

การใช้หัววัดซีซีดีสำหรับการทางแสง

ปริญญาโท

ของ

อรุณศรี อัฐสุวรรณศิลป์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

ตุลาคม 2546

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

535.220287

๐๔๑๗

๗.๓

การใช้หัววัดซีซีดีสำหรับปฏิบัติการทางแสง

บทคัดย่อ

ของ

อรุณศิริ อีจสุวรรณศิลป์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

ตุลาคม 2546

๕๓:๖๕๒ ๗.๓

12 ค.ค. 2547

อรุณศิริ อธิสุวรรณศิลป์. (2546). การใช้หัววัดซีซีดีสำหรับปฏิบัติการทางแสง. ปรินซ์นิพนธ์
กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์สมศักดิ์ มณีรัตน์ ,
ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา ศิลป์สกุลสุข.

เราศึกษาการนำซีซีดีจากกล้องคอมพิวเตอรืมาใช้ในการวัดความเข้มแสง โดยพัฒนา
โปรแกรมเพื่ออ่านค่าความเข้มแสงจากภาพที่บันทึกได้จากกล้อง และได้สาธิตการใช้กล้อง
คอมพิวเตอรืดังกล่าวในการทดลองเกี่ยวกับการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยว
และสลิตคู่ ผลการทดลองพบว่า ตำแหน่งของความเข้มแสงสูงสุดและต่ำสุดมีความสอดคล้องกัน
ระหว่างผลการทดลองกับทฤษฎี แต่ค่าความเข้มแสงที่จุดอื่นๆ มีความแตกต่างกันระหว่างค่าที่วัดได้
กับทฤษฎีซึ่งเป็นผลจากการควบคุมการสร้างภาพโดยอัลกอริทึมของโปรแกรมของกล้องที่ใช้

USING CCD DETECTOR FOR OPTICAL EXPERIMENTS

AN ABSTRACT

BY

ARUNSIRI ITSUWANSILP

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree in Physics
at Srinakharinwirot University

October 2003

Arunsiri Itsuwansilp. (2003). *Using CCD Detector for Optical Experiments*. Master thesis, M.Ed.(Physics). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Somsak Maneeratanakul, Assist.Prof.Bancha Silskulsuk.

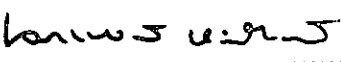
We studied using CCD computer cameras for measuring intensity of light, by developing a program for transforming the acquired images to intensity values. As a demonstration of the utility of the CCD detectors, we used a CCD camera to examine intensity patterns of light passing through a single and a double slit. The appearance of the result patterns agree to that of theories; i.e., the positions of maxima and minima agree, while significant discrepancies between measured values of intensity and theoretical values of intensity occur at other positions. The differences may be due to the effect of automatic control of the image processing software of the camera used.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

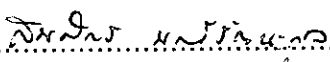
การใช้หัววัดซีซีดีสำหรับปฏิบัติการทางแสง

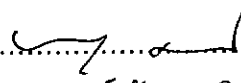
ของ
นางสาวอรุณศิริ อัฐสุวรรณศิลป์

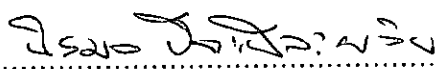
ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

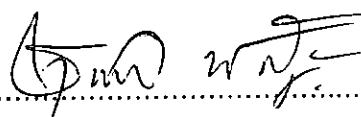

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นภาพร หะวานนท์)
วันที่ ..16... เดือน ..ตุลาคม... พ.ศ.2546

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธาน
(อาจารย์ สมศักดิ์ มณีรัตน์กุล)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญชา ศิลป์สกุลสุข)


.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิรมล ปิตะณะผลิน)


.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ชุมพล พัฒนสุวรรณ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือ และด้วยความอนุเคราะห์อย่างดีจากคณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สมศักดิ์ มณีรัตน์ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา ศิลป์สกุลสุข กรรมการควบคุมปริญญาโท ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นิรมล ปิตะนีละผลิน และอาจารย์ชুমพล พัฒนสุวรรณ ในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาโท ตลอดจนให้คำแนะนำและแก้ไขปริญญาโท ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำปริญญาโทจนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อรุณศิริ อัฐสุวรรณศิลป์

สารบัญ

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 1 บทนำ..... | 1 |
| ที่มาและความสำคัญของการวิจัย..... | 1 |
| ความมุ่งหมายของการวิจัย..... | 2 |
| ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย..... | 2 |
| 2 ทฤษฎี..... | 3 |
| ซีซีดี..... | 3 |
| การแสดงค่าระดับสีเทาของซีซีดี..... | 5 |
| การบันทึกภาพสีของซีซีดี..... | 7 |
| การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 9 |
| ความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 10 |
| การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 15 |
| ความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 16 |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 25 |
| ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมคำสั่งที่ใช้ในการตรวจวัดความเข้มแสง..... | 25 |
| ขั้นตอนการนำซีซีดีไปใช้ในการทดลอง..... | 32 |
| ขั้นตอนการดำเนินการทดลองวัดความเข้มแสง..... | 32 |
| การทดลองที่ 1 วัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 32 |
| การทดลองที่ 2 วัดความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 33 |
| ขั้นตอนการใช้โปรแกรมวัดความเข้มแสง..... | 35 |
| ขั้นตอนการสร้างตารางบันทึกผล(ตารางสำเร็จรูป)..... | 44 |
| ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือ..... | 49 |
| 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 50 |
| ผลการวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวด้วยหัววัดซีซีดี..... | 50 |
| รูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง..... | 50 |
| ความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสง..... | 50 |
| การคำนวณความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการวัด..... | 62 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 4 (ต่อ) | |
| ผลการวัดความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ด้วยห้ววัดซีซีดี..... | 65 |
| รูปแบบการแทรกสอดของแสง..... | 65 |
| ความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสง..... | 65 |
| การคำนวณความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการวัด..... | 70 |
| สรุปผลการทดลอง..... | 73 |
| 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 75 |
| สรุปผลการวิจัย..... | 75 |
| ข้อเสนอแนะ..... | 76 |
| บรรณานุกรม..... | 77 |
| ภาคผนวก..... | 80 |
| โปรแกรมคำสั่งที่ใช้ในงานวิจัย..... | 81 |
| ประวัติย่อผู้วิจัย..... | 88 |

บัญชีตาราง

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| 1 แสดงจำนวนบิต จำนวนค่าของระดับสีเทา และค่าของระดับสีเทา..... | 6 |
| 2 แสดงผลการวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 54 |
| 3 ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิต เดี่ยว..... | 63 |
| 4 แสดงผลการวัดความเข้มแสงของแถบสว่างอันดับที่ 3 ที่หายไป ทำให้ความเข้มแสง เป็นศูนย์..... | 69 |
| 5 ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 71 |

บัญชีภาพประกอบ

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| 1 แสดงลักษณะของซีซีดี..... | 4 |
| 2 แสดงโครงสร้างของซีซีดีที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกสู่ภายนอก..... | 4 |
| 3 แสดงแผนภาพการรับภาพจากกล้องซีซีดี..... | 5 |
| 4 แสดงค่าระดับสีเทาจาก 6 บิต , 7 บิต และ 8 บิต..... | 6 |
| 5 แสดงฟิลเตอร์ที่กรองแสงแต่ละสี..... | 7 |
| 6 แสดงการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของฟิลเตอร์แต่ละสีของซีซีดี..... | 7 |
| 7 แสดงการเลี้ยวเบนแบบเฟรานโฮเฟอร์ซึ่งมีเลนส์ช่วยทำให้เกิดภาพบนฉาก..... | 9 |
| 8 แสดงความเข้มแสงกับความต่างเฟส β | 13 |
| 9 แสดงการแทรกสอดของแสงจากการทดลองของยัง..... | 15 |
| 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความต่างเฟส δ เมื่อ $I_1 \neq I_2$ | 20 |
| 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความต่างเฟส δ เมื่อ $I_1 = I_2 = I_0$ | 21 |
| 12 กราฟแสดงความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ซึ่งประกอบด้วย ความเข้มแสงจากการแทรกสอดและความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสง..... | 22 |
| 13 กราฟแสดงความเข้มรวมของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 23 |
| 14 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่าน สลิตเดี่ยว..... | 32 |
| 15 แสดงลักษณะของโปรแกรมวัดความเข้มแสงที่เขียนขึ้น..... | 35 |
| 16 แสดงชื่อภาพที่ต้องการเปิดเพื่อวัดความเข้มแสง..... | 36 |
| 17 แสดงภาพที่ใช้ในการวัดความเข้มแสง..... | 36 |
| 18 แสดงส่วนแสดงผลของความกว้างและความสูงของภาพที่วัดความเข้มแสง..... | 37 |
| 19 แสดงข้อความเตือนเมื่อค่าความเข้มของแสงสีแดงมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 250..... | 38 |
| 20 แสดงตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเลขที่ คอลัมน์ของซีซีดีจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 39 |
| 21 แสดงตารางบันทึกผลที่ใช้บันทึกค่าความเข้มแสง..... | 39 |
| 22 แสดงความเข้มแสงที่บันทึกในตารางบันทึกผล..... | 40 |
| 23 แสดงการบันทึกข้อมูลลงในตารางของ Microsoft Excel..... | 40 |
| 24 แสดงข้อมูลในตารางบันทึกผล(ตารางสำเร็จรูป)ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่าน สลิตเดี่ยว..... | 41 |

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| 25 แสดงข้อมูลในตารางบันทึกผล(ตารางสำเร็จรูป)ของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 42 |
| 26 แสดงตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 43 |
| 27 แสดงตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 43 |
| 28 แสดงตารางแสดงผลของการวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 45 |
| 29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 46 |
| 30 แสดงตารางแสดงผลของการวัดความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 47 |
| 31 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 48 |
| 32 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 – 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 100 ไมโครเมตร | 51 |
| 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการเลี้ยวเบนของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 – 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 100 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นกราฟที่ได้จากการวัดความเข้มแสงครั้งที่ 1 – 5 ตามลำดับ..... | 53 |
| 34 แสดงค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของระยะทางและความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว..... | 64 |
| 35 แสดงรูปแบบการแทรกสอดของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 – 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องของสลิต 250 ไมโครเมตร และมี ความกว้างของช่องของสลิต 100 ไมโครเมตร | 66 |

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการแทรกสอดของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 – 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องของสลิต 250 ไมโครเมตร และมีความกว้างของช่องของสลิต 100 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นกราฟจากการวัดความเข้มแสงครั้งที่ 1 – 5 ตามลำดับ..... | 68 |
| 37 แสดงค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของระยะทางและความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ จากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่..... | 72 |
| 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางจากการเลี้ยวเบนแสงผ่านสลิตเดี่ยวโดยเพิ่มค่า I_0 | 73 |
| 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่โดยเพิ่มค่า I_0 | 74 |

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ปัจจุบันได้มีการนำซีซีดีมาใช้ในการตรวจวัดความเข้มแสง ซึ่งแสงที่ซีซีดีสามารถตรวจวัดได้ต้องมีความยาวคลื่นในช่วง 400 – 1,100 นาโนเมตร ซีซีดีจัดเป็นหัววัดประเภทหลายช่อง (Multi Channel) เพราะมีโฟโตไดโอดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับแสงเรียงตัวกันเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถอ่านค่าความเข้มแสงได้หลายจุดพร้อมกัน (Simultaneously) ในครั้งเดียว ตัวอย่างของการนำซีซีดีมาใช้ในการตรวจจับแสง เช่น การแปลงโมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) ให้เป็นสเปกโตรกราฟ (Spectrograph)¹ หรือแม้แต่การนำซีซีดีมาใช้ในการสร้างเป็นสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) โดยใช้หลักการแปลงของฟูเรียร์ (Fourier Transform)²

การใช้ซีซีดีจากกล้องคอมพิวเตอรืเป็นหัววัดความเข้มแสงมีผลดีต่อการตรวจวัดคือ ทำให้อัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวน (Signal - to - Noise ratio) ดีขึ้น ทำได้โดยการเชื่อมต่อและอ่านผลการตรวจวัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีความไวแสงสูงมาก (Superior Sensitivity) สามารถกำหนดเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดตั้งแต่ 5 มิลลิวินาทีถึง 4 วินาที และสามารถเห็นภาพของสิ่งที่ต้องการตรวจวัดได้ทันทีบนจอคอมพิวเตอร์

ดังนั้น ในงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ซีซีดีจากกล้องคอมพิวเตอรืมาเป็นหัววัดความเข้มแสงซึ่งเหมาะสำหรับการเรียนการสอนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและระดับอุดมศึกษา เพราะหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก มีความทนทานและยังช่วยทำให้ผู้เรียนสามารถเห็นและเข้าใจเนื้อหาได้จากประสบการณ์โดยตรงอีกด้วย

¹Schreiber, C.L.; Wong E.Y.; & Johnston D. (1971,December). Low-Cost High Resolution Ebert Spectrograph for a Teaching Laboratory. *American Journal of Physics*. 39(12) : 1333-1336.

²Lengacher, C. & others. (1998,November). Low cost CCD detectors for spectroscopy. *American Journal of Physics*. 66(11) : 1026

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ใช้ซีซีดีจากกล้องคอมพิวเตอร์เป็นหัววัดความเข้มแสง โดยเขียนโปรแกรมคำสั่งประมวลผลและแสดงผลของการตรวจวัดในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเลขที่คอลัมน์ (Column Number) ของพิกเซลของซีซีดี หลังจากนั้นส่งค่าความเข้มแสงไปยังโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อทำการแสดงผลของการตรวจวัดในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลของการวัดกับการคำนวณทางทฤษฎีของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว และการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ เพื่อตรวจสอบการใช้งานและเป็นแนวทางสำหรับการใช้งานอื่นๆต่อไป

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ได้หัววัดความเข้มแสงที่มีราคาถูก สำหรับใช้วัดความเข้มแสงในการเรียนการสอนความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับทัศนศาสตร์ของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและระดับอุดมศึกษา เรื่องการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่และการทดลองอื่นๆ เช่น ความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านเกรตติง ความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านวัตถุทึบแสง เป็นต้น
2. เป็นแนวความคิดและจุดริเริ่มของงานวิจัยใหม่ๆที่สามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาต่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้แบ่งเป็นหัวข้อสำคัญดังนี้

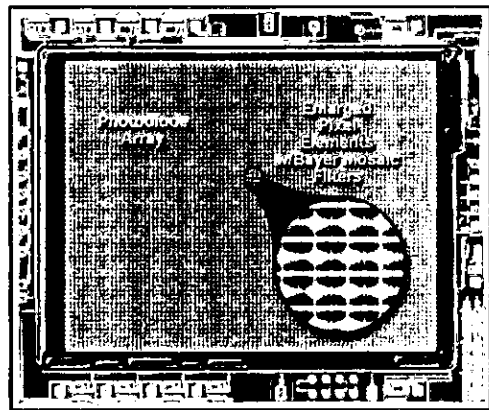
1. ซีซีดี (CCD)
2. การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว (Single slit)
3. การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ (Double slit)

งานวิจัยนี้ ใช้ซีซีดีจากกล้องคอมพิวเตอร์มาเป็นหัววัดวัดความเข้มแสงซึ่งในลำดับต่อไปจะขอกล่าวถึงซีซีดี ดังนี้คือ

ซีซีดี

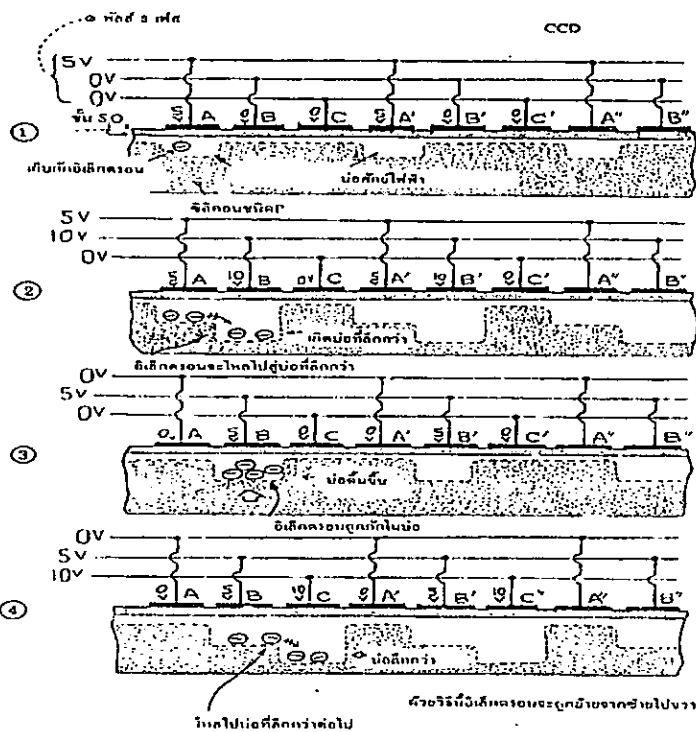
ซีซีดี (CCD ; Charge – Coupled Device) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สร้างภาพเหมือนกับฟิล์มที่อยู่ในกล้องถ่ายรูป มีลักษณะเป็นวงจรรเบ็ดเสร็จ (Integrated Circuit) ที่มีโฟโตไดโอด (Photodiode) เรียงตัวกันเป็นจำนวนมากในระบบแถวและคอลัมน์โดยเรียงต่อกันในลักษณะของแผงสี่เหลี่ยม แสดงถึงภาพประกอบ 1 ซึ่งโฟโตไดโอดแต่ละตัวจะทำหน้าที่เป็นจุดรับแสง จุดรับแสงแต่ละจุดนี้เรียกว่า "พิกเซล (Pixel)" โดยโฟโตไดโอดจะทำหน้าที่แปลงความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) โดยความเข้มของแสงจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนอิเล็กตรอน เมื่อรวมสัญญาณจากทุกๆ พิกเซลก็สามารถที่จะสร้างเป็นภาพได้

ซีซีดีมีฐานเป็นสารกึ่งตัวนำซิลิกอนชนิด P (P-Type Silicon) บนแผ่นฐานมีชั้นของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulate) กั้นระหว่างแผ่นฐานซิลิกอนกับแผ่นโพลีซิลิกอน (Polysilicon) ที่สร้างเป็นแผ่นขั้วไฟฟ้า ซึ่งโครงสร้างของซีซีดีแสดงถึงภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 1 แสดงลักษณะของซีซีดี

ที่มา : Abramowitz, M. & Davidson, M.W. (2000,June). "Anatomy of Charge – Coupled Device," (Online). Available : <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photo.../ccdanatomy.html.p.4>



ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างของซีซีดีที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกสู่ภายนอก

ที่มา : ฉัตรชัย ศรีพรหม วรวิทย์ เมฆรักษานิช และ สุจิตรา. (2540). สเปกโตรสโคปี ชนิดเกรตติง โดยใช้กล้องซีซีดีแสดงผล . กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 29

จากภาพประกอบ 2 มีแผ่นขั้วไฟฟ้า A , B และ C ซึ่งวางเรียงต่อ ๆ กันไป โดยชุดของแผ่นขั้วไฟฟ้า A , A' , A'' จะต่อเชื่อมถึงกัน เหมือนกับชุดของแผ่นขั้วไฟฟ้า B , B' , B'' และ C , C' , C'' ซึ่งแต่ละชุดของขั้วไฟฟ้าจะต่อกับสัญญาณไฟฟ้า 3 เฟส

รูป (1) เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าเข้าที่ขั้ว A , A' และ A'' ซึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟที่มีขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 5 โวลต์ ทำให้บริเวณใต้ขั้วไฟฟ้าเกิดเป็นบริเวณที่ปราศจากประจุเรียกว่าบริเวณปลดพาหะ (Depletion Region) ซึ่งบริเวณนี้มีคุณสมบัติเหมือนกับบ่อศักย์ไฟฟ้า (Potential Well) ที่สามารถกักเก็บอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดจากแสงไว้

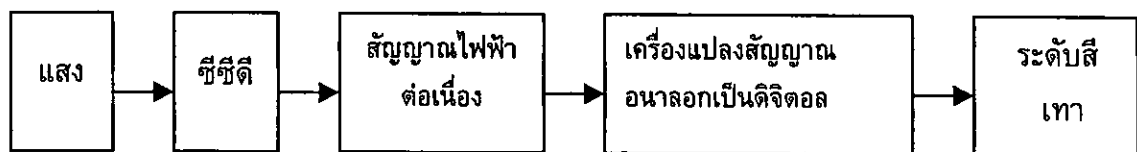
รูป (2) มีสัญญาณไฟฟ้าเข้าที่ขั้ว B , B' และ B'' ซึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟที่มีขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าที่ขั้ว A เกิดบริเวณปลดพาหะลึกกว่าที่ขั้ว A ทำให้อิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บไว้ในบริเวณใต้แผ่นขั้ว A ไหลสู่ใต้แผ่นขั้ว B ซึ่งเป็นการโยกย้ายอิเล็กตรอนไปสู่บริเวณที่มีศักย์สูงกว่า

รูป (3) สัญญาณไฟฟ้าจะเหลือแต่ที่ขั้ว B ส่วนที่ขั้ว A จะหายไป ทำให้บริเวณปลดพาหะใต้แผ่นขั้ว B ตื้นขึ้น แต่ก็ยังคงกักเก็บอิเล็กตรอนทั้งหมดไว้

รูป (4) มีสัญญาณไฟฟ้าเข้าที่ขั้ว C เหมือนกับที่เกิดขึ้นที่ขั้ว A คือมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าที่ขั้ว B ทำให้อิเล็กตรอนทั้งหมดที่อยู่ใต้ขั้ว B ไหลสู่ใต้ขั้ว C

การแสดงค่าระดับสีเทาของซีซีดี

เมื่อซีซีดีทำการแปลงความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าต่อเนื่อง (Analog Signal) แล้วสัญญาณนี้จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยเครื่องแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) โดยกระบวนการแปลงสัญญาณขึ้นอยู่กับขอบเขตที่เป็นไปได้ของสัญญาณที่ออกจากซีซีดีซึ่งเรียกว่าระดับสีเทา (Gray Scale) ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังภาพประกอบ 3



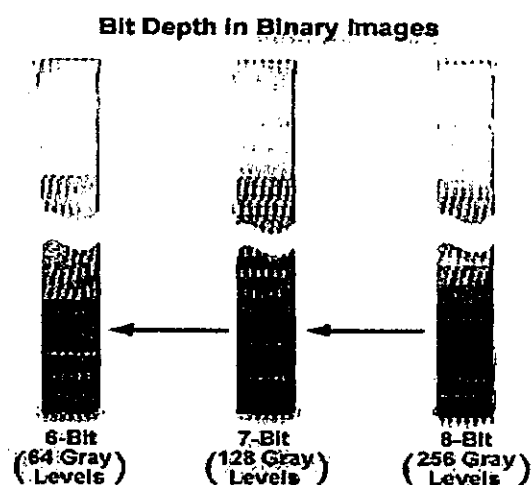
ภาพประกอบ 3 แสดงแผนภาพการรับภาพจากกล้องซีซีดี

ระดับสีเทามีค่าน้อยที่สุดเป็น 0 (ความเข้มแสงต่ำ) ถึงค่าที่มากที่สุด (ความเข้มแสงสูง) เป็นขั้น ๆ ไม่ต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับจำนวนบิต (Bit) ของการแสดงค่าระดับสีเทาของพิกเซลของซีซีดีนั้น ซึ่งค่าระดับสีเทานี้จะแปรตามความเข้มแสง หมายความว่า ถ้าแสงมีความเข้มสูง คือมีจำนวนโฟตอนที่ตกลงมามาก อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นก็จะมีจำนวนมาก มีผลทำให้ได้ค่าระดับสีเทามาก ในทางกลับกันถ้าแสงมีความเข้มต่ำ คือมีจำนวนโฟตอนที่ตกลงมาน้อย อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นก็จะมีจำนวนน้อย มีผลทำให้ได้ค่าระดับสีเทาน้อยไปด้วย โดยระดับสีเทามีค่าเท่ากับ 2^n เมื่อ n คือจำนวนบิตของการแสดงค่าระดับสีเทาของพิกเซลของซีซีดี โดยค่าของระดับสีเทาจะเป็นดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงจำนวนบิต จำนวนค่าของระดับสีเทา และค่าของระดับสีเทา

| จำนวนบิต | จำนวนค่าของระดับสีเทา | ค่าของระดับสีเทา |
|----------|-----------------------|------------------|
| 1 | 2^1 | 2 |
| 2 | 2^2 | 4 |
| 3 | 2^3 | 8 |
| 4 | 2^4 | 16 |
| 5 | 2^5 | 32 |
| 6 | 2^6 | 64 |
| 7 | 2^7 | 128 |
| 8 | 2^8 | 256 |
| 9 | 2^9 | 512 |
| 10 | 2^{10} | 1,024 |

จากตารางสามารถแสดงได้ด้วยภาพประกอบ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างการเสนอค่าระดับสีเทาของพิกเซลของซีดีทีจาก 6 บิต, 7 บิต และ 8 บิต ตามลำดับ



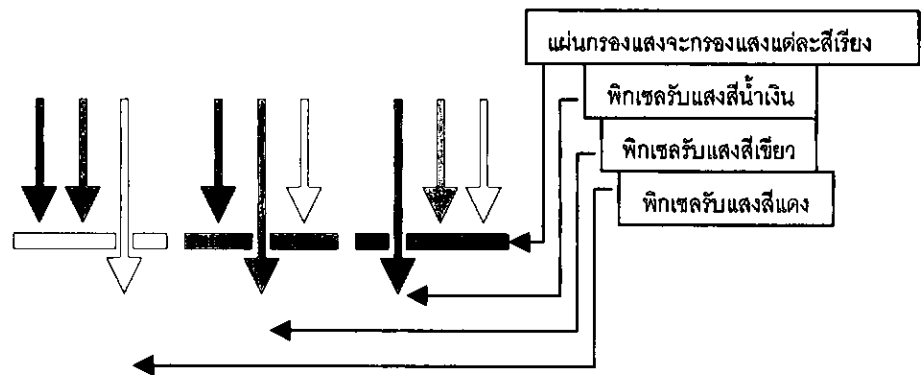
ภาพประกอบ 4 แสดงค่าระดับสีเทาจาก 6 บิต , 7 บิต และ 8 บิต

ที่มา : Spring, K.S. & Davidson, M.W. (2000, July). "Dynamic Range," (Online).

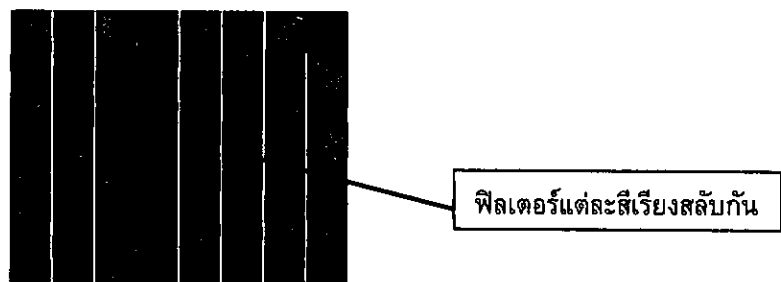
Available : http://micro.magnet.fsu.edu/priner/photomicrography/Concepts/dynamic_range.html.p.4

การบันทึกภาพสีของซีซีดี

เนื่องจากโฟโตไดโอดที่อยู่บนซีซีดีไม่สามารถอ่านสีของแสงได้โดยตรง การที่จะทำให้ได้ภาพสีปรากฏบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ได้นั้นต้องใช้ฟิลเตอร์ (Filter) 3 สี คือ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ซึ่งแต่ละพิกเซลสามารถจับสีได้เพียงสีเดียว แสดงดังภาพประกอบ 5 ซึ่งการสร้างภาพจะอาศัยการเรียงฟิลเตอร์ที่รับแสงแต่ละสีสลับกันซึ่งเรียกว่าการจับภาพแบบเบเยอร์โมเซอิก (Bayer Mosaic Capture) โดยฟิลเตอร์สีแดงจะบันทึกภาพครั้งแรก จากนั้นฟิลเตอร์สีเขียวและฟิลเตอร์สีน้ำเงินบันทึกภาพในลำดับต่อไป แล้วนำข้อมูลความเข้มทั้งสามสีมารวมเข้าด้วยกัน การเรียงลำดับของฟิลเตอร์แบบเบเยอร์โมเซอิกโดยใช้ฟิลเตอร์สีเขียว สีแดง และสีน้ำเงิน แสดงดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 5 แสดงฟิลเตอร์ที่กรองแสงแต่ละสี



ภาพประกอบ 6 แสดงการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของฟิลเตอร์แต่ละสีของซีซีดี

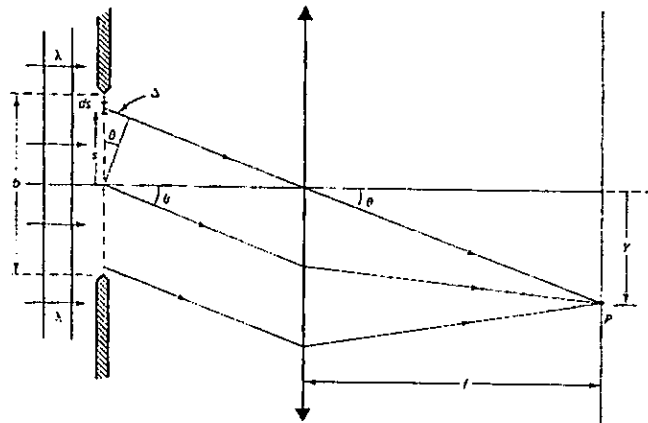
จากภาพประกอบ 6 แสดงการจัดเรียงฟิลเตอร์แต่ละสีซึ่งจะเห็นได้ว่าฟิลเตอร์สีเขียวนั้นมีสัดส่วนมากกว่าสีอื่นๆ กล่าวคือ ซีซีดีรับแสงสีเขียวได้ 50 % ในขณะที่รับแสงสีแดงและแสงสีน้ำเงินได้เพียงสีละ 25 % เท่านั้น เนื่องจากรายละเอียดภาพส่วนใหญ่มีองค์ประกอบอยู่ในย่านความถี่แสงสีเขียว หลังจากที่ซีซีดีได้รับแสงมาแล้วจะมีโปรแกรมภายในกล้องคำนวณค่าสีว่าน่าจะเป็นสีอะไร ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีแบบ $\times 3$ ซึ่งสามารถรับแสงได้ถึงสามสีต่อหนึ่งพิกเซลเนื่องจากแต่ละพิกเซล ประกอบด้วยฟิลเตอร์ทั้งสามสี ซึ่งจะรับแสงสีได้ดีกว่าแบบเบเยอร์โมเซอิกที่ตรวจจับแสงได้เพียงหนึ่งสีต่อหนึ่งพิกเซลเท่านั้น

การบอกความละเอียดของภาพจากกล้องคอมพิวเตอร์จะบอกเป็นผลคูณของจำนวน พิกเซลในแนวนอนคูณจำนวนพิกเซลในแนวตั้ง เช่น 800×600 พิกเซล หมายความว่า ภาพมีความละเอียดแนวนอน 800 พิกเซล แนวตั้ง 600 พิกเซล พิกเซลรวมทั้งหมด 480,000 พิกเซล เมื่อจำนวนพิกเซลเพิ่มมากขึ้นความละเอียดของภาพก็จะมากขึ้นด้วย

การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเลี้ยวเบนแบบเฟรานิโฮเฟอร์ที่เกิดจากการที่แสงผ่านสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างแน่นอนค่าหนึ่ง

การเลี้ยวเบนแบบเฟรานิโฮเฟอร์เกิดขึ้นเมื่อคลื่นระนาบตกตั้งฉากกับสลิตเดี่ยว จะทำให้เกิดเป็นแถบมืดแถบสว่างขึ้นที่ระยะอนันต์ ในทางปฏิบัติจะใช้เลนส์รวมแสงให้ภาพไปตกบนฉากพอดี ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงการเลี้ยวเบนแบบเฟรานิโฮเฟอร์ซึ่งมีเลนส์ช่วยทำให้เกิดภาพบนฉาก

ที่มา : Pedrotti, Frank L. & Pedrotti, Leno S. (1993). *Introduction to optics*. 2nd. U.S.A.: Prentice-Hall, Inc. p.325

เมื่อคลื่นแสงเคลื่อนที่มาถึงสลิตเดี่ยวซึ่งมีความกว้างของช่องเปิด b ตามหลักการของฮอยเกนส์ (Huygen's Principle) ถือได้ว่าทุกๆ จุดบนหน้าคลื่นนั้นเป็นแหล่งกำเนิดของคลื่นชุดใหม่ที่มีเฟสตรงกัน แสงจากจุดกำเนิดเหล่านี้เมื่อไปกระทบฉากก็จะทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันหรือหักล้างกัน ขึ้นกับผลต่างของระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ไปถึงฉาก

ถ้าแบ่งสลิตออกเป็น 2 ส่วน กว้างส่วนละ $\frac{b}{2}$ หรือแทนด้วย s ลำแสงขนานจากสลิตจะมีผลต่างของทางเดินเป็น Δ ซึ่งคือ $s \sin \theta$ โดยที่ θ คือมุมที่ลำแสงเบนออกจากแนวเดิม แถบมืดบนฉากจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$\Delta = s \sin \theta = \frac{b}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

หรือ
$$\sin \theta = \frac{\lambda}{b}$$

ถ้าแบ่งสลิตออกเป็น 4 ส่วน, 6 ส่วน, 8 ส่วนและ 10 ส่วน แถบมืดบนฉากจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$\sin \theta = \frac{2\lambda}{b}, \frac{3\lambda}{b}, \frac{4\lambda}{b}, \frac{5\lambda}{b}, \dots$$

ซึ่งเขียนเป็นสมการของการเกิดแถบมืดได้เป็น

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

โดยที่
$$n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

ระหว่างแถบมืดจะมีแถบสว่าง และตรงตำแหน่งที่ $\sin \theta = 0$ จะเป็นแถบสว่างกลาง (Central Bright Fringe) ที่มีความกว้างเป็นสองเท่าของแถบสว่างลำดับอื่นๆ และมีความเข้มสูงสุด ส่วนแถบสว่างลำดับอื่นๆ ความเข้มจะค่อยๆ ลดลง ตามลำดับ

ความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

พิจารณาจากภาพประกอบ 10 ให้แต่ละระยะของ ds เป็นแหล่งกำเนิดของคลื่นลูกใหม่ที่ เป็นไปตามหลักการของฮอยเกนส์ ค่าของสนามไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดทุกแหล่งในช่วงความกว้างของสลิต b ที่จุด P สามารถเขียนได้เป็น

$$E_P = \left(\frac{E_0}{r} \right) e^{i(kr - \omega t)}$$

$$dE_P = \left(\frac{dE_0}{r} \right) e^{i(kr - \omega t)} \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ E_P คือ สนามไฟฟ้าที่จุด P

dE_P คือ ค่าของสนามไฟฟ้าน้อยๆ ที่จุด P

E_0 คือ สนามไฟฟ้าที่จุดเริ่มต้น

dE_0 คือ ค่าของสนามไฟฟ้าน้อยๆ ที่จุดเริ่มต้น

k คือ เวกเตอร์คลื่น

ω คือ ความเร็วเชิงมุม
 และ r คือ ระยะจาก ds ไปยังจุด P
 ถ้า r มากขึ้นแอมพลิจูดจะลดลงนั่นคือ $E^2 \propto 1/r^2$ และ $E \propto 1/r$

เนื่องจากคลื่นจากแต่ละส่วนเล็ก ๆ ds ที่เคลื่อนที่ไปยังจุด P มีระยะทางเดินที่แตกต่างกัน เมื่อนำผลต่างของทางเดินมาพิจารณาจะทำให้ได้สนามไฟฟ้าที่จุด P เป็น

$$dE_P = \left(\frac{dE_0}{r} \right) e^{i[k(r_0 + \Delta) - \omega t]} \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อแสงเกิดการแทรกสอดที่จุด P ด้วยมุมที่เบนออกจากแนวกลางเป็น θ มีผลทำให้ผลต่างของทางเดินเป็น $\Delta = s \sin \theta$ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็น

$$dE_P = \left(\frac{E_L ds}{r_0} \right) e^{i(kr_0 + ks \sin \theta - \omega t)} \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ E_L เป็นแอมพลิจูดต่อหน่วยความกว้างของสลิต จะได้แอมพลิจูดตลอดความกว้างของสลิตเป็น

$$E_P = \left(\frac{E_L}{r_0} \int_{-b/2}^{b/2} e^{iks \sin \theta} ds \right) e^{i(kr_0 - \omega t)} \dots\dots\dots(4)$$

จากความเข้มของแสงขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าลัพท์กำลังสอง เมื่อแทนแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าลัพท์ด้วย E_R จะได้

$$E_R = \frac{E_L}{r_0} \left(\frac{e^{iks \sin \theta}}{ik \sin \theta} \right)_{-b/2}^{b/2} \dots\dots\dots(5)$$

$$E_R = \frac{E_L}{r_0} \frac{1}{ik \sin \theta} \left[e^{(ikb \sin \theta)/2} - e^{-(ikb \sin \theta)/2} \right] \dots\dots\dots(6)$$

ถ้ากำหนดให้

$$\beta = \frac{1}{2} kb \sin \theta$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$E_R = \frac{E_L b}{r_0 2i\beta} (e^{i\beta} - e^{-i\beta})$$

ใช้สมการของออยเลอร์ (Euler's Equation)

$$\sin \beta = \frac{e^{i\beta} - e^{-i\beta}}{2i}$$

ทำให้ได้

$$E_R = \frac{E_L b}{r_0 2i\beta} (2i \sin \beta) \dots\dots\dots(7)$$

$$E_R = \frac{E_L b \sin \beta}{r_0 \beta} \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อ β คือความต่างเฟส (Phase Difference) ของสนามไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่ง β จะเปลี่ยนตาม θ

เนื่องจาก

$$I \propto E_R^2$$

เพราะฉะนั้นจะทำให้ได้

$$I = \left(\frac{\epsilon_0 c}{2} \right) E_R^2$$

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

$$I = I_0 \left(\frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \right) \dots\dots\dots(9)$$

$$I \equiv I_0 \text{sinc}^2(\beta) \dots\dots\dots(10)$$

โดยที่ $\text{sinc}(\beta) = \frac{\sin \beta}{\beta}$

เมื่อ I_0 เป็นค่าคงตัว โดยฟังก์ชัน sinc มีค่าเป็น 1 เมื่อ β เข้าใกล้ 0 ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

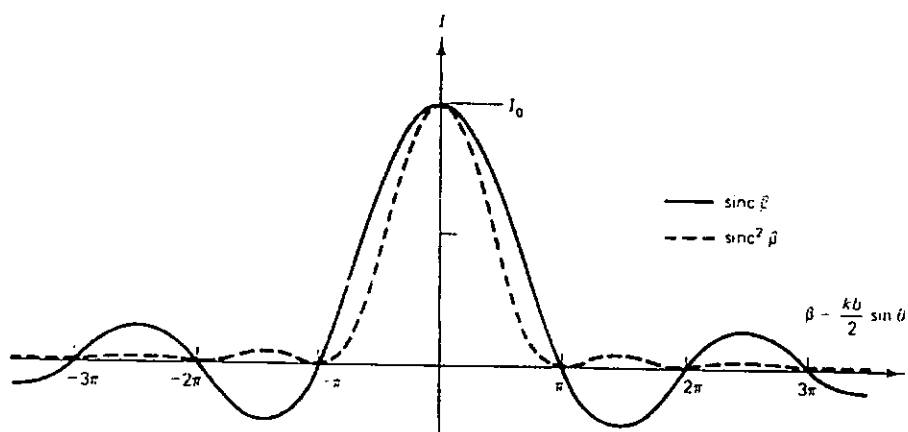
$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \text{sinc}(\beta) = \lim_{\beta \rightarrow 0} \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right) = 1$$

ความเข้มจะเป็น 0 เมื่อ $\sin \beta = 0$

โดย $\beta = \frac{1}{2}(kb \sin \theta) = n\pi$ เมื่อ $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ และ $k = 2\pi / \lambda$

ในกรณีที่ $\lim_{\beta \rightarrow 0} \text{sinc}(\beta) = \lim_{\beta \rightarrow 0} \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right) = 1$ แสดงว่า $n = 0$ เราจะตัดออกไปจากเงื่อนไขนี้

ซึ่งความเข้มของแสงที่ความแตกต่างเฟสใดๆ เป็นดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงความเข้มแสงกับความต่างเฟส β

ที่มา : Pedrotti, Frank L. & Pedrotti, Leno S. (1993). *Introduction to optics*. 2nd

U.S.A.: Prentice-Hall, Inc. p.327

ถ้าต้องการหาความเข้มที่จุดยอดใดๆ จะหาได้จาก

$$\frac{d}{d\beta} \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right) = \frac{\beta \cos \beta - \sin \beta}{\beta^2} = 0 \quad \dots\dots\dots(11)$$

ในกรณีที่ θ เป็นมุมน้อยๆ

$$\sin \theta \cong y / f$$

จะทำให้ได้สมการของความเข้มเป็น

$$I = \frac{I_0 \sin^2(\pi b y / \lambda f)}{(\pi b y / \lambda f)^2} \quad \dots\dots\dots(12)$$

โดย b คือ ความกว้างของสลิต

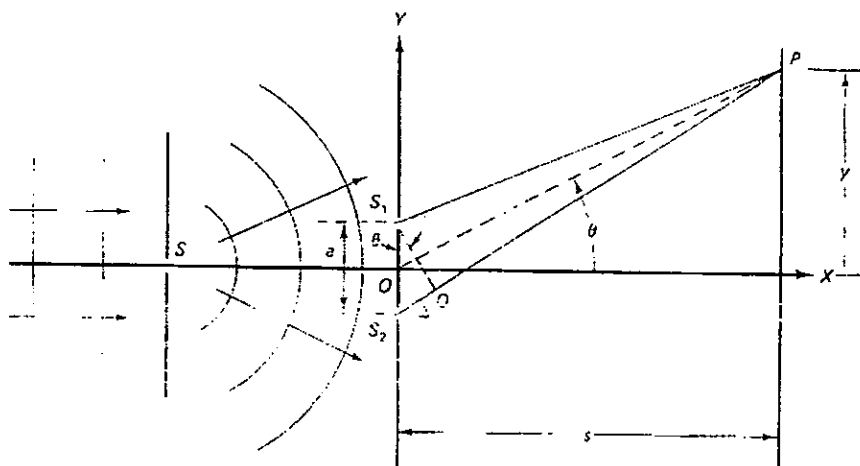
y คือ ระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง

λ คือ ความยาวคลื่นแสง

f คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์

การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

ในปี ค.ศ.1802 โทมัส ยัง (Thomas Young) ทำการทดลองให้เห็นว่าคลื่นแสงสามารถแทรกสอดกันได้ ดังภาพประกอบ 9 เมื่อให้แสงความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic Light) ผ่านช่องแคบหลายๆ S คลื่นแสงจะแผ่ออกมาเป็นหน้าคลื่นทรงกลมซึ่งเป็นไปตามหลักการของฮอยเกนส์ (Huygen's Principle) เมื่อแสงที่มีหน้าคลื่นเดียวกันไปตกกระทบยังช่องแคบๆ S_1 และ S_2 อาจถือว่า S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์ (Coherent Source) ให้แสงไปเกิดการแทรกสอดบนฉากตำแหน่งที่คลื่นแสงสองคลื่นนั้นมีเฟสตรงกันจะเกิดการแทรกสอดแบบเสริม ถ้ามีเฟสต่างกันจะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง



ภาพประกอบ 9. แสดงการแทรกสอดของแสงจากการทดลองของยัง

c

ที่มา : Pedrotti, Frank L. & Pedrotti, Leno S. (1993). *Introduction to optics*. 2nd.

U.S.A : Prentice-hall, Inc. p.205

พิจารณาการแทรกสอดของแสงที่จุด P ใดๆ บนฉากที่อยู่ในแนวเอียงทำมุม θ ถ้าแสงจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมีความแตกต่างของทางเดินเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นจะเกิดการแทรกสอดแบบเสริม (Constructive Interference) ได้เป็นแถบสว่างซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$\text{การแทรกสอดแบบเสริม ; แถบสว่าง : } S_2P - S_1P = \Delta = m\lambda = a \sin \theta \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{โดย } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

ถ้าแสงจากแหล่งกำเนิดทั้งสองมีความแตกต่างของทางเดินเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนเต็มเท่าของความยาวคลื่นจะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง (Destructive Interference)

$$\text{การแทรกสอดแบบหักล้าง ; แถบมืด : } S_2P - S_1P = \Delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = a \sin \theta \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{โดย } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

จากสมการ (13) หรือ (14) จะเป็นสมการที่แสดงจุดกึ่งกลางของแถบสว่างและแถบมืดนั้นๆ การหาระยะทางจากแถบสว่างตรงกลางถึงแถบสว่างลำดับที่ m (คือ y_m) หาได้จาก

$$y_m = s \tan \theta$$

เนื่องจาก θ เป็นมุมน้อย ๆ ดังนั้น $\tan \theta \cong \sin \theta$ จะได้

$$y_m = \frac{m\lambda s}{a} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

ความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

เมื่อพิจารณาการแทรกสอดของคลื่น 2 คลื่นที่มีความถี่เดียวกัน โดย E_1 และ E_2 แทนสนามไฟฟ้า (Electric Field) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$E_1 = E_{01} \cos(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \varepsilon_1) \dots\dots\dots(15)$$

$$E_2 = E_{02} \cos(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \varepsilon_2) \dots\dots\dots(16)$$

โดย \mathbf{k}_1 และ \mathbf{k}_2 คือเวกเตอร์คลื่น (Propagation Vector)

\mathbf{r} คือ เวกเตอร์ตำแหน่งของจุดใดๆ ในสนามไฟฟ้า

ωt คือ การกระจัดเชิงมุม

ε_1 และ ε_2 คือ เฟสเริ่มต้นของคลื่นจากแหล่งกำเนิด S_1 และ S_2

เมื่อคลื่นทั้งสองไปพบกันที่จุด P จะเกิดการซ้อนทับกัน ตามหลักการซ้อนทับ (Principle of Superposition) ของคลื่น ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$E_p = E_1 + E_2$$

โดย E_p คือสนามไฟฟ้าที่จุด P

ซึ่งในการหาค่าความเข้มแสงจะหาได้จาก

$$I = \varepsilon_0 c \langle \mathbf{E}^2 \rangle \dots\dots\dots(17)$$

โดย ε_0 คือ สหภาพยอม (Permittivity) ในสุญญากาศ
 c คือ อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ
 $\langle \mathbf{E}^2 \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้ากำลังสอง

เมื่อเราพิจารณาความเข้มแสงที่จุด P จะได้

$$\begin{aligned} I &= \varepsilon_0 c \langle \mathbf{E}_p^2 \rangle \\ &= \varepsilon_0 c \langle \mathbf{E}_p \cdot \mathbf{E}_p \rangle \\ &= \varepsilon_0 c \langle (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) \cdot (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) \rangle \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$I = \varepsilon_0 c \langle \mathbf{E}_1^2 + \mathbf{E}_2^2 + 2\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \rangle \dots\dots\dots (18)$$

จากสมการ (18) ให้เทอมที่ 1 เป็น I_1 และเทอมที่ 2 เป็น I_2 ส่วนเทอมที่ 3 จะเป็นเทอมของการแทรกสอด (Interference Term) จะให้เป็น I_{12} ดังนั้นจะได้

$$I = I_1 + I_2 + I_{12} \dots\dots\dots (19)$$

พิจารณาเทอมของการแทรกสอดจะได้เป็น

$$I_{12} = 2\varepsilon_0 c \langle \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \rangle \dots\dots\dots (20)$$

เมื่อ

$$\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 = E_{01} \cdot E_{02} \cos(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \varepsilon_1) \cos(\mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} - \omega t + \varepsilon_2)$$

ถ้ากำหนดให้

$$\alpha \equiv \mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{r} + \varepsilon_1$$

และ

$$\beta \equiv \mathbf{k}_2 \cdot \mathbf{r} + \varepsilon_2$$

ดังนั้นจะได้

$$\mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 = \mathbf{E}_{01} \cdot \mathbf{E}_{02} \cos(\alpha - \omega t) \cos(\beta - \omega t)$$

โดย

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \rangle = \mathbf{E}_{01} \cdot \mathbf{E}_{02} [& \cos \alpha \cos \beta \langle \cos^2 \omega t \rangle + \sin \alpha \sin \beta \langle \sin^2 \omega t \rangle \\ & + (\cos \alpha \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta) \langle \sin \omega t \cos \omega t \rangle] \end{aligned}$$

เมื่อ

$$\langle \cos^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2}$$

$$\langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2}$$

และ

$$\langle \sin \omega t \cos \omega t \rangle = 0$$

ดังนั้น

$$\langle \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \rangle = \frac{1}{2} \mathbf{E}_{01} \cdot \mathbf{E}_{02} \cos(\alpha - \beta) \quad \dots \dots \dots (21)$$

หรือ

$$\langle \mathbf{E}_1 \cdot \mathbf{E}_2 \rangle = \frac{1}{2} \mathbf{E}_{01} \cdot \mathbf{E}_{02} \cos[(\mathbf{k}_1 \cdot \mathbf{k}_2) \cdot \mathbf{r} + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)] \quad \dots \dots \dots (22)$$

ดังนั้นจะได้ความแตกต่างเฟส (Phase Difference) ระหว่าง \mathbf{E}_1 และ \mathbf{E}_2 ในสมการ (15) และ (16) เป็น

$$\delta = (\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \cdot \mathbf{r} + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \quad \dots \dots \dots (23)$$

รวมสมการ (17) , (18) และ (19) จะได้

$$I_{12} = \varepsilon_0 c \mathbf{E}_{01} \cdot \mathbf{E}_{02} \cos \delta \quad \dots\dots\dots (24)$$

พิจารณาค่าความเข้ม I_1 และ I_2 ของสมการ (19) สามารถเขียนได้เป็น

$$I_1 = \varepsilon_0 c \langle \mathbf{E}_1^2 \rangle \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$I_1 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_{01}^2$$

และ

$$I_2 = \varepsilon_0 c \langle \mathbf{E}_2^2 \rangle \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_{02}^2$$

ในกรณีที่ \mathbf{E}_{01} ขนาน \mathbf{E}_{02} ผลคูณสเกลาร์ในสมการ (24) จะมีค่าเท่ากับผลคูณของขนาดของ \mathbf{E}_{01} และ \mathbf{E}_{02} ดังนั้นจะได้

$$I_{12} = 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad \dots\dots\dots (27)$$

ซึ่งจะได้

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad \dots\dots\dots (28)$$

เมื่อ $\cos \delta = +1$ จะเกิดการแทรกสอดแบบเสริม และได้ค่าความเข้มสูงสุด ซึ่งคือ

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \quad \dots\dots\dots (29)$$

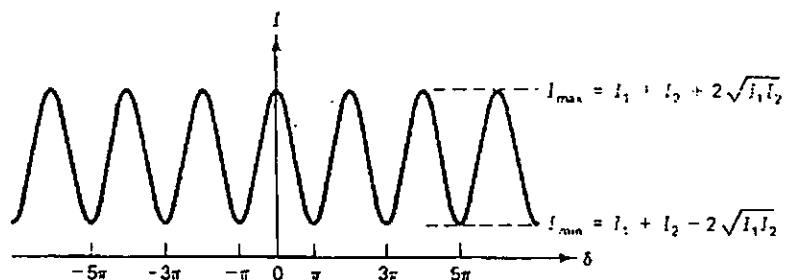
โดยความต่างเฟส $\delta = 2m\pi$ เมื่อ $m = 0, 1, 2, \dots$

เมื่อ $\cos \delta = -1$ จะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างและได้ค่าความเข้มน้อยที่สุด

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \quad \dots\dots\dots (30)$$

โดยความต่างเฟส $\delta = (2m+1)\pi$

ในกรณีที่ความเข้ม $I_1 \neq I_2$ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความต่างเฟส δ เป็นดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความต่างเฟส δ เมื่อ $I_1 \neq I_2$

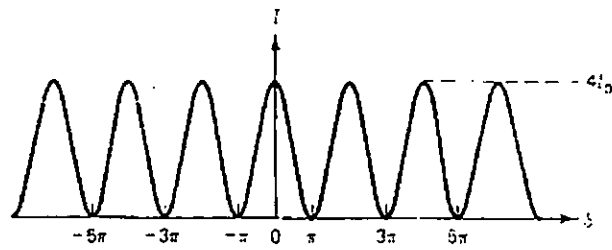
ที่มา : Pedrotti, Frank L. & Pedrotti, Leno S. (1993). *Introduction to Optics*. 2nd. U.S.A. :
Prentice-Hall, Inc. p.203

ในกรณีที่ความเข้ม $I_1 = I_2 = I_0$ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความต่างเฟส δ เป็นดังภาพประกอบ 11 ซึ่งมีค่าความเข้มสูงสุดเป็น

$$I_{\max} = 4I_0$$

และความเข้มต่ำสุดเป็น

$$I_{\min} = 0$$



ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับความต่างเฟส δ เมื่อ

$$I_1 = I_2 = I_0$$

ที่มา : Pedrotti, Frank L. & Pedrotti, Leno S. (1993). *Introduction to Optics*. 2nd. U.S.A. :
Prentice-Hall, Inc. p.203

ในการทดลองที่มีการทำให้ลำแสงที่มาแทรกสอดกันนั้นมีแอมพลิจูดเท่ากัน เราจะหาความเข้มได้เป็น

$$\begin{aligned} I &= I_0 + I_0 + 2\sqrt{I_0^2} \cos \delta \\ &= 2I_0(1 + \cos \delta) \end{aligned}$$

เนื่องจาก

$$1 + \cos \delta \equiv 2 \cos^2 \left(\frac{\delta}{2} \right)$$

จะได้ความเข้มของการแทรกสอดของแสงเป็น

$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\delta}{2} \right)$$

และในกรณีที่ θ เป็นมุมน้อย ๆ

$$\frac{\delta}{2} = \frac{\pi y}{\lambda s}$$

เพราะฉะนั้นจะได้

$$I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\pi ay}{\lambda s}\right)$$

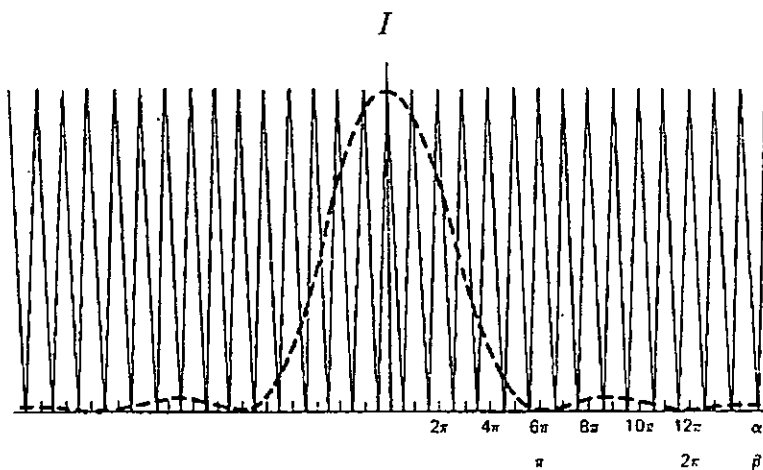
กำหนดให้

$$4I_0 = I_0$$

ดังนั้นจะได้

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi ay}{\lambda s}\right) \dots\dots\dots (31)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้น เราจะไม่คิดความกว้างของช่องของสลิต ความเข้มแสงที่ได้จึงเป็นความเข้มจากการแทรกสอดเท่านั้น ในกรณีที่เราพิจารณาความกว้างของช่องของสลิต ความเข้มแสงที่เกิดขึ้นจะได้มาจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านช่องของสลิตด้วย ดังนั้นความเข้มแสงที่เกิดขึ้นจะเป็นความเข้มรวมจากการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสงแสดง ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 กราฟแสดงความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ซึ่งประกอบด้วย ความเข้มแสงจากการแทรกสอดและความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสง โดย — แสดงความเข้มจากการแทรกสอดของแสง และ ---- แสดงความเข้มจากการเลี้ยวเบนของแสง

ที่มา : Pedrotti, Frank L. & Pedrotti, Leno S. (1993). *Introduction to Optics*. 2nd. U.S.A. : Prentice-Hall, Inc. p.340

ทำให้ได้ค่าความเข้มรวมเป็นดังสมการ

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{\pi ay}{\lambda s}\right) \frac{\sin^2(\pi by / \lambda s)}{(\pi by / \lambda s)^2} \dots\dots\dots(32)$$

โดย a คือ ระยะห่างระหว่างช่องของสลิต

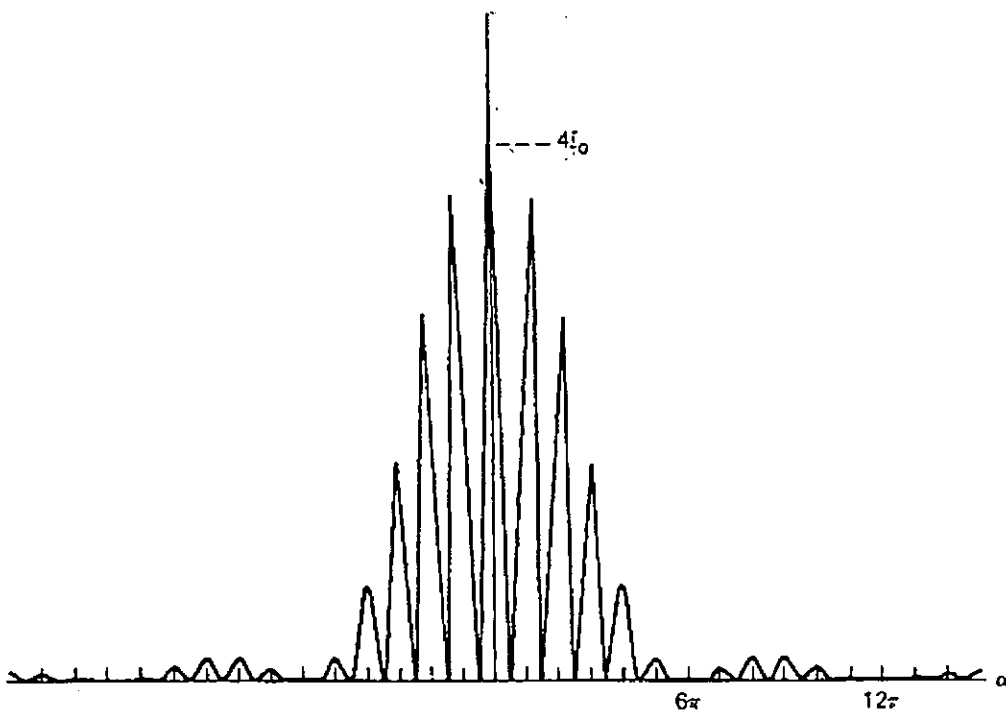
y คือ ระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง

λ คือ ความยาวคลื่นแสง

s คือ ระยะห่างระหว่างสลิตกับฉาก

b คือ ความกว้างของช่องของสลิต

ในกรณีที่ค่าสูงสุดของการแทรกสอด (Interference Maximum) ตรงกับค่าต่ำสุดของการเลี้ยวเบน (Diffraction Minimum) ผลของการเลี้ยวเบนจะกวดผลของการแทรกสอดทำให้แถบสว่างของการแทรกสอด ณ ตำแหน่งนั้นหายไป แสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 กราฟแสดงความเข้มรวมของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

เนื่องจาก ค่าต่ำสุดของการเลี้ยวเบน

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

ค่าสูงสุดของการแทรกสอด

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

ดังนั้น อันดับของแถบสว่างที่หายไปจะหาได้จาก

$$\begin{aligned} \frac{m\lambda}{n\lambda} &= \frac{a \sin \theta}{b \sin \theta} \\ m &= \left(\frac{a}{b}\right)n \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(33)$$

โดย m คือ อันดับของการแทรกสอด

n คือ อันดับของการเลี้ยวเบน

บทที่ 3

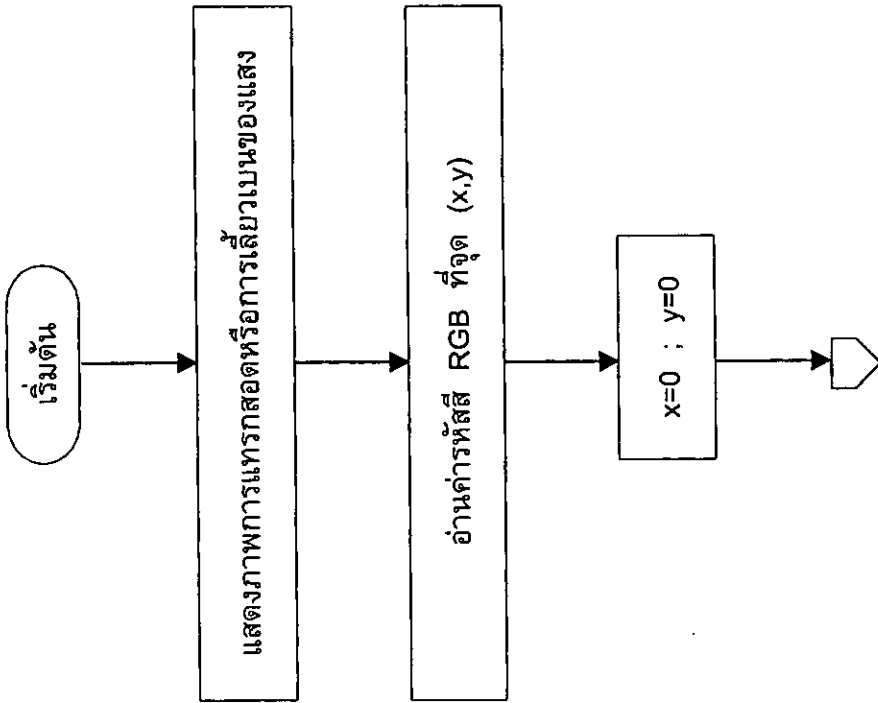
วิธีดำเนินการวิจัย

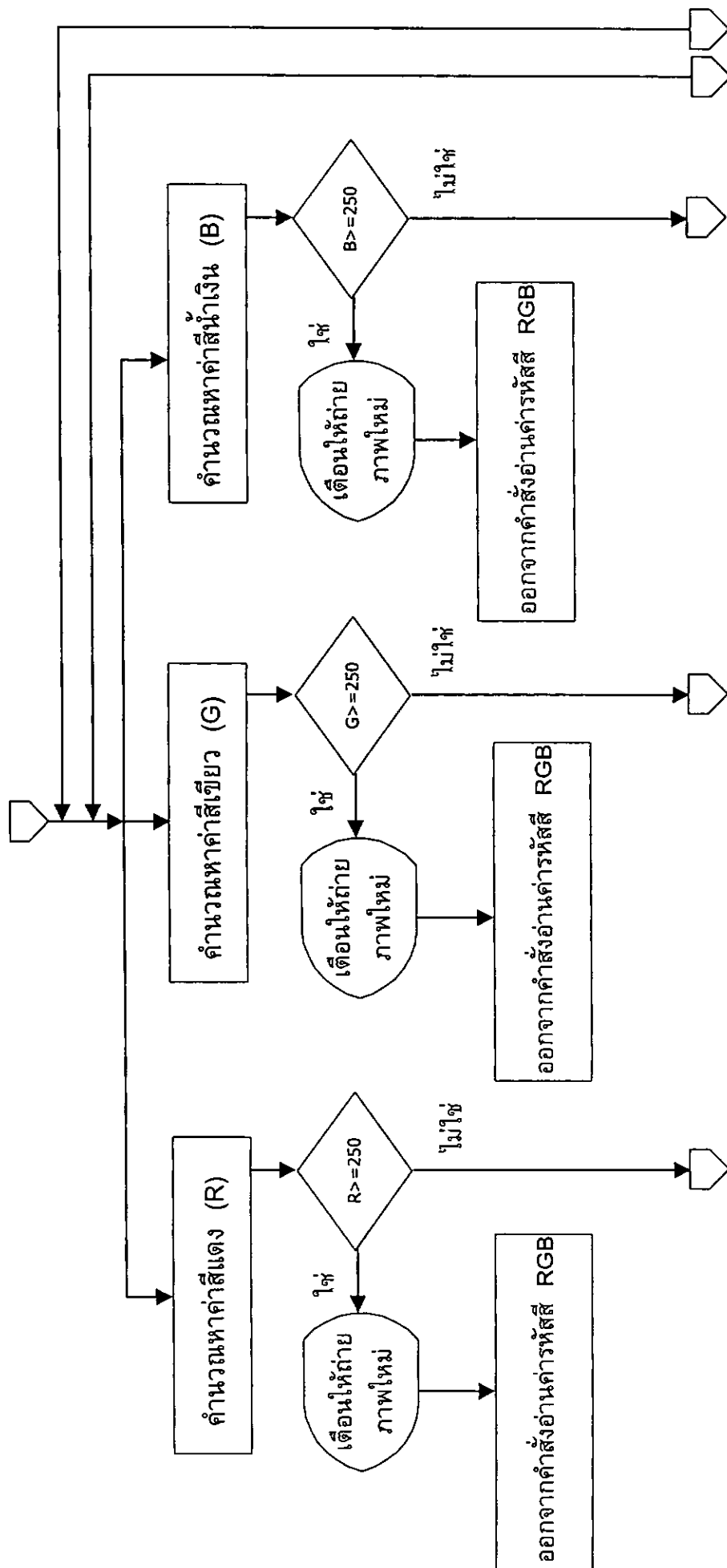
ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

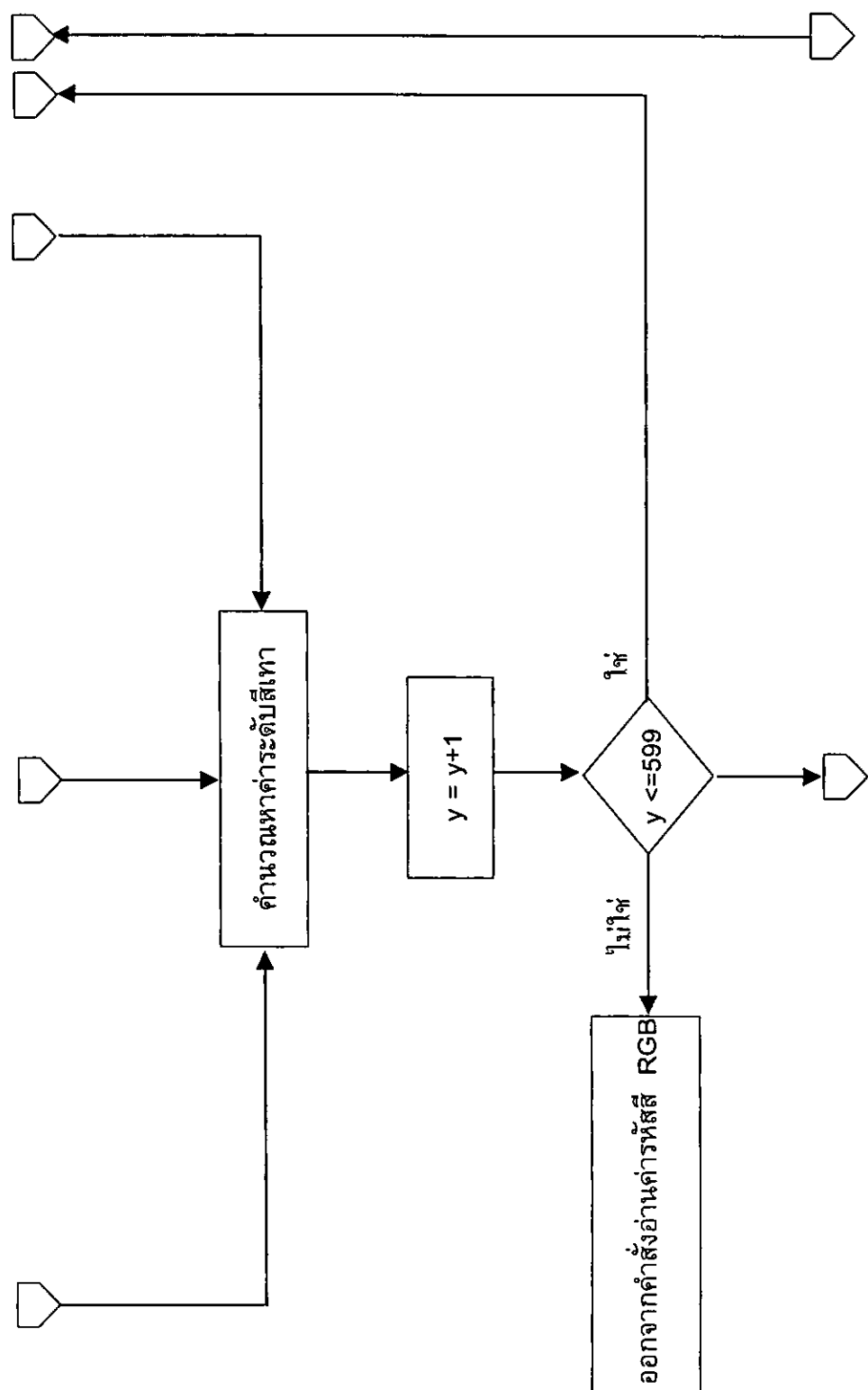
1. การเขียนโปรแกรมคำสั่งที่ใช้ในการตรวจวัดความเข้มแสง
2. การนำซีซีดีไปใช้ในการทดลอง
3. การดำเนินการทดลองวัดความเข้มแสง
4. การเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยโปรแกรมวัดความเข้มแสง
5. การสร้างตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป)
6. การตรวจสอบความถูกต้องและนำเชื่อถือของการวัดด้วยหัววัดซีซีดี

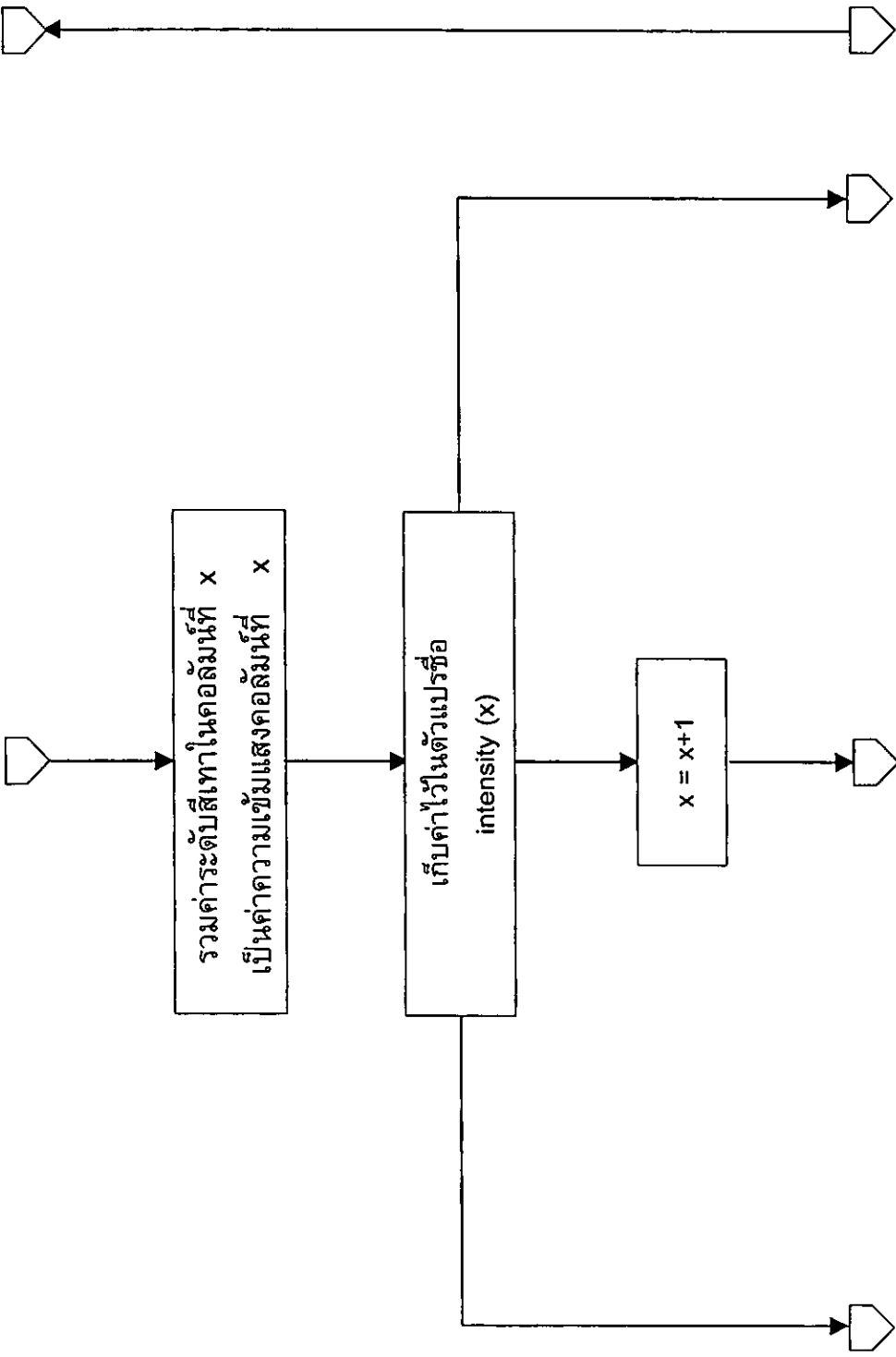
ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมคำสั่งที่ใช้ในการตรวจวัดความเข้มแสง

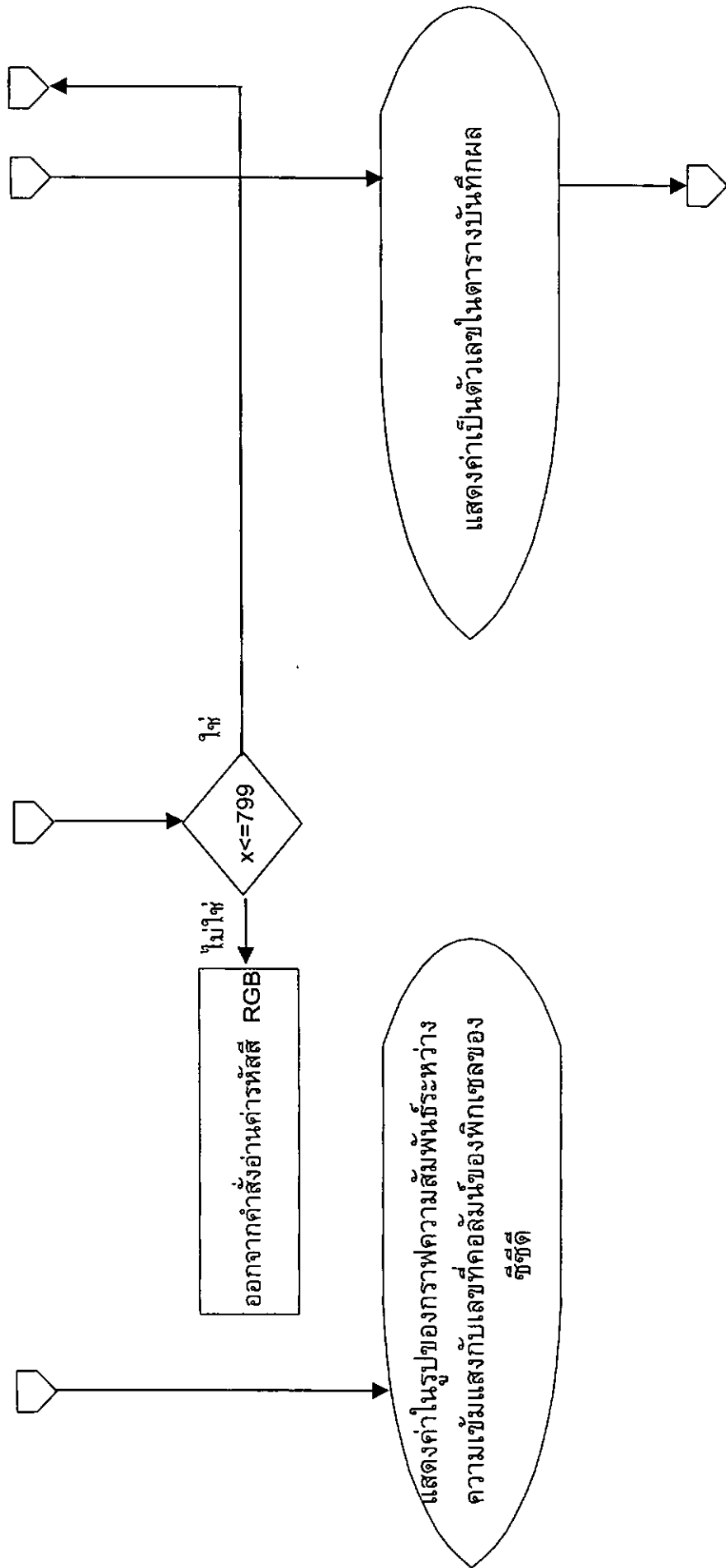
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเขียนโปรแกรมคำสั่งในการตรวจวัดความเข้มแสง ซึ่งใช้เป็นส่วนเก็บข้อมูลและส่วนแสดงผลของการตรวจวัดความเข้มแสงในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเลขที่คอลัมน์ของพิกเซลของซีซีดี และเพื่อเปรียบเทียบผลของการตรวจวัดกับการคำนวณทางทฤษฎีจึงได้ทำการส่งข้อมูลไปยังโปรแกรม Microsoft Excel แล้วแสดงผลการเปรียบเทียบผลของการตรวจวัดความเข้มแสงในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนของการดำเนินการดังต่อไปนี้

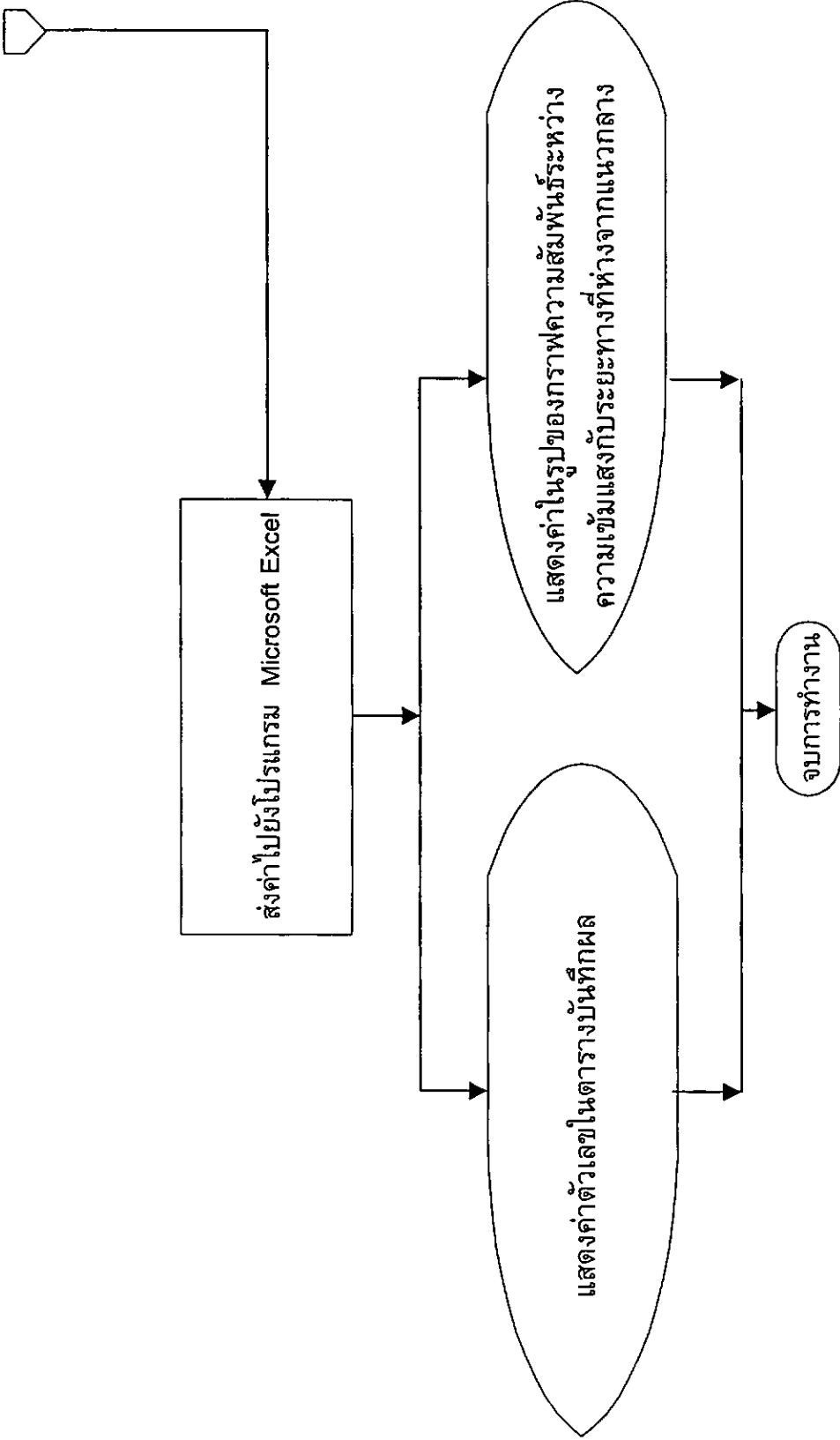












ขั้นตอนการนำซีซีดีไปใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะใช้ซีซีดีจากกล้องคอมพิวเตอร์มาเป็นหัวใจความเข้มแสงซึ่งกล้องที่ใช้เป็นของ Kensington VideoCAM Super-VGA PC Camera Model 67016 Serial no. A0030008238 ความละเอียด 800 x 600 พิกเซล โดยก่อนที่จะนำซีซีดีมาใช้จะทำการหาความกว้างของพิกเซล 1 พิกเซล ซึ่งมีขั้นตอนต่อไปนี้เป็นคือ

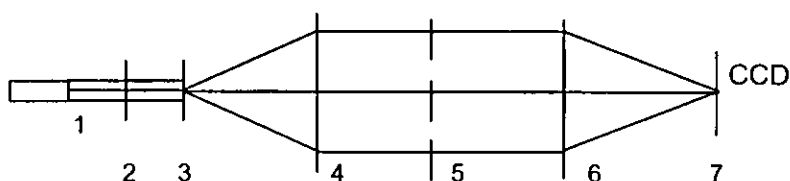
1. วัดความกว้างของซีซีดีโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์
2. นำค่าความกว้างที่ได้จากข้อ 1 หารด้วย 800 ซึ่งเป็นจำนวนคอลัมน์ของพิกเซลของซีซีดี จะทำให้ได้ค่าความกว้างของพิกเซล 1 พิกเซล
3. นำค่าที่ได้จากข้อ 2 คูณด้วยจำนวนคอลัมน์ที่ห่างจากแนวกลางจะทำให้ได้ค่า y แทนในสมการ (12) และ (32)

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองวัดความเข้มแสง

งานวิจัยนี้ทำการวัดความเข้มแสงที่ได้จากการทดลอง 2 การทดลองคือ

การทดลองที่ 1 วัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว มีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. ถอดเลนส์หน้ากล้องคอมพิวเตอร์ออกเพื่อให้แสงจากไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode) ไปตกยังซีซีดีโดยตรง
2. ต่อเชื่อมสายส่งสัญญาณจากซีซีดี เข้ากับจุดเชื่อมต่อของเครื่องคอมพิวเตอร์
3. เปิดโปรแกรม Kensington VideoCAM work เพื่อให้กล้องพร้อมที่จะตรวจจับแสง
4. จัดอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

ประกอบด้วย

หมายเลข 1 ไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ถือว่ามี ความยาวคลื่นค่าเดียว (Monochromatic Wave)

หมายเลข 2 โพลารไรเซอร์ (Polarizer) คือ ตัวที่ยอมให้แสงผ่านได้เฉพาะ องค์ประกอบที่ขนานกับแกนโพลารไรซ์เท่านั้น เพื่อให้ได้แหล่งกำเนิดแสงที่มีระนาบเดียวกัน

หมายเลข 3 สลิตเดี่ยวทำหน้าที่กระจายแสงเลเซอร์

หมายเลข 4 เลนส์คอลลิเมตติ้ง (Collimating Lens) ทำหน้าที่เปลี่ยนลำแสงที่มา จากแหล่งกำเนิดแสงทุติยภูมิให้เป็นลำแสงขนาน โดยทำให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ห่างจากเลนส์เป็น ระยะเท่ากับความยาวโฟกัสของเลนส์

หมายเลข 5 สลิตเดี่ยว ใช้ในกรณีที่เป็นการวัดความเข้มจากการเลี้ยวเบนของ แสง

หมายเลข 6 เลนส์รวมแสง (Focusing Lens) ทำหน้าที่รวมแสงขนานจากสลิต เดี่ยวให้ไปตกยังซีซีดี

หมายเลข 7 ซีซีดี ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มแสง

5. เก็บภาพการเลี้ยวเบนของแสงในแฟ้มชนิด bmp

6. ใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นวัดความเข้มแสงและแสดงผลของการตรวจวัดในรูปของ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเลขที่คอลัมน์ของพิกเซลของซีซีดี

7. ส่งค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไปยังโปรแกรม Microsoft Excel

8. หาสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ที่ได้จากการวัด

9. คัดลอกค่า $\frac{I}{I_0}$ ไปใส่ไว้ที่ช่อง "ความเข้มแสงจากการทดลอง" ในตารางบันทึกผล

(ตารางสำเร็จรูป)

10. ตรวจสอบผลการวัดโดยเปรียบเทียบผลที่วัดได้จากหัววัดซีซีดีกับการคำนวณทาง ทฤษฎี

การทดลองที่ 2 วัดความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1. ถอดเลนส์หน้ากล้องคอมพิวเตอร์ออกเพื่อให้แสงจากเลเซอร์ไปตกยังหัววัดซีซีดี

โดยตรง

2. ต่อเชื่อมสายส่งสัญญาณจากซีซีดี เข้ากับจุดเชื่อมต่อของเครื่องคอมพิวเตอร์

3. เปิดโปรแกรม Kensington VideoCAM work เพื่อให้กล้องพร้อมที่จะตรวจจับแสง

4. จัดอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงจากสลิตคู่ ดังภาพประกอบ 14 ประกอบด้วย

หมายเลข 1 ไดโอดเลเซอร์ (Laser Diode) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ถือว่ามีความยาวคลื่นค่าเดียว (Monochromatic Wave)

หมายเลข 2 โพลาริเซอร์ (Polarizer) คือตัวที่ยอมให้แสงผ่านได้เฉพาะองค์ประกอบที่ขนานกับแกนโพลาริซ์เท่านั้น เพื่อให้ได้แหล่งกำเนิดแสงที่มีระนาบเดียวกัน

หมายเลข 3 สลิตเดี่ยวทำหน้าที่กระจายแสงเลเซอร์

หมายเลข 4 เลนส์คอลลิเมติง (Collimating Lens) ทำหน้าที่เปลี่ยนลำแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงทุติยภูมิให้เป็นลำแสงขนาน โดยทำให้แหล่งกำเนิดแสงอยู่ห่างจากเลนส์เป็นระยะเท่ากับความยาวโฟกัสของเลนส์

หมายเลข 5 สลิตคู่ ใช้ในกรณีที่เป็นการวัดความเข้มจากการแทรกสอดของแสง

หมายเลข 6 เลนส์รวมแสง (Focusing Lens) ทำหน้าที่รวมแสงขนานจากสลิตคู่ให้ไปตกยังซีซีดี

หมายเลข 7 ซีซีดี ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มแสง

5. เก็บภาพการแทรกสอดของแสงในแฟ้มชนิด bmp

6. ใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นวัดความเข้มแสงและแสดงผลของการตรวจวัดในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเลขที่คอลัมน์ของพิกเซลของซีซีดี

7. ส่งค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไปยังโปรแกรม Microsoft Excel

8. หาสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ที่ได้จากการวัด

9. คัดลอกค่า $\frac{I}{I_0}$ ไปใส่ไว้ที่ช่อง “ความเข้มแสงจากการทดลอง” ในตารางบันทึกผล

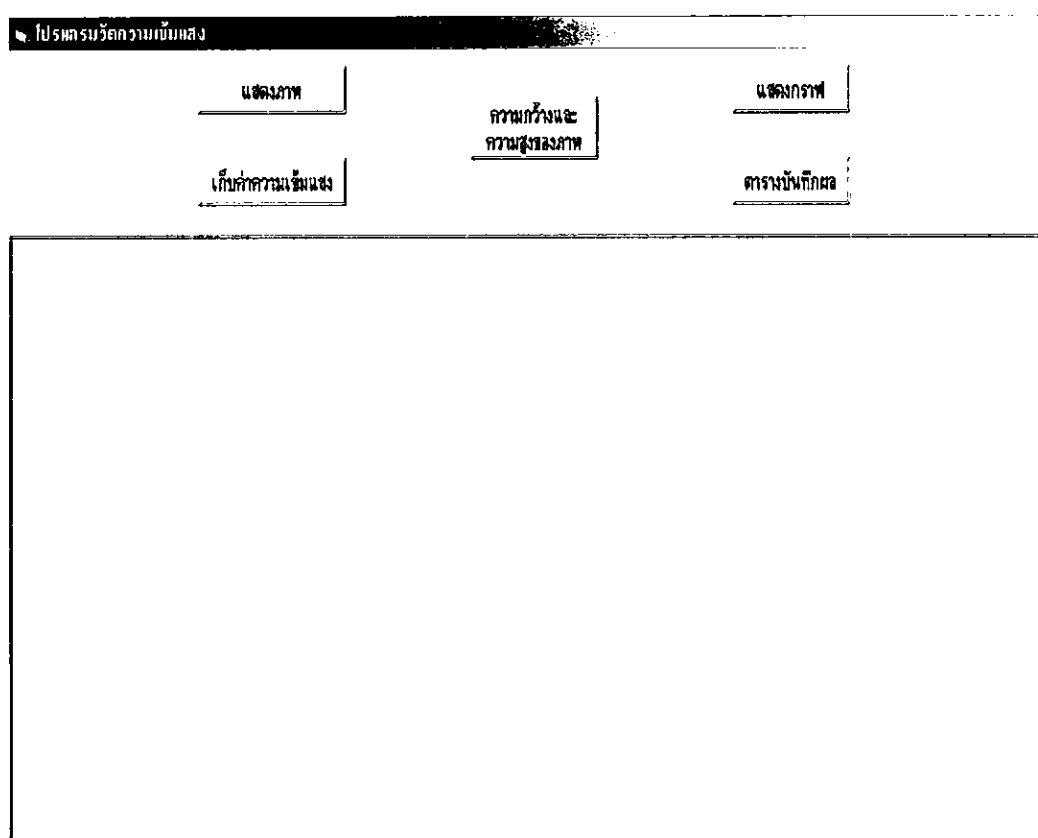
(ตารางสำเร็จรูป)

10. ตรวจสอบผลการวัดโดยเปรียบเทียบผลที่วัดได้จากหัววัดซีซีดีกับการคำนวณทางทฤษฎี

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมวัดความเข้มแสง

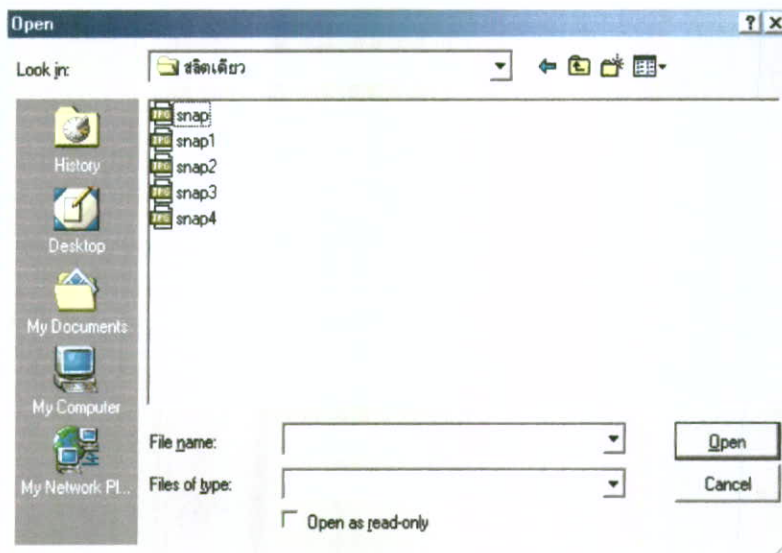
1. เปิดโปรแกรมวัดความเข้มแสง ซึ่งมีลักษณะดังภาพประกอบ 15 ประกอบด้วยปุ่ม 5 ปุ่ม คือ

- 1.1 ปุ่มแสดงภาพ
- 1.2 ปุ่มความกว้างและความสูงของภาพ
- 1.3 ปุ่มเก็บค่าความเข้มแสง
- 1.4 ปุ่มแสดงกราฟ
- 1.5 ปุ่มตารางบันทึกผล



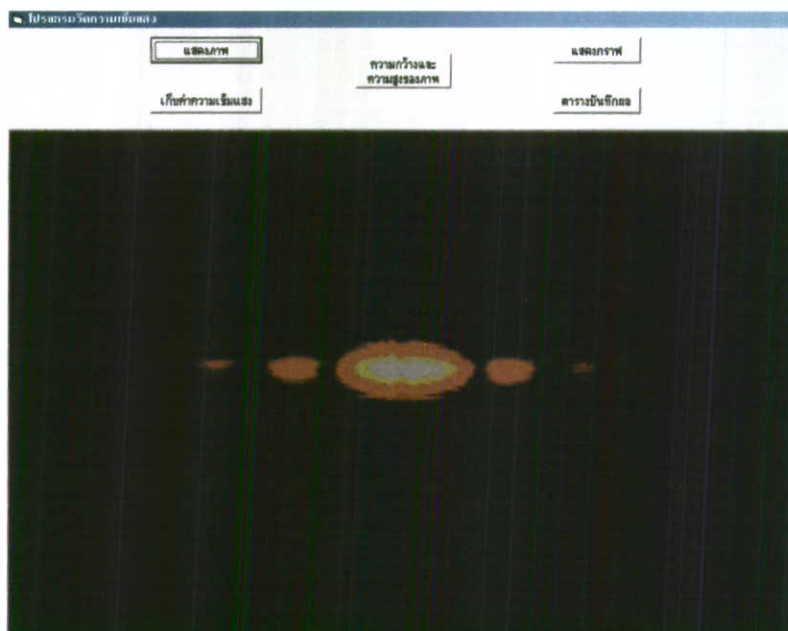
ภาพประกอบ 15 แสดงลักษณะของโปรแกรมวัดความเข้มแสงที่เขียนขึ้น

2. เมื่อต้องการวัดความเข้มแสงคลิกที่ปุ่ม “แสดงภาพ” จะปรากฏชื่อภาพที่ต้องการวัดความเข้มแสงบนจอภาพ แสดงดังภาพประกอบ 16



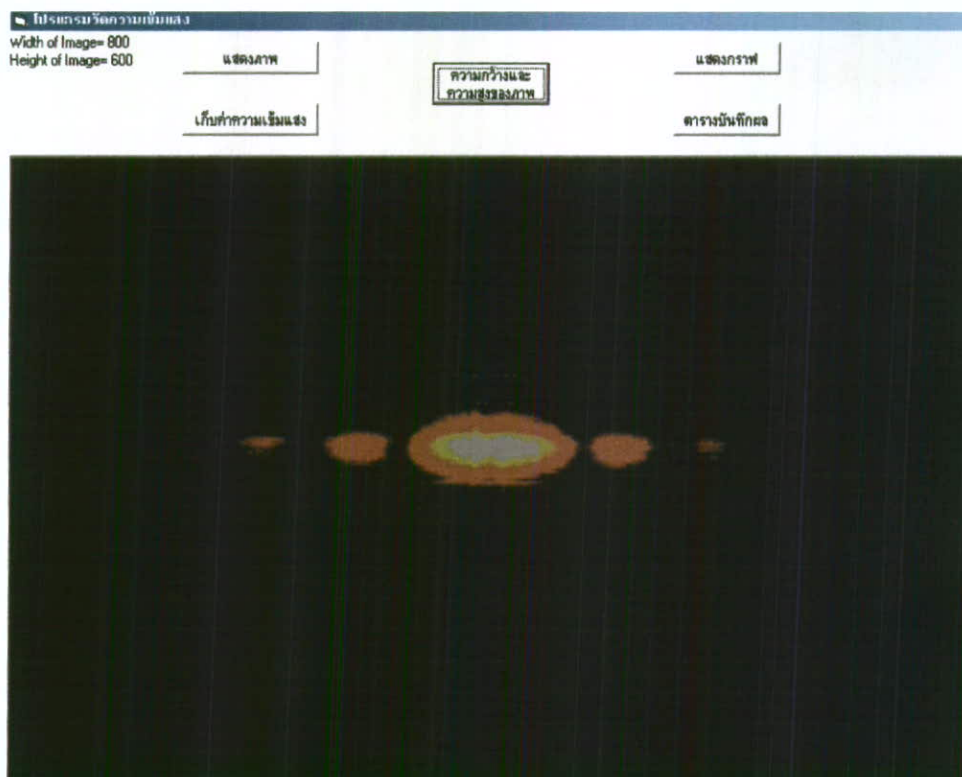
ภาพประกอบ 16 แสดงชื่อภาพที่ต้องการเปิดเพื่อวัดความเข้มแสง

3. เลือกภาพที่ต้องการวัดความเข้มแสง ซึ่งภาพที่เลือกจะปรากฏบนหน้าจอของโปรแกรมวัดความเข้มแสง ตัวอย่างของภาพแสดงดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 แสดงภาพที่ใช้ในการวัดความเข้มแสง

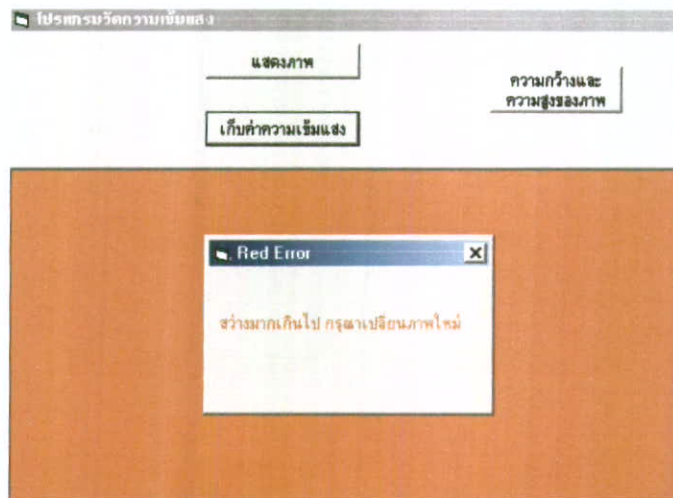
4. คลิกที่ปุ่ม “ ความกว้างและความสูงของภาพ” เมื่อต้องการทราบว่าภาพที่เราต้องการวัดความเข้มแสงนั้นมีขนาดความกว้างและความสูงกี่พิกเซล ซึ่งจะปรากฏให้เห็นที่มุมซ้ายของหน้าจอของโปรแกรมวัดความเข้มแสง แสดงดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แสดงส่วนแสดงผลของความกว้างและความสูงของภาพที่วัดความเข้มแสง

5. คลิกที่ “ปุ่มเก็บค่าความเข้มแสง” เพื่อเก็บค่าความเข้มแสงไว้สำหรับการแสดงผลเป็นกราฟหรือให้แสดงเป็นตัวเลขในตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป)

ในกรณีที่ ความเข้มของสีแดง (Red) บนภาพที่เปิดอ่านค่าความเข้มแสงมากกว่าหรือเท่ากับ 250 โปรแกรมจะหยุดทำงานและจะมีข้อความเตือนให้ทราบว่า “ สว่างมากเกินไป กรุณาเปลี่ยนภาพใหม่” แสดงดังภาพประกอบ 19

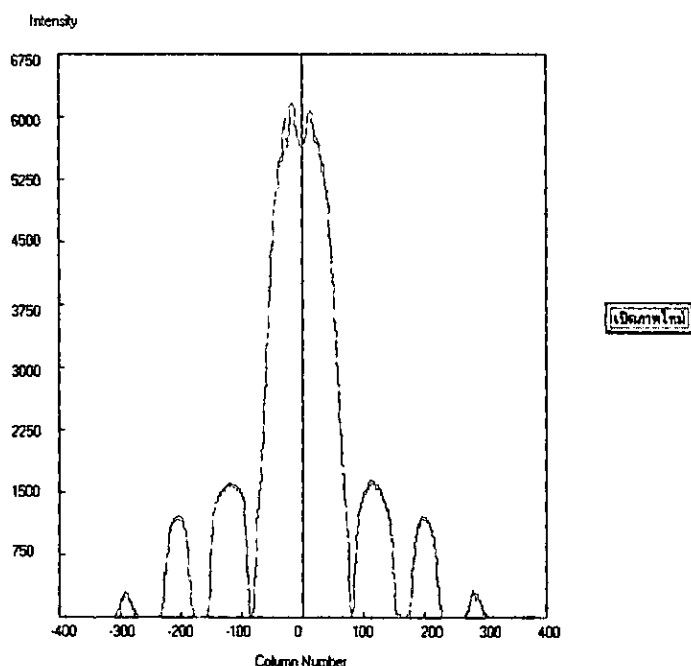


ภาพประกอบ 19 แสดงข้อความเตือนเมื่อค่าความเข้มของสีแดงมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 250

ในทำนองเดียวกัน ถ้าความเข้มของสีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) มีค่าเท่ากับ 250 หรือเกินไปกว่านี้ โปรแกรมก็จะหยุดทำงาน และขึ้นข้อความเตือนให้ผู้ใช้ทราบเช่นเดียวกับสีแดง

เมื่อมีข้อความเตือนขึ้น คลิกที่เครื่องหมาย x ด้านบนสุดของกรอบของข้อความเตือนแล้ว ทำการถ่ายภาพใหม่ หรือเปลี่ยนภาพที่จะวัดความเข้มแสงเป็นภาพใหม่ที่มีความเข้มแสงไม่ถึง 250 โปรแกรมวัดความเข้มแสงก็จะทำงานต่อไป

6. คลิกที่ปุ่ม “แสดงกราฟ” เพื่อตรวจสอบว่าภาพการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวหรือภาพการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ตกลงที่ตรงกลางของซีซีดีหรือไม่ ซึ่งกราฟที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเลขที่คอลัมน์ของพิกเซลของซีซีดี แสดงดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 แสดงตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเลขคอลัมน์ของ ซีซีดีจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

7. เมื่อต้องการดูความเข้มแสงจากภาพอื่นๆ คลิกที่ปุ่ม "เปิดภาพใหม่" โปรแกรมจะย้อนกลับไปหน้าจอหลักของโปรแกรมวัดความเข้มแสง แล้วปฏิบัติตามข้อ 2 , 3 , 4 , 5 และ 6 แต่ถ้าไม่ต้องการเปิดภาพใหม่แต่ต้องการที่จะบันทึกค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไว้ คลิกที่ปุ่ม "ตารางบันทึกผล" จะปรากฏตารางที่ใช้ในการบันทึกค่าความเข้มแสง แสดงดังภาพประกอบ 21

| | Data 1 | Data 2 | Data 3 | Data 4 | Data 5 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Column 1 | | | | | |
| Column 2 | | | | | |
| Column 3 | | | | | |
| Column 4 | | | | | |
| Column 5 | | | | | |
| Column 6 | | | | | |
| Column 7 | | | | | |
| Column 8 | | | | | |

ปุ่ม: ปิดหน้าต่าง, บันทึกผล, To Excel

ภาพประกอบ 21 แสดงตารางบันทึกผลที่ใช้บันทึกค่าความเข้มแสง

8.ใส่ตัวเลขใต้ข้อความ “ ข้อมูลชุดที่” เพื่อสั่งให้โปรแกรมบันทึกค่าความเข้มแสงที่วัดได้เป็นข้อมูลชุดที่เท่าใด ในตารางบันทึกผล

9.คลิกที่ปุ่ม “บันทึกผล” ค่าความเข้มแสงจะถูกบันทึกลงในตารางบันทึกผล แสดงได้ดังภาพประกอบ 22 ซึ่งเป็นตัวอย่างของข้อมูลจากการเก็บค่าความเข้มแสงจากภาพการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวจากภาพ 5 ภาพ ที่ถ่ายเก็บไว้ ข้อมูลที่ได้จะมี 5 ชุดข้อมูลตามจำนวนภาพที่ทำการวัดค่าความเข้มแสงนั้น

| | Data 1 | Data 2 | Data 3 | Data 4 | Data 5 | |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| Column 549 | 146 | 211 | 165 | 96 | 1 | 1 |
| Column 550 | 141 | 214 | 154 | 88 | 1 | 1 |
| Column 551 | 135 | 199 | 145 | 88 | 1 | 1 |
| Column 552 | 141 | 189 | 131 | 89 | 1 | 1 |
| Column 553 | 128 | 193 | 122 | 87 | 1 | 1 |
| Column 554 | 123 | 182 | 122 | 87 | 1 | 1 |
| Column 555 | 117 | 183 | 125 | 87 | 1 | 1 |
| Column 556 | 108 | 175 | 132 | 87 | 1 | 1 |

ภาพประกอบ 22 แสดงความเข้มแสงที่บันทึกในตารางบันทึกผล

10.คลิกที่ปุ่ม “To Excel” ค่าความเข้มแสงที่ถูกบันทึกไว้จะถูกส่งไปยังโปรแกรม Microsoft Excel และบันทึกค่าลงใน Book 1 ในโปรแกรม Microsoft Excel แสดงดังภาพประกอบ 23

| | A | B | C | D | E | F |
|-----|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | เลขที่คอลัมน์ | Data 1 | Data 2 | Data 3 | Data 4 | Data 5 |
| 390 | 388 | 8292 | 6073 | 5860 | 4714 | 3843 |
| 391 | 388 | 8238 | 5963 | 5809 | 4596 | 3688 |
| 392 | 390 | 8138 | 5909 | 5727 | 4545 | 3638 |
| 393 | 391 | 8103 | 5817 | 5687 | 4428 | 3418 |
| 394 | 392 | 8055 | 5784 | 5608 | 4340 | 3388 |
| 395 | 393 | 8043 | 5854 | 5577 | 4152 | 3270 |
| 396 | 394 | 8024 | 5617 | 5589 | 4081 | 3269 |

ภาพประกอบ 23 แสดงการบันทึกข้อมูลลงในตารางของ Microsoft Excel

11. นำค่าความเข้มแสงสูงสุดไปหารค่าความเข้มแสงใดๆในชุดข้อมูลเดียวกัน เพื่อให้ได้สัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของแต่ละชุดข้อมูล

12. คัดลอกค่าที่ได้จากข้อ 11. ใส่ไว้ที่หัวข้อ “ความเข้มแสงจากการทดลอง” ในตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป) ที่จัดเตรียมไว้ โดยตารางชื่อ “Single Slit Worksheet” จะเป็นตารางบันทึกผลสำหรับบันทึกค่าความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวแสดงดังภาพประกอบ 24 และตารางชื่อ “Double Slit Worksheet” จะเป็นตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป) สำหรับบันทึกค่าความเข้มแสงที่ได้จากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ แสดงดังภาพประกอบ 25

| 1 | ตาราง.....แสดงความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว | | | | |
|-----|--|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 2 | | | | | |
| 3 | ผลการทดลอง | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | ความยาวคลื่น | 655 | นาโนเมตร | |
| 6 | | ความกว้างของสลิตเดี่ยว | 100 | ไมโครเมตร | |
| 7 | | ระยะจากเลนส์ถึง ซีซีดี | 10.000 | เซนติเมตร | |
| 8 | | ความกว้างของ ซีซีดี | 6.512 | มิลลิเมตร | |
| 9 | | จำนวนพิกเซล | 800 | พิกเซล | |
| 10 | | พิกเซล/มิลลิเมตร | 122.850 | | |
| 11 | | มิลลิเมตร/พิกเซล | 0.00814 | | |
| 12 | | แนวกลางอยู่ที่คอลัมน์ที่ | 399 | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | เลขที่ | ระยะทาง | ระยะทาง | ความเข้มแสง | ความเข้มแสง |
| 15 | คอลัมน์ | (พิกเซล) | (มิลลิเมตร) | จากทฤษฎี | จากการทดลอง |
| 592 | 576 | 177 | 1.44 | 0.01 | 0.01 |
| 593 | 577 | 178 | 1.45 | 0.01 | 0.02 |
| 594 | 578 | 179 | 1.46 | 0.01 | 0.04 |
| 595 | 579 | 180 | 1.47 | 0.01 | 0.05 |
| 596 | 580 | 181 | 1.47 | 0.01 | 0.07 |
| 597 | 581 | 182 | 1.48 | 0.01 | 0.09 |
| 598 | 582 | 183 | 1.49 | 0.01 | 0.11 |

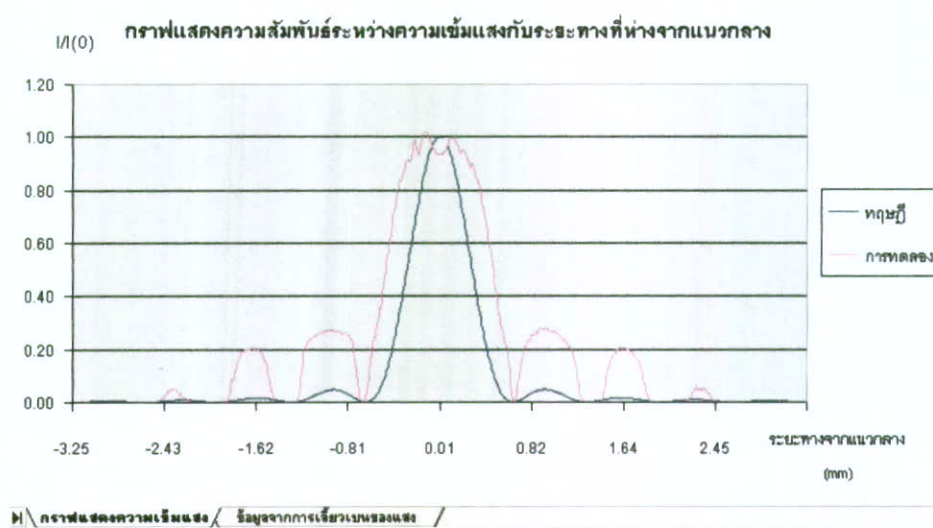
ภาพประกอบ 24 แสดงข้อมูลในตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป) ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

| | | | | | |
|----|---|----------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | ตาราง...แสดงความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | ผลการทดลอง | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | ความยาวคลื่น | | 655 | นาโนเมตร | |
| 6 | ระยะห่างระหว่างช่องของสลิต | | 250 | ไมโครเมตร | |
| 7 | ความกว้างของช่องของสลิต | | 100 | ไมโครเมตร | |
| 8 | ระยะจากเลนส์ถึง ซีซีดี | | 10.000 | เซนติเมตร | |
| 9 | ความกว้างของ ซีซีดี | | 6.512 | มิลลิเมตร | |
| 10 | จำนวนพิกเซลของ ซีซีดี | | 800 | พิกเซล | |
| 11 | พิกเซล/มิลลิเมตร | | 122.850 | | |
| 12 | มิลลิเมตร/พิกเซล | | 0.00814 | | |
| 13 | แนวกลางอยู่ที่คอลัมน์ที่ | | 400 | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | เลขที่ | ระยะทาง | ระยะทาง | ความเข้มแสง | ความเข้มแสง |
| 16 | คอลัมน์ | (พิกเซล) | (มิลลิเมตร) | จากทฤษฎี | จากการทดลอง |
| 17 | 0 | -400 | -3.26 | 0.00 | 0.00 |
| 18 | 1 | -399 | -3.25 | 0.00 | 0.00 |
| 19 | 2 | -398 | -3.24 | 0.00 | 0.00 |
| 20 | 3 | -397 | -3.23 | 0.00 | 0.00 |
| 21 | 4 | -396 | -3.22 | 0.00 | 0.00 |
| 22 | 5 | -395 | -3.22 | 0.00 | 0.00 |

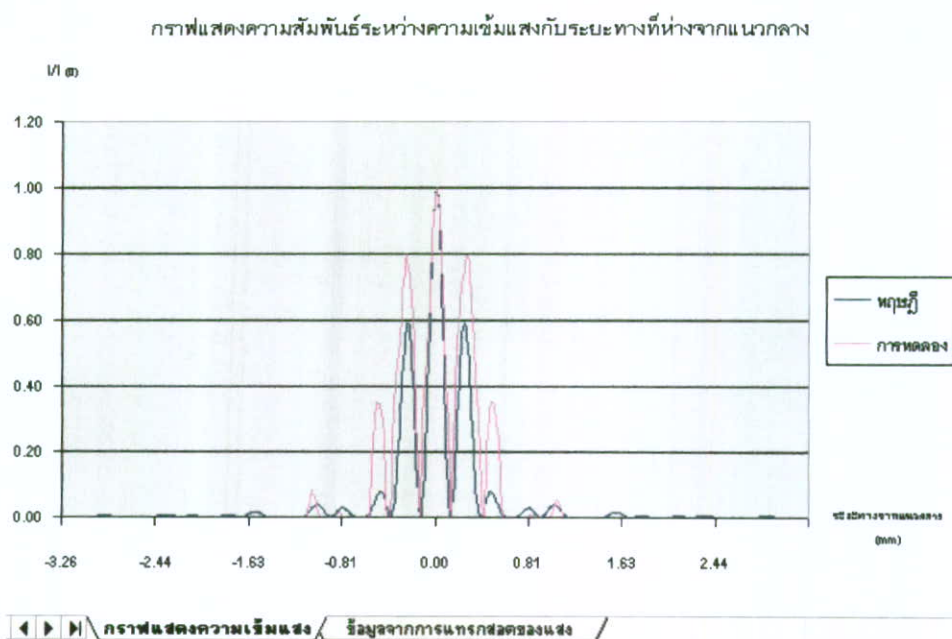
ภาพประกอบ 25 แสดงข้อมูลในตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป) ของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

13. กำหนดคอลัมน์ที่เป็นแนวกลาง แล้วนำค่าตัวเลขไปใส่ไว้หลังข้อความ “แนวกลางอยู่ที่คอลัมน์ที่”

14. คลิกที่ข้อความ “กราฟแสดงความเข้มแสง” ได้ตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป) จะปรากฏเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง โดยจะเป็นกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบความเข้มแสงที่ได้จากการวัดด้วยหัววัดซีซีดีกับความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ดังภาพประกอบ 26 และ 27



ภาพประกอบ 26 แสดงตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว



ภาพประกอบ 27 แสดงตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

ขั้นตอนการสร้างตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป)

การสร้างตารางบันทึกผลเพื่อใช้แสดงผลการวัดความเข้มแสง มี 2 ตาราง ดังนี้
 ตาราง 1 แสดงความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว มีขั้นตอนดังนี้คือ

1. เปิดโปรแกรม Microsoft Excel
2. ใส่ค่าของข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่
 - 2.1 ความยาวคลื่น
 - 2.2 ความกว้างของสลิตเดี่ยว
 - 2.3 ระยะจากเลนส์ถึงซีซีดี
 - 2.4 ความกว้างของซีซีดี
 - 2.5 จำนวนพิกเซล
 - 2.6 พิกเซล/มิลลิเมตร
 - 2.7 มิลลิเมตร/พิกเซล
 - 2.8 คอลัมน์ที่เป็นแนวกลาง
3. กำหนดหัวข้อในตารางบันทึกผล โดยมีหัวข้อดังนี้คือ
 - 3.1 เลขที่คอลัมน์
 - 3.2 ระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง (พิกเซล)
 - 3.3 ระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง (มิลลิเมตร)
 - 3.4 ความเข้มแสงจากทฤษฎี
 - 3.5 ความเข้มแสงจากการทดลอง

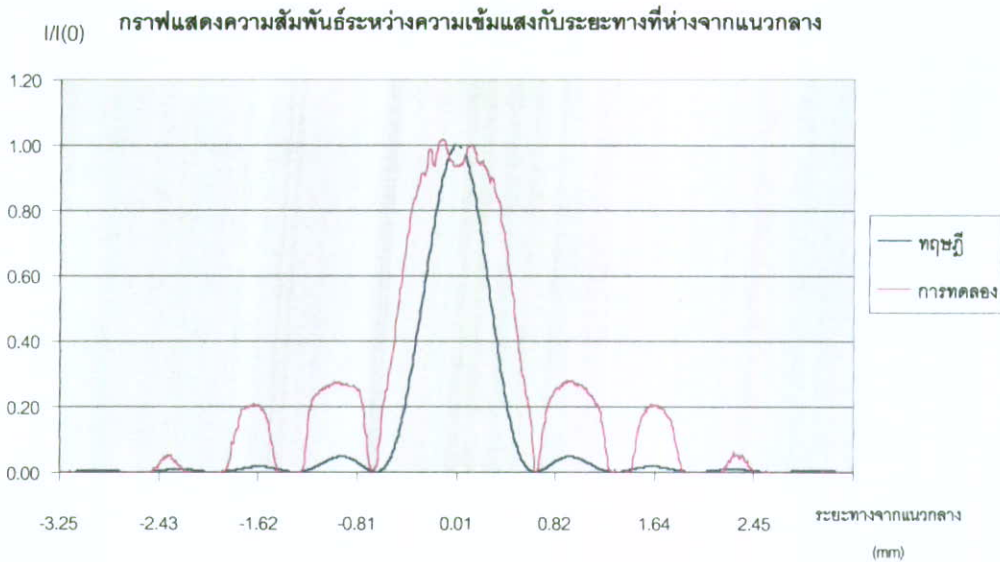
ซึ่งรูปแบบของตารางบันทึกผล แสดงดังภาพประกอบ 28

| | A | B | C | E | F |
|----|--|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | ตาราง.....แสดงความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | ข้อมูลการทดลอง | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | ความยาวคลื่น | | 665 | นาโนเมตร |
| 6 | | ความกว้างของสลิตเดี่ยว | | 100 | ไมโครเมตร |
| 7 | | ระยะจากเลนส์ถึง ซีซีดี | | 10.000 | เซนติเมตร |
| 8 | | ความกว้างของ ซีซีดี | | 6.512 | มิลลิเมตร |
| 9 | | จำนวนพิกเซล | | 800 | พิกเซล |
| 10 | | พิกเซล/มิลลิเมตร | | 122.850 | |
| 11 | | มิลลิเมตร/พิกเซล | | 0.00814 | |
| 12 | | แนวกลางอยู่ที่คอลัมน์ที่ | | 400 | |
| 13 | | | | | |
| 14 | เลขที่ | ระยะทาง | ระยะทาง | ความเข้มแสง | ความเข้มแสง |
| 15 | คอลัมน์ | (พิกเซล) | (มิลลิเมตร) | จากทฤษฎี | จากการทดลอง |
| 16 | 0 | 100 | 3.26 | 0.00 | 0.00 |
| 17 | 1 | -399 | -3.26 | 0.00 | 0.00 |
| 18 | 2 | -398 | -3.24 | 0.00 | 0.00 |

ภาพประกอบ 28 แสดงตารางแสดงผลของการวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

4. ดึงหัวตารางเพื่อให้สามารถเลื่อนข้อมูลโดยหัวตารางไม่เลื่อนตามไปด้วย
5. ที่หัวข้อ "เลขที่คอลัมน์" ใส่ตัวเลข 0 ถึง 799
6. ที่หัวข้อ "ระยะทาง (พิกเซล)" พิมพ์ข้อความ "= A16-\$E\$12" ที่ B16 แล้วคัดลอกไปจนถึง B815
7. ที่หัวข้อ "ระยะทาง(มิลลิเมตร)" พิมพ์ข้อความ "= B16*\$E\$11" ที่ C16แล้วคัดลอกไปจนถึง C815
8. พิมพ์ข้อความ "= (3.1428571*(\$E\$6/1000)*C16) / ((\$E\$5/1000000)*(\$E\$7*10))" ที่ D16 แล้วคัดลอกไปจนถึง D815
9. ที่หัวข้อ " ความเข้มแสงจากทฤษฎี" พิมพ์ข้อความ " = (SIN(D16))^2/D16^2" ที่ E16 แล้วคัดลอกไปจนถึง E815
10. คัดลอกค่า $\frac{I}{I_0}$ จาก Book 1 ที่ได้มาจากการส่งค่าความเข้มแสงจากโปรแกรมวัดความเข้มแสงเข้าโปรแกรม Microsoft Excel มาใส่ไว้ที่หัวข้อ "ความเข้มแสงจากการทดลอง"

11. เลือกเมนู “ตัวช่วยสร้างแผนภูมิ” โดยเลือกกราฟเส้น แล้วนำค่าในหัวข้อ “ระยะทาง(มิลลิเมตร)” เป็นค่าในแกน x และนำค่าในหัวข้อ “ความเข้มแสงจากทฤษฎี” และ “ความเข้มแสงจากการทดลอง” มาเป็นค่าในแกน y จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของกรวยเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว แสดงดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว โดย — แสดงความเข้มแสงที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี และ — แสดงความเข้มแสงที่ได้จากการวัดด้วยหัววัดซีซีดี

ตาราง 2 แสดงความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ มีขั้นตอนดังนี้คือ

1. เปิดโปรแกรม Microsoft Excel
2. ใส่ค่าของข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่
 - 2.1 ความยาวคลื่น
 - 2.2 ระยะห่างระหว่างช่องของสลิต
 - 2.3 ความกว้างของช่องของสลิต
 - 2.4 ระยะจากเลนส์ถึงซีซีดี
 - 2.5 ความกว้างของซีซีดี
 - 2.6 พิกเซล/มิลลิเมตร
 - 2.7 มิลลิเมตร/พิกเซล
 - 2.8 คอลัมน์ที่เป็นแนวกลาง
3. กำหนดหัวข้อในตารางบันทึกผล โดยมีหัวข้อดังนี้คือ
 - 3.1 เลขที่คอลัมน์

3.2 ระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง (พิกเซล)

3.3 ระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง (มิลลิเมตร)

3.4 ความเข้มแสงจากทฤษฎี

3.5 ความเข้มแสงจากการทดลอง

ซึ่งรูปแบบของตารางบันทึกผล(ตารางสำเร็จรูป)แสดงดังภาพประกอบ 30

| | A | B | C | F | G | H |
|----|---|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 1 | ตาราง.....แสดงความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | ผลการทดลอง | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | ความยาวคลื่น | | 655 | | นาโนเมตร |
| 6 | | ระยะห่างระหว่างช่องของสลิต | | 250 | | ไมโครเมตร |
| 7 | | ความกว้างของช่องของสลิต | | 100 | | ไมโครเมตร |
| 8 | | ระยะจากเลนส์ถึง ซีซีดี | | 10.000 | | เซนติเมตร |
| 9 | | ความกว้างของ ซีซีดี | | 6.512 | | มิลลิเมตร |
| 10 | | จำนวนพิกเซลของ ซีซีดี | | 800 | | พิกเซล |
| 11 | | พิกเซล/มิลลิเมตร | | 122.850 | | |
| 12 | | มิลลิเมตร/พิกเซล | | 0.00814 | | |
| 13 | | แนวกลางอยู่ที่คอลัมน์ที่ | | 400 | | |
| 14 | | | | | | |
| 15 | เลขที่ | ระยะทาง | ระยะทาง | ความเข้มแสง | ความเข้มแสง | |
| 16 | คอลัมน์ | (พิกเซล) | (มิลลิเมตร) | จากทฤษฎี | จากการทดลอง | |
| 17 | 0 | -400 | -3.26 | 0.00 | 0.00 | |
| 18 | 1 | -399 | -3.25 | 0.00 | 0.00 | |
| 19 | 2 | -398 | -3.24 | 0.00 | 0.00 | |
| 20 | 3 | -397 | -3.23 | 0.00 | 0.00 | |

ภาพประกอบ 30 แสดงตารางแสดงผลของการวัดความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

4. ตรึงหัวตารางเพื่อไม่ให้หัวตารางเลื่อนขณะที่ทำการเลื่อนข้อมูล

5. ที่หัวข้อ "เลขที่คอลัมน์" ใส่ตัวเลข 0 ถึง 799

6. ที่หัวข้อ "ระยะทาง (พิกเซล)" พิมพ์ข้อความ "= A17-\$F\$13" ที่ B17 แล้วคัดลอก

ไป จนถึง B816

7. ที่หัวข้อ “ระยะทาง (มิลลิเมตร)” พิมพ์ข้อความ “= B17*\$F\$12” ที่ C17แล้วคัดลอกไปจนถึง C816

8. พิมพ์ข้อความ “=(3.1428571*(F\$6/1000)*C17)/((F\$5/1000000)*(F\$8*10))” ที่ D16 แล้วคัดลอกไปจนถึง D816

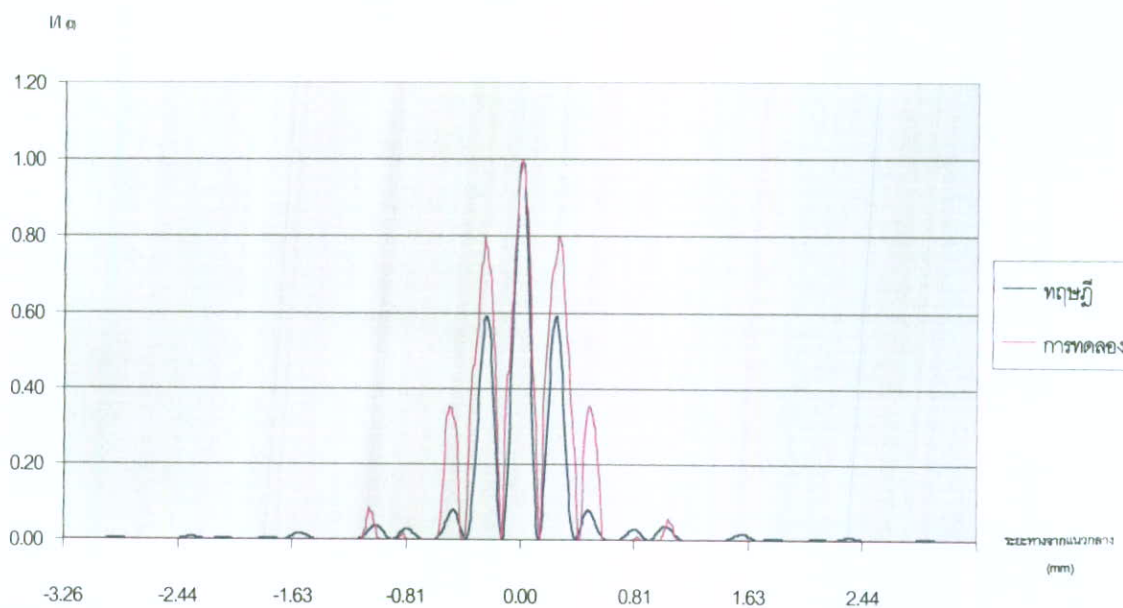
9. พิมพ์ข้อความ “=(3.1428571*(F\$7/1000)*C17) / ((F\$5/1000000)*(F\$8*10))” ที่ E17 แล้วคัดลอกไปจนถึง E816

10. ที่หัวข้อ “ความเข้มแสงจากทฤษฎี” พิมพ์ข้อความ “ = ((SIN(E17))^2/(E17)^2*(COS (D17))^2” ที่ F17 แล้วคัดลอกไปจนถึง F816

11. คัดลอกค่า $\frac{I}{I_0}$ จาก Book 1 ที่ได้มาจากการส่งค่าความเข้มแสงจากโปรแกรมวัดความเข้มแสงเข้าโปรแกรม Microsoft Excel มาใส่ไว้ที่หัวข้อ “ความเข้มแสงจากการทดลอง”

12. เลือกเมนู “ตัวช่วยสร้างแผนภูมิ” โดยเลือกกราฟเส้น แล้วนำค่าในหัวข้อ “ระยะทาง(มิลลิเมตร)” เป็นค่าในแกน x และนำค่าในหัวข้อ “ความเข้มแสงจากทฤษฎี” และ “ความเข้มแสงจากการทดลอง” มาเป็นค่าในแกน y จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการแทรกสอดของแสงจากสลิตคู่ แสดงดังภาพประกอบ 31

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง



ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องและนำเชื่อถือ

การตรวจสอบความถูกต้องและนำเชื่อถือแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

1. วัดความเข้มแสงที่มุม 0 องศา จะได้ความเข้มแสงสูงที่สุดเป็น I_0
2. วัดความเข้มแสงที่มุม θ ต่างๆ จะได้ความเข้มแสงเป็น I
3. หาสัดส่วนความเข้มแสงที่มุม θ ต่างๆจาก $\frac{I}{I_0}$
4. นำสัดส่วนที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัดส่วนความเข้มแสงจากการคำนวณทางทฤษฎี

จากสมการ

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\sin^2(\pi by / \lambda f)}{(\pi by / \lambda f)^2} \dots\dots\dots (34)$$

กรณีที่ 2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

1. วัดความเข้มแสงที่มุม 0 องศา จะได้ความเข้มแสงสูงที่สุดเป็น I_0
2. วัดความเข้มแสงที่มุม θ ต่างๆ จะได้ความเข้มแสงเป็น I
3. หาสัดส่วนของความเข้มแสงที่มุม θ ต่างๆจาก $\frac{I}{I_0}$
4. นำสัดส่วนที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัดส่วนความเข้มแสงจากการคำนวณทางทฤษฎี

จากสมการ

$$\frac{I}{I_0} = \cos^2\left(\frac{\pi ay}{\lambda s}\right) \cdot \frac{\sin^2(\pi by / \lambda s)}{(\pi by / \lambda s)^2} \dots\dots\dots (35)$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวด้วยหัววัดซีซีดี

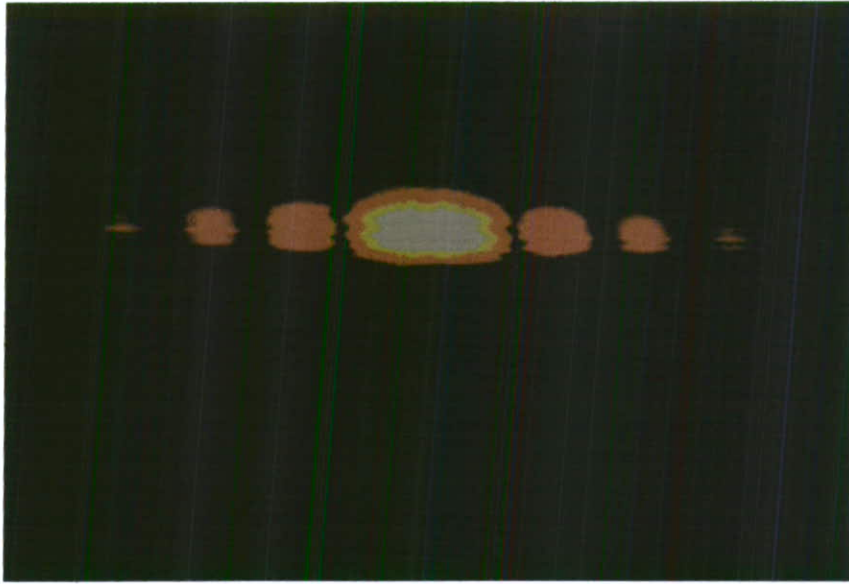
รูปแบบการเลี้ยวเบนของแสง

จากการศึกษาการเลี้ยวเบนของแสงโดยให้แสงจากไดโอดเลเซอร์ซึ่งมีความยาวคลื่น 630 - 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 100 ไมโครเมตร พบว่าแสงเกิดการเลี้ยวเบนแล้วเกิดการแทรกสอดขึ้น และเมื่อสังเกตจากภาพการเลี้ยวเบนพบว่า แถบสว่างกลางมีความกว้างมากที่สุด แสดงดังภาพประกอบ 32

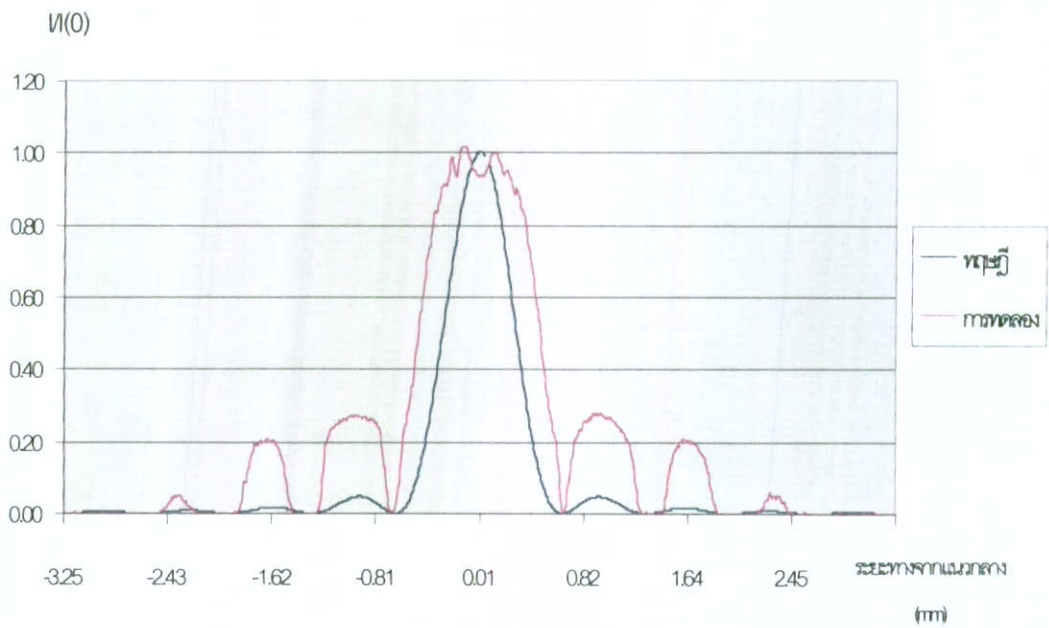
ความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสง

ความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ที่วัดด้วยหัววัดซีซีดี ค่ามากที่สุดจะอยู่ที่ แถบสว่างกลางและที่แถบสว่างถัดไปความเข้มจะลดลงเรื่อยๆ แสดงดังภาพประกอบ 33 สำหรับระยะห่างระหว่างแถบสว่างกลางถึงแถบมืดแรกจะมีค่าเท่ากับ 0.65 มิลลิเมตร และแถบมืดถัดไปจะอยู่ห่างจากแถบสว่างกลางเป็นระยะ 1.30 , 1.95 และ 2.60 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงในตาราง 2 คอลัมน์ที่ 479 , 559 , 639 และ 719 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแถบสว่างกลางจะกว้างเป็น 2 เท่าของแถบสว่างอื่นๆ และระยะห่างระหว่างเส้นทางที่แสงเลเซอร์เคลื่อนที่ถึงแถบมืด จะเป็น 1, 2, 3,... เท่าของความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์

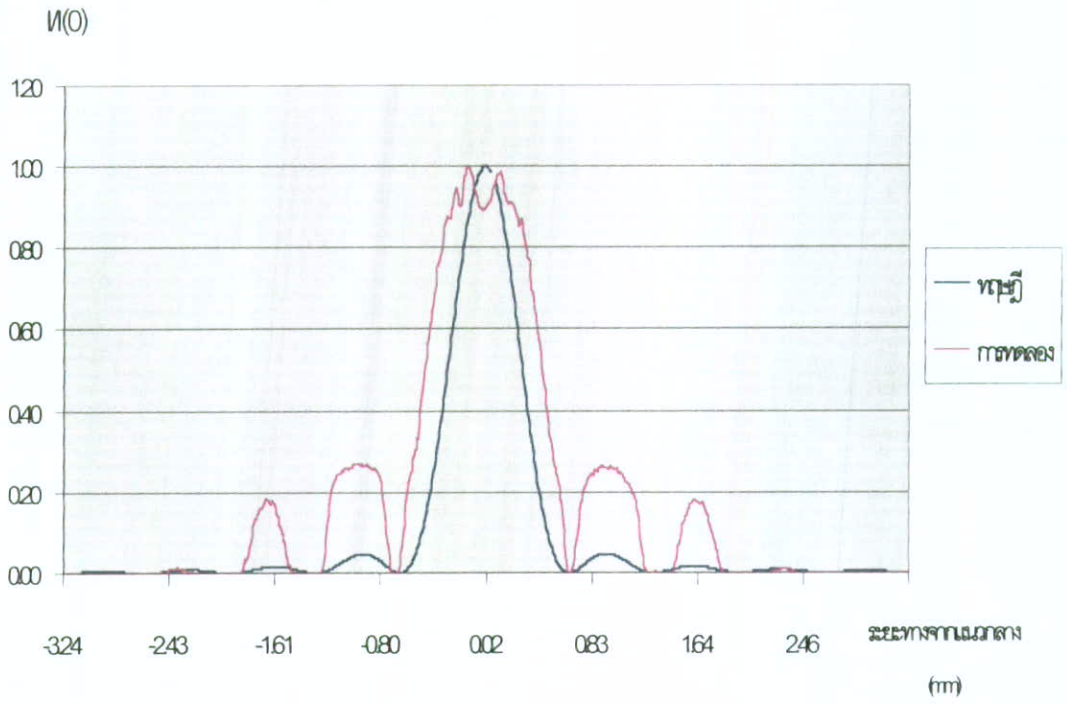
สำหรับผลการเปรียบเทียบความเข้มแสงที่วัดได้กับการคำนวณทางทฤษฎีพบว่า ตำแหน่งที่ทำให้เกิดเป็นแถบมืดและแถบสว่างจะตรงกัน แต่สัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ จะแตกต่างกัน



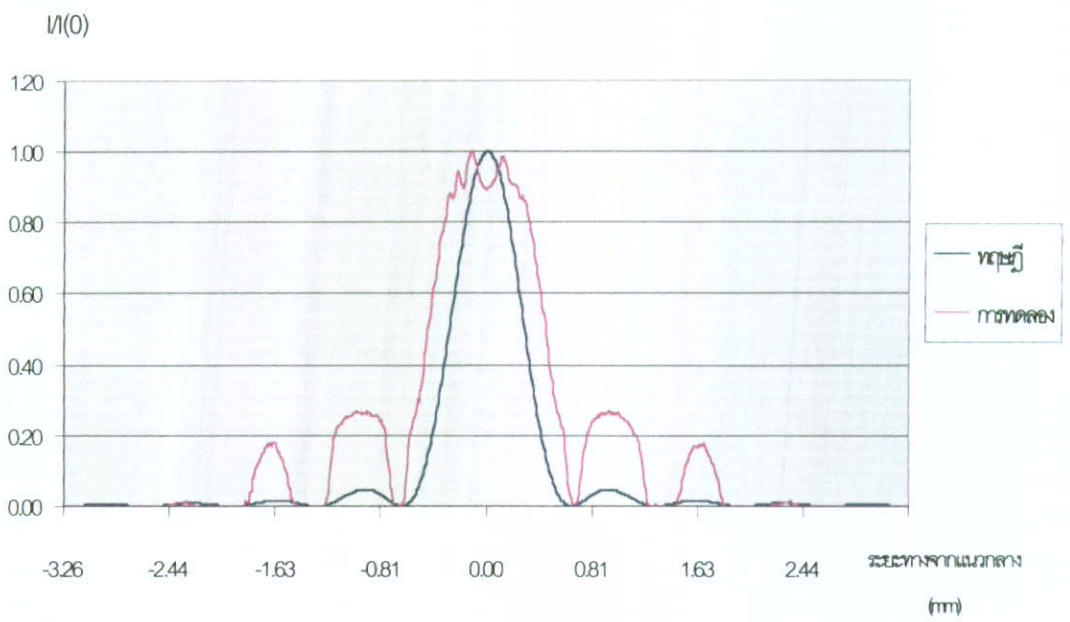
ภาพประกอบ 32 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 – 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 100 ไมโครเมตร



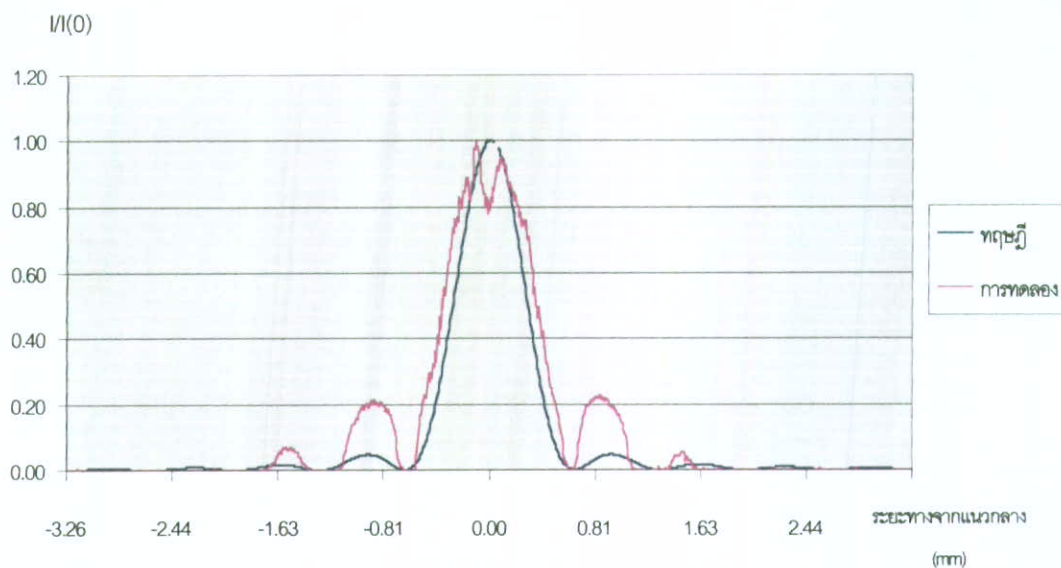
(a)



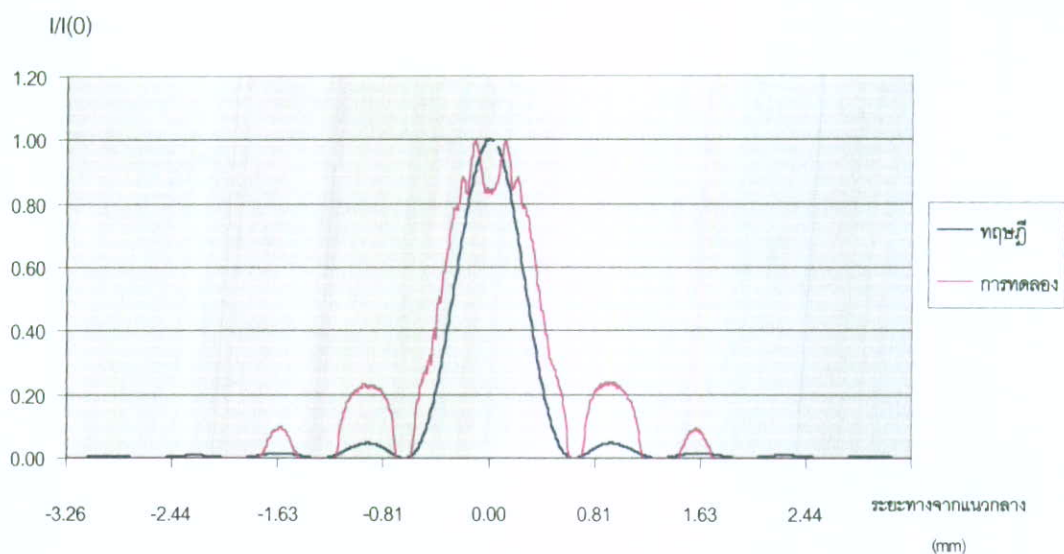
(b)



(c)



(d)



(e)

ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการเลี้ยวเบนของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 - 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 100 ไมโครเมตร โดยภาพ (a) - (e) เป็นกราฟที่ได้จากการวัดความเข้มแสงครั้งที่ 1 - 5 โดย — แสดงความเข้มแสงจากการคำนวณทางทฤษฎี และ — แสดงความเข้มแสงจากการทดลองที่วัดด้วยหัววัดซีซีดี

ตาราง 2 แสดงผลการวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

| เลขที่ คอลัมน์ | ระยะทาง (ฟีกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 317 | -82 | -0.67 | 0.00 | 0.00 |
| 319 | -80 | -0.65 | 0.00 | 0.02 |
| 321 | -78 | -0.63 | 0.00 | 0.07 |
| 323 | -76 | -0.62 | 0.00 | 0.12 |
| 325 | -74 | -0.60 | 0.01 | 0.20 |
| 327 | -72 | -0.59 | 0.01 | 0.23 |
| 329 | -70 | -0.57 | 0.02 | 0.25 |
| 331 | -68 | -0.55 | 0.03 | 0.29 |
| 333 | -66 | -0.54 | 0.04 | 0.33 |
| 335 | -64 | -0.52 | 0.06 | 0.35 |
| 337 | -62 | -0.50 | 0.07 | 0.40 |
| 339 | -60 | -0.49 | 0.09 | 0.47 |
| 341 | -58 | -0.47 | 0.12 | 0.53 |
| 343 | -56 | -0.46 | 0.14 | 0.57 |
| 345 | -54 | -0.44 | 0.17 | 0.61 |
| 347 | -52 | -0.42 | 0.19 | 0.66 |
| 349 | -50 | -0.41 | 0.23 | 0.72 |
| 351 | -48 | -0.39 | 0.26 | 0.74 |
| 353 | -46 | -0.37 | 0.29 | 0.79 |
| 355 | -44 | -0.36 | 0.33 | 0.83 |
| 357 | -42 | -0.34 | 0.37 | 0.83 |
| 359 | -40 | -0.33 | 0.41 | 0.85 |
| 361 | -38 | -0.31 | 0.45 | 0.88 |
| 363 | -36 | -0.29 | 0.49 | 0.91 |
| 365 | -34 | -0.28 | 0.53 | 0.91 |
| 367 | -32 | -0.26 | 0.58 | 0.91 |
| 369 | -30 | -0.24 | 0.62 | 0.94 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| เลขที่ คอลัมน์ | ระยะทาง (ฟีกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 371 | -28 | -0.23 | 0.66 | 0.99 |
| 373 | -26 | -0.21 | 0.70 | 0.97 |
| 375 | -24 | -0.20 | 0.74 | 0.94 |
| 377 | -22 | -0.18 | 0.78 | 0.94 |
| 379 | -20 | -0.16 | 0.81 | 0.99 |
| 381 | -18 | -0.15 | 0.85 | 1.01 |
| 383 | -16 | -0.13 | 0.88 | 1.02 |
| 385 | -14 | -0.11 | 0.90 | 1.02 |
| 387 | -12 | -0.10 | 0.93 | 1.00 |
| 389 | -10 | -0.08 | 0.95 | 0.98 |
| 391 | -8 | -0.07 | 0.97 | 0.96 |
| 393 | -6 | -0.05 | 0.98 | 0.95 |
| 395 | -4 | -0.03 | 0.99 | 0.94 |
| 397 | -2 | -0.02 | 1.00 | 0.94 |
| 399 | 0 | 0.00 | 1.00 | 0.94 |
| 401 | 2 | 0.02 | 1.00 | 0.94 |
| 403 | 4 | 0.03 | 0.99 | 0.94 |
| 405 | 6 | 0.05 | 0.98 | 0.94 |
| 407 | 8 | 0.07 | 0.97 | 0.96 |
| 409 | 10 | 0.08 | 0.95 | 0.99 |
| 411 | 12 | 0.10 | 0.93 | 1.00 |
| 413 | 14 | 0.11 | 0.90 | 1.00 |
| 415 | 16 | 0.13 | 0.88 | 0.99 |
| 417 | 18 | 0.15 | 0.85 | 0.98 |
| 419 | 20 | 0.16 | 0.81 | 0.96 |
| 421 | 22 | 0.18 | 0.78 | 0.94 |
| 423 | 24 | 0.20 | 0.74 | 0.95 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| เลขที่ คอลัมน์ | ระยะทาง (ฟีกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 425 | 26 | 0.21 | 0.70 | 0.95 |
| 427 | 28 | 0.23 | 0.66 | 0.94 |
| 429 | 30 | 0.24 | 0.62 | 0.92 |
| 431 | 32 | 0.26 | 0.58 | 0.90 |
| 433 | 34 | 0.28 | 0.53 | 0.89 |
| 435 | 36 | 0.29 | 0.49 | 0.89 |
| 437 | 38 | 0.31 | 0.45 | 0.87 |
| 439 | 40 | 0.33 | 0.41 | 0.84 |
| 441 | 42 | 0.34 | 0.37 | 0.83 |
| 443 | 44 | 0.36 | 0.33 | 0.80 |
| 445 | 46 | 0.37 | 0.29 | 0.75 |
| 447 | 48 | 0.39 | 0.26 | 0.73 |
| 449 | 50 | 0.41 | 0.23 | 0.69 |
| 451 | 52 | 0.42 | 0.19 | 0.64 |
| 453 | 54 | 0.44 | 0.17 | 0.60 |
| 455 | 56 | 0.46 | 0.14 | 0.56 |
| 457 | 58 | 0.47 | 0.12 | 0.52 |
| 459 | 60 | 0.49 | 0.09 | 0.45 |
| 461 | 62 | 0.50 | 0.07 | 0.41 |
| 463 | 64 | 0.52 | 0.06 | 0.36 |
| 465 | 66 | 0.54 | 0.04 | 0.32 |
| 467 | 68 | 0.55 | 0.03 | 0.29 |
| 469 | 70 | 0.57 | 0.02 | 0.25 |
| 471 | 72 | 0.59 | 0.01 | 0.22 |
| 473 | 74 | 0.60 | 0.01 | 0.20 |
| 475 | 76 | 0.62 | 0.00 | 0.14 |
| 477 | 78 | 0.63 | 0.00 | 0.07 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| เลขที่ คอถั่มน์ | ระยะทาง (ฟีกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|--------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 479 | 80 | 0.65 | 0.00 | 0.00 |
| 481 | 82 | 0.67 | 0.00 | 0.00 |
| 483 | 84 | 0.68 | 0.00 | 0.02 |
| 485 | 86 | 0.70 | 0.00 | 0.08 |
| 487 | 88 | 0.72 | 0.01 | 0.12 |
| 489 | 90 | 0.73 | 0.01 | 0.16 |
| 491 | 92 | 0.75 | 0.01 | 0.19 |
| 493 | 94 | 0.77 | 0.02 | 0.21 |
| 495 | 96 | 0.78 | 0.02 | 0.23 |
| 497 | 98 | 0.80 | 0.03 | 0.23 |
| 499 | 100 | 0.81 | 0.03 | 0.25 |
| 501 | 102 | 0.83 | 0.04 | 0.26 |
| 503 | 104 | 0.85 | 0.04 | 0.25 |
| 505 | 106 | 0.86 | 0.04 | 0.26 |
| 507 | 108 | 0.88 | 0.04 | 0.26 |
| 509 | 110 | 0.90 | 0.05 | 0.27 |
| 511 | 112 | 0.91 | 0.05 | 0.27 |
| 513 | 114 | 0.93 | 0.05 | 0.27 |
| 515 | 116 | 0.94 | 0.05 | 0.28 |
| 517 | 118 | 0.96 | 0.05 | 0.27 |
| 519 | 120 | 0.98 | 0.05 | 0.27 |
| 521 | 122 | 0.99 | 0.04 | 0.26 |
| 523 | 124 | 1.01 | 0.04 | 0.26 |
| 525 | 126 | 1.03 | 0.04 | 0.27 |
| 527 | 128 | 1.04 | 0.04 | 0.26 |
| 529 | 130 | 1.06 | 0.03 | 0.25 |
| 531 | 132 | 1.07 | 0.03 | 0.24 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| เลขที่ คอลัมน์ | ระยะทาง (ฟีกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 533 | 134 | 1.09 | 0.03 | 0.24 |
| 535 | 136 | 1.11 | 0.02 | 0.23 |
| 537 | 138 | 1.12 | 0.02 | 0.22 |
| 539 | 140 | 1.14 | 0.02 | 0.22 |
| 541 | 142 | 1.16 | 0.01 | 0.21 |
| 543 | 144 | 1.17 | 0.01 | 0.20 |
| 545 | 146 | 1.19 | 0.01 | 0.18 |
| 547 | 148 | 1.20 | 0.01 | 0.15 |
| 549 | 150 | 1.22 | 0.00 | 0.10 |
| 551 | 152 | 1.24 | 0.00 | 0.06 |
| 553 | 154 | 1.25 | 0.00 | 0.02 |
| 555 | 156 | 1.27 | 0.00 | 0.00 |
| 557 | 158 | 1.29 | 0.00 | 0.00 |
| 559 | 160 | 1.30 | 0.00 | 0.00 |
| 561 | 162 | 1.32 | 0.00 | 0.00 |
| 563 | 164 | 1.33 | 0.00 | 0.00 |
| 565 | 166 | 1.35 | 0.00 | 0.00 |
| 567 | 168 | 1.37 | 0.00 | 0.00 |
| 569 | 170 | 1.38 | 0.00 | 0.00 |
| 571 | 172 | 1.40 | 0.00 | 0.00 |
| 573 | 174 | 1.42 | 0.01 | 0.00 |
| 575 | 176 | 1.43 | 0.01 | 0.00 |
| 577 | 178 | 1.45 | 0.01 | 0.02 |
| 579 | 180 | 1.47 | 0.01 | 0.05 |
| 581 | 182 | 1.48 | 0.01 | 0.09 |
| 583 | 184 | 1.50 | 0.01 | 0.14 |
| 585 | 186 | 1.51 | 0.01 | 0.15 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| เลขที่ คอลัมน์ | ระยะทาง (ฟีกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 587 | 188 | 1.53 | 0.01 | 0.17 |
| 589 | 190 | 1.55 | 0.01 | 0.18 |
| 591 | 192 | 1.56 | 0.02 | 0.18 |
| 593 | 194 | 1.58 | 0.02 | 0.20 |
| 595 | 196 | 1.60 | 0.02 | 0.21 |
| 597 | 198 | 1.61 | 0.02 | 0.20 |
| 599 | 200 | 1.63 | 0.02 | 0.20 |
| 601 | 202 | 1.64 | 0.02 | 0.20 |
| 603 | 204 | 1.66 | 0.02 | 0.19 |
| 605 | 206 | 1.68 | 0.01 | 0.19 |
| 607 | 208 | 1.69 | 0.01 | 0.19 |
| 609 | 210 | 1.71 | 0.01 | 0.19 |
| 611 | 212 | 1.73 | 0.01 | 0.18 |
| 613 | 214 | 1.74 | 0.01 | 0.17 |
| 615 | 216 | 1.76 | 0.01 | 0.16 |
| 617 | 218 | 1.77 | 0.01 | 0.14 |
| 619 | 220 | 1.79 | 0.01 | 0.11 |
| 621 | 222 | 1.81 | 0.01 | 0.08 |
| 623 | 224 | 1.82 | 0.01 | 0.06 |
| 625 | 226 | 1.84 | 0.00 | 0.03 |
| 627 | 228 | 1.86 | 0.00 | 0.01 |
| 629 | 230 | 1.87 | 0.00 | 0.00 |
| 631 | 232 | 1.89 | 0.00 | 0.00 |
| 633 | 234 | 1.90 | 0.00 | 0.00 |
| 635 | 236 | 1.92 | 0.00 | 0.00 |
| 637 | 238 | 1.94 | 0.00 | 0.00 |
| 639 | 240 | 1.95 | 0.00 | 0.00 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| เลขที่ คอด้มน์ | ระยะทาง (พิกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 641 | 242 | 1.97 | 0.00 | 0.00 |
| 643 | 244 | 1.99 | 0.00 | 0.00 |
| 645 | 246 | 2.00 | 0.00 | 0.00 |
| 647 | 248 | 2.02 | 0.00 | 0.00 |
| 649 | 250 | 2.04 | 0.00 | 0.00 |
| 651 | 252 | 2.05 | 0.00 | 0.00 |
| 653 | 254 | 2.07 | 0.00 | 0.00 |
| 655 | 256 | 2.08 | 0.00 | 0.00 |
| 657 | 258 | 2.10 | 0.00 | 0.00 |
| 659 | 260 | 2.12 | 0.00 | 0.00 |
| 661 | 262 | 2.13 | 0.00 | 0.00 |
| 663 | 264 | 2.15 | 0.01 | 0.00 |
| 665 | 266 | 2.17 | 0.01 | 0.00 |
| 667 | 268 | 2.18 | 0.01 | 0.01 |
| 669 | 270 | 2.20 | 0.01 | 0.00 |
| 671 | 272 | 2.21 | 0.01 | 0.02 |
| 673 | 274 | 2.23 | 0.01 | 0.02 |
| 675 | 276 | 2.25 | 0.01 | 0.03 |
| 677 | 278 | 2.26 | 0.01 | 0.05 |
| 679 | 280 | 2.28 | 0.01 | 0.06 |
| 681 | 282 | 2.30 | 0.01 | 0.05 |
| 683 | 284 | 2.31 | 0.01 | 0.05 |
| 685 | 286 | 2.33 | 0.01 | 0.04 |
| 687 | 288 | 2.34 | 0.01 | 0.05 |
| 689 | 290 | 2.36 | 0.01 | 0.04 |
| 691 | 292 | 2.38 | 0.01 | 0.03 |
| 693 | 294 | 2.39 | 0.01 | 0.04 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| เลขที่ คอลัมน์ | ระยะทาง (พิกเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 695 | 296 | 2.41 | 0.01 | 0.02 |
| 697 | 298 | 2.43 | 0.00 | 0.01 |
| 699 | 300 | 2.44 | 0.00 | 0.00 |
| 701 | 302 | 2.46 | 0.00 | 0.00 |
| 703 | 304 | 2.47 | 0.00 | 0.00 |
| 705 | 306 | 2.49 | 0.00 | 0.00 |
| 707 | 308 | 2.51 | 0.00 | 0.00 |
| 709 | 310 | 2.52 | 0.00 | 0.00 |
| 711 | 312 | 2.54 | 0.00 | 0.00 |
| 713 | 314 | 2.56 | 0.00 | 0.00 |
| 714 | 315 | 2.56 | 0.00 | 0.00 |
| 715 | 316 | 2.57 | 0.00 | 0.00 |
| 717 | 318 | 2.59 | 0.00 | 0.00 |
| 719 | 320 | 2.60 | 0.00 | 0.00 |
| 721 | 322 | 2.62 | 0.00 | 0.00 |
| 723 | 324 | 2.64 | 0.00 | 0.00 |
| 725 | 326 | 2.65 | 0.00 | 0.00 |
| 727 | 328 | 2.67 | 0.00 | 0.00 |
| 729 | 330 | 2.69 | 0.00 | 0.00 |
| 731 | 332 | 2.70 | 0.00 | 0.00 |
| 733 | 334 | 2.72 | 0.00 | 0.00 |
| 735 | 336 | 2.74 | 0.00 | 0.00 |
| 737 | 338 | 2.75 | 0.00 | 0.00 |
| 739 | 340 | 2.77 | 0.00 | 0.00 |
| 741 | 342 | 2.78 | 0.00 | 0.00 |
| 743 | 344 | 2.80 | 0.00 | 0.00 |

การคำนวณความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการวัด

1. ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty) ของระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง (δ_x)

ความไม่แน่นอนของระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง มาจากความไม่แน่นอนของการวัด ความยาวโฟกัสของเลนส์ที่ใช้ในการทดลอง

ความยาวโฟกัสของเลนส์จะได้มาจากระยะที่เป็นครึ่งหนึ่งของความหนาของเลนส์บวกกับระยะห่างระหว่างเลนส์ถึงซีซีดี โดยระยะที่เป็นครึ่งหนึ่งของความหนาของเลนส์จะมีความไม่แน่นอนมาตรฐานเป็น $\delta_{\text{ความหนาของเลนส์}} / 2$ ส่วนระยะห่างระหว่างเลนส์ถึงซีซีดีจะมีความไม่แน่นอนมาตรฐานเป็น $\delta_{\text{เครื่องมือวัด}}$ ซึ่งค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของระยะทางที่ห่างจากแนวกลางจะหาได้จาก

$$\delta_x = (\delta_{\text{ความหนาของเลนส์}} / 2 + \delta_{\text{เครื่องมือวัด}}) \tan \theta_{\max}$$

$$\text{โดย } \tan \theta_{\max} = \frac{\text{ความกว้างของซีซีดี} / 2}{\text{ความยาวโฟกัสของเลนส์}} = \frac{3.256}{100} = 0.033$$

ค่าความหนาของเลนส์ที่วัดได้คือ 6.25 , 6.10 , 6.50 , 6.30 , 6.45 , 6.20 , 6.20 , 6.40 , 6.20 , 6.30 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.29 ± 0.040 มิลลิเมตร และมีค่า $\delta_{\text{ความหนาของเลนส์}} / 2$ เท่ากับ 0.020 มิลลิเมตร

เนื่องจากค่า $\delta_{\text{เครื่องมือวัด}}$ มีค่าเท่ากับ 0.05 มิลลิเมตร ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของระยะทางที่ห่างจากแนวกลางคือ 0.0023 มิลลิเมตร

2. ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

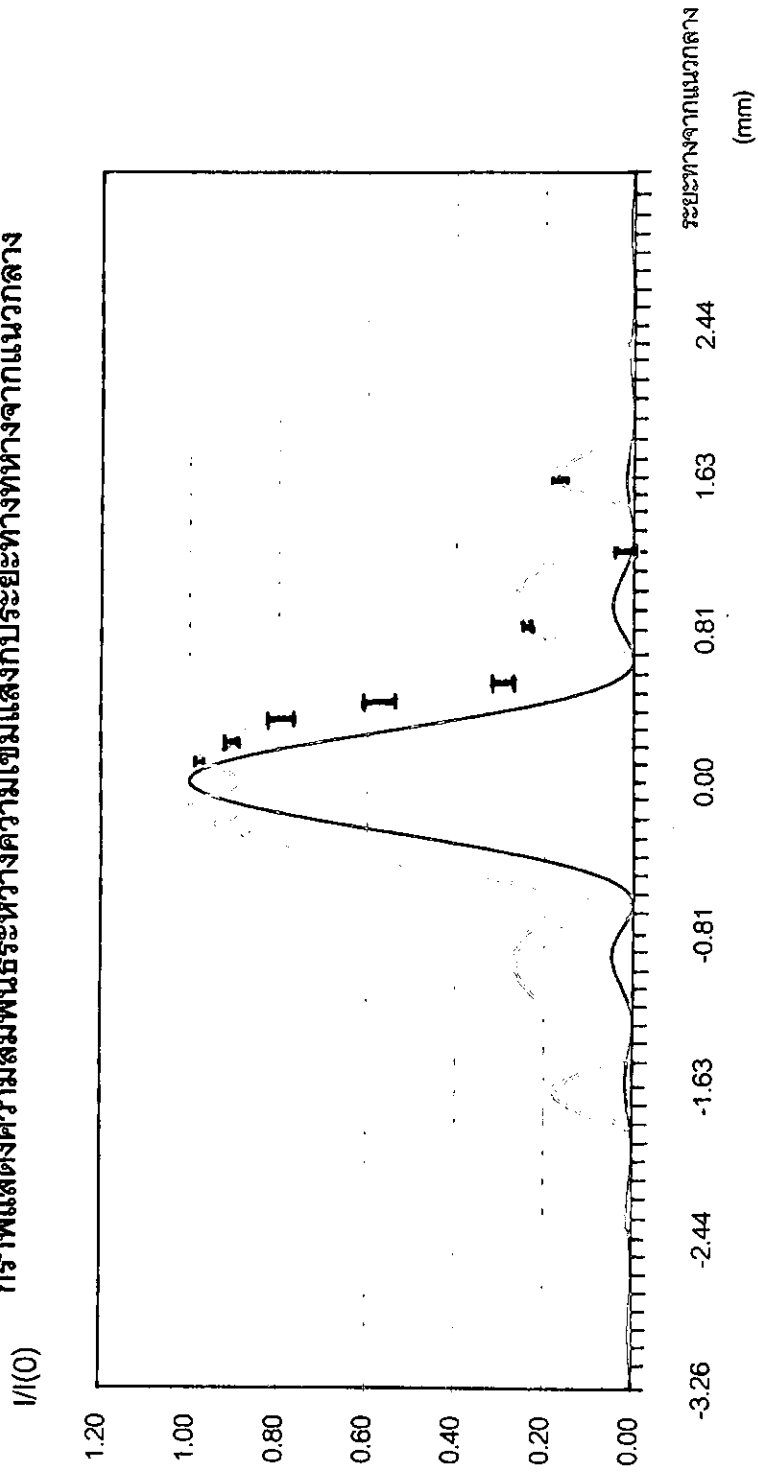
ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ หาได้จากการนำค่าสัดส่วน $\frac{I}{I_0}$ ที่ห่างจากแนวกลางในระยะที่กำหนดทั้งซ้ายและขวาจากภาพการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว 5 ภาพมาคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน ซึ่งค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ แสดงดังตาราง 3 และแสดงในภาพประกอบ 34

ตาราง 3 ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

| ระยะทางที่ ห่างจากแนวกลาง (มิลลิเมตร) | ค่า $\frac{I}{I_0}$ ที่วัดได้ | ค่าเฉลี่ย | ความไม่แน่นอนมาตรฐาน ของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ |
|---|--|-----------|---|
| 0.1 | 1.00 , 0.98 , 0.97 , 0.98 , 0.98 , 1.00 , 0.97 , 0.98 , 0.98 , 0.98 , 0.94 | 0.978 | 0.0053 |
| 0.2 | 0.95 , 0.91 , 0.90 , 0.87 , 0.87 , 0.87 , 0.95 , 0.91 , 0.91 , 0.87 , 0.82 | 0.896 | 0.013 |
| 0.3 | 0.90 , 0.87 , 0.87 , 0.72 , 0.67 , 0.88 , 0.85 , 0.83 , 0.74 , 0.66 | 0.799 | 0.029 |
| 0.4 | 0.73 , 0.64 , 0.66 , 0.49 , 0.38 , 0.71 , 0.64 , 0.61 , 0.46 , 0.41 | 0.573 | 0.040 |
| 0.5 | 0.43 , 0.35 , 0.39 , 0.27 , 0.23 , 0.42 , 0.36 , 0.34 , 0.28 , 0.21 | 0.328 | 0.024 |
| 0.8 | 0.25 , 0.23 , 0.23 , 0.23 , 0.22 , 0.23 , 0.19 , 0.20 , 0.19 , 0.22 | 0.219 | 0.0062 |
| 1.2 | 0.20 , 0.16 , 0.12 , 0.11 , 0.14 , 0.09 , 0.00 , 0.00 , 0.00 , 0.00 | 0.082 | 0.024 |
| 1.6 | 0.20 , 0.21 , 0.15 , 0.17 , 0.15 , 0.18 , 0.10 , 0.09 , 0.06 , 0.00 | 0.131 | 0.021 |

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว มีค่าอยู่ในช่วง 0.0053 - 0.040

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง



ภาพประกอบ 34 แสดงค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ I/I_0 ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

ผลการวัดความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ด้วยหัววัดซีซีดี

รูปแบบการแทรกสอดของแสง

จากการศึกษาการแทรกสอดของแสง โดยให้แสงเลเซอร์จากไดโอดเลเซอร์ซึ่งมีความยาวคลื่น 630 - 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องของสลิต 250 ไมโครเมตร ความกว้างของช่องของสลิต 100 ไมโครเมตร จะเกิดการแทรกสอดของแสงเป็นแถบสว่างและแถบมืดขึ้น และเมื่อสังเกตจากภาพการแทรกสอดพบว่า จะเกิดแถบสว่างในอันดับที่ 0 , 1 , 2 , 4 และ 5 ส่วนแถบสว่างในอันดับที่ 3 จะหายไป แสดงดังภาพประกอบ 35

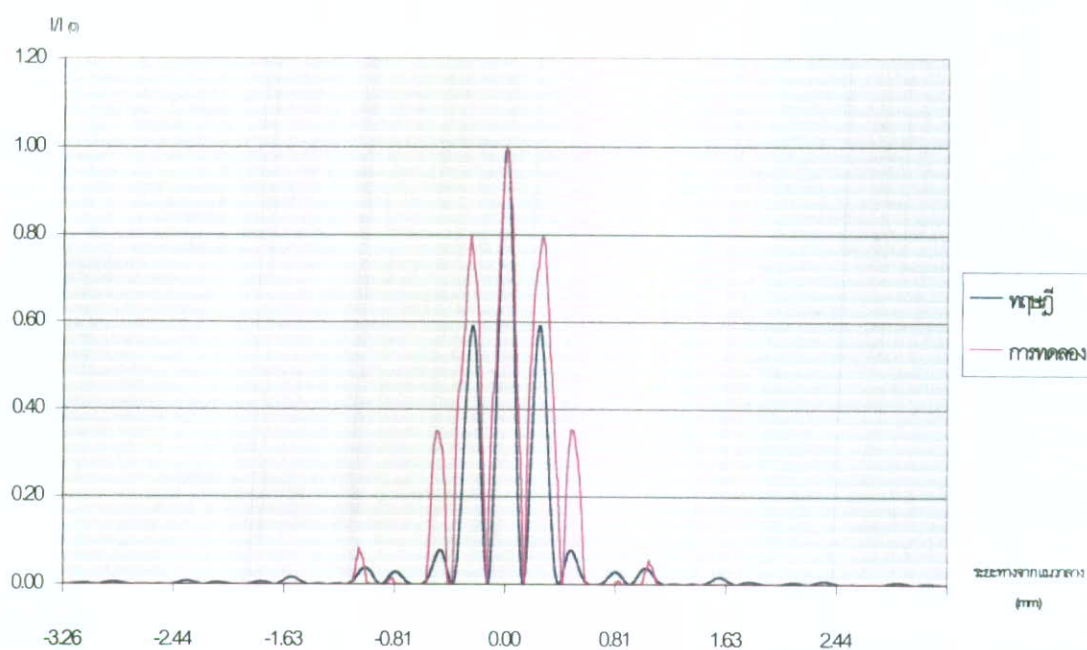
ความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสง

จากการศึกษาความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงเลเซอร์ที่วัดด้วยหัววัดซีซีดี พบว่าที่แถบสว่างกลางมีความเข้มแสงมากที่สุด ที่แถบสว่างถัดไปความเข้มจะน้อยลงลดหลั่นกันไปตามลำดับ และในช่วงที่น่าจะเกิดเป็นแถบสว่างในอันดับที่ 3 ค่าความเข้มแสงกลับเป็นศูนย์ แสดงดังภาพประกอบ 36 และ ตาราง 4 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงมาจากความเข้มรวมระหว่างความเข้มแสงจากการแทรกสอดกับความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบน เพราะถ้าตำแหน่งซึ่งมีความเข้มสูงสุดจากการแทรกสอดตรงกับตำแหน่งที่มีความเข้มต่ำสุดจากการเลี้ยวเบน แถบสว่างจากการแทรกสอดในอันดับนั้นจะหายไป ซึ่งอันดับของแถบสว่างที่หายไปหาได้จาก สมการ (33)

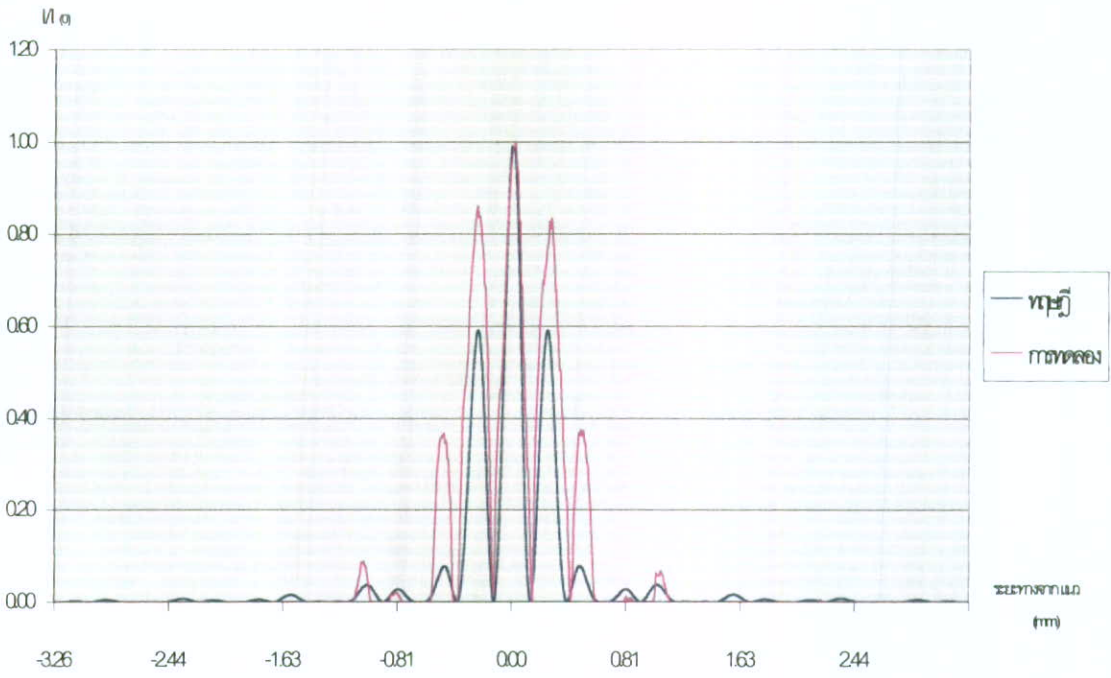
สำหรับผลการเปรียบเทียบความเข้มแสงที่วัดได้จากหัววัดซีซีดีกับการคำนวณทางทฤษฎี พบว่า ตำแหน่งที่ทำให้เกิดเป็นแถบมืดและแถบสว่างจะตรงกัน แต่สัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ จะแตกต่างกัน



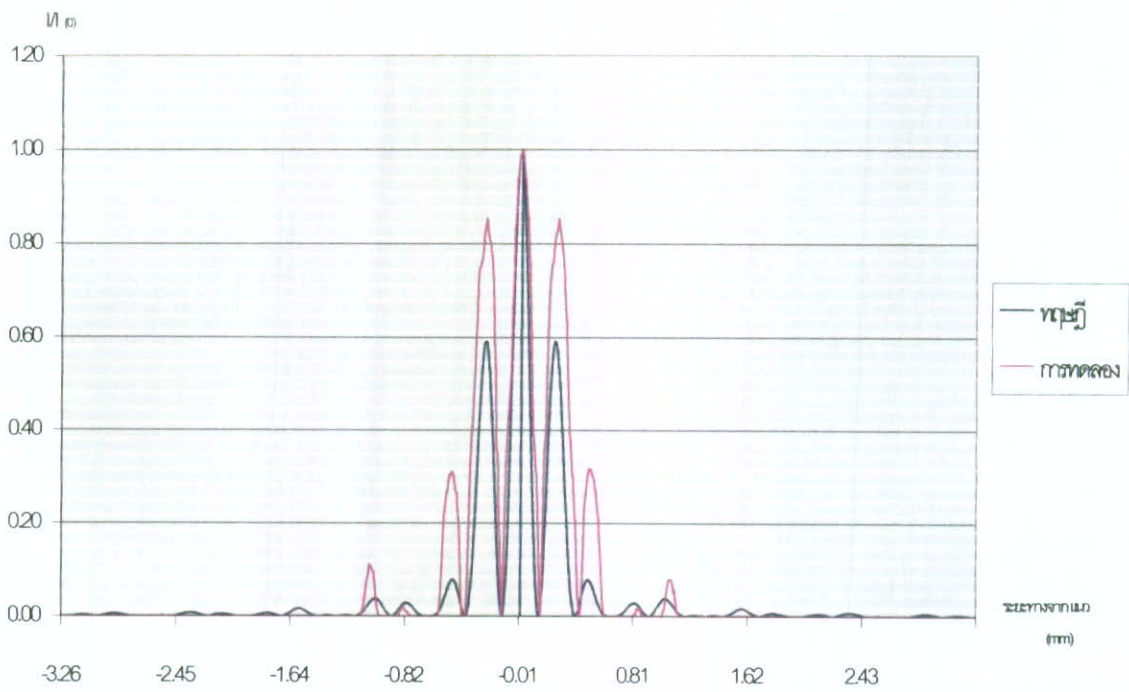
ภาพประกอบ 35 แสดงรูปแบบการแทรกสอดของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 – 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องของสลิต 250 ไมโครเมตร และมี ความกว้างของช่องของสลิต 100 ไมโครเมตร



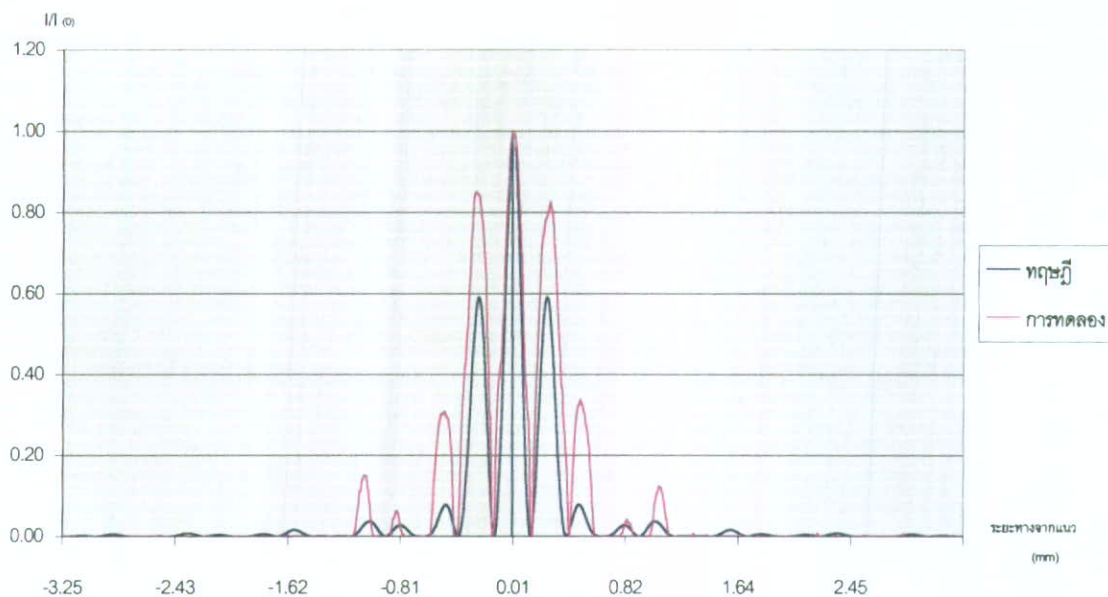
(a)



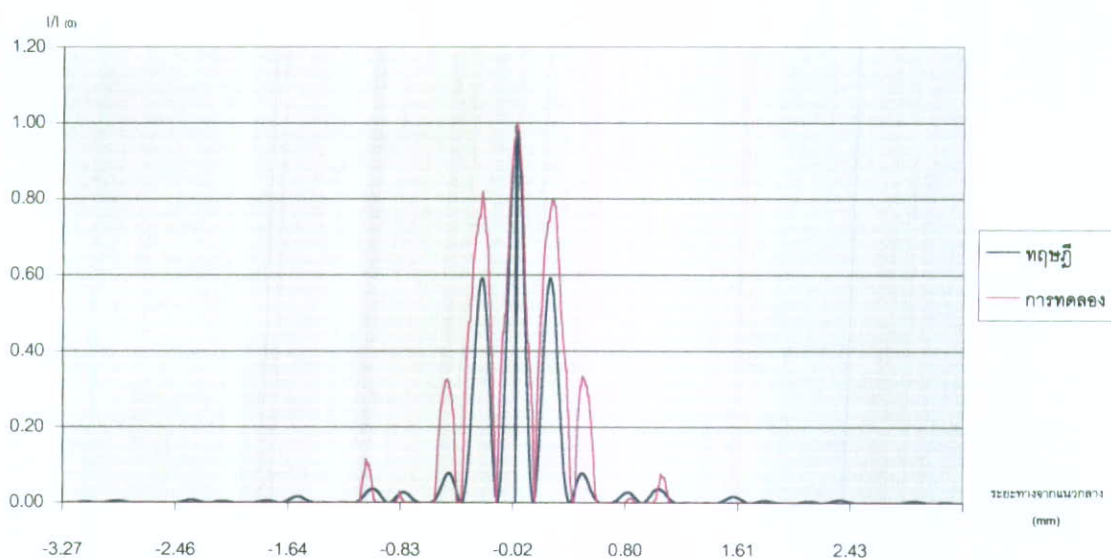
(b)



(c)



(d)



(e)

ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางของการแทรกสอดของแสงจากไดโอดเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 630 - 680 นาโนเมตร ตกผ่านตั้งฉากกับระนาบของสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องของสลิต 250 ไมโครเมตร และมีความกว้างของช่องของสลิต 100 ไมโครเมตร โดยภาพ (a) - (e) เป็นกราฟจากการวัดความเข้มแสงครั้งที่ 1 - 5 โดย — แสดงความเข้มแสงจากการคำนวณทางทฤษฎี และ — แสดงความเข้มแสงจากการทดลองที่วัดได้จากหัววัดซีซีดี

ตาราง 4 แสดงผลการวัดความเข้มแสงของแถบสว่างอันดับที่ 3 ที่หายไป ทำให้ความเข้มแสงเป็นศูนย์

| เลขที่ คอลัมน์ | ระยะทาง (พิคเซล) | ระยะทาง (มิลลิเมตร) | ความเข้มแสง จากทฤษฎี | ความเข้มแสง จากการทดลอง |
|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 470 | 70 | 0.57 | 0.02 | 0.09 |
| 471 | 71 | 0.58 | 0.01 | 0.04 |
| 472 | 72 | 0.59 | 0.01 | 0.01 |
| 473 | 73 | 0.59 | 0.00 | 0.00 |
| 474 | 74 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| 475 | 75 | 0.61 | 0.00 | 0.00 |
| 476 | 76 | 0.62 | 0.00 | 0.00 |
| 477 | 77 | 0.63 | 0.00 | 0.00 |
| 478 | 78 | 0.63 | 0.00 | 0.00 |
| 479 | 79 | 0.64 | 0.00 | 0.00 |
| 480 | 80 | 0.65 | 0.00 | 0.00 |
| 481 | 81 | 0.66 | 0.00 | 0.00 |
| 482 | 82 | 0.67 | 0.00 | 0.00 |
| 483 | 83 | 0.68 | 0.00 | 0.00 |
| 484 | 84 | 0.68 | 0.00 | 0.00 |
| 485 | 85 | 0.69 | 0.00 | 0.00 |
| 486 | 86 | 0.70 | 0.00 | 0.00 |
| 487 | 87 | 0.71 | 0.00 | 0.00 |
| 488 | 88 | 0.72 | 0.00 | 0.00 |
| 489 | 89 | 0.72 | 0.00 | 0.00 |
| 490 | 90 | 0.73 | 0.01 | 0.00 |

การคำนวณความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการวัด

1. ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty) ของระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง (δ_x)

ได้ผลเช่นเดียวกับสลิตเดี่ยว

2. ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

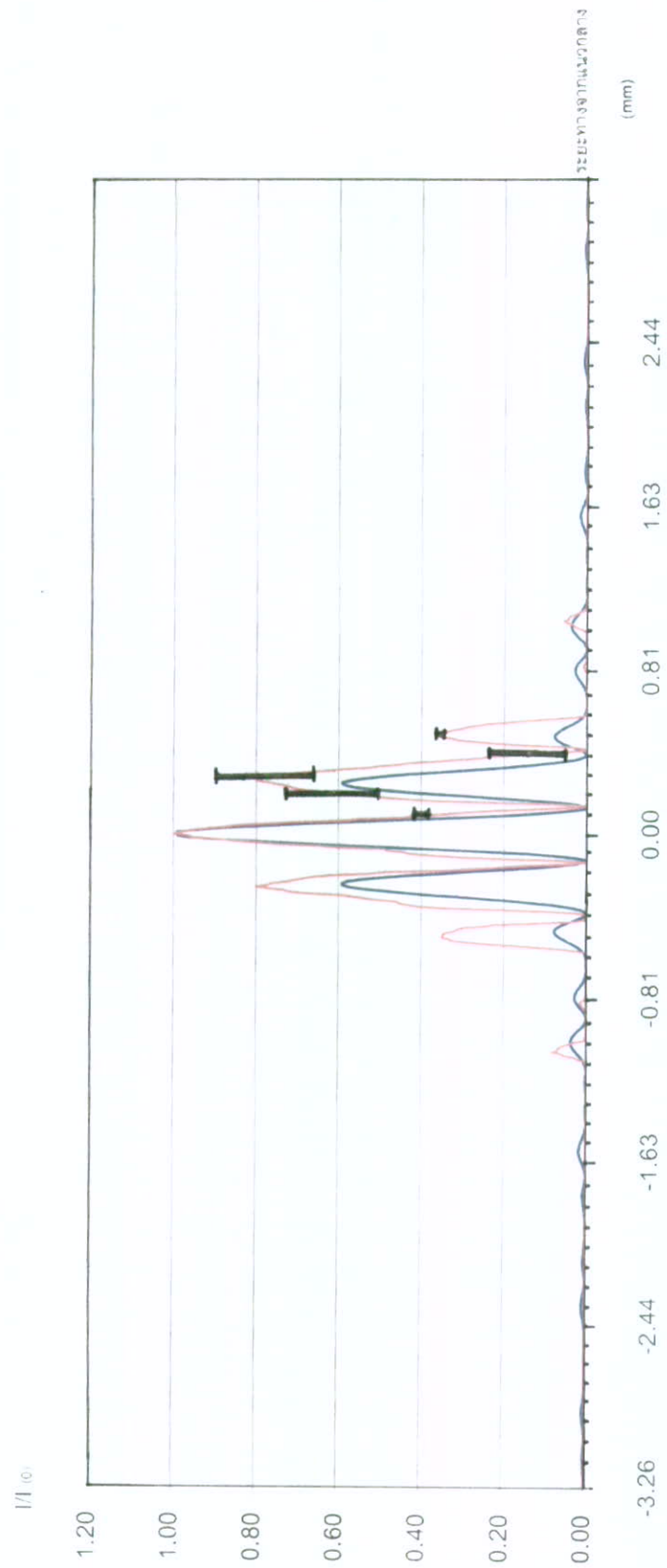
ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ หาได้จากการนำค่าสัดส่วน $\frac{I}{I_0}$ ที่ห่างจากแนวกลางในระยะที่กำหนดทั้งซ้ายและขวาจากภาพการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ 5 ภาพมาคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน ซึ่งค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ แสดงดังตาราง 5 และแสดงในภาพประกอบ 37

ตาราง 5 ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

| ระยะทางที่ ห่างจากแนวกลาง (มิลลิเมตร) | ค่า $\frac{I}{I_0}$ ที่วัดได้ | ค่าเฉลี่ย | ความไม่แน่นอนมาตรฐาน ของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ |
|---|--|-----------|---|
| 0.1 | 0.43, 0.42, 0.38, 0.44, 0.39, 0.34, 0.39, 0.38, 0.37, 0.37 | 0.391 | 0.023 |
| 0.2 | 0.61, 0.68, 0.70, 0.66, 0.68, 0.61, 0.63, 0.68, 0.60, 0.70 | 0.655 | 0.11 |
| 0.3 | 0.59, 0.68, 0.73, 0.66, 0.73, 0.69, 0.69, 0.77, 0.68, 0.71 | 0.693 | 0.12 |
| 0.4 | 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 0.11, 0.14, 0.13, 0.05, 0.09 | 0.052 | 0.095 |
| 0.5 | 0.35, 0.36, 0.30, 0.33, 0.31, 0.34, 0.36, 0.31, 0.31, 0.33 | 0.330 | 0.0070 |

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ มีค่าอยู่ในช่วง 0.0070 - 0.12

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง

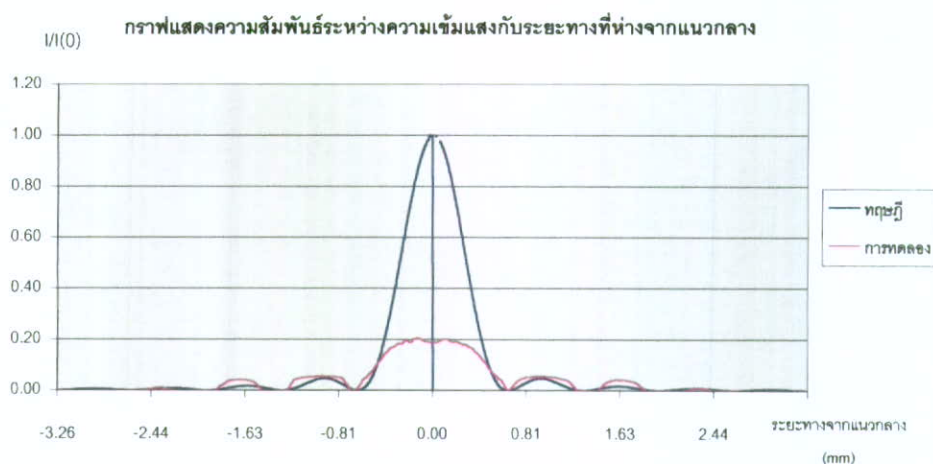


ภาพประกอบ 37 แสดงความไม่แน่นอนมาตรฐานของสัดส่วนของ I/I_0 ของการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

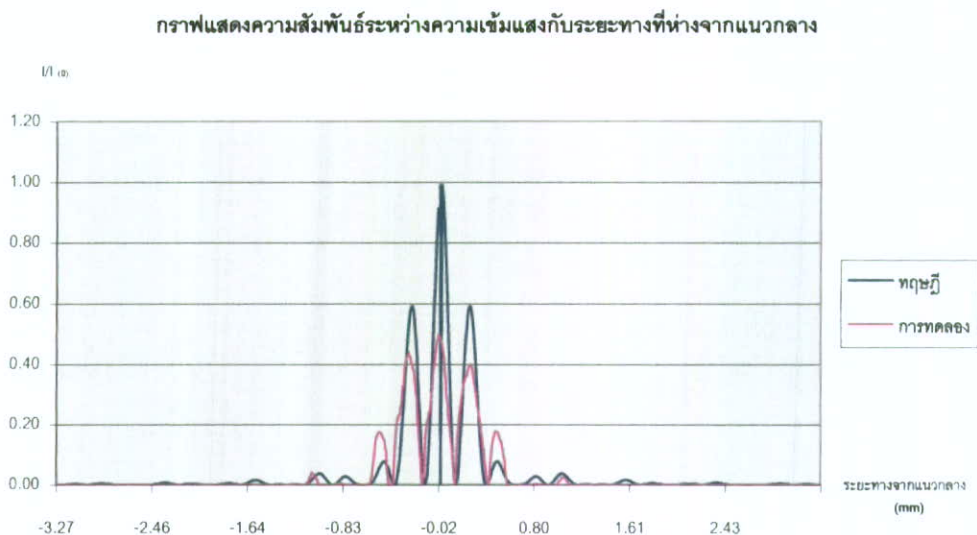
สรุปผลการทดลอง

เมื่อใช้หัววัดซีซีทีวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบน และการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยวและสลิตคู่ แล้วแสดงผลของการวัดในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง พบว่า ตำแหน่งของการเกิดแถบสว่างและแถบมืดตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี แต่สัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ มีค่าไม่เท่ากับผลการคำนวณทางทฤษฎี คือกราฟที่แสดงค่าความเข้มแสงดังกล่าวช่วงตรงกลางจะมีค่าตรงกันและมีค่าสูงสุดเป็น 1 ส่วนช่วงที่ห่างจากแนวกลางออกไปคือช่วงปลายๆ สัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ จะสูงกว่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี

ในทางกลับกันถ้าเราเขียนกราฟที่แสดงค่าความเข้มแสงใหม่โดยเพิ่มค่าของ I_0 ให้มากขึ้นจนทำให้กราฟในช่วงปลายมีสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี จะพบว่าสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ในช่วงตรงกลางจะต่ำกว่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี แสดงดังภาพประกอบ 38 และ 39



ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลางจากการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว โดยเพิ่มค่า I_0 ให้มากขึ้นจนทำให้กราฟช่วงปลายมีสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี



ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง จากการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่โดยเพิ่มค่าของ I_0 ให้มากขึ้นจนทำให้กราฟในช่วงปลายมีสัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ตรงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น สิ่งที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความเข้มแสงน่าจะมาจากค่าของ I_0 ที่น้อยกว่าความเป็นจริง และสิ่งที่ทำให้ค่าของ I_0 น้อยกว่าความเป็นจริงน่าจะเป็นตัวโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของกล้องคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการถ่ายภาพ คือ โปรแกรมของกล้องจะอ่านค่าความเข้มแสงได้มากที่สุดค่าหนึ่ง ถ้าแสงมีความเข้มมากกว่านี้ก็จะอ่านค่าได้เท่ากับค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่านั้น จึงทำให้วัดความเข้มแสงจากภาพที่แสดงทางจอภาพได้ลดลงไป อันเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สัดส่วนของ $\frac{I}{I_0}$ ไม่ตรงกันกับที่คำนวณได้จากทฤษฎี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ห้ววัดซีซีดีวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงเลเซอร์ผ่านสลิตเดี่ยวและสลิตคู่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. เขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าความเข้มแสง โดยใช้โปรแกรมคำสั่งจากวิซวลเบสิก
2. ถ่ายภาพการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสง ด้วยกล้องคอมพิวเตอร์ซึ่งมีซีซีดีเป็นตัวตรวจจับแสง
3. ส่งค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จากโปรแกรมวัดความเข้มแสงไปยังโปรแกรม Microsoft Excel แล้วทำการแสดงผลการวัดในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางที่ห่างจากแนวกลาง
4. ตรวจสอบความถูกต้องและน่าเชื่อถือของห้ววัดซีซีดี โดยนำผลที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎี ผลการวิจัยพบว่า ตำแหน่งของการเกิดแถบมืดและแถบสว่างตรงกับทฤษฎี แต่ค่าของความเข้มแสงจะแตกต่างจากทฤษฎี และเมื่อทำการหาความไม่แน่นอนมาตรฐานของความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนของแสง พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.0053 - 0.040 และความไม่แน่นอนมาตรฐานของความเข้มแสงจากการแทรกสอดของแสงมีค่าอยู่ในช่วง 0.0070 - 0.12 สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของระยะทางที่ห่างจากแนวกลางมีค่าเท่ากับ 0.0023 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการใช้ห้ววัดซีซีดีวัดความเข้มแสงจากการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยวและสลิตคู่ พบว่า ผลการวัดยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่รูปแบบของการเลี้ยวเบนและรูปแบบของการแทรกสอดของแสงสอดคล้องกับทฤษฎี ดังนั้น จากผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยคิดว่า ห้ววัดซีซีดีมีประสิทธิภาพสูงเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการวัดความเข้มแสงได้ ซึ่งห้ววัดซีซีดีนี้จะหาซื้อได้ง่ายเพราะปัจจุบันกล้องคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาจนทำให้มีความสามารถมากมายไม่ว่าจะเป็นการถ่ายภาพธรรมดา หรือนำไปใช้เพื่อการติดต่อสื่อสารกันจึงทำให้ได้รับความนิยมอย่างสูง เป็นผลทำให้มันมีราคาถูก สามารถที่จะซื้อมาใช้สำหรับการเรียนการสอนปฏิบัติการฟิสิกส์ในเรื่องเกี่ยวกับทัศนศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาและระดับอุดมศึกษาได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าต้องการความรวดเร็วในการส่งค่าความเข้มแสงที่วัดได้ไปยังโปรแกรม Microsoft Excel ควรเขียนคำสั่งในโปรแกรมวัดความเข้มแสงให้มีการส่งค่าคอลัมน์เว้นคอลัมน์
2. ในงานวิจัยครั้งต่อไป อาจนำหัววัดซีซีดีนี้ไปใช้ศึกษาการเลี้ยวเบนหรือการแทรกสอดของแสงในกรณีอื่นๆ ที่เราทราบรูปแบบการเลี้ยวเบนหรือการแทรกสอดนั้นๆ โดยมีสิ่งที่ต้องทำเพิ่มอีกเล็กน้อยคือการใส่สมการที่ใช้ในการคำนวณทางทฤษฎีในช่อง “ความเข้มแสงจากทฤษฎี” ในตารางบันทึกผล (ตารางสำเร็จรูป) ให้ตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนหรือการแทรกสอดที่เราต้องการทราบค่าความเข้มแสงนั้น เพื่อเตรียมไว้สำหรับการเก็บข้อมูลและการแสดงผลของการวัดในลำดับต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กิตติ ภัคดีวัฒนกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. (2542). *Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์*.
กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการพิมพ์.
- กองบรรณาธิการ. (2545,มิถุนายน). "x 3 : สุดยอดเทคโนโลยีความคมชัดในกล้องดิจิทัล,"
Computer Review. 18(238) : 51-53.
- ฉันทวุฒิ พีชผล และ พิชิต สันติกุลานนท์. (2542). *คู่มือเรียน Visual Basic 6*. กรุงเทพฯ :
โปรวิชั่น.
- ทศพร พันภัยพาล และ นพพร พัฒนสุวรรณ. (2540). *การรู้จำตัวอักษรพิมพ์ภาษาอังกฤษบน
สัณหนังสือด้วยกล้อง CCD*. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง.
- ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2541). *ฟิสิกส์ 2 เล่ม 2*.
กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สมพงษ์ ใจดี. (2542). *ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 4*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- สุชิน ประสงค์บัณฑิต. (2544). *การแปลงข้อมูลเข้ารหัสจากแอมป์ภาพซีซีดี (CCD RAW) เพื่อ
ปรับให้เหมือนภาพจากฟิล์ม*. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Abramowitz, M. & Davidson, M.W. (2000,June). "Anatomy of a Charge – Coupled
Device," (Online) : 1-6. Available : [http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photo.../
ccdanatomy.html](http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photo.../ccdanatomy.html).
- _____ (2000,June 30). "CCD Blooming," (Online) : 1 - 4. Available : [http://micro.
magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concept/blooming.html](http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concept/blooming.html).
- _____ (2000,June 30). "Frame – Transfer CCD Architecture," (Online) : 1 – 4.
Available : [http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concepts/
Frametransfer.html](http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concepts/Frametransfer.html).
- _____ (2000,June 30). "Pixel Binning," (Online) : 1 – 4. Available : [http://micro.
Magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concepts/binning.html](http://micro.Magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concepts/binning.html).
- _____ (2000,June 30). "Three Phase CCD Clock," (Online) : 1 – 3. Available :
[http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concepts/threephase.
html](http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concepts/threephase.html).
- Bellis, M. (2000,November) "Inventors of Charge – Couple Device," (Online) : 1 – 5.
Available : <http://inventors.about.com/library/inv.../blccd.html>.

- Bunzel, M.J. & Morris S.K. (1994). *Multimedia Applications Development, Using Indeo Video and DVI Technology*. U.S.A. : McGrawHill, Inc.
- Craig, J.C. & Webb J. (1998). *Microsoft Visual Basic 6.0 Developer's Workshop*. U.S.A. : Microsoft Press.
- Pedrotti, Frank L. & Pedrotti, Leno S. (1993). *Introduction to optics.2nd*. U.S.A. : Prentice-Hall, Inc.
- Izarra, C.D. & Vallee, O. (1994, April). "On the use of linear CCD image sensors in Optics experiments," in *American Journal of Physics*. 62 (4) : 357 –361
- Halliday, D. (1998). *Fundamental of Physics 2nd*. U.S.A. : John Wiley & Son, Inc.
- Lengacher, C. & others. (1998, November). "Low cost CCD detectors for spectroscopy," in *American Journal of Physics*. (66): 1025-1028
- Pinto, F. (1995). "CCDs in the Mechanics Lab – A Competitive Alternative?," in *The Physics Teacher*. (33) : 436 - 441
- Sears, F.W. & Zemansky, M.W. (1971). *University Physics. 4th*. London: Addison – Wesley Publishing.
- Sears, F.W.; Zemansky, M.W. & Young, H.B. (1976). *University Physics 5th*. London: Addison-Wesley Publishing.
- Spring, K.S. & Davidson, M.W. (2000, July). "Dynamic Range," (Online) : 1 – 8.
Available : <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/concept/dynamicrange.html>.

ภาคผนวก

โปรแกรมคำสั่งที่ใช้ในงานวิจัย

โปรแกรมวัดความเข้มแสงมีทั้งหมด 6 ฟอรัม คือ

1. ฟอรัมโปรแกรมวัดความเข้มแสง
2. ฟอรัมแสดงกราฟ
3. ฟอรัมตารางบันทึกผล
4. ฟอรัมแสดงค่าผิดพลาดเมื่อความเข้มของสีแดงเท่ากับหรือมากกว่า 250
5. ฟอรัมแสดงค่าผิดพลาดเมื่อความเข้มของสีเขียวเท่ากับหรือมากกว่า 250
6. ฟอรัมแสดงค่าผิดพลาดเมื่อความเข้มของสีน้ำเงินเท่ากับหรือมากกว่า 250

ฟอรัมโปรแกรมวัดความเข้มแสงประกอบด้วยชุดคำสั่งดังนี้

Option Explicit

Private Sub Command1_Click()

| | | |
|-----------------|------------|-------------------------------------|
| Dim Sum | As Long | ' ประกาศตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผลใน |
| Dim y | As Integer | ' โปรแกรม |
| Dim GetRGBcolor | As Long | |
| Dim R | As Integer | |
| Dim G | As Integer | |
| Dim B | As Integer | |
| Dim Grayscale | As Integer | |

For x = 0 To 799

Sum = 0

For y = 0 To 599

GetRGBcolor = Picture1.Point(x, y) ' อ่านค่ารหัสสี RGB ที่จุด (x,y)

R = GetRGBcolor Mod 256 ' สีแดงมีค่าเท่ากับค่ารหัสสีหารด้วย

' 256 แล้วเอาแต่เศษเหลือ

If R >= 250 Then ' ให้แสดงฟอรัมแสดงค่าผิดพลาดเมื่อ

' ความเข้มของสีแดงเท่ากับหรือมากกว่า 250

Form4.Show

Exit Sub

End If

```

    G = (GetRGBcolor \ 256) Mod 256 ' สีเขียวมีค่าเท่ากับค่ารหัสสีหารด้วย
                                     ' 256 โดยไม่เอาเศษแล้วหารด้วย256
                                     ' เอาแต่เศษเหลือ

    If G >= 250 Then
        Form5.Show
        Exit Sub
    End If

    B = GetRGBcolor \ 65536          ' สีน้ำเงินมีค่าเท่ากับค่ารหัสสีหาร
                                     ' ด้วย 65536 โดยไม่เอาเศษเหลือ

    If B >= 250 Then
        Form6.Show
        Exit Sub
    End If

    Grayscale = (R + G + B) / 3      ' ระดับสีเทามีค่าเท่ากับค่าของผลรวม
                                     ' ของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินหาร
                                     ' ด้วย 3

    Sum = Sum + Grayscale           ' รวมค่าระดับสีเทาในแต่ละคอลัมน์

    Next y
    intensity(x) = Sum              ' เก็บค่าความเข้มแสงไว้ในตัวแปรชื่อ
                                     ' intensity(x)

    Next x
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    Print "Width of Image="; Picture1.ScaleWidth ' แสดงความกว้างของภาพ
    Print "Height of Image="; Picture1.ScaleHeight ' แสดงความสูงของภาพ
End Sub

Private Sub Command3_Click()
    End                               ' ออกจากโปรแกรมวัดความเข้มแสง
End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
    form2.Show
    Call line_form2
    For x = 0 To 799
        form2.Line (199 + (x / 2), 500 - (intensity(x) / 15))-(199 + ((x + 1) / 2), _
            500 - (intensity(x + 1) / 15)), vbBlue ' แสดงกราฟจากค่าความเข้มแสงที่
            ' เก็บไว้ใน intensity(x)
    Next x
End Sub

Private Sub Command5_Click()
    CommonDialog1.ShowOpen
    Picture1.Picture = LoadPicture(CommonDialog1.FileName) ' ให้แสดงภาพการแทรกสอด
    ' หรือการเลี้ยวเบนของแสง
End Sub

Private Sub Command6_Click()
    Form3.Show ' แสดงตารางบันทึกผลการทดลอง
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Form1.ScaleMode = vbPixels
    Form1.Show ' แสดงโปรแกรมวัดความเข้มแสง
End Sub

Private Sub Picture1_DbClick()
    Picture1.ScaleMode = vbPixels ' กำหนดให้ภาพที่แสดงนั้นมีหน่วยวัดเป็นเป็นพิกเซล
End Sub

```



```

Private Sub Command2_Click()
    Dim i As Integer
    Dim n As Integer
    On Error Resume Next
        Set objExcel = GetObject(, "Excel.Application")
    If Err.Number Then
        Err.Clear
        Set objExcel = CreateObject("Excel.Application")
        If Err.Number Then
            MsgBox "Can't open Excel."
        End If
    End If
    objExcel.Visible = True
    Set objWorkbook = objExcel.Workbooks.Add
    For i = 0 To 800
        MSFlexGrid1.Row = i
        For n = 1 To 5
            MSFlexGrid1.Col = n
            objWorkbook.ActiveSheet.Cells(i + 1, n + 1).Value = MSFlexGrid1.Text
            ' ส่งค่าที่บันทึกไว้ในตารางบันทึกผลไปยัง Workbook ของ Microsoft Excel
        Next n
    Next i
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Dim i As Integer
    Dim n As Integer
    MSFlexGrid1.Rows = 1           ' แถวบนสุดของตารางบันทึกผลมี 6 คอลัมน์
    MSFlexGrid1.Cols = 6
    For i = 1 To 5
        MSFlexGrid1.Col = i
        MSFlexGrid1.Text = "Data " & i       ' คอลัมน์ที่ 1-5 เขียนข้อความ " Data 1-5"
    Next i

```

```

For i = 1 To 800
    MSFlexGrid1.Rows = MSFlexGrid1.Rows + 1 ' ตารางบันทึกผลมี 801 แถว
    MSFlexGrid1.Row = MSFlexGrid1.Rows - 1 ' บันทึกค่าความเข้มแสงคอลัมน์ละ 800
    ค่า
    MSFlexGrid1.Col = 0 ' คอลัมน์แรกของตารางเขียน "Column 1-800"
    MSFlexGrid1.Text = "Column " & i
Next i
End Sub

```

```

Private Sub MSFlexGrid1_Click()

```

```

End Sub

```

**ฟอร์มแสดงข้อผิดพลาดเมื่อภาพมีความเข้มของสีแดงเท่ากับหรือมากเกินไป 250
ประกอบด้วยคำสั่งดังนี้**

```

Private Sub Form_Load()

```

```

End Sub

```

**ฟอร์มแสดงข้อผิดพลาดเมื่อภาพมีความเข้มของสีเขียวเท่ากับหรือมากกว่า 250
ประกอบด้วยคำสั่งดังนี้**

```

Private Sub Form_Load()

```

```

End Sub

```

**ฟอร์มแสดงข้อผิดพลาดเมื่อภาพมีความเข้มของสีน้ำเงินเท่ากับหรือมากกว่า 250
ประกอบด้วยคำสั่งดังนี้**

```

Private Sub Form_Load()

```

```

End Sub

```

โมดูล

Option Explicit

```
Public intensity(799) As Long
Public x As Integer
```

```
Public Sub line_form2() ' ให้ลากเส้นเป็นสเกลสำหรับแสดงกราฟ
```

```
form2.Line (199, 500)-(599, 500)
```

```
form2.Line (199, 50)-(599, 50)
```

```
form2.Line (599, 50)-(599, 500)
```

```
form2.Line (199, 50)-(199, 500)
```

```
form2.Line (199, 450)-(204, 450)
```

```
form2.Line (199, 400)-(204, 400)
```

```
form2.Line (199, 350)-(204, 350)
```

```
form2.Line (199, 300)-(204, 300)
```

```
form2.Line (199, 250)-(204, 250)
```

```
form2.Line (199, 200)-(204, 200)
```

```
form2.Line (199, 150)-(204, 150)
```

```
form2.Line (199, 100)-(204, 100)
```

```
form2.Line (249, 500)-(249, 495)
```

```
form2.Line (299, 500)-(299, 495)
```

```
form2.Line (349, 500)-(349, 495)
```

```
form2.Line (399, 500)-(399, 495)
```

```
form2.Line (449, 500)-(449, 495)
```

```
form2.Line (499, 500)-(499, 495)
```

```
form2.Line (549, 500)-(549, 495)
```

```
form2.Line (399, 50)-(399, 500)
```

```
End Sub
```

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

| | |
|----------------------|---|
| ชื่อ-สกุล | นางสาวอรุณศิริ อัฐสุวรรณศิลป์ |
| วันเดือนปีเกิด | วันที่ 19 เดือนมิถุนายน พุทธศักราช 2516 |
| สถานที่เกิด | อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี |
| สถานที่อยู่ปัจจุบัน | 20 หมู่ 2 ตำบลบ้านกุ่ม อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี 72110 |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | โรงเรียนสองพี่น้องวิทยา อำเภอสองพี่น้อง จังหวัด สุพรรณบุรี 72110 |
| ประวัติการศึกษา | |
| พ.ศ. 2535 | มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสองพี่น้องวิทยา จังหวัด สุพรรณบุรี |
| พ.ศ. 2539 | ค.บ. (ฟิสิกส์) จากสถาบันราชภัฏนครสวรรค์ |
| พ.ศ. 2546 | กศ.ม. (สาขาวิชาฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |