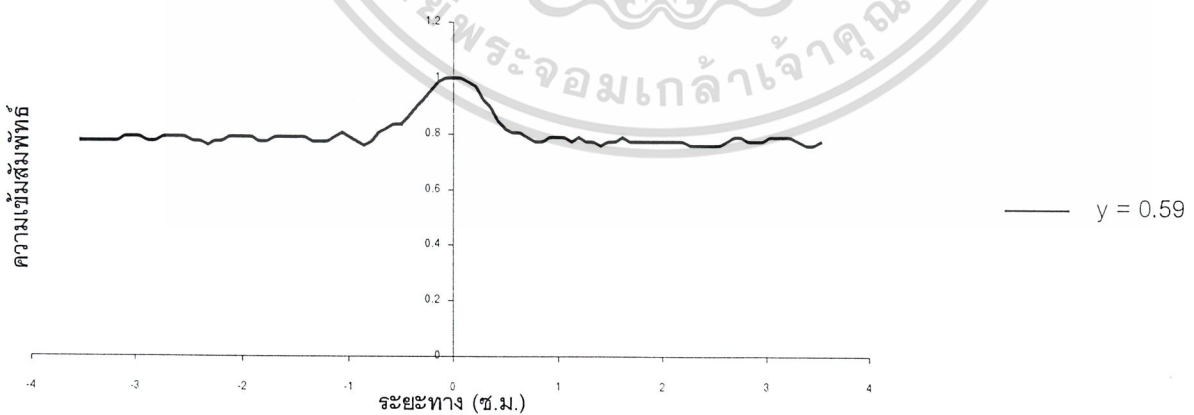
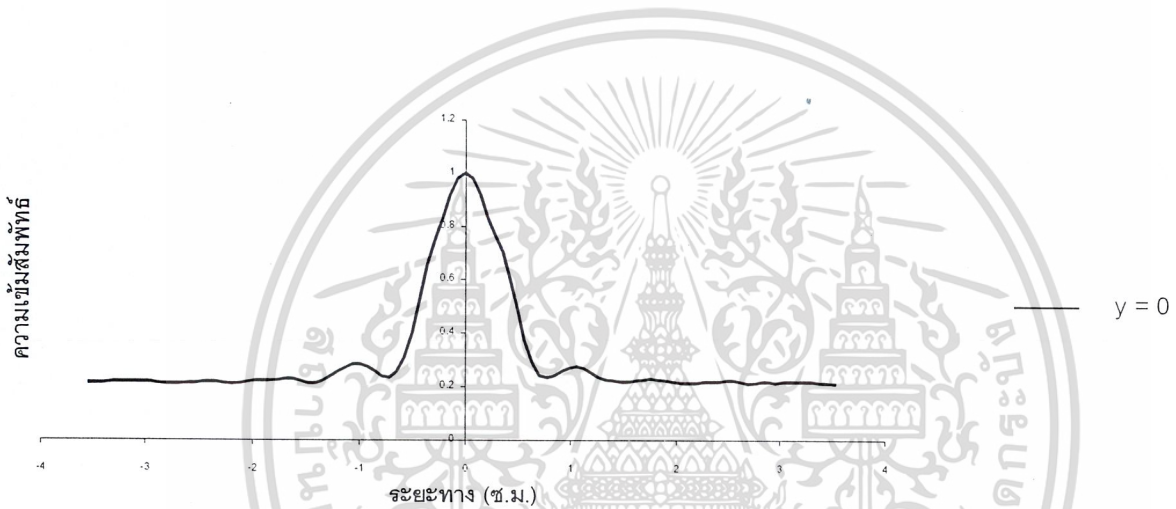
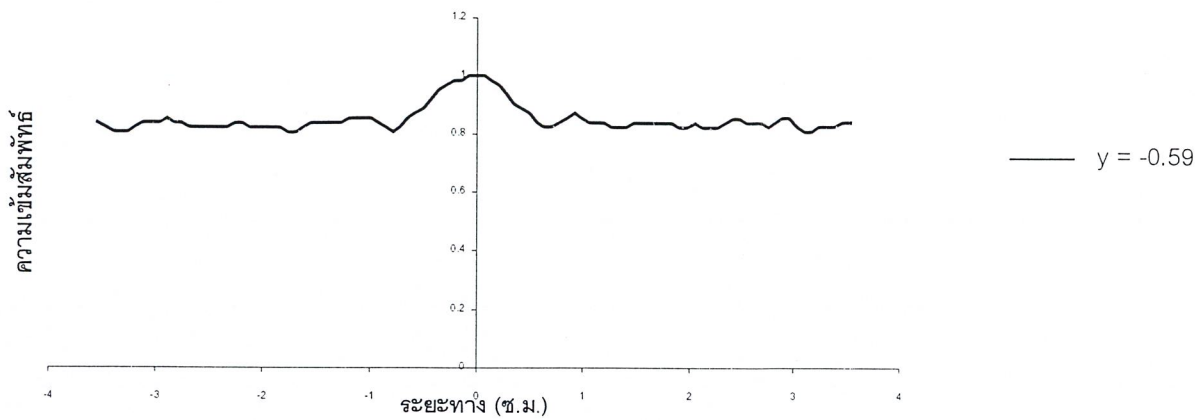
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



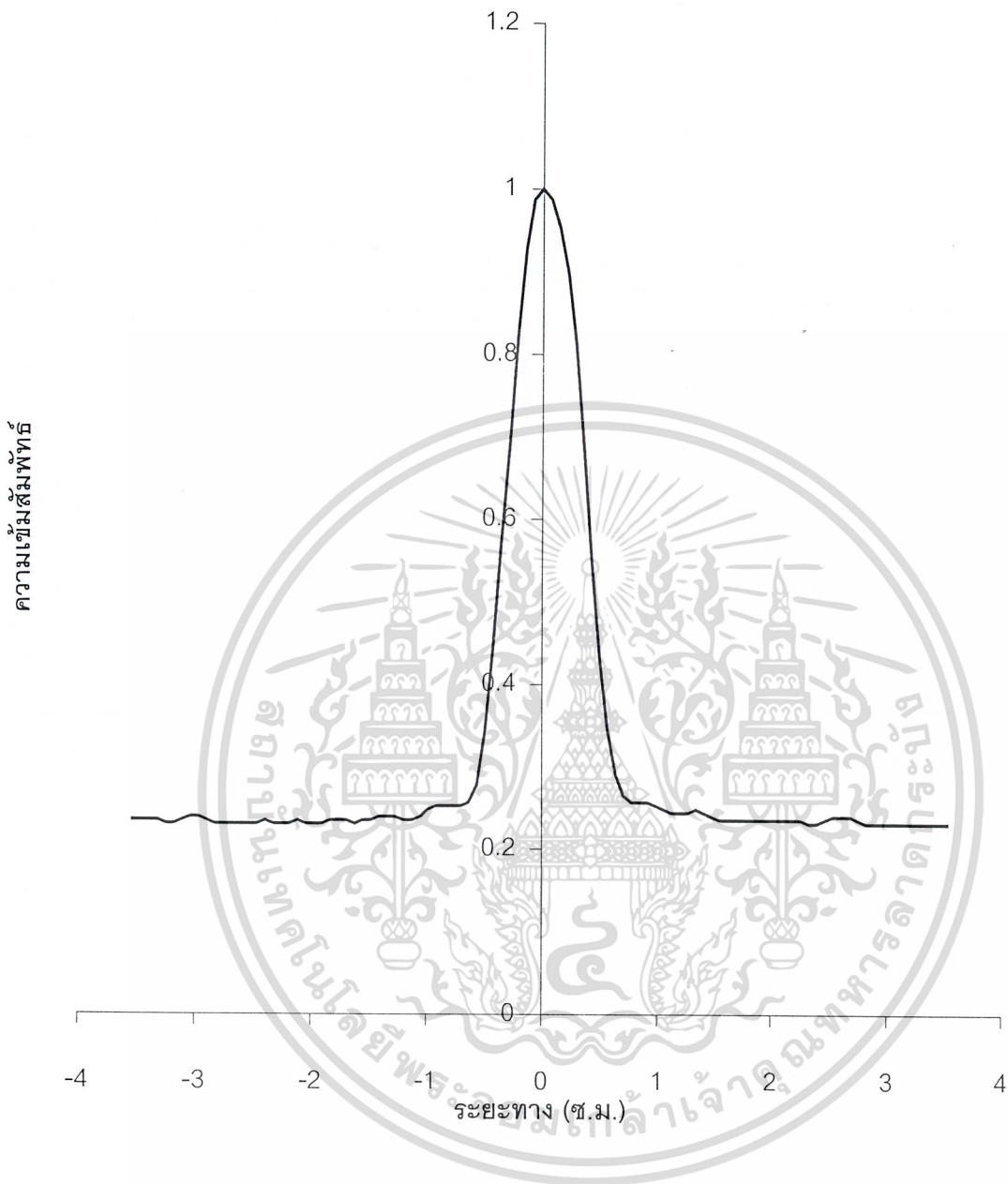
กราฟที่ 5.31 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่มีความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.32 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าของช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่มีความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

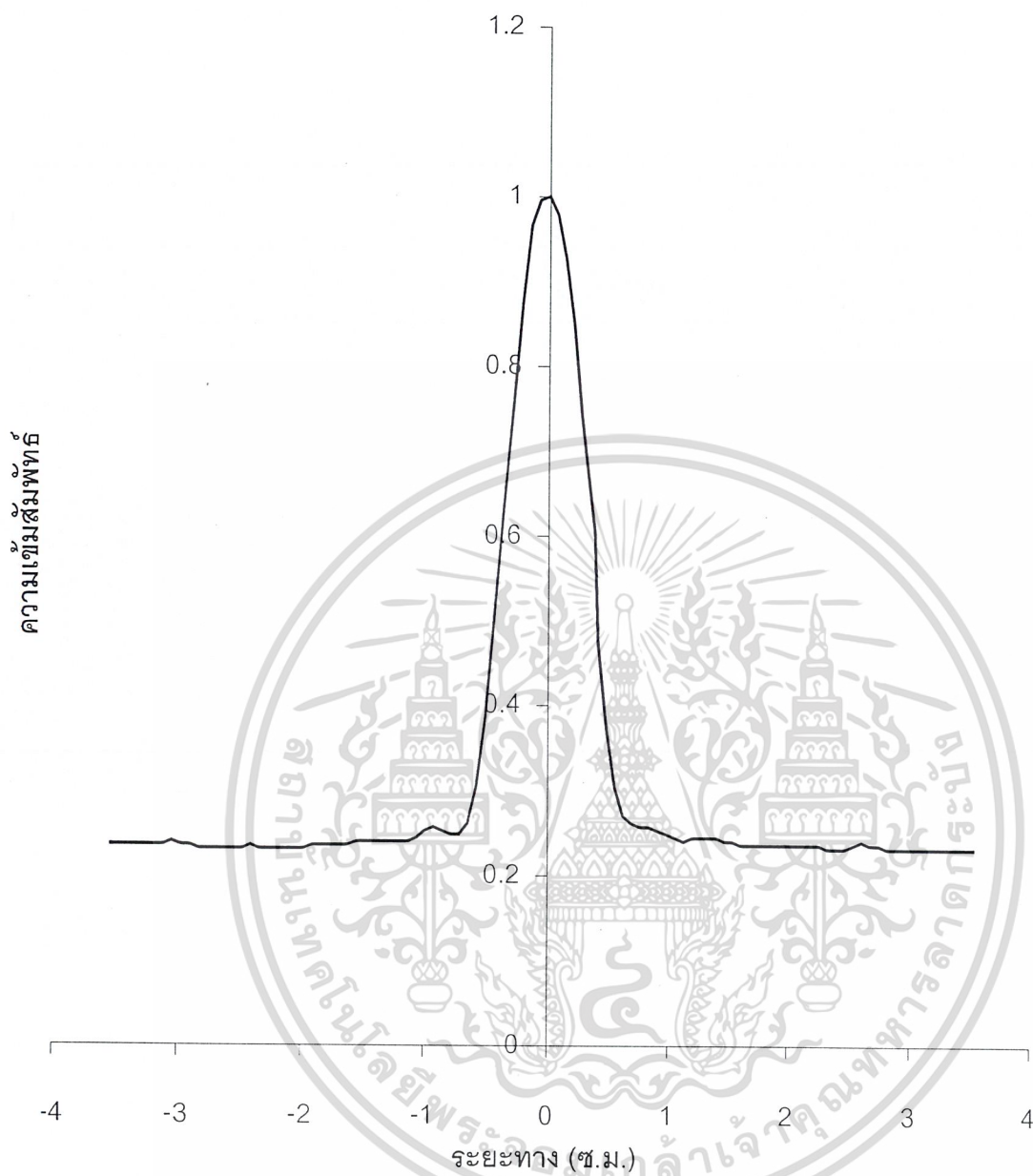


ภาพที่ 5.33 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์ที่ y ค่าต่างๆ
 เอกซของซึ่งเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 425 ไมโครเมตรที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



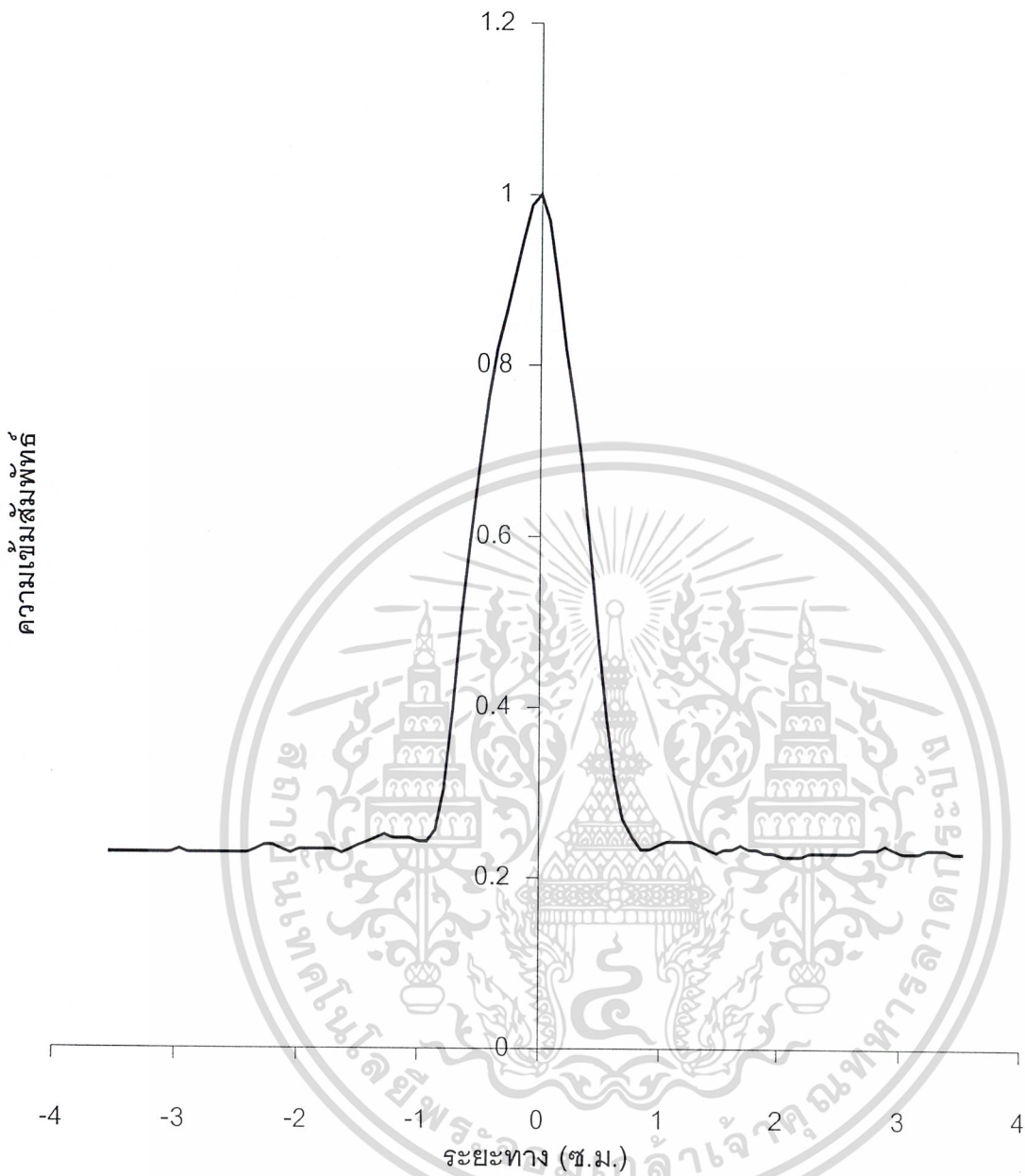
กราฟที่ 5.34 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.35 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.36 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและความเข้มสัมพัทธ์
ของช่องเปิดวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 425 ไมโครเมตรที่ความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์เราสรุปได้ว่า

1. ความกว้างของสิ่งกีดขวาง แปรผันตรงกับจำนวนรีของการเลี้ยวเบนของแสง
2. ความยาวคลื่น แปรผันตรงกับความกว้างของแถบสว่างกลางของภาพของการเลี้ยวเบนของแสง
3. ความกว้างของแถบสว่างกลาง แปรผกผันกับขนาดของสิ่งกีดขวาง
4. ความกว้างของลำแสงของเลเซอร์ มีผลต่อสิ่งกีดขวางที่เป็นสลิตเดี่ยวเท่านั้น จะไม่มีผลต่อช่องเปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส และช่องเปิดวงกลม

ซึ่งบทสรุปที่ได้จากการศึกษาทดลองจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับทฤษฎี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Eugene Hecht, *Optics*, Addison-Wesley publishing company, the United States of America, 2nd ed., 1987.
2. Frank L. Pedrotti, S.J., and Leno S. Pendrotti, *Introduction to Optics*, Prentice-Hall, New Jersey 07632, 2nd ed., 1993.
3. Hiroshi Izumi, แปล โดย รศ. กฤษดา วิสุทธิรานนท์ และ ผศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์, *เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำ*, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้