

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์

6



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง
นักศึกษา

การพัฒนาระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์
นาย วิจักขณ์ สุขแสงรัตน์
นางสาว วีร์ อัสวทองทิพย์

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

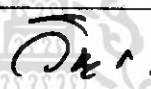

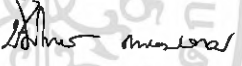

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดดา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ | | ลายมือชื่อ |
|-------------------|----------------------------|--|
| ประธานกรรมการ | รศ.วิชาญ เจริญธีระ |  |
| กรรมการ | ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์ |  |
| กรรมการ | ดร.ปิติพร ถนอมงาม |  |
| กรรมการที่ปรึกษา | ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาถัดดา |  |



(รองศาสตราจารย์วิชาญ เจริญธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|--|
| โครงการพิเศษเรื่อง | การพัฒนาระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ |
| นักศึกษา | นาย วิจักขณ์ สุขแสงรัตน์ นางสาว วีร์ อัสวทองทิพย์ |
| ภาควิชา | ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| สาขาวิชา | ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม |
| ปีการศึกษา | 2549 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.วราวุฒิ เกาถัดดา |

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 มาใช้ควบคุมการหมุนของเกรตติงผ่านทางวงจรจับสเตปมิ่งมอเตอร์ 5 เฟส รุ่น Super Vextra UDK5107N และใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ในการวัดความเข้มแสง วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณความเข้มแสงจากโฟโตทรานซิสเตอร์ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ทำงานด้วยโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิกที่จะรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้งาน แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำงานด้วยภาษาซีผ่านทางพอร์ตยูเอสบีเพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ และสัญญาณความเข้มแสงในรูปของสัญญาณดิจิตอลจะถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลและแสดงสเปกตรัมแสง ในขณะที่เดียวกันจะแสดงค่าตำแหน่งและความยาวคลื่นแสงบนหน้าจอแอลซีดีด้วย สเกลความยาวคลื่นของสเปกโทรมิเตอร์จะถูกสอบเทียบในช่วง 350 – 650 นาโนเมตร โดยใช้เส้นสเปกตรัมที่ 365.02, 404.66, 435.84, 546.07, 577.96 และ 579.07 นาโนเมตร ของหลอดไอปรอทเป็นความยาวคลื่นมาตรฐาน

| | |
|-------------------------|--|
| Special Project Title | Development of Spectrometer Control System |
| Name | Mr. Wijak Suksaengrat Miss Vee Asawatongtip |
| Department | Applied Physics |
| Program | Applied Physics-Science and Industry Instrumentation |
| Academic Year | 2549 |
| Special Project Advisor | Asst. Prof. Dr. Warawoot Thowladda |

Abstract

This special project proposes to develop a spectrometer control system using PIC 16F877 microcontroller. Five phases stepping motor was coupled to an axis of grating angle tuning mechanic of the spectrometer. Phototransistor was used for light intensity measurement. The stepping motor was driven by Super Vextra 5 phases driver model UDK5107N and controlled by PIC 16F877 microcontroller. Signals of light intensities were measured by phototransistor and converted to digital signals by 10 bits analog to digital converter. Software developed by Microsoft visual basic was used for transferring control commands from microcomputer to microcontroller via USB port. For data processing and illustrating light spectrum, digital signal of light intensity were sent to microcomputer. Motor step number and wavelength were also illustrated on LCD display. Spectrometer was calibrated by standard mercury vapour lamp line spectrum in range of 350 - 650 nm.

กิตติกรรมประกาศ

กว่าเอกสารฉบับนี้จะสมบูรณ์นั้นข้าพเจ้าได้รับความช่วยเหลือ ความห่วงใย และกำลังใจจากหลายๆท่าน ทำให้ข้าพเจ้ามีแรงผลักดันและกำลังใจในการทำงานต่างๆให้ลุล่วง จึงขอขอบคุณความกรุณาของทุกท่านมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

| | |
|-----------------------------------|--|
| คุณพ่อ คุณแม่ | ผู้ให้กำเนิด ให้การเลี้ยงดูอย่างดีที่สุด และเป็นผู้ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา |
| ผศ. ดร. วราวุฒิ เถาดีดคา | ผู้ให้ความรู้ทางด้านทฤษฎีและระบบสเปกโทรมิเตอร์ และช่วยแนะนำด้านการปรับปรุงโปรแกรม |
| อาจารย์ภาคพิสิทธิ์ประยูคต์ทุกท่าน | ที่ให้ความรู้ต่างๆตลอดการใช้ชีวิตในมหาวิทยาลัย |
| รุ่นพี่ภาคพิสิทธิ์ประยูคต์ | คอยให้คำแนะนำและแนวทางต่างๆในการทำโครงการนี้ |
| พี่ๆ ที่ห้องทดลอง | ผู้ให้ความรู้เรื่องระบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบควบคุมต่างๆ และช่วยดูแล แนะนำในด้านโปรแกรม |
| เพื่อนๆ ภาคพิสิทธิ์ประยูคต์ทุกคน | ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจซึ่งกันและกันเสมอ |
| ผู้จัดทำเว็บไซต์ต่างๆ | ทำให้ข้าพเจ้าสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการจำเป็นสำหรับโครงการพิเศษนี้ |

วิจักขณ์ สุขแสงรัตน์

วีร์ อัสวทองทิพย์

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญรูป | ช |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตในการศึกษา | 2 |
| 1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน | 3 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในโครงการพิเศษ | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | |
| 2.1 ธรรมชาติของแสง | 5 |
| 2.2 แหล่งกำเนิดแสง (source of optic radiation) | 7 |
| 2.3 การเลี้ยวเบนของแสง | 9 |
| 2.4 เกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating) | 12 |
| 2.5 สมการเกรตติง (Grating Equation) | 12 |
| 2.6 อันดับของการเลี้ยวเบน | 17 |
| 2.7 การแยกแสง | 19 |
| 2.8 กำลังแยกและการแยกชัด (Resolving power and Spectral resolution) | 19 |
| 2.9 เกรตติงระนาบและ Mounts (Plane Gratings and Their Mounts) | 20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.10 การจัดอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ใน Monochromator | 21 |
| 2.11 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสง | 22 |
| 2.12 สเตปปีงมอเตอร์ | 24 |
| บทที่3 วิธีดำเนินการวิจัย | |
| 3.1 ระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ | 26 |
| 3.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ | 30 |
| 3.3 การสอบเทียบสเกลของสเปกโทรมิเตอร์ | 32 |
| บทที่4 ผลการทดลองและการอภิปราย | |
| 4.1 การสอบเทียบสเปกโทรมิเตอร์ | 34 |
| 4.2 การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ | 38 |
| 4.3 การวัดสเปกตรัมแสงจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง | 43 |
| บทที่5 สรุปและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 47 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 49 |
| 5.3 แนวทางในการพัฒนา | 50 |
| เอกสารอ้างอิง | 51 |
| ภาคผนวก | 52 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการทำงาน | 3 |
| ตารางที่ 2.1 พลังงาน ความยาวคลื่น และความถี่ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า | 6 |
| ตารางที่ 2.2 การใช้ชุดขับสเตปมอเตอร์แบบ 5 เฟส Super vexta 5- Phase Driver UDK5107N | 25 |
| ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอท | 39 |
| ตารางที่ 4.2 ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน | 41 |

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว | 10 |
| รูปที่ 2.2 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว | 11 |
| รูปที่ 2.3 การแทรกสอดจากสลิตคู่ | 11 |
| รูปที่ 2.4 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิต | 12 |
| รูปที่ 2.5(a) การเลี้ยวเบน โดยเกรตติงระนาบ a | 13 |
| รูปที่ 2.5(b) การเลี้ยวเบน โดยเกรตติงระนาบ b | 13 |
| รูปที่ 2.6 ผลต่างทางเดินแสงของการเลี้ยวเบนจากร่องที่คั่นบนเกรตติง | 14 |
| รูปที่ 2.7 กลไก sine bar สำหรับการวัดความยาวคลื่น | 16 |
| รูปที่ 2.8 การกำหนดเครื่องหมายของอันดับสเปกตรัม | 18 |
| รูปที่ 2.9 การซ้อนทับของสเปกตรัม | 18 |
| รูปที่ 2.10 The Czerny-Turner Monochromator | 22 |
| รูปที่ 2.11 โครงสร้างของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ | 23 |
| รูปที่ 2.12 (a) รูปไฟโตทรานซิสเตอร์ | 23 |
| รูปที่ 2.12 (b) รูปสัญลักษณ์ไฟโตทรานซิสเตอร์ | 23 |
| รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสเตปปีงมอเตอร์ 5 เฟส | 24 |
| รูปที่ 2.14 ชุดขับสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟส Super vexta 5- Phase Driver UDK5107N | 24 |
| รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบควบคุมสเปกโตรมิเตอร์ | 26 |
| รูปที่ 3.2 บอร์ดทดลองที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ | 28 |
| รูปที่ 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 | 28 |
| รูปที่ 3.4 โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน | 29 |
| รูปที่ 3.5 ไฟล์ชาร์ทในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ | 30 |
| รูปที่ 3.6 ไฟล์ชาร์ทในส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์ | 31 |
| รูปที่ 3.7 ภาพรวมอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ | 32 |
| รูปที่ 4.1 โปรแกรมควบคุมสเปกโตรมิเตอร์ | 34 |

สารบัญรูปต่อ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.2 โหมคสอบเทียบสเกลของ โปรแกรม | 35 |
| รูปที่ 4.3 การใส่ค่าเพื่อเริ่มการสอบเทียบสเกล | 35 |
| รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการเปลี่ยนแกนของสเปกโตรมิเตอร์ให้อยู่ในรูปของสเปกตรัม | 36 |
| รูปที่ 4.5 กราฟแสดงสเปกตรัมแสงหลังจบขั้นตอนการสอบเทียบสเกล | 36 |
| รูปที่ 4.6 เบ็คกราวน์ | 37 |
| รูปที่ 4.7 กราฟแสดงสเปกตรัมแสงหลังจบขั้นตอนการสอบเทียบสเกล โดยลบค่าเบ็คกราวน์แล้ว | 37 |
| รูปที่ 4.8 หลอดไอปรอท | 38 |
| รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของหลอดไอปรอท | 38 |
| รูปที่ 4.10 หลอดซีนอนอุณหภูมิตี 12K และ 14K | 39 |
| รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของหลอดซีนอนอุณหภูมิตี 12K | 40 |
| รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของหลอดซีนอนอุณหภูมิตี 14K | 40 |
| รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม – นีออน | 41 |
| รูปที่ 4.14 หลอดไส้ทั้งสแตน | 42 |
| รูปที่ 4.15 สเปกตรัมของหลอดไส้ทั้งสแตน | 42 |
| รูปที่ 4.16 ไคโอดเปล่งแสง | 43 |
| รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของไคโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน | 44 |
| รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของไคโอดเปล่งแสงสีเขียว | 44 |
| รูปที่ 4.19 สเปกตรัมของไคโอดเปล่งแสงสีแดง | 45 |
| รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของหลอดไคโอดเปล่งแสงสีขาว | 46 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้เครื่องมือวัดต่างๆทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ต้องมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น รวมถึงการสร้างความสามารถในการทำงานให้มีความหลากหลายและมีความละเอียดแม่นยำมากยิ่งขึ้น

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาถึงลักษณะของ โครงสร้าง คุณสมบัติ และหลักการการทำงาน ของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวัดความเข้มของแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน โดยสามารถคำนวณหาค่าความยาวคลื่นแสงที่ออกมาได้จากมุมที่เปลี่ยนไปของเกรตติง ซึ่งการเปลี่ยนมุมของเกรตติงในเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ซึ่งส่วนใหญ่นั้นทำโดยการหมุนเกรตติงจากแกนหมุนโดยผู้ทำการทดลอง ซึ่งทำให้ได้ผลการวัดที่คลาดเคลื่อนและไม่ละเอียดเท่าที่ควร รวมทั้งต้องใช้เวลาในการทำการทดลอง เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ในโครงการพิเศษนี้จึงได้นำระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุมการหมุนไปของเกรตติง ซึ่งจะทำให้การทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์มีความละเอียดและแม่นยำในการวัดมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งมีส่วนของหน้าจอสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถใช้งานได้ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องสเปกโทรมิเตอร์
2. เพื่อศึกษาวิธีการวัดสเปกตรัมแสง โดยใช้เครื่องสเปกโทรมิเตอร์
3. ศึกษาระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟส เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนเกรตติง และวัดค่าความเข้มแสงจากเครื่องสเปกโทรมิเตอร์
4. ศึกษาการ โปรแกรมภาษาพีไอซีและ ภาษาซี
5. ศึกษาการ โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก
6. ศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลและแสดงผลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

1.3.1 ส่วนของทฤษฎี

ในโครงการนี้จะเป็นการศึกษาธรรมชาติของแสงตลอดจนแหล่งกำเนิดแสง และเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating) ว่ามีความสำคัญต่อเครื่องสเปกโตรมิเตอร์อย่างไร ศึกษาการทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแสง ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดขับสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟสที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของเกรตติง เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ และมีการนำไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการประมวลผล

1.3.2 ส่วนของการปฏิบัติการ

ส่วนของการปฏิบัติการจะนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในส่วนของทฤษฎีมาทำการเชื่อมต่อกันระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้โปรแกรมภาษาพีไอซีในการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์แบบ 5 เฟสเพื่อควบคุมการหมุนของเกรตติง และทำการเปลี่ยนสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital converter) นอกจากนั้นยังทำการติดตั้งและทดสอบเซนเซอร์แสงเพื่อให้เกิดความแม่นยำยิ่งขึ้น และในส่วนไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์บนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ในรูปของกราฟบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้

1.3.3 ส่วนของผลและการสรุปผล

ส่วนของผลและการสรุป จะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงที่แหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

| ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ | 2549 | | | | | | | | | | 2550 | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| | ม.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.ค. | ม.ค. | | | |
| 1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการของงานวิจัย | ↕ | | | | | | | | | | | | |
| 2. ทำการสร้างและทดสอบระบบ | | | | | | | | | | | | | |
| 3. ทำการทดลองและจัดเก็บข้อมูล | | | | | | | | | | | | | |
| 4. ตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ทั้งหมด | | | | | | | | | | | | | |
| 5. จัดทำเอกสารประกอบ | | | | | | | | | | | | | |
| 6. ตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย | | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในโครงการพิเศษ

1. สามารถที่จะเรียนรู้ถึงเทคนิคและวิธีการวัดสเปกตรัมของแสง
2. ในโครงการพิเศษนี้จะเป็นการพัฒนาเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. สามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน และแสดงผลของสเปกตรัมของแสงได้ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย วิชาลเบติก และภาษาซี
4. โครงการพิเศษนี้จะสามารถนำไปใช้งานได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ธรรมชาติของแสง

อิเล็กตรอนคืออนุภาคที่มีประจุเป็นลบ หมุนรอบนิวเคลียสที่มีประจุเป็นบวก อิเล็กตรอนมีหลายตัว โดยแต่ละตัวอยู่ในวงโคจรที่แตกต่างกัน พลังงานวัดได้จากระยะห่างจากนิวเคลียส ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานในแต่ละระดับแตกต่างกัน กล่าวได้ว่า อิเล็กตรอนที่มีวงโคจรไกลจากนิวเคลียสมีพลังงานมากกว่าวงโคจรใกล้นิวเคลียส เมื่ออะตอมได้รับพลังงานจากภายนอก อิเล็กตรอนวงโคจรต่ำจะถูกกระตุ้นเปลี่ยนไปอยู่ในวงโคจรสูง ซึ่งไม่เสถียร ดังนั้นอิเล็กตรอนจะหมุนอยู่ในวงโคจรนี้ชั่วคราว และตกลงสู่วงโคจรเดิม ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอน ซึ่งก็คือแสงนั่นเอง ธรรมชาติของ “แสง” แสดงความประพฤติเป็นทั้ง “คลื่น” และ “อนุภาค” เมื่อเรากล่าวถึงแสงในคุณสมบัติความเป็นคลื่น เราเรียกว่า “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า” (Electromagnetic waves) ซึ่งประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำมุมตั้งฉากกัน

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่างกัน วิธีการวัดความยาวคลื่นแสงทำได้โดยการวัดสเปกตรัมของแสง โดยที่สเปกตรัมของแสงจะแสดงถึงความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ความยาวคลื่นต่างๆของแสงสามารถแยกออกได้ด้วยวิธีต่างๆเช่น การหักเห (Refraction) ด้วยปริซึมและการเลี้ยวเบน (Diffraction) ด้วยเกรตติง (Diffraction Grating) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสงนี้เรียกว่า สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแต่ละขณะอาจมีความยาวคลื่นเพียงค่าเดียว (Monochromatic) หรืออาจมีความยาวคลื่นหลายค่า (Polychromatic) และกรณีที่มีหลายค่านี้อาจอยู่ในลักษณะที่ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ เราเรียกรายการกระจายความยาวคลื่น (หรือพลังงาน) นี้ว่า สเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่น ในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีชื่อเรียกหลายชื่อขึ้นกับช่วงความยาวคลื่นหรือความถี่ดังตารางที่ 2.1 ค่าความยาวคลื่น λ และความถี่ ν ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$c = \lambda \nu \quad (2.1)$$

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตารางที่ 2.1 นี้เคลื่อนที่ในสุญญากาศ ซึ่งอัตราเร็วของคลื่น c มีค่า 3×10^8 เมตรต่อวินาที ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-800 นาโนเมตร เป็นช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็นของตามนุษย์ และเรียกกันโดยทั่วไปว่าเป็นช่วงของแสงหรือช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็น (Visible region) แสงช่วงนี้อยู่ระหว่างแสงในช่วงที่มองไม่เห็น 2 ช่วงคืออัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) และอินฟราเรด (infrared) เรามักนิยมเรียก 3 ช่วงนี้รวมกันว่า optical region ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่หมายถึงแสงในเชิงทัศนศาสตร์

ตารางที่ 2.1 พลังงาน ความยาวคลื่น และความถี่ของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

| Class | Frequency | Wavelength | Energy , J |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Gamma rays | 30 EHz – 300EHz | 10 pm – 1pm | 124 keV – 1.24 MeV |
| Hard x-rays | 3 EHz - 30 EHz | 100 pm – 10 pm | 12.4 keV – 124 keV |
| Soft x-rays | 300 PHz -3 EHz | 1 nm – 100 pm | 1.24 keV – 12.4 keV |
| Extreme ultraviolet | 30 PHz - 300 EHz | 10 nm – 1 m | 124 eV – 1.24 keV |
| Near ultraviolet | 3 PHz - 30 PHz | 100 nm – 10 nm | 12.4 eV – 124 eV |
| Visible light | 300 THz - 3 PHz | 1 μ m – 100 nm | 1.24 eV – 12.4 eV |
| Near infrared | 30 THz - 300 THz | 10 μ m – 1 μ m | 124 meV – 1.24 eV |
| Moderate infrared | 3 THz - 30 THz | 100 μ m – 10 μ m | 12.4 meV – 124 meV |
| Far infrared | 300 GHz - 3 THz | 1 mm – 100 μ m | 1.24 meV – 12.4 meV |
| Extremely high frequency (Microwaves) | 30 GHz – 300 GHz | 1 cm – 1 mm | 124 μ eV – 1.24 meV |
| Super high frequency (Microwaves) | 3 GHz - 30 GHz | 1 dm – 1 cm | 12.4 μ eV – 124 μ eV |
| Ultrahigh frequency | 300 MHz – 3 GHz | 1 m – 1 dm | 1.24 μ eV – 12.4 μ eV |
| Very high frequency | 30 MHz - 300 MHz | 1 dam – 1 m | 124 neV – 1.24 μ eV |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|-------------------------|------------------|--------------|---------------------|
| High frequency | 3 MHz – 30 MHz | 1 hm – 1 dam | 12.4 neV – 124 neV |
| Medium frequency | 300 kHz - 3 MHz | 1 km | 1.24 neV – 12.4 neV |
| Low frequency | 30 kHz – 300 kHz | 10 -1 km | 124 peV – 1.24 neV |
| Very low frequency | 3 kHz - 30 kHz | 100 -10 km | 12.4 peV – 124 peV |
| Voice frequency | 300 Hz - 3 kHz | 1 -100 Mm | 1.24 peV – 12.4 peV |
| Extremely low frequency | 30 Hz - 300 Hz | 10 -1 Mm | 124 feV – 1.24 peV |

2.2 แหล่งกำเนิดแสง (Source of Optic Radiation)

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงประเภทอินโคฮีเรนต์ (Incoherent Light Sources) และแหล่งกำเนิดแสงประเภทโคฮีเรนต์ (Coherent Light Sources)

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสงประเภทอินโคฮีเรนต์ (Incoherent light Sources)

แหล่งกำเนิดแสงในแสงธรรมชาติทั้งหมดเป็นแหล่งกำเนิดแสงประเภทอินโคฮีเรนต์ตั้งแต่แสงเทียนจนถึงแสงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดแสงเหล่านี้ให้แสงมาจากกระบวนการเปล่งแสงแบบเกิดขึ้นเอง (Spontaneous Emission) จะปล่อยคลื่นหลายเฟสและหลายความถี่ แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้กัน ได้แก่

2.2.1.1 แสงอาทิตย์แสงจากท้องฟ้า (Sunlight and Skylight)

แสงจากดวงอาทิตย์จะมีแถบสเปกตรัมที่แตกต่างจากแสงจากท้องฟ้า ซึ่งสเปกตรัมของแสงอาทิตย์นี้ ถ้าวัตถุนอกชั้นบรรยากาศ จะมีลักษณะเหมือนวัตถุดำ (Black body) ที่มีอุณหภูมิ 6,000 K ที่จุดศูนย์กลาง และ 5,000 K ที่ชั้นขอบ ส่วนสเปกตรัมที่วัดได้ ณ ระดับน้ำทะเลจะมีความยาวคลื่นของแสงบางส่วนถูกดูดกลืนไป ค่าของ irradiance ที่วัดชั้นนอกบรรยากาศเฉลี่ยต่อปีเรียกว่าค่าคงตัวสุริยะ (Solar constant) มีค่าเท่ากับ $1,350 \text{ w/m}^2$ ในกรณีที่ไม่สามารถนำแสงอาทิตย์มาใช้ได้สะดวก เช่นในห้องทดลองจะนิยมใช้หลอดซีนอน (Xenon) ความดันสูงแทนแสงจากดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 แหล่งกำเนิดแสงที่เปล่งจากวัตถุร้อน (Incandescent Sources)

แสงที่ปล่อยออกจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง ได้แก่ วัตถุดำ (Blackbody source) และ หลอดไส้ ทังสเตน (Tungsten filament) เป็นต้น

แหล่งกำเนิดประเภทนี้อาศัยการเผาสารด้วยไฟฟ้าจนร้อนจัดและเกิดการเปล่งแสงออกมา กล่าวคือ ความร้อนจะไปทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (Thermal excitation) และเมื่ออิเล็กตรอนเหล่านี้กลับคืนสู่สถานะพื้นจะให้แสงตั้งแต่ย่านที่ตามองเห็น ไปจนถึงย่านอินฟราเรด สเปกตรัมของแสงจะมีลักษณะต่อเนื่องประมาณได้ว่าเป็นวัตถุดำ (blackbody radiator) คือลักษณะของสเปกตรัมขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุ กำลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากวัตถุดำแปรผันกับ T^4 ในกรณีของหลอดไส้ทังสเตนความร้อนจะทำให้ทังสเตนกลายเป็นไอ ไปเกาะข้างหลอดเป็นผลทำให้หลอดดำลงและทำให้ไส้หลอดบางลงด้วย เป็นผลให้อายุการใช้งานและความสว่างของหลอดลดลง จึงมีการพัฒนาโดยการบรรจุก๊าซฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp) ก๊าซฮาโลเจนมีสมบัติไวต่อปฏิกิริยาเคมี จะกำจัดไอของทังสเตนที่ข้างหลอดให้กลับไปเกาะยังที่ไส้หลอด (Filament) ดั้งเดิมทำให้ผิวหลอดสะอาดและมีอายุการใช้งานยาวนานมาก หลอดทังสเตนฮาโลเจนขนาด 1,000 W จะให้ความสว่างถึง 30,000 lm

2.2.1.3 หลอดปล่อยประจุ (Discharge Lamps)

หลอดปล่อยประจุที่ไม่มีไส้หลอด แบ่งออกเป็นสองประเภทตามความดันของก๊าซที่บรรจุอยู่ ได้แก่ หลอดปล่อยประจุนิคมความดันต่ำ (Low-pressure gas-discharge lamps) และหลอดปล่อยประจุนิคมความดันสูง (High-pressure gas-discharge lamps)

หลอดประเภทนี้อาศัยการปล่อยประจุไฟฟ้าในก๊าซเพื่อให้เกิดแสง ตัวหลอดทำด้วยแก้วหรือควอทซ์ ซึ่งแก้วจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตร ส่วนควอทซ์ จะดูดกลืนที่ความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 180 นาโนเมตร ภายในหลอดมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าของหลอด จะทำให้มีกระแสไหลภายในหลอดบรรจุก๊าซและทำให้อะตอมของก๊าซแตกตัวเป็นไอออนทำให้มีการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ในกรณีของหลอดปล่อยประจุนิคมความดันต่ำจะมีกระแสอิเล็กตรอนไหลในหลอดไม่มากนัก อิเล็กตรอนเหล่านี้จะชนกับอะตอมของก๊าซทำให้อะตอมอยู่ในสภาวะกระตุ้น และเปล่งแสงเมื่ออะตอมกลับสู่พื้น แสงที่เปล่งออกมาจะมีความยาวคลื่นเฉพาะมีลักษณะเป็นเส้นสเปกตรัมแคบๆ (Narrow fixed spectral line) ขึ้นกับชนิดของก๊าซที่บรรจุอยู่ หลอดประเภทนี้นอกจากให้แสงสว่างแล้วยังนิยมใช้เป็นหลอดสอบเทียบสำหรับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ด้วย

สำหรับหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง จะมีกระแสไหลในหลอดสูงมาก เกิดความร้อนสูงจนก๊าซแตกตัวเป็นพลาสมา พลาสมาที่ร้อนจัดจะเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องเช่นเดียวกับหลอดไส้ ในขณะที่อะตอมที่อยู่ในสถานะการณั้กระตุ้น จะเปล่งแสงเป็นเส้นสเปกตรัมที่กว้างกว่า หลอดปล่อยประจุชนิดความดันต่ำ หลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูงนี้ถือเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบดั้งเดิม(Conventional light source) ที่สว่างที่สุด

2.2.1.4 ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode-LED)

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงความเข้มต่ำ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction semiconductor) เมื่อให้ความต่างศักย์แก่รอยต่อแบบไฟตรง (Forward bias) โสลกับอิเล็กตรอนจะรวมกันแล้วให้แสงออกมา ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ทำไดโอดเปล่งแสง เช่น GaAs ให้ความเข้มสูงสุด (Peak Output) ที่ 900 นาโนเมตร เป็นต้น

2.2.2 แหล่งกำเนิดแสงประเภทโคฮีเรนต์ (Coherent Light Sources)

แสงโคฮีเรนต์ หรือ แสงอาพันธ์ หมายถึงการที่ขดคลื่นหรือท้องถิ่นของคลื่นแสงต่างๆ ในลำแสงเดียวกันต่างเรียงเป็นแนวเดียวกันหมด นั่นคือมีเฟสเดียวกัน (Inphase) ขณะที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ด้วยความถี่หรือความยาวคลื่นเท่ากัน แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ ได้แก่ เลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ไม่มีในธรรมชาติให้แสงที่มีความเข้มสูงมากและมีสมบัติอาพันธ์ดีมาก

2.3 การเลี้ยวเบนของแสง

การเลี้ยวเบนของแสงเป็นการเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจากการกีดขวางต่อคลื่นแสง เช่น ถ้าเราเจาะรูกลมเล็กๆบนกระดาษทึบชั้นบางหนึ่ง เพื่อใช้เป็นที่กีดขวางของคลื่น การเลี้ยวเบนของแสงจะเกิดขึ้น เมื่อแหล่งกำเนิดแสงและฉากอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวางมากพอที่จะทำให้ถือได้ว่าหน้าคลื่นที่มาถึงสิ่งกีดขวางและที่มาถึงฉากเป็นหน้าคลื่นระนาบ เราเรียกการเลี้ยวเบนแบบนี้ว่าการเลี้ยวเบนแบบ เฟรอน์โฮเฟอร์ หรือแบบ Far-field แต่ถ้าคลื่นที่หน้าคลื่นเป็นทรงกลม เราเรียกการเลี้ยวเบนนั้นว่าเป็นแบบเฟรเนล หรือ Near-field

2.3.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว

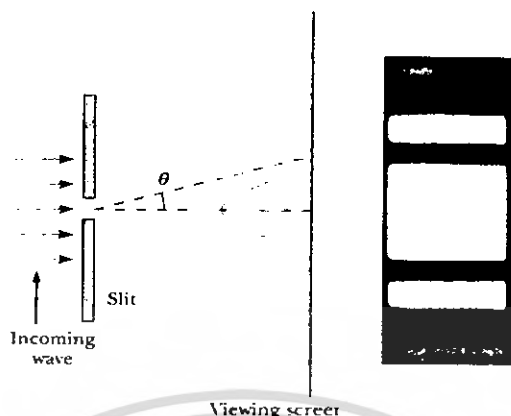


รูปที่ 2.1 การเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว

เมื่อพิจารณาถึงช่องเล็กเดี่ยวซึ่งแคบและยาวมากและให้แสงขนานตกตั้งฉากกับระนาบของช่องกว้าง a ตามหลักการของฮอยเกนส์ที่กล่าวว่า ทุกๆจุดในแนวหน้าคลื่นระนาบของช่องเปิดอาจถือได้ว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ ซึ่งจะปล่อยคลื่นเล็กๆออกไปรอบๆ ถ้าพิจารณาค่าแหน่งบนฉากซึ่งทำมุมกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น พบว่าบางตำแหน่งความเข้มของแสงจะมีค่าเป็นศูนย์ โดยตำแหน่งเหล่านี้หาได้จากสมการ

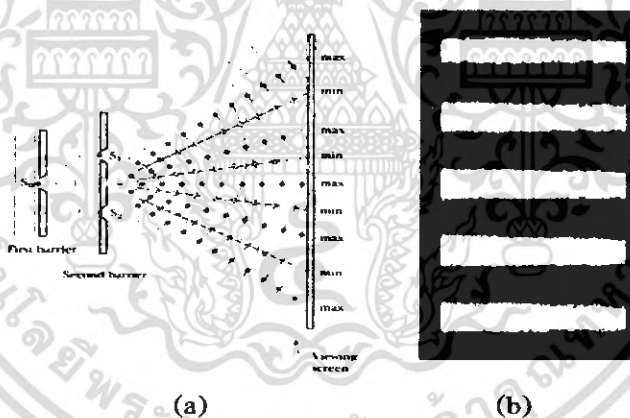
$$a \sin \theta = n\lambda \quad (2.2)$$

n อาจถือเป็นค่าบวกหรือลบก็ได้ โดยถ้าค่า $n=0$ จะทำให้ตำแหน่งซึ่งอยู่ในแนวแสงตกมีความสว่างมากที่สุด ภาพแถบสว่างกลางของการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยวดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิตเดี่ยว

2.3.2 การแทรกสอดจากสลิตคู่

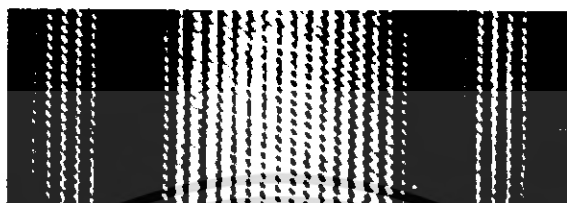


รูปที่ 2.3 การแทรกสอดจากสลิตคู่

แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกลงบนสลิต S_0 แสงที่ผ่านสลิตนี้จะตกลงบนฉากอีกฉากหนึ่งที่มีสลิตคู่ S_1 และ S_2 อยู่ ดังรูปที่ 2.3(a) สลิตคู่นี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงโคฮีเรนต์ 2 แหล่ง เนื่องจากมาจากแหล่งกำเนิดแสง S_0 แหล่งเดียวกันจึงมีเฟสที่มีความสัมพันธ์กันคงที่ แสงที่ผ่านช่องแคบจะบานออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเลี้ยวเบน (Diffraction) แสงจากสลิตคู่จะเกิดจากแทรกสอดกันเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่างบนฉาก เรียกว่า ริ้วการแทรกสอด (Interference fringes) ดังรูปที่ 2.3(b) เมื่อแสงจาก S_1 และ S_2 เดินทางถึงจุดบนฉากแล้วเกิดการแทรกสอดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หักล้างก็จะปรากฏแถบมืดบนฉาก เมื่อพิจารณาโดยละเอียดจะพบว่า ในแถบสว่างแต่ละแถบจะประกอบไปด้วยแถบมืด-สว่างสลับกันมากมาย ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจำนวนแถบสว่างในแถบสว่างกลางนี้จะบอกถึงความสัมพันธ์ของความกว้างของสลิตกับระยะห่างระหว่างสลิต



รูปที่ 2.4 ภาพการเลี้ยวเบนจากสลิต

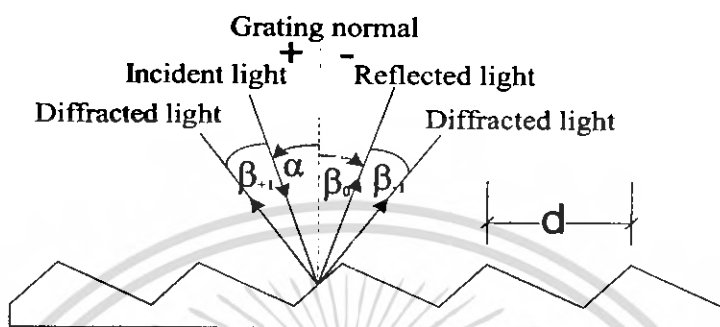
2.4 เกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating)

เกรตติงเลี้ยวเบนเป็นอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ที่มีความสำคัญของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ เนื่องจากมีความสามารถในการแยกสเปกตรัมของแสง เกรตติงเลี้ยวเบนประกอบขึ้นจากส่วนสะท้อนแสง (หรือส่องผ่านแสง) เล็กๆ จำนวนมากที่อยู่ห่างกันเป็นระยะทางในระดับเดียวกับความยาวคลื่นแสงที่ต้องการศึกษา หรืออาจพิจารณาได้ว่าเกรตติงเลี้ยวเบนประกอบขึ้นจากส่วนที่ทำหน้าที่เลี้ยวเบนแสงเล็กๆ จำนวนมาก เช่น สลิต (Transparent slits) หรือร่องสะท้อนแสง (Reflecting grooves) แบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่ เกรตติงแบบสะท้อน (Reflection grating) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็กที่ชิดกันมากที่สร้างไว้บนพื้นผิวที่สะท้อนแสงได้และเกรตติงแบบส่องผ่าน (Transmission grating) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็กที่ชิดกันมากเช่นกัน แต่สร้างไว้บนพื้นผิวที่โปร่งแสง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบบนเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบน ทำให้ขนาดของสนามไฟฟ้าและหรือเฟสของแสงเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบที่แน่นอน

2.5 สมการเกรตติง (Grating Equation)

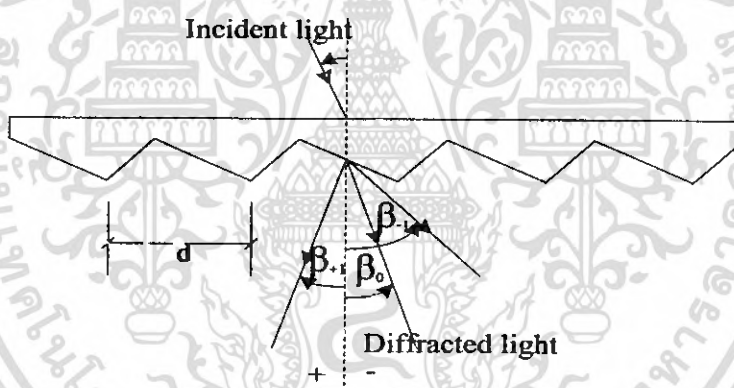
เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic) ตกกระทบที่ผิวเกรตติง จะเกิดการเลี้ยวเบนเป็นมุมต่างๆที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete direction) สามารถพิจารณาได้ว่าร่อง (Groove) ของเกรตติงเป็นสลิตที่แคบมากทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของแสงที่เลี้ยวเบนเหล่านี้ แสงที่เลี้ยวเบนจากแต่ละร่องบนเกรตติงจะมารวมกันเป็นหน้าคลื่นเลี้ยวเบน (Diffracted wavefront) มุมเลี้ยวเบนที่ทำ

ให้หน้าคลื่นมีการรวมกันแบบเสริมกันจะมีค่าที่แน่นอนขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงและระยะห่างระหว่างร่องบนเกรตติง



(a)

รูปที่ 2.5(a) การเลี้ยวเบน โดยเกรตติงระยะนาบ a

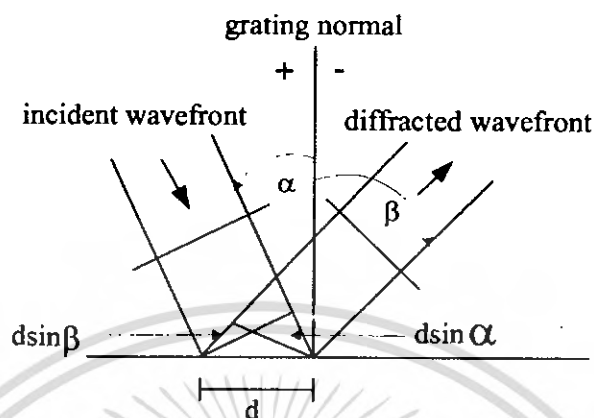


(b)

รูปที่ 2.5(b) การเลี้ยวเบน โดยเกรตติงระยะนาบ b

การเลี้ยวเบนของแสงโดยเกรตติงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 แสงที่มีความยาวคลื่น λ ตกกระทบบทำมุม α และเลี้ยวเบนไปเป็นมุม β_m (ระยะระหว่างร่อง, d บนเกรตติงเรียกว่า pitch มุมเหล่านี้ถูกวัดเทียบกับเส้นปกติซึ่งเป็นเส้นตั้งฉากกับผิวเกรตติง นิยามที่จะกำหนดให้เครื่องหมายของมุมเลี้ยวเบนเป็นบวก ถ้าอยู่ด้านเดียวกับมุมแสงตกกระทบบและมีเครื่องหมายเป็นลบถ้าอยู่ตรงข้าม โดยมีเส้นปกติเป็นเส้นแบ่ง รูป 2.5(a) แสดงกรณีของเกรตติงแบบสะท้อน โดยมุม $\alpha > 0$ และ $\beta_{-1} > 0$ ขณะที่รูป 2.5(b) แสดงกรณีของเกรตติงแบบส่องผ่าน มีมุม $\beta_0 < 0$ และ $\beta_{-1} < 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ผลต่างทางเดินแสงของการเลี้ยวเบนจากร่องที่ติดกันบนเกรตติง
ในรูปของ $d \sin \alpha$ และ $d \sin \beta$

ผลต่างทางเดินแสงที่เลี้ยวเบนจากร่องที่อยู่ติดกัน (ห่างกันเป็นระยะ d) สามารถหาได้จากรูปที่ 2.6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d \sin \alpha + d \sin \beta$ (เนื่องจาก $\beta < 0$ ดังนั้นเทอมหลังจึงมีเครื่องหมายเป็นลบ) จากหลักการแทรกสอด พบว่าแสงเลี้ยวเบนจะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมก็ต่อเมื่อผลต่างทางเดินแสงนี้มีค่าเท่ากับความยาวคลื่น λ ของแสงหรือเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่นนี้มุม β อื่นๆที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขนี้จะทำให้เกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง

ความสัมพันธ์เหล่านี้สามารถเขียนเป็นสมการเกรตติงได้ว่า

$$m\lambda = d(\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.3)$$

ซึ่งมุมของการเลี้ยวเบนนี้ขึ้นกับค่า d ของเกรตติง ในที่นี้ m เรียกว่าลำดับของการเลี้ยวเบน (Diffraction order) หรือ ลำดับของสเปกตรัม (Spectral order) สำหรับความยาวคลื่นแสงใดๆ m จะเป็นเลขจำนวนเต็มที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ $|m\lambda/d| < 2$ ในบางครั้งจะเขียนสมการเกรตติงดังนี้

$$Gm\lambda = (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.3')$$

ซึ่ง $G = 1/d$ เป็นความถี่หรือความหนาแน่นร่องของเกรตติง ซึ่งหมายถึงจำนวนร่องต่อหนึ่งมิลลิเมตร (Groove per millimeter)

สมการ (2.3) และสมการ (2.3') เป็นรูปแบบทั่วไปของสมการเกรตติง แต่จะใช้ได้เฉพาะเมื่อแสงตกกระทบบนและแสงเลี้ยวเบนอยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวของร่องบนเกรตติง (ระนาบของกระดาษสำหรับเกรตติงในรูปที่ 2.5 และ 2.6) เท่านั้น การเลี้ยวเบนในกรณีนี้เรียกว่า การเลี้ยวเบนแบบคั้งเคิม (Classical Diffraction) หรือการเลี้ยวเบนในระนาบ (in-plane Diffraction) ในกรณีที่แสงตกกระทบบนไม่ตั้งฉากกับแนวร่องเกรตติง สมการเกรตติงจะเขียนได้ดังนี้

$$Gm\lambda = \cos \epsilon (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.3'')$$

ในที่นี้ ϵ คือมุมระหว่างแสงตกกระทบบนกับระนาบตั้งฉากกับแนวร่องของเกรตติง ถ้าแสงตกกระทบบนอยู่ในระนาบคั้งกล่าวนี้หรือ $\epsilon = 0$ สมการ (2.3'') จะลดรูปเป็นสมการ (2.3') และถ้า $\epsilon \neq 0$ ลำแสงเลี้ยวเบนจะมีลักษณะเป็นกรวยแทนที่จะเป็นระนาบ การเลี้ยวเบนในกรณีนี้เรียกว่า การเลี้ยวเบนแบบกรวย (Conical Diffraction)

สำหรับเกรตติงที่มีระยะห่างระหว่างร่อง d ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความยาวคลื่น มุมตกกระทบบนและมุมเลี้ยวเบน ที่ลำดับสเปกตรัม m ของแสงความยาวคลื่น λ คือ

$$B(\lambda) = \arcsin(m\lambda/d - \sin \alpha) \quad (2.4)$$

ในกรณีที่ $m = 0$ เกรตติงจะทำหน้าที่เหมือนกับกระจกและความยาวคลื่นจะไม่ถูกแยก ($\beta = -\alpha$ สำหรับทุกๆ ความยาวคลื่น) เรียกว่า การสะท้อนจากผิวเรียบ (specular reflection) หรือ ลำดับสเปกตรัมที่ศูนย์ (zero order)

ในกรณีเฉพาะกรณีหนึ่งที่ลำแสงเลี้ยวเบนมีทิศทางย้อนกลับไปในแนวของแสงตกกระทบบน ($\alpha = \beta$) เรียกว่า การจัดแบบลิตโตรว์ (Littrow configuration) สมการเกรตติงในกรณีนี้จะเขียนได้เป็น

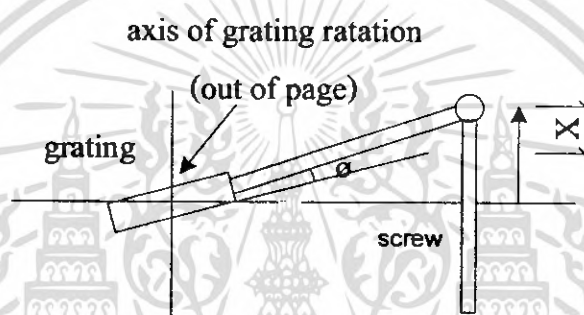
$$m\lambda = 2d \sin \alpha \quad (2.5)$$

การใช้งานเกรตติงในรูปแบบต่างๆ เช่น Monochromator ความยาวคลื่น λ ของแสงถูกทำให้เปลี่ยนไปโดยการหมุนเกรตติง (หมุนรอบแนวของร่องที่จุดกึ่งกลางของเกรตติง) ในขณะที่มุมระหว่างแสงตกกระทบบนและเลี้ยวเบนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมุมนี้เรียกว่า มุมเบี่ยงเบน (2K) (Deviation Angle or Angular Deviation) มีค่า

$$2K = \alpha - \beta = \text{Constant} \quad (2.6)$$

ในขณะที่มุมของเกรตติงหมุนไป ϕ มีค่า

$$2\phi = \alpha + \beta \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.7 กลไก sine bar สำหรับการกวาดความยาวคลื่น

เมื่อสกรูในรูปที่ 2.7 ดันให้ระนาบของเกรตติงเป็นระยะ x จะทำให้เกรตติงเบี่ยงเบนไปเป็นมุม ϕ โดยที่ $\sin \phi$ แปรผันโดยตรงกับ x

เมื่อมุม ϕ เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ความยาวคลื่นของแสงที่เลี้ยวเบนไปที่มุม β มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในกรณีนี้สามารถเขียนสมการเกรตติงในเทอมของ ϕ และ K ได้ว่า

$$m\lambda = 2d \cos K \sin \phi \quad (2.8)$$

สมการเกรตติงในรูปนี้มีประโยชน์มากสำหรับการจัดระบบแสงของ monochromator สมการ (2.8) แสดงว่าความยาวคลื่นของแสงที่เลี้ยวเบนโดยเกรตติงใน monochromator เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $\sin \phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อันดับของการเลี้ยวเบน

2.6.1 อันดับของการเลี้ยวเบนที่เป็นไปได้

สำหรับเกรตติงที่มีค่า d และมุมตกกระทบ α ค่าหนึ่ง ความยาวคลื่นแสงที่เลี้ยวเบนไปเป็นมุม β ที่สอดคล้องกับสมการเกรตติง (2.3) จะมีได้หลายค่าซึ่งเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าของเลขจำนวนเต็ม m ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการแทรกสอดแบบเสริม นั่นคือเมื่อผลต่างทางเดินแสงที่เลี้ยวเบนจากร่องที่อยู่ติดกันไปยังมุม β มีค่าเป็นจำนวนเท่าของความยาวคลื่น ตัวอย่างเช่น ถ้าผลต่างทางเดินแสงมีค่าเท่ากับหนึ่งความยาวคลื่น ในกรณีนี้จะกล่าวว่า เป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นบวกอันดับแรก ($m = 1$) หรือเป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นลบอันดับแรก ($m = -1$) ขึ้นอยู่กับว่าแสงเลี้ยวเบนไปเป็นมุมมากหรือน้อยกว่ามุมของแสงสะท้อน ($m = 0$) ในทำนองเดียวกันจะกล่าวว่า เป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นบวกอันดับสอง ($m = 2$) หรือ เป็นการเลี้ยวเบนที่เป็นลบอันดับสอง ($m = -2$) ถ้าผลต่างทางเดินแสงมีค่าเป็นสองเท่าของความยาวคลื่น

สมการเกรตติงแสดงให้เห็นว่าอันดับของสเปกตรัมจะมีอยู่จริงเฉพาะค่าของ m ที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ $|m\lambda/d| < 2$ เท่านั้น ถ้าไม่สอดคล้องจะทำให้ $|\sin\alpha + \sin\beta| > 2$ ซึ่งไม่มีความหมายในเชิงฟิสิกส์ ค่าการสะท้อน ($m = 0$) จะเกิดขึ้นได้เสมอ นั่นคือการเลี้ยวเบนอันดับศูนย์ มีจริงเสมอ ($\alpha = -\beta$) กล่าวโดยสรุปได้ว่า อันดับของสเปกตรัม m จะมีได้ ต้องสอดคล้องกับความสัมพันธ์

$$-2d < m\lambda < 2d \quad (2.9)$$

จากสมการจะเห็นว่าจำนวนอันดับของสเปกตรัมจะมีมากถ้า d มีค่ามาก ($1/d \ll 1$)

จากสมการ (2.3) สามารถบอกอันดับของสเปกตรัมว่าเป็นบวกหรือลบได้ดังนี้

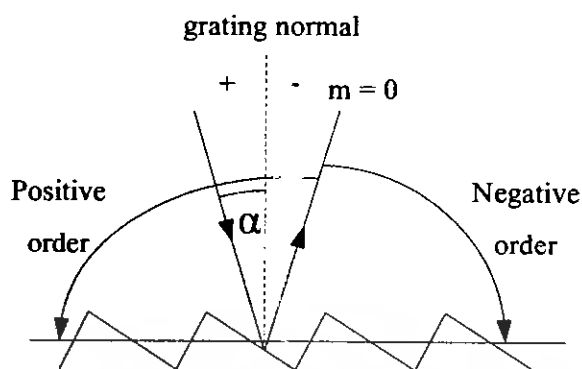
$$\beta > -\alpha \quad \text{สำหรับอันดับที่เป็นบวก} \quad (m > 0)$$

$$\beta < -\alpha \quad \text{สำหรับอันดับที่เป็นลบ} \quad (m < 0)$$

$$\beta = -\alpha \quad \text{สำหรับการสะท้อน} \quad (m = 0)$$

เครื่องหมายของ m นิยมกำหนดให้เป็นบวก ($m > 0$) ถ้าลำแสงเลี้ยวเบนอยู่ทางด้านซ้าย (ด้านทวนเข็มนาฬิกา) ของแนวแสงสะท้อน ($m = 0$) และเป็นลบ ($m < 0$) ถ้าลำแสงเลี้ยวเบนอยู่ทางด้านขวา (ด้านตามเข็มนาฬิกา) ของแนวแสงสะท้อน ดังรูปที่ 2.8

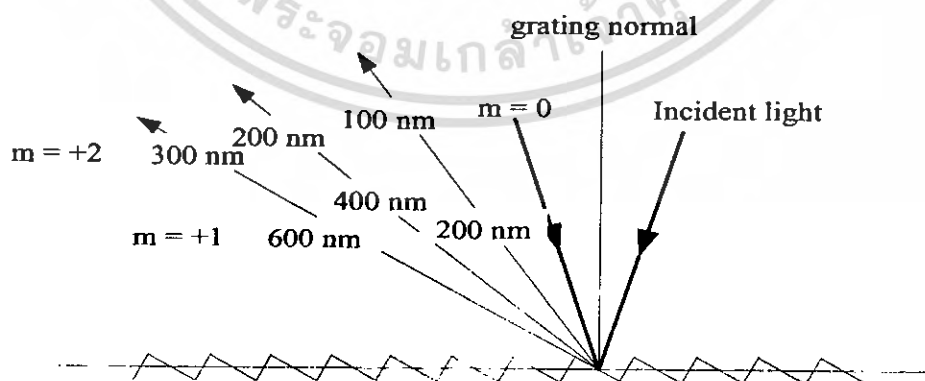
76630



รูปที่ 2.8 การกำหนดเครื่องหมายของอันดับสเปกตรัม

2.6.2 การซ้อนทับของเส้นสเปกตรัม

ความยุ่งยากที่พบในการใช้เกรตติงส่วนมากเกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นสเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ชัดจากสมการเกรตติงว่าแสงที่มีความยาวคลื่น λ ในอันดับ $m = 1$ จะมีการซ้อนทับกับแสงที่มีความยาวคลื่น $\lambda/2$ ในอันดับที่ $m = 2$ เป็นต้น ในตัวอย่างนี้ แสงสีแดง (600 นาโนเมตร) ในอันดับแรกของสเปกตรัมจะซ้อนทับกับแสงอัลตราไวโอเล็ต (300 นาโนเมตร) ซึ่งอยู่ในอันดับที่สอง ถ้าตัวตรวจวัดแสงสามารถตอบสนองการวัดต่อแสงทั้งสองแล้ว จะทำให้ตัวตรวจวัดแสงวัดความเข้มของแสงทั้งสองพร้อมกัน แต่เนื่องจากตัวตรวจวัดแสงไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างความยาวคลื่นทั้งสองได้ กรณีเช่นนี้จะทำให้ข้อมูลของสเปกตรัมที่วัดได้ผิดไป การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการใช้แผ่นกรองแสงที่เหมาะสม (เรียกว่า order sorting)



รูปที่ 2.9 การซ้อนทับของสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การแยกแสง

วัตถุประสงค์แรกของการใช้เกรตติงคือการแยกความยาวคลื่นของแสงที่ประกอบด้วยหลายความยาวคลื่น แสงสีขาวที่ตกกระทบบนเกรตติงจะถูกแยกออกเป็นสีต่างๆ ตามองค์ประกอบสีแต่ละสีจะเลี้ยวเบนไปเป็นมุมที่แตกต่างกัน การแยกแสง (Dispersion) หมายถึงการแยก (เชิงมุมหรือเชิงตำแหน่ง) ระหว่างแสงที่เลี้ยวเบนที่มีความยาวคลื่นต่างกัน การแยกแสงเชิงมุม (Angular Dispersion) จะแสดงในรูปของช่วงสเปกตรัมต่อมุมหนึ่งหน่วย และความแยกชัดเชิงเส้น (Linear Resolution) จะแสดงในรูปของช่วงสเปกตรัมต่อหนึ่งหน่วยความยาว

2.8 กำลังแยกและการแยกชัด (Resolving Power and Spectral Resolution)

2.8.1 กำลังแยก

กำลังแยก R ของเกรตติงแสดงถึงความสามารถในการแยกเส้นสเปกตรัมที่อยู่ชิดกันออกจากกัน โดยทั่วไปแสดงด้วยปริมาณที่ไม่มีหน่วย

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (2.10)$$

เมื่อ $\Delta\lambda$ คือขีดจำกัดของการแยกชัด (limit of resolution) หรือมักนิยมเรียกว่า ความแยกชัด (Resolution) หมายถึงความยาวคลื่นที่ต่างกันของเส้นสเปกตรัมที่สามารถแยกได้ ถ้าจุดยอดของเส้นสเปกตรัม λ_1 และ λ_2 ห่างกัน $|\lambda_1 - \lambda_2| < \Delta\lambda$ จะไม่สามารถแยกเส้นสเปกตรัมทั้งสองได้ ในทางทฤษฎีกำลังแยกของเกรตติงเลี้ยวเบนแบบระนาบคือ

$$R = mN \quad (2.11)$$

เมื่อ m คืออันดับของการเลี้ยวเบนและ N คือจำนวนร่องบนเกรตติงที่ถูกแสงตกกระทบบนเมื่อแทนค่า m ลงในสมการ (2.11) จะได้ว่า

$$R = \frac{Nd(\sin \alpha + \sin \beta)}{\lambda} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าระยะห่างระหว่างร่องของเกรตติง d มีค่าสม่ำเสมอและถ้าเกรตติงเป็นชนิดระนาบ จะได้ว่าปริมาณ Nd คือความกว้าง W บนเกรตติงที่ถูกแสงกระทบ จึงได้ว่า

$$R = \frac{W(\sin \alpha + \sin \beta)}{\lambda} \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.12) จะเห็นว่า R ไม่ขึ้นกับอันดับของสเปกตรัมและจำนวนของร่องบนเกรตติง แต่จะขึ้นกับความกว้างของเกรตติง มุมตกกระทบและมุมเลี้ยวเบน เนื่องจาก

$$|\sin \alpha + \sin \beta| < 2 \quad (2.14)$$

ดังนั้น กำลังแยกสูงสุดคือ

$$R_{MAX} = \frac{2W}{\lambda} \quad (2.15)$$

2.8.2 การแยกชัด

ขณะที่กำลังแยกเป็นสมบัติเฉพาะตัวของเกรตติงและมุมที่ใช้ ความสามารถในการแยกความยาวคลื่น λ_1 และ $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$ ไม่ได้ขึ้นกับความยาวคลื่นเพียงอย่างเดียวแต่จะขึ้นอยู่กับขนาดและตำแหน่งของสลิตขาเข้า (Entrance slit) และขาออก (Exit slit) หรือขนาดของตัวตรวจวัดแสง ความคลาดของภาพและกำลังขยายของภาพด้วย การบอกความยาวคลื่นที่ต่างกันน้อยที่สุด $\Delta\lambda$ ที่เรียกว่าขีดจำกัดของการแยกชัดหรือเรียกสั้นๆว่าความแยกชัด มีความหมายและความสำคัญมากกว่าการบอกกำลังแยก ในขณะที่กำลังแยกเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย การแยกชัดมีหน่วยเป็นหน่วยของความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

2.9 เกรตติงระนาบและ Mounts (Plane Gratings and Their Mounts)

อุปกรณ์ที่ทำให้แสงเป็นลำขนานและอุปกรณ์ที่ใช้โฟกัสลำแสงสำหรับลำแสงตกกระทบหรือลำแสงเลี้ยวเบนโดยเกรตติงรวมทั้งอุปกรณ์เบี่ยงเบนแสง ถูกเรียกว่า เม้าท์ (Mount) เครื่องมือที่ประกอบด้วยเกรตติงและเม้าท์ ที่สำคัญได้แก่ สเปกโตรมิเตอร์ และ Monochromator เป็นต้น สเปกโตรมิเตอร์ เป็นคำที่ใช้เรียกเครื่องมือวัดสเปกตรัม เครื่องมือสเปกโตรมิเตอร์นี้อาจแยกเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมที่ละเส้นหรือให้เส้นสเปกตรัมทุกเส้นพร้อมกัน อาจแยกสเปกตรัมโดยใช้เกรตติงหรือปริซึม ก็ได้ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะที่ใช้เกรตติงเท่านั้น

Monochromator เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่ในขณะที่ใดขณะหนึ่งจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวหรือช่วงความยาวคลื่นเดียวอยู่ที่สลิทขาออก สเปกตรัมจะถูกแยกโดยการหมุนเกรตติง

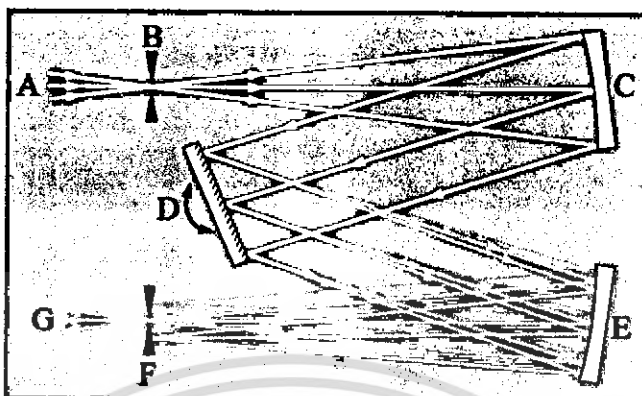
เครื่องสเปกโตรกราฟ (Spectrograph) เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่ให้เส้นสเปกตรัมในย่านความยาวคลื่นหนึ่งทุกเส้นพร้อมกัน ซึ่งอาจแสดงเส้นสเปกตรัมบนฟิล์มหรือใช้อาร์เรย์ของตัวตรวจจับแสง หรือโดยการใช้ช่องสลิทขาออกหลายช่องก็ได้ เครื่องมือประเภทนี้บางครั้งเรียกว่า Polychromator ลักษณะเฉพาะของเครื่องสเปกโตรกราฟคือเส้นสเปกตรัมทุกเส้นจะถูกบันทึกในเวลาเดียวกัน

2.10 การจัดอุปกรณ์ทัศนศาสตร์ใน Monochromator

เกรตติงระนาบโดยทั่วไปจะทำหน้าที่แยกแสง เมื่อมีลำแสงขนานมาตกกระทบ แต่ไม่สามารถโฟกัสลำแสงขนานที่เลี้ยวเบนจากเกรตติงได้ จึงต้องอาศัยอุปกรณ์ทัศนศาสตร์อื่นๆ เช่น เลนส์หรือกระจกช่วยในการ โฟกัสดังกล่าว

- Czerny – Turner Monochromator

Monochromator ชนิดนี้ถูกออกแบบให้แสงที่ตกกระทบเกรตติงเป็นลำแสงขนาน แสงจากแหล่งกำเนิดหรือเมื่อผ่านสลิทจะลู่ออกและจะถูกทำให้เป็นแสงขนานด้วยกระจกเว้าที่เรียกว่า collimator ส่วนลำแสงที่เลี้ยวเบนจากเกรตติงจะถูกโฟกัสด้วยกระจกเว้าอีกบานหนึ่งที่เรียกว่า camera ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในทางอุดมคติ เนื่องจากเป็นเกรตติงระนาบและแสงที่ตกกระทบเป็นลำแสงขนาน จึงไม่เกิดความคลาดที่หน้าคลื่นของลำแสงเลี้ยวเบน ในทางปฏิบัติความคลาดอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากกระจกที่ใช้เป็นกระจกเว้าชนิด off-axis เหมือนกับ Monochromator ชนิดอื่นๆ สเปกตรัมของแสงถูกแยกโดยการหมุนเกรตติง ทำให้เส้นสเปกตรัมเส้นอื่นๆตกบนกระจกเว้า camera และโฟกัสไปยังสลิทขาออกต่อไป ความคลาดที่เกิดเนื่องจากกระจก ได้แก่ ความคลาด astigmatism และความคลาดทรงกลม สำหรับกระจกเว้าความคลาด astigmatism จะเพิ่มขึ้นตามมุมสะท้อนที่เพิ่ม



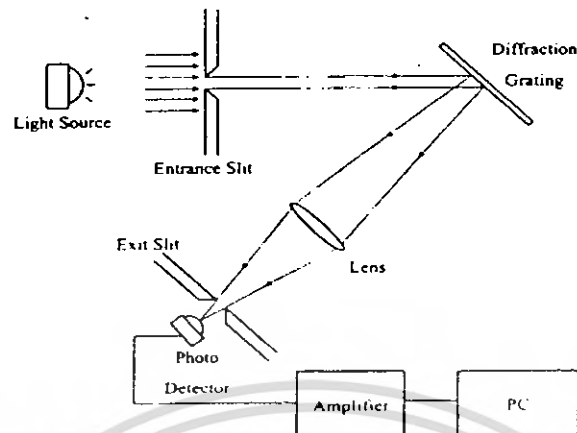
รูปที่ 2.10 The Czerny-Turner Monochromator

2.11 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสง

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของแสงนั้นปกติจะใช้ปริซึมหรือเกรตติงเลี้ยวเบนเป็นอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้ในการหักเห หรือเลี้ยวเบนของแสง เพื่อที่จะแยกสีของแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงออกจากกัน โดยเรียกเครื่องมือที่ใช้วัดสเปกตรัมของแสงโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบนว่าเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบเกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction Grating Spectrometer)

2.11.1 เครื่องมือวัดสเปกตรัมของแสงโดยใช้ตัวรับแสง

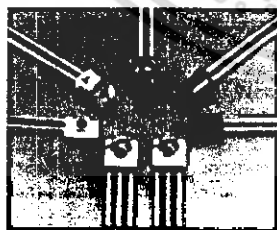
เครื่องมือชนิดนี้ตัวรับแสงของเครื่องวัดส่วนใหญ่จะทำมาจากซิลิกอน กล่าวคือเมื่อมีแสงมา ตกกระทบที่ตัวรับแสงดังกล่าวจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานขึ้น โดยเปลี่ยนจากพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานไฟฟ้างี้ดังกล่าวจะถูกนำมาเปลี่ยนรูปสัญญาณอีกครั้งหนึ่งด้วย วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อแสดงค่าความเข้มของแสงดังกล่าวให้ออกมาเป็นกราฟของสเปกตรัมของแสงที่ถูกแยกสเปกตรัมของแสงแล้ว ซึ่งได้แก่เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) เป็นต้น โดยลักษณะโครงสร้างของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

- โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor)

ทรานซิสเตอร์พลังแสงหรือที่นิยมเรียกว่า "โฟโตทรานซิสเตอร์" เป็นอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยอาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกับโฟโตไดโอด แต่จะดีกว่าตรงกระแสที่ไหลผ่านในตัวเองสูงกว่าโฟโตไดโอด ในรูป 2.12 แสดงสัญลักษณ์ของโฟโตทรานซิสเตอร์ สำหรับการนำเอาโฟโตทรานซิสเตอร์ไปใช้งานนั้นจะต้องวงจรในลักษณะไบอัสกลับที่รอยต่อระหว่างขา Base กับขา Collector เช่นเดียวกับโฟโตไดโอด เมื่อมีแสงสว่างมาตกกระทบบริเวณนี้ จะเกิดกระแสเบส (I_B) ที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนไหลเข้าสู่ทรานซิสเตอร์ และกระแสเบสนี้จะถูกขยายด้วยอัตราขยายกระแสของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น โฟโตทรานซิสเตอร์จึงสามารถนำกระแสได้สูงกว่าโฟโตไดโอด



(a) รูปโฟโตทรานซิสเตอร์



(b) รูปสัญลักษณ์โฟโตทรานซิสเตอร์

รูปที่ 2.12 รูปโฟโตทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 สเตปมิ่งมอเตอร์

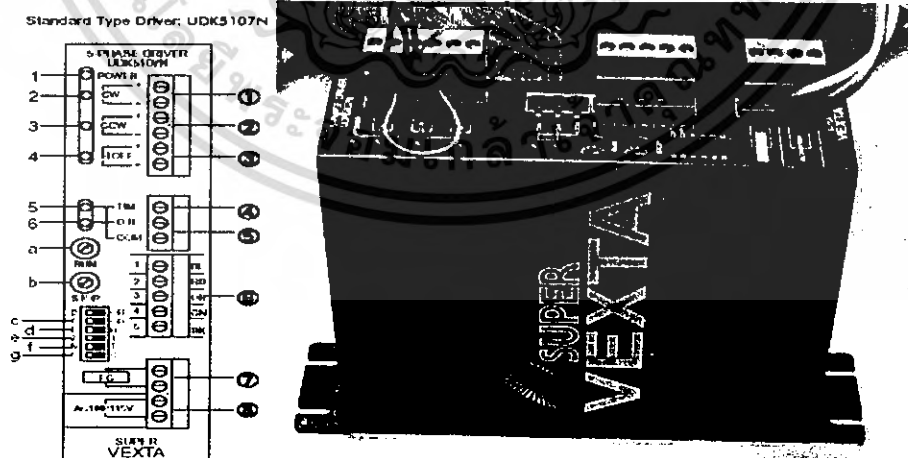
ในส่วนของการใช้สเตปมิ่งมอเตอร์นี้ ใช้เพื่อควบคุมการหมุนมุมของเกรตติงเลี้ยวเบนเพื่อสามารถแยกสเปกตรัมของแสงได้ โดยจังหวะการหมุนของสเตปมิ่งมอเตอร์เรียกว่า สเตป(Step) ความละเอียดของมอเตอร์กำหนดเป็นองศาที่หมุนในหนึ่งสเตป หากมอเตอร์มีจำนวนองศาต่อหนึ่งสเตปมาก หมายความว่ามอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ สเตปมิ่งมอเตอร์แบบ 5 เฟส ที่ใช้ในโครงงานนี้มีโครงสร้างในรูป 2.14 วิธีการขับจะเป็นแบบไบ โพลาร์ โดยที่การขับแต่ละรอบประกอบด้วย 10 สเตป



2.12.1 ชุดขับสเตปมิ่งมอเตอร์แบบ 5 เฟส

ในโครงงานพิเศษนี้ชุดขับสเตปมิ่งมอเตอร์ที่ใช้ คือ Super Vexta 5- Phase Driver

UDK5107N



รูปที่ 2.14 ชุดขับสเตปมิ่งมอเตอร์แบบ 5 เฟส Super Vexta 5- Phase Driver UDK5107N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 การใช้ชุดขับสเตปมอเตอร์แบบ 5 เฟส Super Vexta 5- Phase Driver UDK5107N

| ชื่อ | สัญลักษณ์ | การทำงาน |
|---------------------------------|-------------------|---|
| CW Pulse Signal Input Terminal | CW | ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ตามเข็มนาฬิกา โดยป้อนอินพุตที่ช่อง CW |
| CCW Pulse Signal Input Terminal | CCW | ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา โดยป้อนอินพุตที่ช่อง CCW |
| Motor Connection Terminal | MOTOR [1,2,3,4,5] | ใช้สำหรับต่อเข้ากับมอเตอร์ โดยมีการกำหนดสีของสายไฟที่ใช้ต่อกับมอเตอร์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

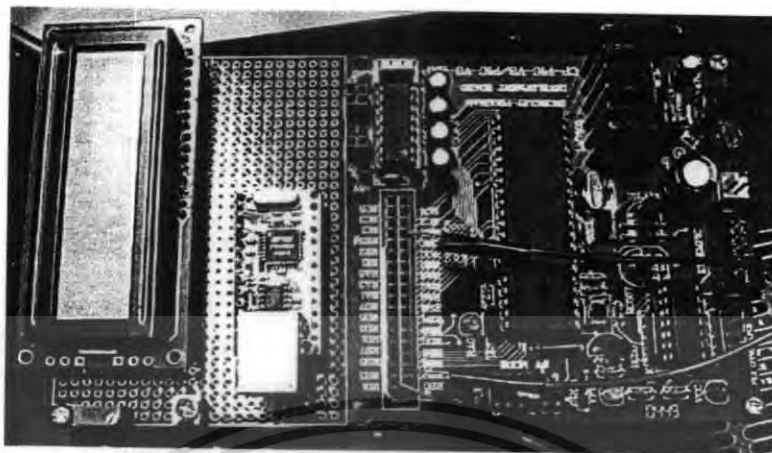
3.1.1 ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของสเตปป์มอเตอร์โดยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านทางไมโครคอมพิวเตอร์และทำหน้าที่รับสัญญาณอนาลอกจากโฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วส่งกลับไปยังส่วนไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์มีการติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทาง FT245BM (USB – Parallel) เพื่อรับข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของสเตปป์มอเตอร์จากผู้ใช้งาน สัญญาณอนาลอกของความเข้มแสงจากโฟโตทรานซิสเตอร์จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ด้วยวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ขนาด 10 บิต ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

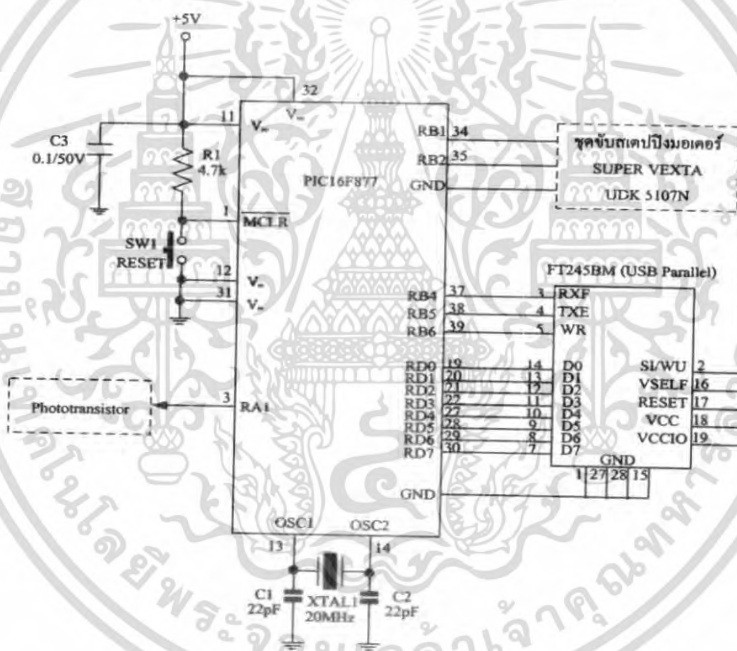
หลักการทำงาน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ PIC 16F877 ที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ ทำงานได้ด้วยโปรแกรมภาษาซีที่พัฒนาขึ้น ทำหน้าที่ควบคุมมุมในการหมุนของเกเรตติงผ่านทางสเตปป์มอเตอร์แบบ 5 เฟส ในการวัดค่าความเข้มแสงในรูปของแรงดันไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นต่างๆ ระบบควบคุมจะทำงาน โดยการรับค่าจำนวนสเตปป์ที่ต้องการหมุนมอเตอร์จากผู้ใช้งานผ่านทางส่วนไมโครคอมพิวเตอร์ และสั่งงานชุดขับสเตปป์มอเตอร์ (รูป 2.15) เพื่อหมุนเกเรตติงภายในสเปกโตรมิเตอร์ตามจำนวนสเตปป์ที่ได้รับ

เมื่อเกเรตติงเคลื่อนที่ไปถึงช่วงสเตปป์ที่ผู้ใช้กำหนด โฟโตทรานซิสเตอร์จะทำการเปลี่ยนความเข้มแสงเป็นแรงดันไฟฟ้า และทำการแปลงค่าจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดย ADC ขนาด 10 บิตซึ่งมีในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลไปยังส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.2 บอร์ดทดลองที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้



รูปที่ 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

ส่วนของโฟโตดีเทคเตอร์

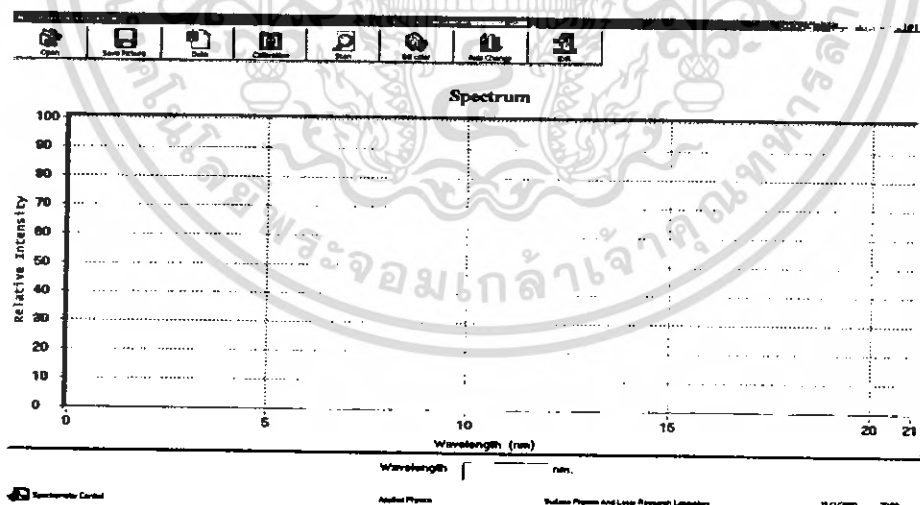
ในโครงการพิเศษนี้จะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN เป็นตัวรับแสง โดยแสงจะเข้าทางขาเบส ดังนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์ จะขยายสัญญาณ โดยตรงตามความเข้มแสงที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์

หลักการทํางาน

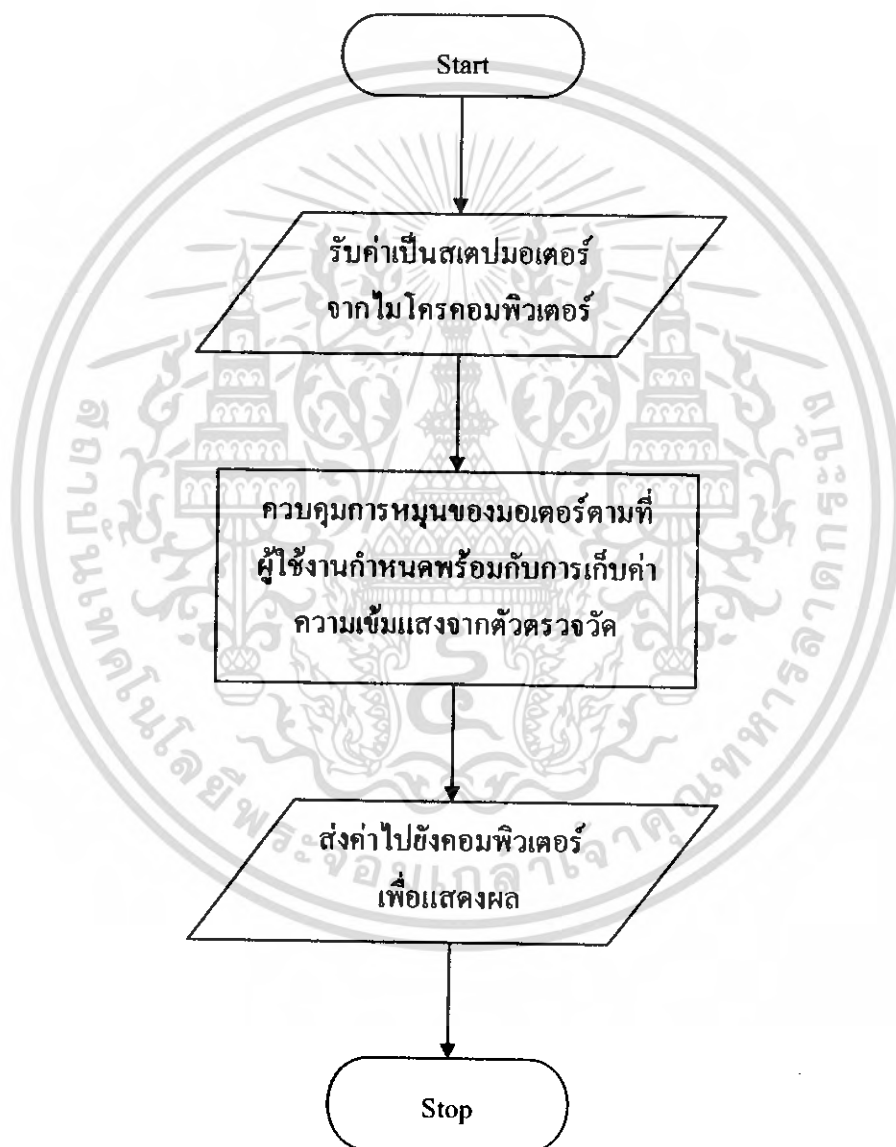
ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์จะทํางานด้วยโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิกที่พัฒนาขึ้น ทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทาง FT245 BM (USB – Parallel) เพื่อติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ โดยรับค่าจากผู้ใช้งานในรูปของช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงที่ต้องการวัดรวมถึงความละเอียดในการวัดแล้วแปลงข้อมูลที่ได้รับมาเป็นจำนวนสเปกของมอเตอร์ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมตำแหน่งของเกรตติง จากนั้นโปรแกรมจะรับข้อมูลความเข้มแสงในรูปของแรงดันไฟฟ้าซึ่งถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์แล้ว ไมโครคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่บันทึกข้อมูลของตำแหน่งของเกรตติง (จำนวนสเปกของมอเตอร์) และความเข้มแสง จากนั้นจะประมวลผลข้อมูลและแสดงผลในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับจำนวนสเปกของมอเตอร์ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของเกรตติง หลังจากขั้นตอนการสอบเทียบสเกลเป็นความยาวคลื่นแล้ว โปรแกรมสามารถแสดงผลในรูปของสเปกตรัมแสงซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับความยาวคลื่นแสง โดยในส่วนนี้จะสามารถเปิดเพิ่มข้อมูล และบันทึกเพิ่มข้อมูลได้ตามต้องการ หน้าจอที่ใช้รับข้อมูลและแสดงผลการวัดในรูปของสเปกตรัมแสงแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.4 โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน

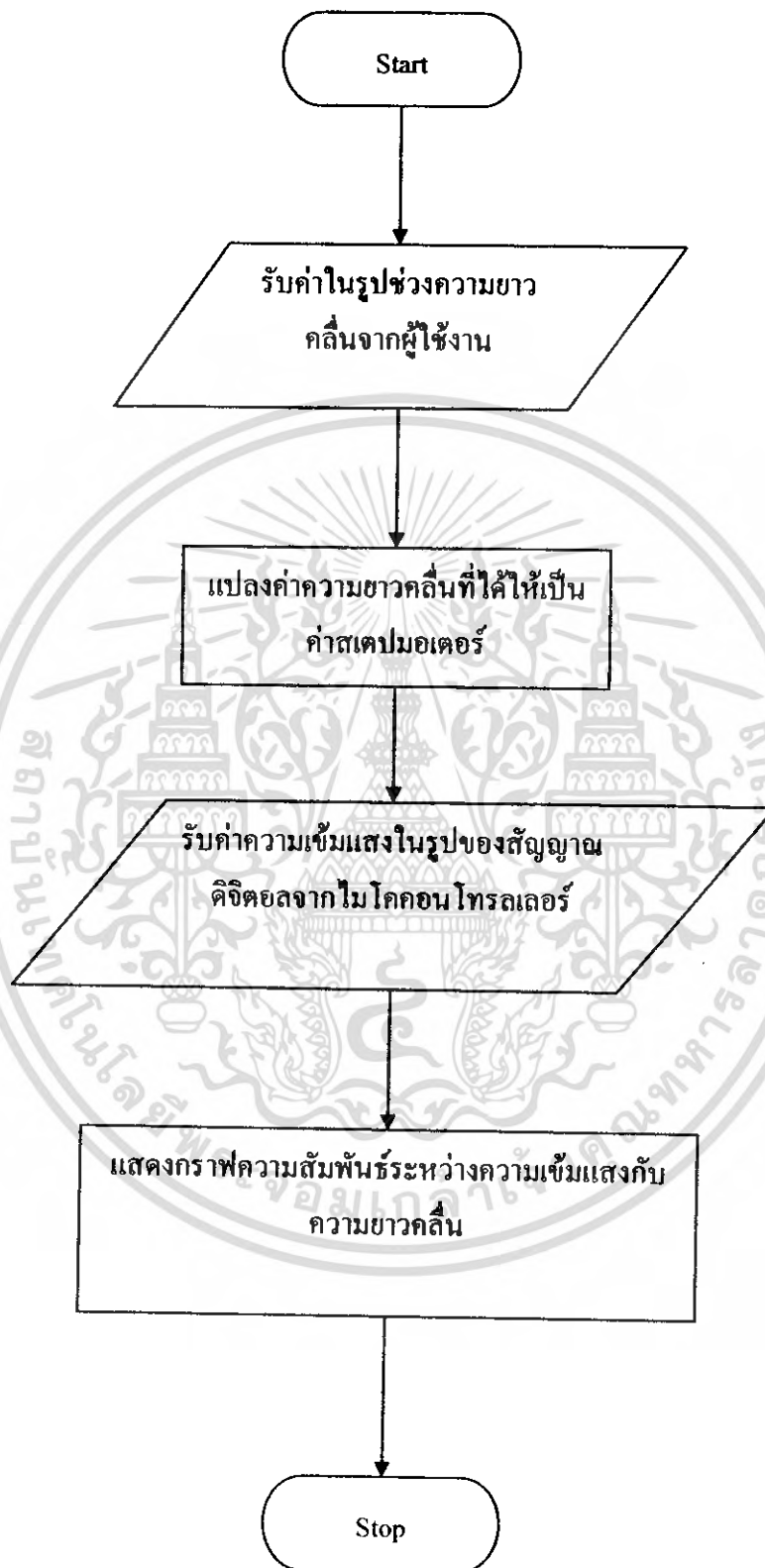
3.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ซึ่งถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานด้วยโปรแกรมภาษาซีโดยมีไฟล์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.4 ในส่วนของไมโครคอมพิวเตอร์จะทำงานด้วยโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิกโดยมีไฟล์ชาร์ทการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ไฟล์ชาร์ทการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



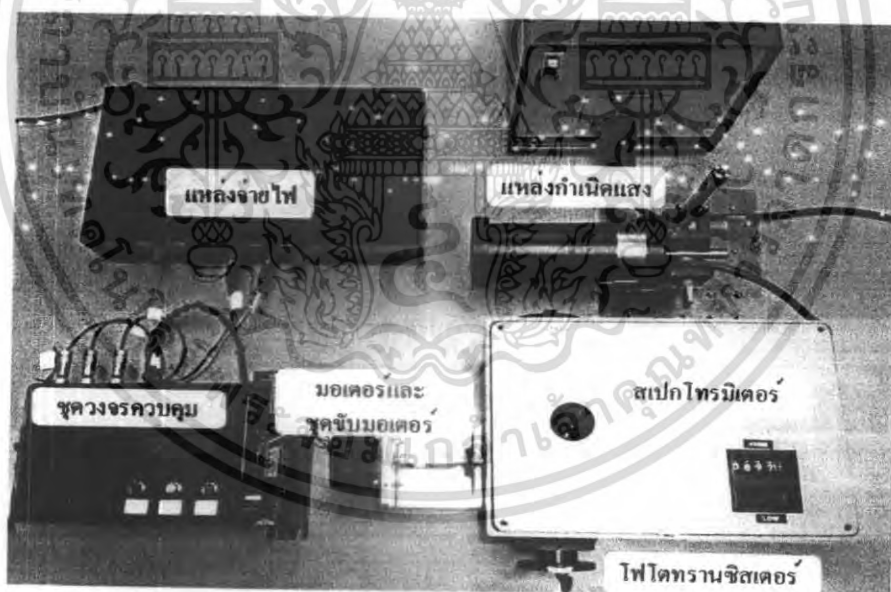
รูปที่ 3.6 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสอบเทียบสเกลของสเปกโตรมิเตอร์

การหมุนของเกรตติงเป็นมุมต่างๆ ซึ่งมุมของเกรตติงที่หมุนไปนี้จะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ทำการวัดความเข้มแสง โดยการบันทึกตำแหน่ง (หรือมุม) ของเกรตติง (ในที่นี้ตำแหน่งของเกรตติงจะถูกกำหนดด้วยจำนวนสเตปการหมุนของมอเตอร์) และความเข้มแสง เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและความเข้มแสง (ยังไม่ใช้ความยาวคลื่นกับความเข้มแสง)

แกนตำแหน่งของเกรตติงของกราฟสามารถสอบเทียบ ไปเป็นความยาวคลื่นได้โดยการใช้สเปกโตรมิเตอร์วัดสเปกตรัมแสงที่ทราบความยาวคลื่น เช่น วัดสเปกตรัมแสงจากหลอดไอปรอท เป็นต้น แล้วจึงเทียบค่าตำแหน่งของเกรตติงกับความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมที่สมนัยกันแต่ละเส้น จากนั้นจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเกรตติงกับความยาวคลื่นและสามารถใช้สมการนี้ในการปรับแกนตำแหน่งของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งและความเข้มแสงจากการวัดข้างต้นได้



รูป 3.7 ภาพรวมอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้

ในขั้นตอนการปรับเทียบนี้จึงทำการปรับเทียบสเกลของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์จากตำแหน่งมุมของเกรตติงเป็นความยาวคลื่น โดยมีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.1 วัดสเปกตรัมแสงจากหลอดไอปรอทโดยการบันทึกสเปกการหมุนของมอเตอร์และความเข้มแสงจากโฟโตดีเทคเตอร์
- 3.3.2 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเปกการหมุนและความเข้มแสง
- 3.3.3 หาค่าตำแหน่งของเส้นสเปกตรัมจากกราฟเทียบกับความยาวคลื่นของหลอดไอปรอท
- 3.3.4 หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งสเปกการหมุนกับความยาวคลื่น
- 3.3.5 ใช้สมการในข้อ 3.3.4 คำนวณความยาวคลื่นจากตำแหน่งสเปกการหมุนทุกค่าที่บันทึกไว้ในข้อแรกและเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นที่คำนวณได้และความเข้มแสง จะได้สเปกตรัมแสงที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

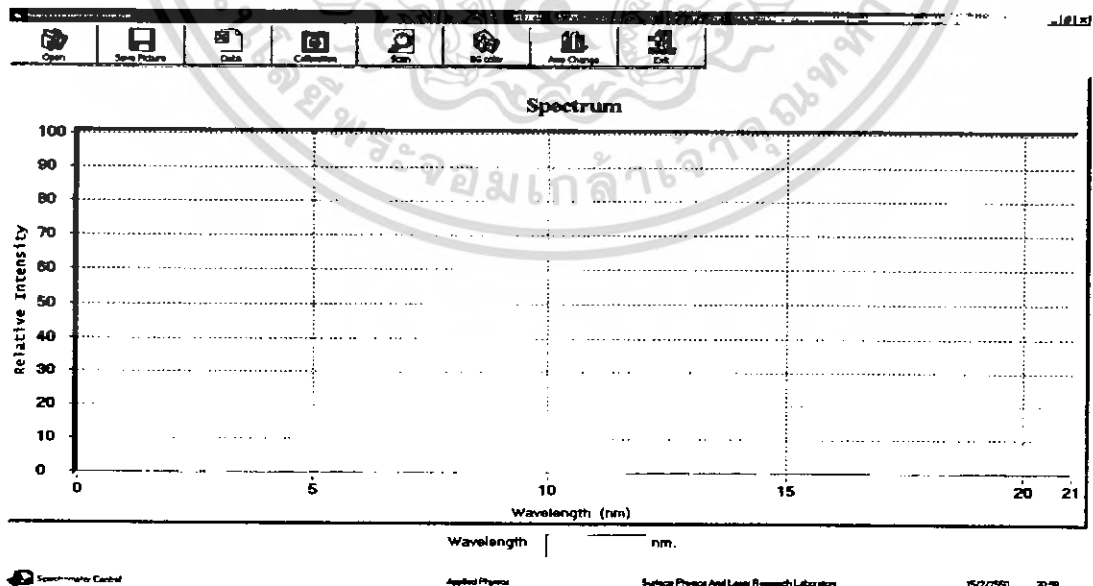
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การสอบเทียบสเปกโตรมิเตอร์

โดยทั่วไปสเปกโตรมิเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นจะยังไม่สามารถวัดสเปกตรัมแสงได้เนื่องจากยังไม่มีสเกลที่แสดงความยาวคลื่นแสง ดังนั้นสเปกโตรมิเตอร์ทุกเครื่องที่ถูกสร้างขึ้นจะต้องผ่านขั้นตอนการสอบเทียบสเกลความยาวคลื่นเป็นอันดับแรก และควรจะต้องทำการสอบเทียบสเกลนี้ อย่างสม่ำเสมอตามความเหมาะสมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสเกลในขณะที่ใช้งานสเปกโตรมิเตอร์นี้ การสอบเทียบสเกลของสเปกโตรมิเตอร์ทำโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ทราบค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนเป็นค่าอ้างอิงสำหรับการสอบเทียบ ในโครงการนี้จะใช้หลอดไอปรอทเป็นแหล่งกำเนิดแสงในการสอบเทียบสเกล ซึ่งขั้นตอนการสอบเทียบมีดังนี้

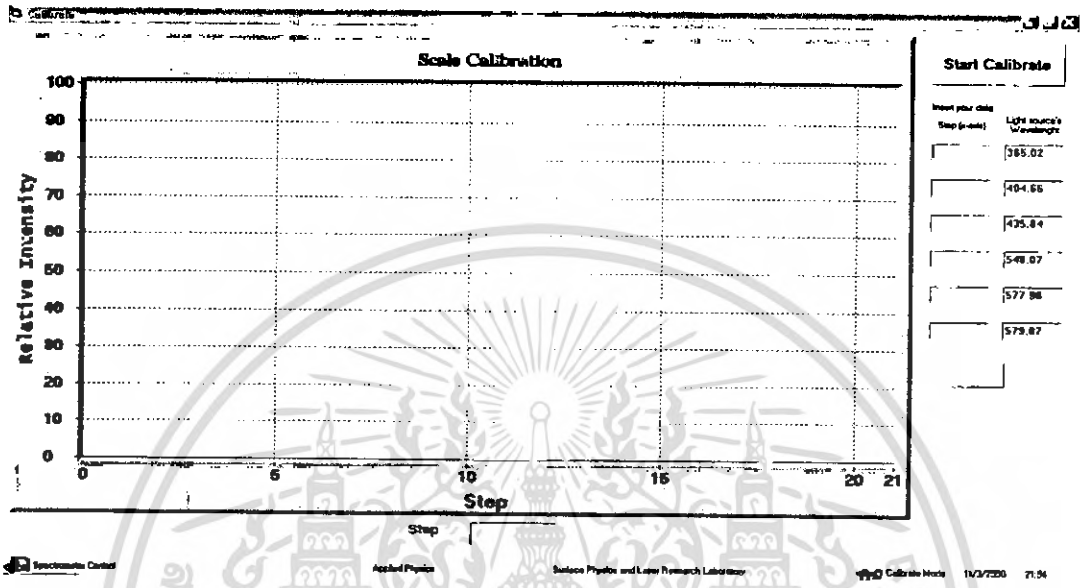
1. จัดชุดการทดลองเพื่อสอบเทียบสเปกโตรมิเตอร์โดยใช้หลอดไอปรอทเป็นแหล่งกำเนิดแสง
2. เปิดโปรแกรมควบคุมสเปกโตรมิเตอร์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โปรแกรมควบคุมสเปกโตรมิเตอร์

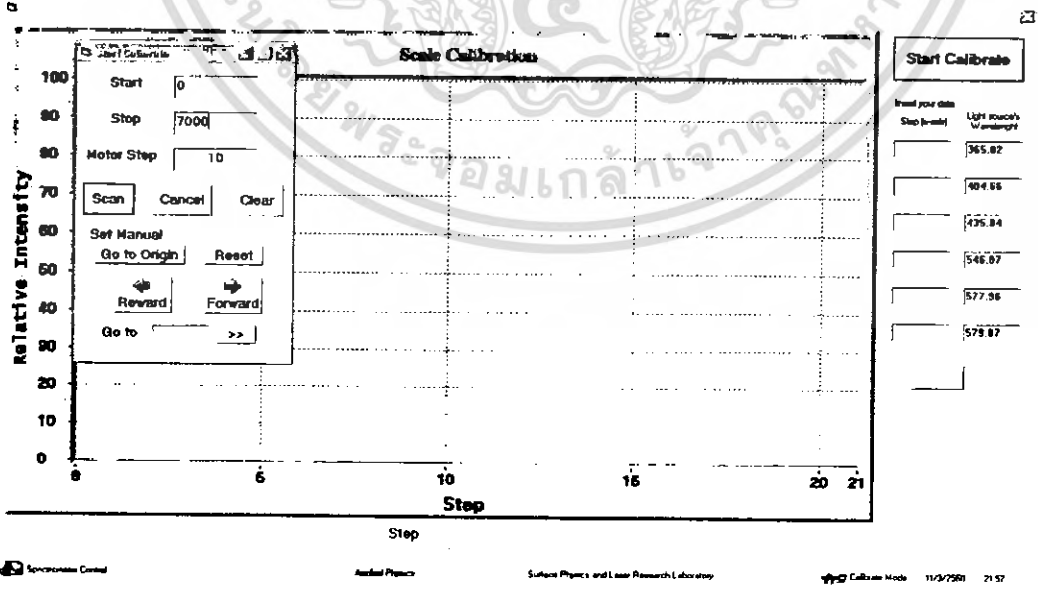
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกโหมดสอบเทียบของโปรแกรม (Calibration) เพื่อสอบเทียบสเกล จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โหมดสอบเทียบสเกลของโปรแกรม

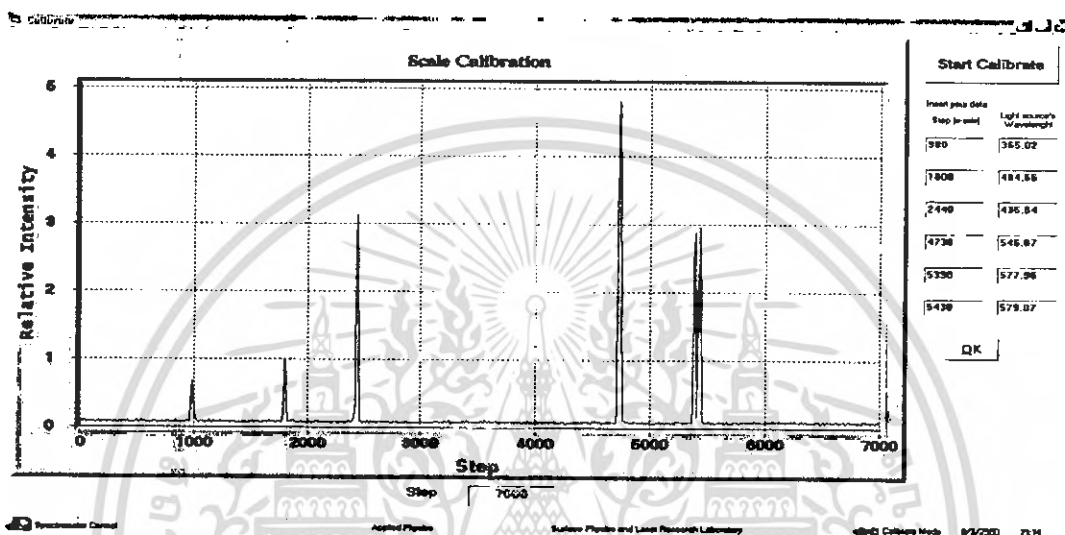
4. เลือกปุ่ม Start Calibrate จะปรากฏหน้าต่าง Start Calibrate ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การใส่ค่าเพื่อเริ่มการสอบเทียบสเกล

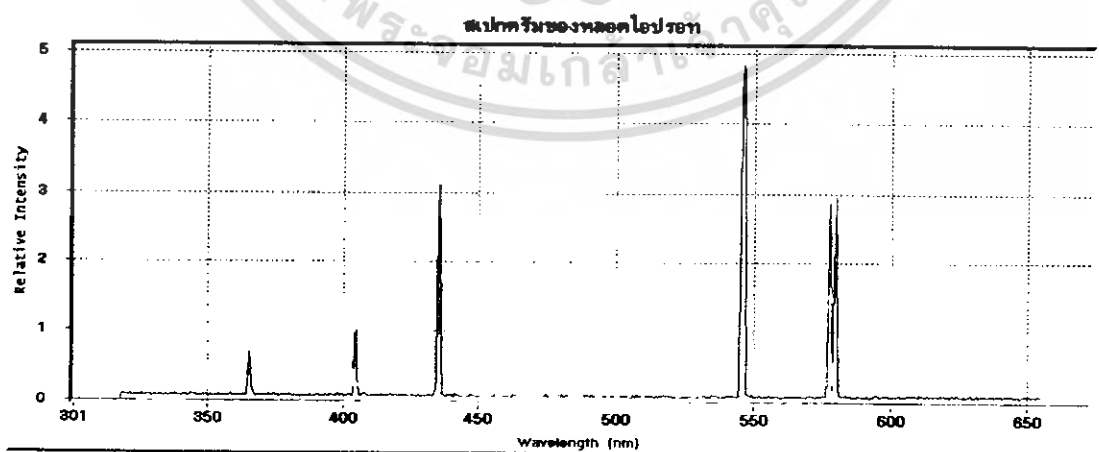
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใส่ช่วงของการสแกนและเริ่มการทำงาน (Scan)
6. เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จ จะปรากฏเส้นสเปกตรัมของหลอดไอปรอทดังรูปที่ 4.4 จากนั้นจึงใส่เลขสเกลของมอเตอร์ที่ตรงกับเส้นสเปกตรัมแต่ละเส้นและความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมที่สมนัยกันลงในช่องทางด้านขวาของจอภาพ



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการเปลี่ยนแกนของสเปกโตรมิเตอร์ให้อยู่ในรูปของความยาวคลื่น

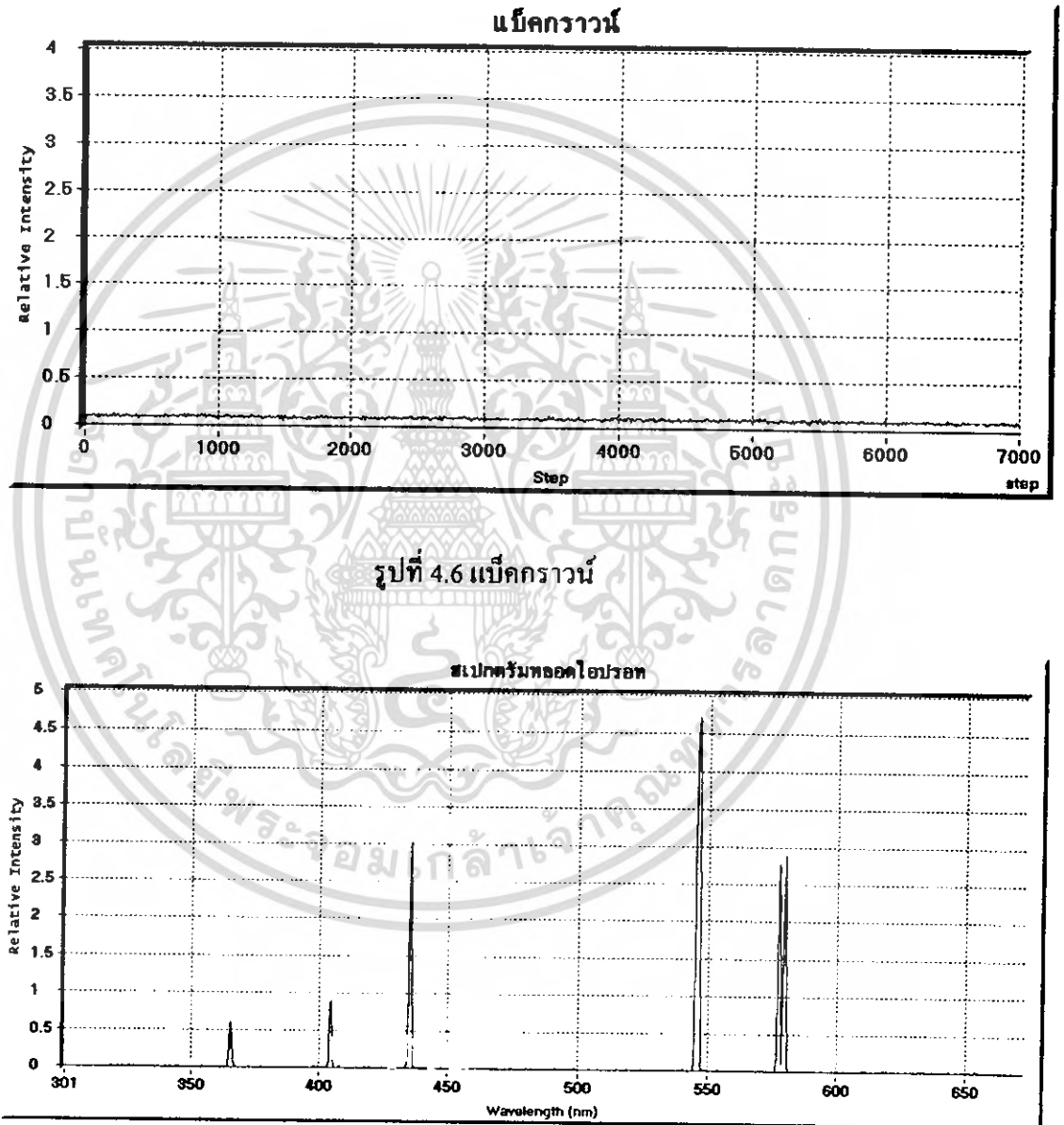
7. โปรแกรมจะคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสเกลของมอเตอร์กับความยาวคลื่น และทำการแปลงค่าสเกลของมอเตอร์ให้อยู่ในรูปของความยาวคลื่น ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงสเปกตรัมแสงหลังจบขั้นตอนการสอบเทียบสเกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมแสงในลักษณะที่มีค่าเบี่ยงเบนรวมอยู่ จะทำให้ข้อมูลของความเข้มแสงมากกว่าความเป็นจริง จึงต้องมีการนำค่าเบี่ยงเบนออก โดยการนำสเปกตรัมของเบี่ยงเบนมาลบกับสเปกตรัมของหลอดไอปรอทได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.7

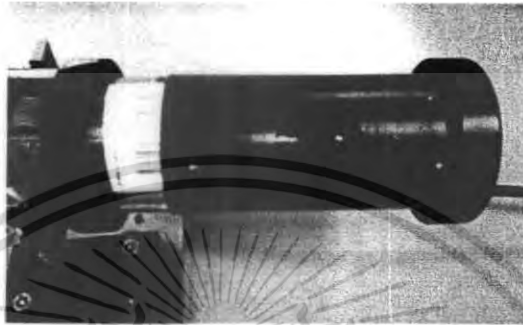


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงสเปกตรัมแสงหลังจบบันทึกขั้นตอนการสอบเทียบสเกล โดยลบค่าเบี่ยงเบนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

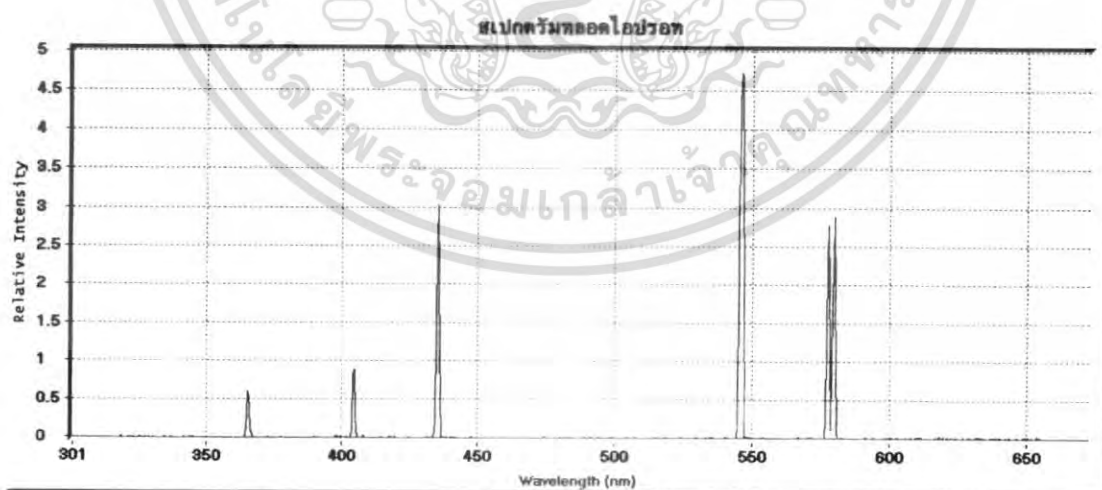
4.2 การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

4.2.1 หลอดไอปรอท



รูปที่ 4.8 หลอดไอปรอท

หลอดไอปรอทนั้นมักถูกใช้ในการสอบเทียบสเกลของสเปกโตรมิเตอร์ เนื่องจากมีค่าความยาวคลื่นที่แน่นอน โดยให้ค่าสเปกตรัมของความยาวคลื่นแสงที่ 365.02 นาโนเมตร 404.66 นาโนเมตร 435.84 นาโนเมตร 546.07 นาโนเมตร 577.96 นาโนเมตร และ 579.07 นาโนเมตร จากการทดลองวัดสเปกตรัมแสงของหลอดไอปรอทให้ผลการวัดดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของหลอดไอปรอท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากหลอดไอปรอท

| ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง | จำนวนสเปก | ค่าที่วัดได้(mm) | ค่าจริง (nm) | ค่าผิดพลาด(nm) | เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด (%) |
|-----------------------|-----------|------------------|--------------|----------------|------------------------|
| หลอดไอปรอท | 980 | 365.4 | 365.02 | 0.38 | 0.10 |
| | 1800 | 404.0 | 404.66 | 0.66 | 0.16 |
| | 2440 | 435.7 | 435.84 | 0.14 | 0.03 |
| | 4730 | 546.7 | 546.07 | 0.63 | 0.12 |
| | 5390 | 577.2 | 577.96 | 0.76 | 0.13 |
| | 5430 | 579.3 | 579.07 | 0.23 | 0.04 |

4.2.2 หลอดซีนอน

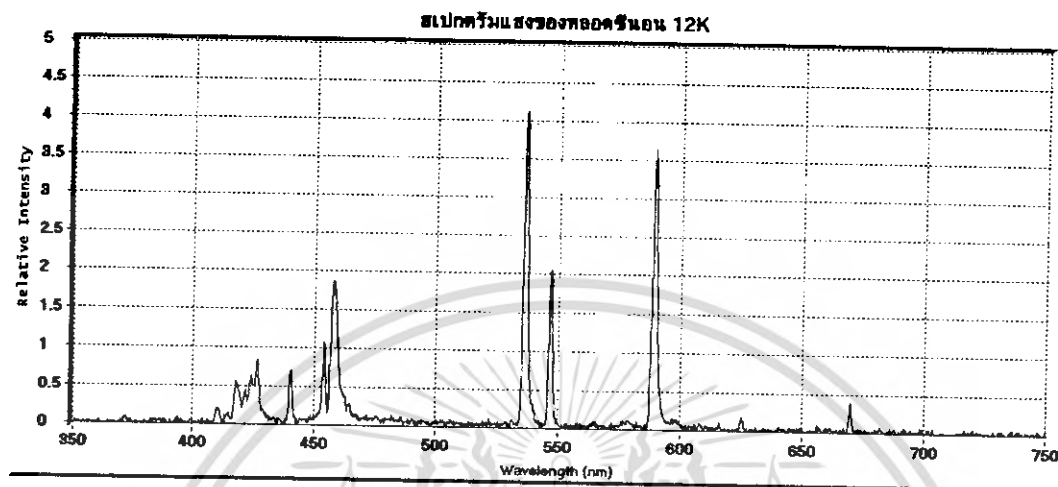


รูปที่ 4.10 หลอดซีนอนอุณหภูมิต่ำ 12K และ 14K

การวัดสเปกตรัมของหลอดซีนอนในการทดลองนี้ใช้หลอดซีนอน 2 แบบ คือที่อุณหภูมิต่ำ 12K และ 14K ซึ่งเป็นหลอดที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นไฟหน้าของรถยนต์ โดยผลการทดลองที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของหลอดซีนอนทั้ง 2 แบบนั้นมีลักษณะใกล้เคียงกันคือลักษณะของสเปกตรัมจะต่อเนื่องผสมกับเส้นสเปกตรัมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง และเป็นสเปกตรัมแสงในย่านที่ตามองเห็นเท่านั้น ดังผลการทดลองแสดงได้ดังรูป 4.7 และ 4.8 สำหรับหลอดซีนอนที่อุณหภูมิต่ำ 12K และ 14K ตามลำดับ

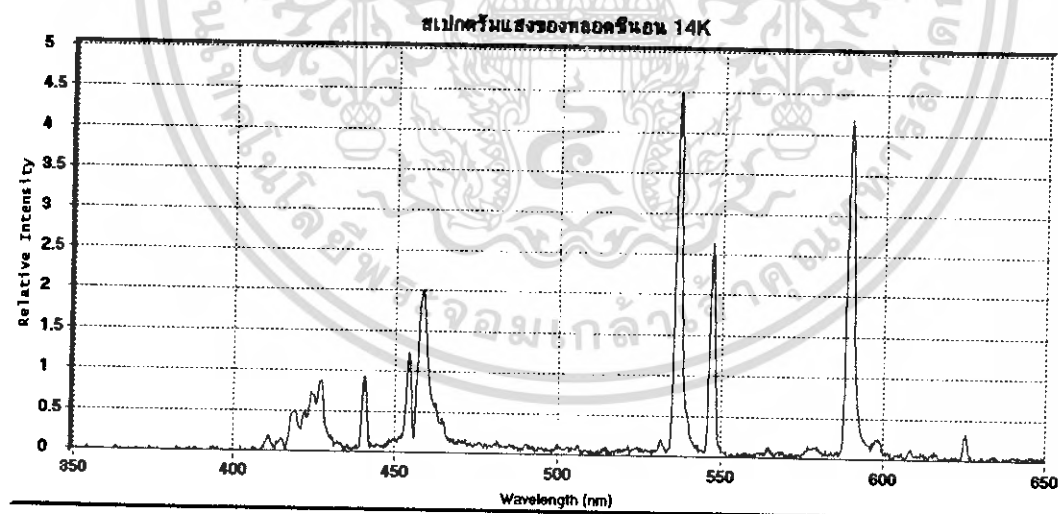
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 หลอดซีโนนอนอุณหภูมิต่ำ 12K



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของหลอดซีโนนอนอุณหภูมิต่ำ 12K

4.2.2.2 หลอดซีโนนอนอุณหภูมิต่ำ 14K

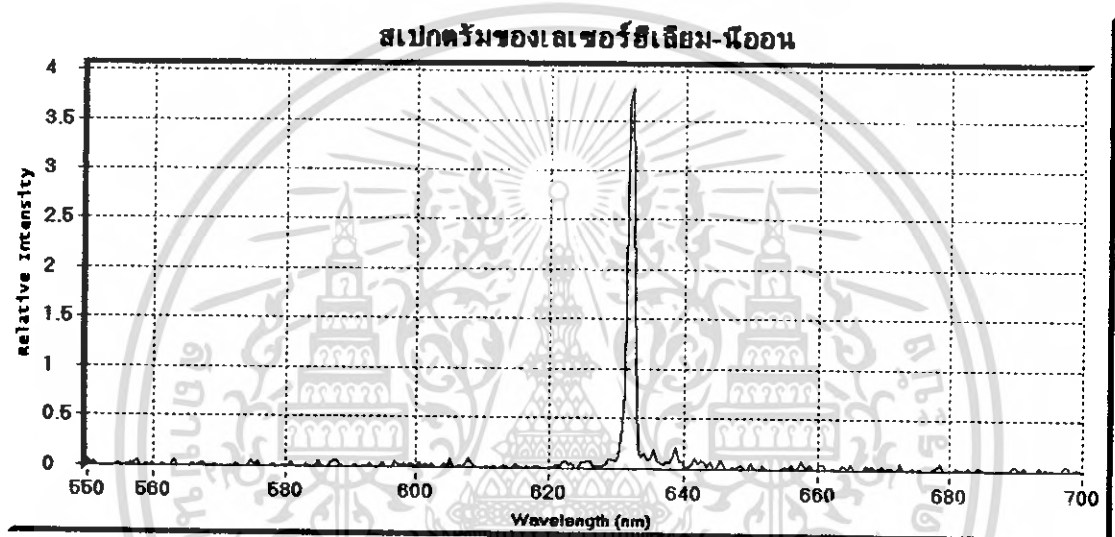


รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของหลอดซีโนนอนอุณหภูมิต่ำ 14K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 เลเซอร์ฮีเลียม – นีออน

เลเซอร์ฮีเลียม-นีออนเป็นแหล่งกำเนิดแสงความยาวคลื่นเดี่ยวนี้อาจมีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร โดยมีสเปกตรัมเป็นเส้นสเปกตรัมแคบมากเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงทั่วไปในธรรมชาติ ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.9 โดยให้สเปกตรัมที่ค่าความยาวคลื่น 632.78 นาโนเมตร



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม – นีออน

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของแสงจากเลเซอร์ฮีเลียม – นีออน

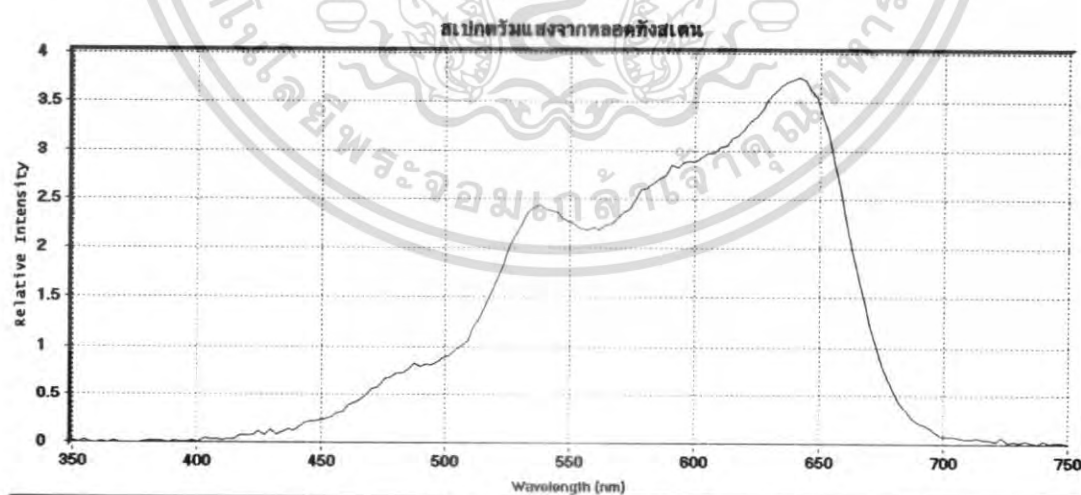
| ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง | ค่าที่วัดได้(nm) | ค่าจริง (nm) |
|------------------------|------------------|--------------|
| เลเซอร์ฮีเลียม – นีออน | 632.78 | 632.80 |

4.2.5 หลอดไส้ทั้งสเดน



รูปที่ 4.14 หลอดไส้ทั้งสเดน

หลอดไส้ทั้งสเดนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เกิดจากการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดทั้งสเดนจนทำให้เกิดความร้อนมากกว่า 1000 องศา อะตอมของทั้งสเดนจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อน (thermal excitation) และคายพลังงานออกในรูปของแสงที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องในย่านที่ตามองเห็น ผลการทดลองที่ได้จากหลอดไส้ทั้งสเดนนั้นให้สเปกตรัมแบบต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 4.10

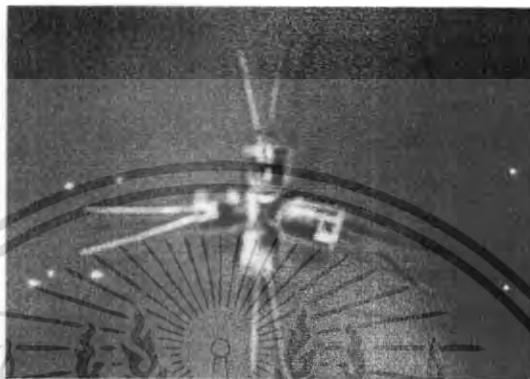


รูปที่ 4.15 สเปกตรัมของหลอดไส้ทั้งสเดน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

4.3.1 ไดโอดเปล่งแสง

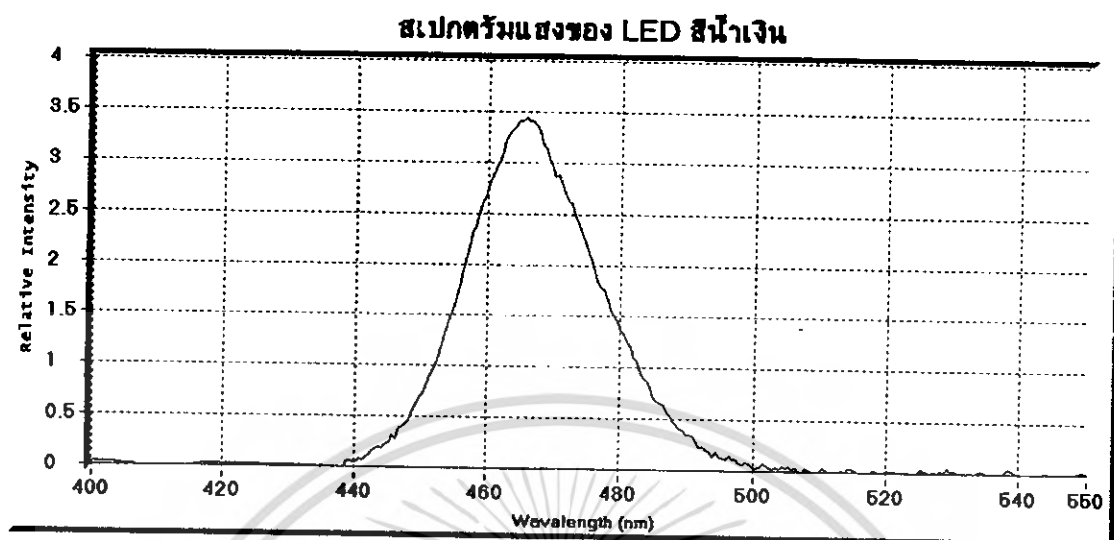


รูปที่ 4.16 ไดโอดเปล่งแสง

การทดลองวัดสเปกตรัมแสงจากไดโอดเปล่งแสงในการทดลองนี้จะใช้ ไดโอดเปล่งแสง สีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง และสีขาว โดยแสดงผลการทดลองได้ดังนี้

4.3.1.1 ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน

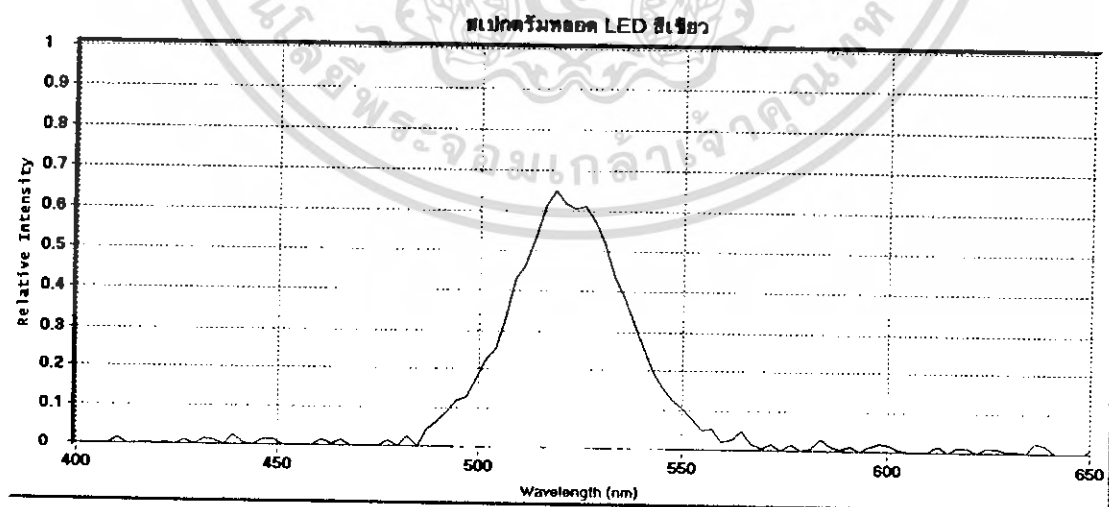
ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินให้สีน้ำเงินมีสเปกตรัมอยู่ในช่วง 438 - 502 นาโนเมตร โดยพีคที่สูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 487.3 นาโนเมตร และ มีความกว้างของสเปกตรัมคือ 59.8 นาโนเมตร



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน

4.3.1.2 ไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

ไดโอดเปล่งแสงสีเขียวให้สเปกตรัมอยู่ในช่วง 480 – 560 นาโนเมตร โดยพิกัดที่สูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 540.3 นาโนเมตร และ มีความกว้างของสเปกตรัมคือ 41 นาโนเมตร

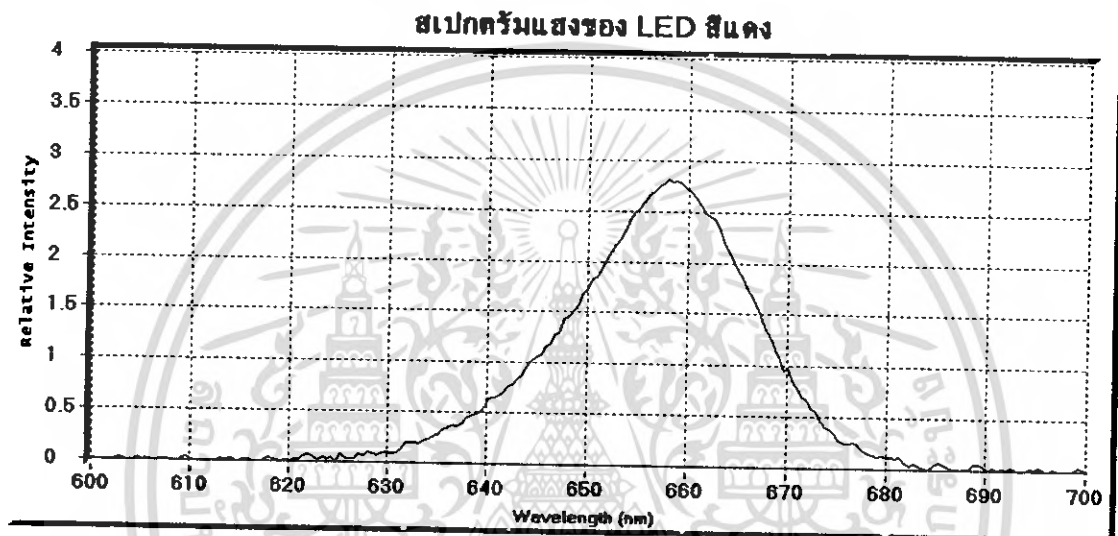


รูปที่ 4.18 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 ไดโอดเปล่งแสงสีแดง

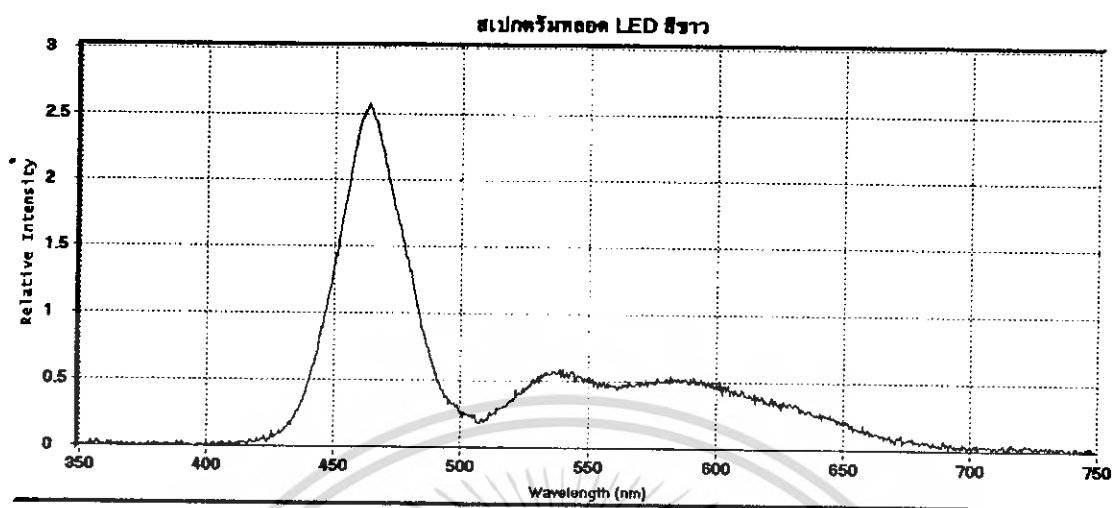
ไดโอดเปล่งแสงสีแดงให้สเปกตรัมอยู่ในช่วง 625 - 685 นาโนเมตร โดยพีคที่สูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 641.5 นาโนเมตร และมีความกว้างของสเปกตรัมคือ 50.5 นาโนเมตร



รูปที่ 4.19 สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีแดง

4.3.1.4 ไดโอดเปล่งแสงสีขาว

จากผลการทดลอง ได้ผลการทดลองดังรูป 4.23 สามารถเห็นสเปกตรัมของทั้ง 3 สี คือสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง โดยจะเห็นสเปกตรัมของสีน้ำเงินชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 463.20 นาโนเมตร



รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของหลอดโคโคดเปล่งแสงสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์แบบดั้งเดิมจะเป็นการใช้มือหมุนเพื่อเลื่อนเกรตติงคั่นค่าที่ได้ อาจมีความคลาดเคลื่อนและเสียเวลามาก จึงนำสเตปมอเตอร์แบบ 5 เฟสติดตั้งเพื่อสามารถควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ เพื่อลดความผิดพลาดนี้ และการสร้างระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ของเดิมยังมีข้อผิดพลาดและต้องแก้ไขและปรับปรุง โปรแกรมหลายจุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น การหมุนของสเตปมอเตอร์ที่การหมุนไปและหมุนกลับไม่เท่ากัน และฟังก์ชันต่างๆของโปรแกรมน้อยสามารถทำได้เพียงการสแกนไม่มีฟังก์ชันใดๆเพื่อการใช้งาน โปรแกรมที่สะดวก จึงมีการปรับปรุงเพื่อพัฒนาระบบควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ ดังนี้

- ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์
 1. การหมุนของสเตปมอเตอร์ทั้งขาไปและจากกลับให้เท่ากัน ในข้อนี้เป็นการแก้ไขจากของเดิมที่มี
 2. สามารถแสดงผลได้แบบ Real Time บนจอ LCD
 3. สามารถสั่งให้มอเตอร์หมุนไปหรือหมุนกลับ โดยการสั่งโดยตรงที่บอร์ดได้
 4. ออกแบบให้บอร์ดทดลองจัดใส่อยู่ในกล่องเก็บเพื่อความเรียบร้อยเพื่อความสะดวกในการใช้งาน
- ส่วนไมโครคอมพิวเตอร์ โปรแกรมถูกพัฒนาให้ใช้งาน ได้ยืดหยุ่นมากขึ้นกว่าเดิม
 1. โปรแกรมสามารถสอบเทียบเครื่องมือและเก็บผลสอบเทียบไว้ได้เพื่อการใช้งานในครั้งต่อไป
 2. โปรแกรมสามารถแสดงผลได้ทั้งอยู่ในรูปความสัมพันธ์ของสเตปมอเตอร์กับความยาวคลื่นและในรูปสเปกตรัมแสง
 3. โปรแกรมสามารถเปิดข้อมูลเก่าที่เป็นไฟล์เอ็กเซลเพื่อนำมาดูในภายหลังได้
 4. โปรแกรมมีฟังก์ชันการบันทึกไฟล์เอ็กเซล และรูปของกราฟได้

ผลการทดลองวัดสเปกตรัมจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆด้วยระบบควบคุมเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 การวัดสเปกตรัมแสงของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ

5.1.1.1 หลอดไอปรอท

การสอบเทียบสเปกโตรมิเตอร์ในโครงการนี้ใช้หลอดไอปรอทในการทดลอง และได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.6 มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.14 เปอร์เซ็นต์ และมีความคลาดเคลื่อนต่ำสุด 0.01 เปอร์เซ็นต์

5.1.1.2 หลอดซินอน

ลักษณะของสเปกตรัมที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของหลอดซินอนทั้ง 2 แบบคือที่ อุณหภูมิ 12K และ 14K นั้นมีลักษณะที่คล้ายกันคือสเปกตรัมมีลักษณะต่อเนื่องผสมกับเส้นสเปกตรัมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของหลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหลอดซินอนจะให้สเปกตรัมในย่านที่กว้างมากตั้งแต่อัลตราไวโอเล็ตจนถึงย่านที่ตามองเห็น แต่เนื่องจากหลอดซินอนที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นหลอดที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นไฟส่องสว่างสำหรับไฟหน้ารถยนต์ซึ่งมีข้อกำหนดเป็นมาตรฐานว่าหลอดที่ใช้กับรถยนต์จะต้องไม่มีแสงในย่านอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ เพื่อให้ผ่านมาตรฐานดังกล่าวผู้ผลิตจึงใช้หลอดที่ทำด้วยแก้วที่แสงอัลตราไวโอเล็ตไม่สามารถส่องผ่านได้ จากผลการวัดสเปกตรัมของหลอดซินอนดังกล่าวพบว่าไม่มีแสงในย่านความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงในย่านอัลตราไวโอเล็ตเลย เป็นการยืนยันว่าหลอดซินอนทั้งสองผ่านมาตรฐานสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

5.1.1.3 เลเซอร์ฮีเลียม - นีออน

ผลการทดลองที่ได้จากการวัดสเปกตรัมของเลเซอร์ฮีเลียม - นีออนจะให้สเปกตรัมเดี่ยวที่แคบมากมีค่าความยาวคลื่น 632.78 นาโนเมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

5.1.1.4 หลอดไส้ทั้งสแตน

หลอดไส้ทั้งสแตนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เกิดจากความร้อนจึงให้สเปกตรัมแสงแบบต่อเนื่องในย่านที่ตามองเห็น แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดไส้ทั้งสแตนที่ใช้ให้แสงผ่านทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายใยแก้วนำแสง (Optical fiber) จากสเปกตรัมที่วัดได้จะเห็นว่าหลอดไส้ทั้งสแตนให้แสงในย่านความยาวคลื่นสั้น ได้แก่ ย่านแสงสีม่วงและสีน้ำเงินที่มีความเข้มแสงต่ำมาก ความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในย่านแสงสีแดงที่ความยาวคลื่นประมาณ 640 นาโนเมตร แต่จะเห็นว่าความเข้มของแสงที่ค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นอย่างไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการดูดกลืนแสงในสายใยแก้วนำแสงที่ไม่เท่ากันเมื่อความยาวคลื่นต่างกัน

5.1.2 การวัดสเปกตรัมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสง

5.1.2.1 ไดโอดเปล่งแสง

ไดโอดเปล่งแสงทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองมี 4 สีคือ

- ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน มีสเปกตรัมอยู่ในช่วง 438 - 502 นาโนเมตร โดยพีคที่สูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 487.3 นาโนเมตร และ มีความกว้างของสเปกตรัมคือ 59.8 นาโนเมตร
- ไดโอดเปล่งแสงสีเขียว มีสเปกตรัมอยู่ในช่วง 480 - 560 นาโนเมตร โดยพีคที่สูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 540.3 นาโนเมตร และ มีความกว้างของสเปกตรัมคือ 41 นาโนเมตร
- ไดโอดเปล่งแสงสีแดง มีสเปกตรัมอยู่ในช่วง 625 - 685 นาโนเมตร โดยพีคที่สูงที่สุดที่ความยาวคลื่น 641.5 นาโนเมตร และ มีความกว้างของสเปกตรัมคือ 50.5 นาโนเมตร
- ไดโอดเปล่งแสงสีขาว จากผลการทดลองได้ผลการทดลองดังรูป 4.23 สามารถเห็นสเปกตรัมของทั้ง 3 สี คือสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง โดยจะเห็นสเปกตรัมของสีน้ำเงินชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 463.20 นาโนเมตร

จากผลการทดลองนี้เราจะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของหลอดไดโอดเปล่งแสงกับหลอดไอปรอทแล้ว หลอดไดโอดเปล่งแสงจะมีสเปกตรัมที่กว้างกว่ามากซึ่งหลอดไอปรอทมีความกว้างเพียงประมาณ 2 นาโนเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัญหาที่เกิดจากการทดลอง

ข้อควรระวังที่สำคัญในการทดลองนี้ คือ การจัดวางชุดอุปกรณ์การทดลองเพราะต้องมีการจัดวางให้ตำแหน่งให้เหมาะสมมากที่สุด โดยจะต้องจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงเพื่อให้แสงผ่านสลิตขาเข้า (entrance slit) เข้าสู่สเปกโตรมิเตอร์ให้มากที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับ

แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ เพื่อให้สัญญาณความเข้มแสงที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์มีค่าสูงพอที่จะแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลโดยไม่คลาดเคลื่อน

การจัดตำแหน่งที่เหมาะสมของแหล่งกำเนิดแสงทำได้โดยจัดวางแหล่งกำเนิดแสงในตำแหน่งที่คิดว่าตรงกับสลิทขาเข้ามากที่สุดและสังเกตสัญญาณความเข้มแสงที่วัดได้จากโฟโตดีเทคเตอร์ จากนั้นค่อย ๆ ให้นำมุมมอเตอร์ไปยังตำแหน่งที่เป็นจุดยอดของเส้นสเปกตรัมซึ่งจะให้ค่าสัญญาณความเข้มแสงสูงสุด จากนั้นจึงค่อย ๆ ขยับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงจนได้ตำแหน่งที่ให้สัญญาณความเข้มแสงสูงสุด ตำแหน่งนี้จะเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวัด

ในกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงมีความเข้มแสงต่ำจะต้องพยายามวางแหล่งกำเนิดแสงให้ใกล้สลิทขาเข้าให้มากที่สุด สำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างมากการจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงจะไม่มีปัญหามากนักแต่ต้องระวังไม่ให้แสงผ่านเข้าสู่สเปกโตรมิเตอร์มากจนทำให้สัญญาณที่วัดได้โดยโฟโตดีเทคเตอร์มีค่าเกิน 5 โวลต์ เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล ในกรณีนี้แก้ไขได้โดยการเลื่อนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงให้ห่างจากสลิทขาเข้ามากขึ้นจนกระทั่งค่าความเข้มแสงสูงสุดที่วัดได้มีค่าไม่เกิน 5 โวลต์

5.2.2 ปัญหาที่เกิดจากส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล

เนื่องจากโปรแกรมควบคุมการทำงานนั้นสามารถเลือกระดับความละเอียดของการวัดได้จึงต้องมีการเลือกระดับที่เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดและช่วงที่ต้องการวัดสเปกตรัม

5.2.3 ปัญหาที่เกิดจากส่วนอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์

ส่วนควบคุมมอเตอร์ประกอบไปด้วย ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ หม้อแปลง และบอร์ดวงจร ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมาก

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ให้โปรแกรมสามารถแสดงสเปกตรัมหลายสเปกตรัมพร้อมกันได้บนกราฟเดียวกันโดยการแบ่งเป็นเลขอร์เพื่อความสวยงามและสามารถคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมเมื่อมีแหล่งกำเนิดแสงมากกว่า 1 แบบ
2. ควรมีการออกแบบหรือแก้ไขวงจรเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ประจัน พลังตันติกุล. **เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์**. กรุงเทพมหานคร. บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.

รศ.สุวรรณ คูดำราญ. 2537. **ทัศนศาสตร์กายภาพ (Physical Optic)**.

สัจจะ จรัสรุ่งเรือง. 2544. **คู่มือการเขียนโปรแกรมและใช้งาน Visual Basic6**. บริษัทดวงกลมสมัย จำกัด

วรานันต์ วงศ์วิเศษ. 2541. **รู้จัก รู้จริง Microsoft Visual Basic 6.0 Expert Edition**. บริษัท เอส.พี.ซี.พรินติ้ง จำกัด

ประภาพร ช่างไม้. 2545. **คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษาซีฉบับผู้เริ่มต้น**. นนทบุรี . อินโฟเพรส

วิชิต ศิริโชติ. 2544. **การเขียนโปรแกรม MCS51 ด้วยภาษาซี**. กรุงเทพฯ

Vincent Himpe. 2002. **Visual Basic For Electronics Engineering Applications**. 2nd edition
Nigel Gardner. PIC C. United Kindom.

www.google.co.th

www.ccsinfo.com

www.ett.co.th

www.petech.ac.za/microchip

www.vbthailand.com

www.thaimcu.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ในการสอบเทียบเครื่องมือในโรงงานนี้มีการคำนวณเพื่อเปลี่ยนแกนในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มแสงและสเปคโตรัมให้อยู่ในรูปของสเปกตรัม โดยมีหลักการคำนวณในการเปลี่ยนแกนดังนี้

1. เมื่อเราได้ผลการทดลองเป็นกราฟอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและสเปคโตรัมแล้ว จะมีการกรอกค่าของสเปคโตรัมของพิกที่เห็นในช่อง step
2. โปรแกรมจะนำค่าในช่อง Step (x-axis) และ ช่อง Light's source Wavelength มาคำนวณเพื่อหาค่าสมการเส้นตรงโดยให้ข้อมูลในช่อง Step (x-axis) เป็นแกน X และข้อมูลในช่อง Light's source Wavelength เป็นแกน Y โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Square) จากสมการ $y=mx+c$ โดยที่

$$c = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$m = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

3. เมื่อได้สมการเส้นตรงแล้ว โปรแกรมจะนำค่า Y ไปแทนสมการเส้นตรงเพื่อหาค่า X ใหม่ ค่า X ที่ได้นี้คือค่าความยาวคลื่น แล้วนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและความเข้มแสงหรือสเปกตรัมนั่นเองนอกจากนี้ค่า m และค่า c จะยังถูกส่งไปยังส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเก็บค่าไว้ในรอม (Rom) เพื่อใช้ในการใช้งานครั้งต่อไป

คู่มือการใช้งานโปรแกรม Hyper Spectra v1.0

แถบเครื่องมือ



ปุ่ม Open

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการเปิดไฟล์ข้อมูล ซึ่งเป็นไฟล์ชนิด Excel มาใช้งาน แล้วโปรแกรมจะทำการนำข้อมูลที่ท่านเปิดมาแสดงผล

ปุ่ม Save Picture

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการบันทึกรูปภาพที่โปรแกรมได้แสดงผล สามารถเลือกชื่อที่บันทึกและชนิดของไฟล์ได้ ระหว่าง BMP หรือ JPEG

ปุ่ม Calibration

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการทำการสอบเทียบสเปกโตรมิเตอร์
อ่านข้อมูลเพิ่มเติมในหัวข้อ การสอบเทียบสเปกโตรมิเตอร์

ปุ่ม Scan

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการเริ่มทำการสแกนเส้นสเปกตรัม
อ่านข้อมูลเพิ่มเติมในหัวข้อ การทำการสแกนเส้นสเปกตรัม

ปุ่ม Background

การใช้งาน เมื่อท่านต้องการแสดงเส้นสเปกตรัมโดยลบค่าเบ็คกราวด์ กดที่ปุ่มเพื่อทำการเปิดข้อมูลซึ่งเป็นไฟล์ชนิด Excel ของเบ็คกราวด์ จากนั้น โปรแกรมจะทำการแสดงผลใหม่โดยไม่มีค่าเบ็คกราวด์

ปุ่ม Properties

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการแสดงผล เช่น เปลี่ยนสีพื้นหลัง หน้าต่างแสดงผล หรือ ตั้งค่าแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่ม Axis change

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการเปลี่ยนรูปแบบแกนแสดงผล เช่น เปลี่ยนจากแกน Wavelength เป็น Step

ปุ่ม Help

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการอ่านคู่มือของโปรแกรม

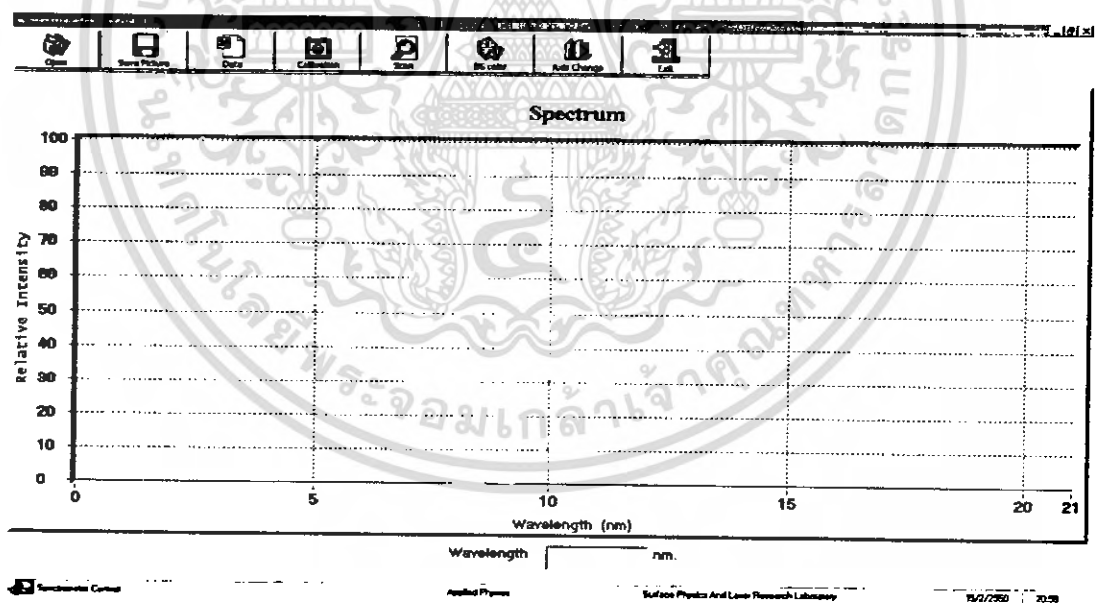
ปุ่ม Exit

การใช้งาน กดที่ปุ่มเมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

การสอบเทียบสเปกโตรมิเตอร์

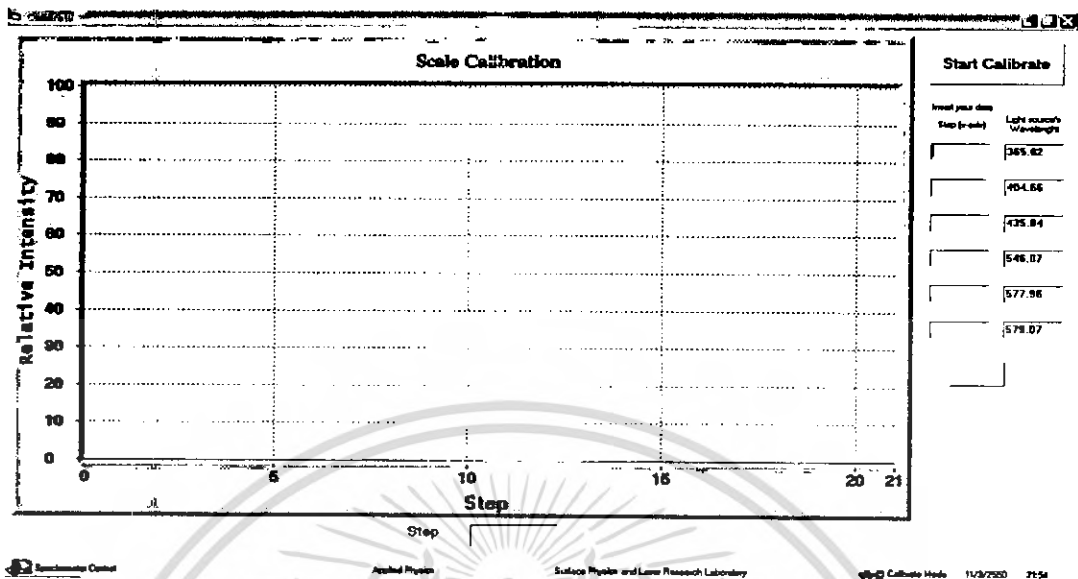
ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมเพื่อสอบเทียบสเปกโตรมิเตอร์มีดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรมควบคุมสเปกโตรมิเตอร์ดังรูป

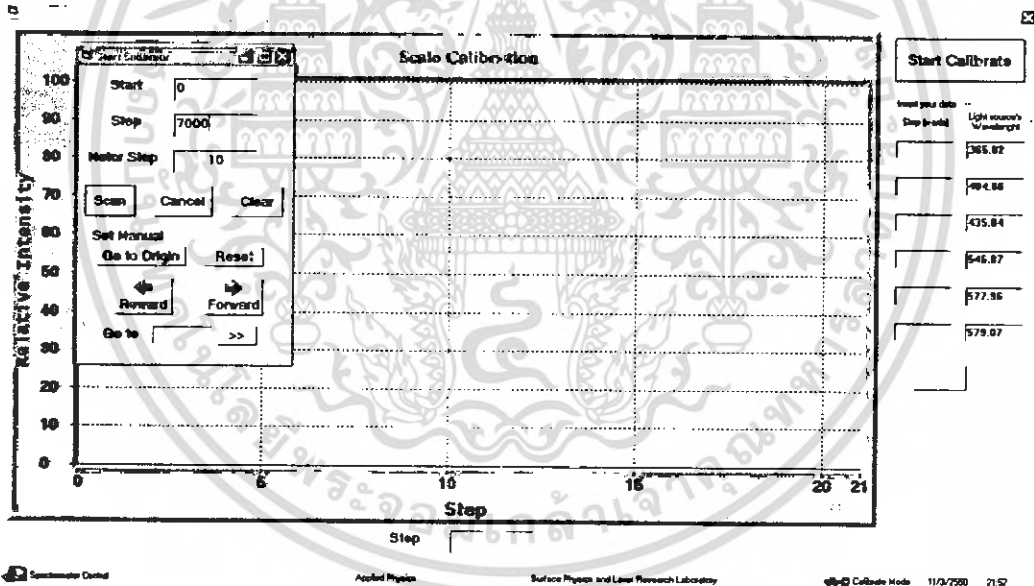


2. เลือกโหมดสอบเทียบของโปรแกรม โดยกดที่ปุ่ม Calibration เพื่อสอบเทียบสเกล จะปรากฏหน้าจอดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

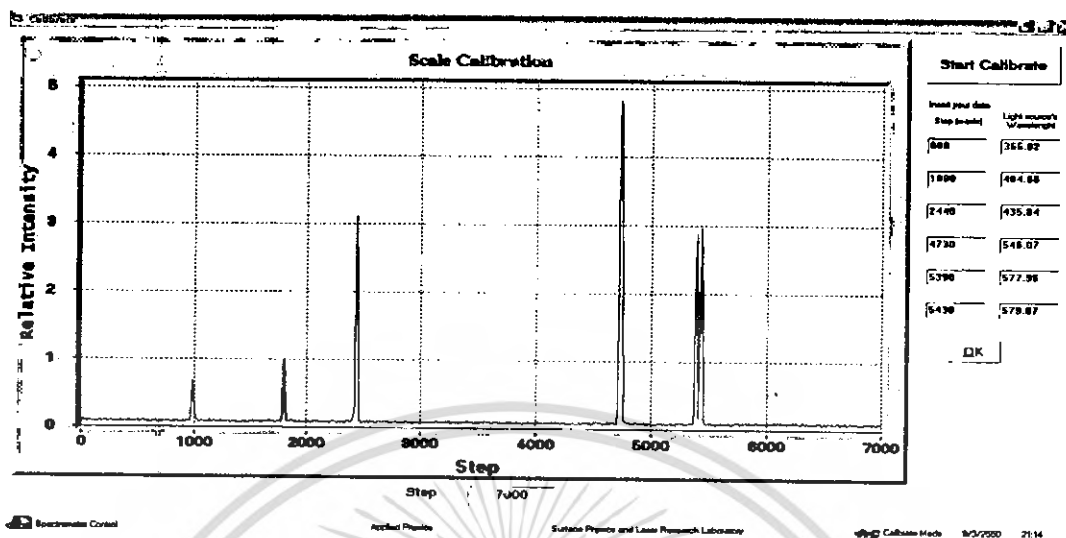


3. เลือกปุ่ม Start Calibrate จะปรากฏหน้าต่าง Start Calibrate ดังรูป

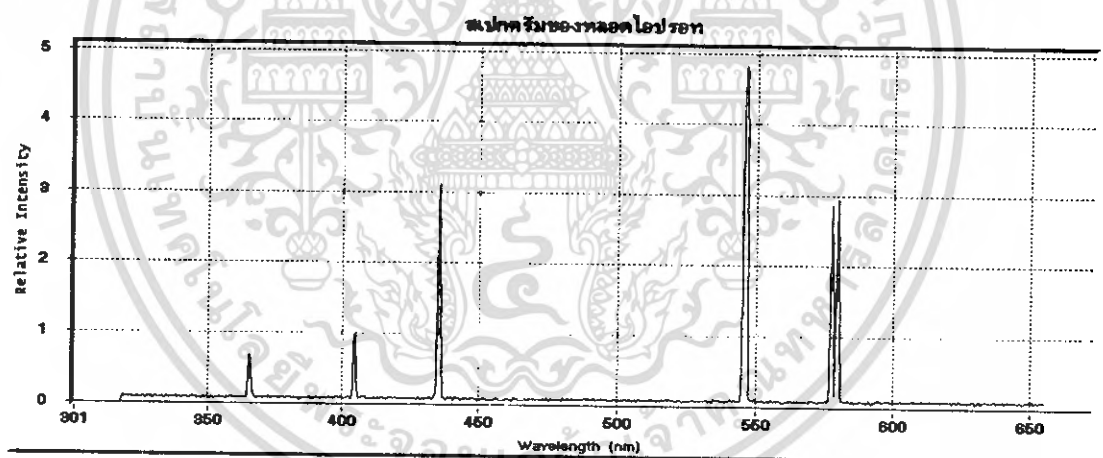


4. ใ้ช่วงของการสแกนและเริ่มการทำงาน (Scan) โดยกดที่ปุ่ม Scan จากหน้าต่าง Start Calibrate
5. เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จ จะปรากฏเส้นสเปกตรัมดังรูป จากนั้นจึงใส่เลขสเกลของมอเตอร์ที่ตรงกับเส้นสเปกตรัมแต่ละเส้นและความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมที่สมนัยกันลงในช่องทางด้านขวาของจอภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6. โปรแกรมจะคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสเปกของมอเตอร์กับความยาวคลื่นและทำการแปลงค่าสเปกของมอเตอร์ให้อยู่ในรูปของความยาวคลื่นดังรูป

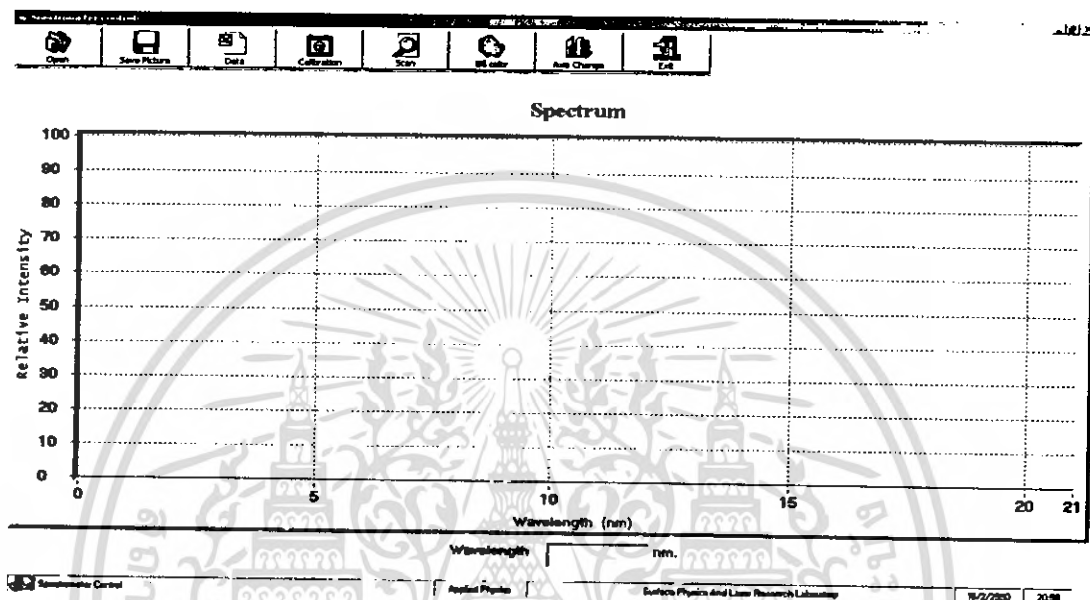


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำารสแกนเส้นสเปกตรัม

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมเพื่อทำการสแกนเส้นสเปกตรัมมีดังนี้

1. เปิดโปรแกรมควบคุมสเปกโทรมิเตอร์ดังรูป



2. กดที่ปุ่ม Scan จะปรากฏหน้าต่างย่อยขึ้นมาดังรูป

3. ใต้วงของการสแกนซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นลงในช่อง Start และ Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใส่ค่าความละเอียดของการสแกนในช่อง Motor Step เช่น ใส่เลข 10 หมายถึงทำการสแกนครั้งละ 10 สเตป
5. กดที่ปุ่ม Scan ทางขวามือเพื่อเริ่มการสแกนเส้นสเปกตรัม หรือ กดที่ปุ่ม Background ทางด้านขวามือเพื่อทำการสแกนค่าเบ็คราวด์
6. การใช้งานคำสั่งย่อยในส่วน Set Manual
 - a. Go to Origin กดที่ปุ่มเมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับไปตำแหน่งเริ่มต้น
 - b. Reset กดที่ปุ่มเมื่อต้องการตั้งให้ตำแหน่งของมอเตอร์ปัจจุบันเป็นตำแหน่งเริ่มต้น
 - c. Forward กดที่ปุ่มเมื่อต้องการให้มอเตอร์เลื่อนไปข้างหน้า
 - d. Reward กดที่ปุ่มเมื่อต้องการให้มอเตอร์เลื่อนกลับ
 - e. Go to ใส่ค่าความยาวคลื่นใดๆลงในช่องว่างจากนั้นกดปุ่ม >> ที่ติดกับช่องว่างเพื่อไปยังความยาวคลื่นนั้น

คำแนะนำและข้อควรระวัง

1. ที่ปุ่ม Open และ Background ในหน้าจอหลักสามารถเลือกเปิดได้เฉพาะข้อมูลที่เป็น Excel เท่านั้น
2. เมื่อทำการสแกนเสร็จเรียบร้อยควรบันทึกค่าเก็บไว้ทุกครั้ง
3. ในการลบค่าเบ็คราวด์นั้น ไฟล์เบ็คราวด์ที่ทำการเปิดจากปุ่ม Background ต้องมีจำนวนข้อมูลเท่ากับจำนวนข้อมูลของไฟล์ที่ได้จากการเปิดข้อมูลที่ปุ่ม Open หรือ มีจำนวนข้อมูลเท่ากับเส้นสเปกตรัมที่ทำการสแกน

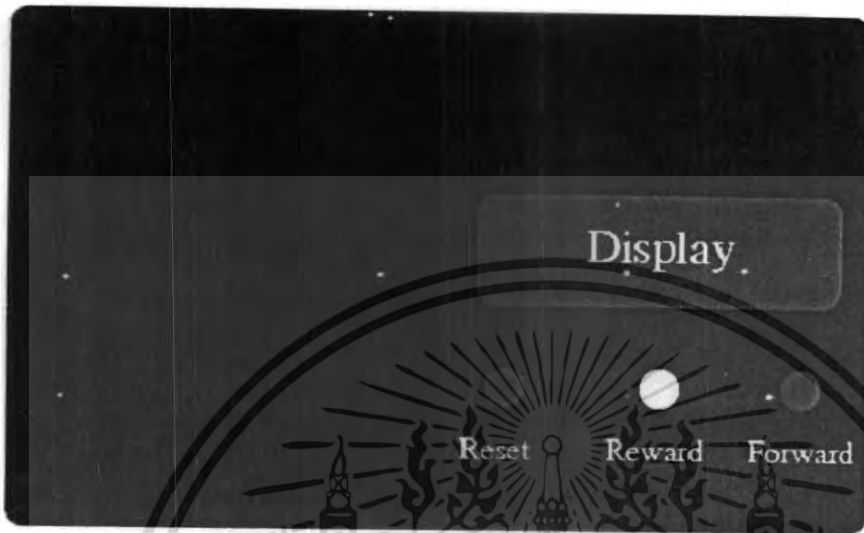
การติดตั้งกล่องวงจรเข้ากับชุดขับมอเตอร์

ทำการเสียบสายไฟจากชุดขับมอเตอร์เข้ากับช่องเสียบที่ติดกับกล่องทดลองซึ่งมีสัญลักษณ์ที่ตรงกับสายไฟเส้นนั้นๆของชุดขับมอเตอร์กำกับเอาไว้

การติดตั้งกล่องวงจรเข้ากับโฟโตทรานซิสเตอร์

ทำการเสียบสายไฟจากโฟโตทรานซิสเตอร์กับช่องเสียบที่ติดกับกล่องทดลองซึ่งมีสัญลักษณ์ที่ตรงกับสายไฟเส้นนั้นๆของโฟโตทรานซิสเตอร์

ลักษณะภายนอกของกล่องวงจรควบคุม



รูปลักษณะด้านบนของกล่องวงจรควบคุม

| | |
|---------|--|
| Display | หน้าจอแสดงผล |
| Reset | กดที่ปุ่มเมื่อต้องการตั้งให้ตำแหน่งของมอเตอร์ปัจจุบันเป็นตำแหน่งเริ่มต้น |
| Forward | กดที่ปุ่มเมื่อต้องการให้มอเตอร์เลื่อนไปข้างหน้า |
| Reward | กดที่ปุ่มเมื่อต้องการให้มอเตอร์เลื่อนกลับ |



รูปลักษณะด้านหลังของกล่องวงจรควบคุม

| | |
|-----|--|
| USB | ช่องต่อสาย USB |
| GND | ช่องต่อสาย GND จากชุดขับมอเตอร์ |
| B | ช่องต่อสาย B หรือ CCW จากชุดขับมอเตอร์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R ช่องต่อสาย R หรือ CW จากชุดขับมอเตอร์



รูปลักษณะด้านข้างของกล่องวงจรควบคุม

- GND ช่องต่อสาย GND จากไฟโตทรานซิสเตอร์
- Vout ช่องต่อสาย Vout จากไฟโตทรานซิสเตอร์
- DC 5V ช่องต่ออะแดปเตอร์