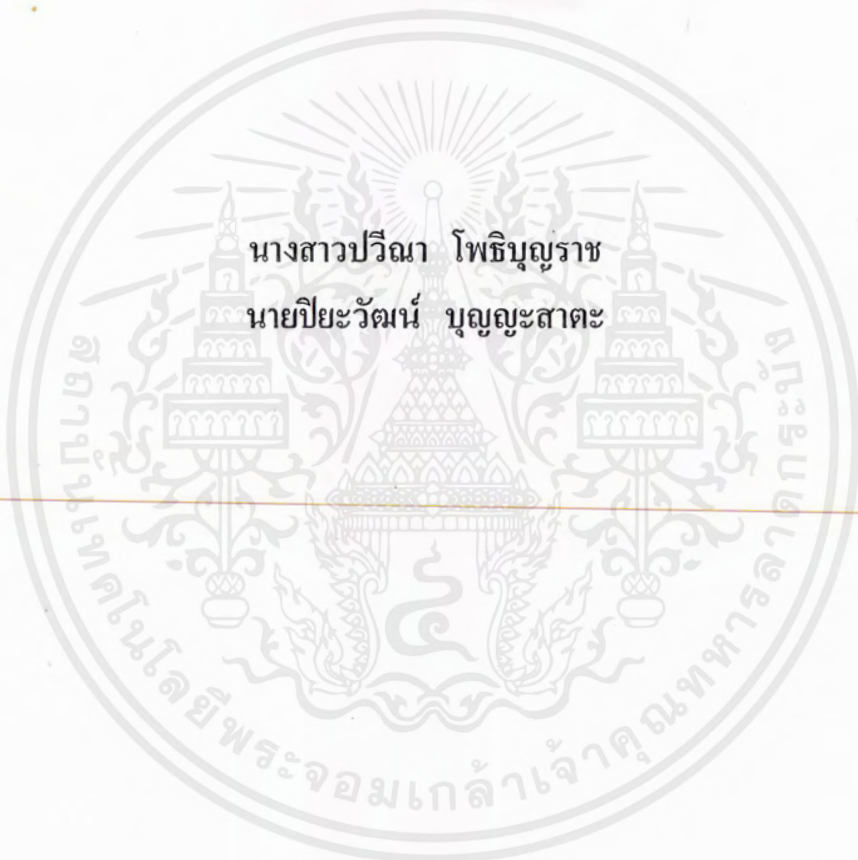


การออกแบบและการสร้างเครื่องแยกแสงสี



นางสาวปวีณา โปธิบุญราช
นายปิยะวัฒน์ บุญยะสาตะ



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2542

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 38552
วัน, เดือน, ปี..... 5 ม.ค. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Construction of Monochromator

Miss Paweena Pothibunrach

Mr. Piyawat Boonyasata

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science**

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

การออกแบบและการสร้างเครื่องแยกแสงสี

นางสาวปวีณา โพธิบุญราช

นายปิยะวัฒน์ บุญยงศาตะ

ฟิสิกส์ประยุกต์

รศ.สุวรรณ คุณสำราญ

ผศ.อนุพงษ์ สรงประภา

ดร.จิติ หนูแก้ว

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนุมัติให้นำโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

(รศ. สุรพล รักวิชัย)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ

(รศ.สุวรรณ คุณสำราญ)

ประธานกรรมการ

(ดร. จิติ หนูแก้ว)

กรรมการ

(อ. วิษณุ เพชรภา)

กรรมการ

(ผศ.อนุพงษ์ สรงประภา)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

โดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภาควิชา

ปีการศึกษา

การออกแบบและการสร้างเครื่องแยกแสงสี

นางสาวปวีณา โภธิบุญราช

นายปิยะวัฒน์ บุญณะสาตะ

รศ. สุวรรณ คูสำราญ

ผศ. อนุพงศ์ สรงประภา

ดร. จิติ หนูแก้ว

ฟิสิกส์ประยุกต์

2542

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ ที่รู้จักกันในชื่อของ สเปกโตรมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถแยกค่าความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งมีค่าความยาวคลื่นหลายค่า ออกเป็นแสงที่มีค่าความยาวคลื่นเดียว โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ 1) แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งใช้หลอดทังสเตน ซึ่งจะมีค่าความยาวคลื่นในช่วงที่แลเห็นได้ 2) โมโนโครเมเตอร์ ใช้สำหรับแยกค่าความยาวคลื่นจากแหล่งกำเนิดแสงและเลือกค่าความยาวคลื่นที่ต้องการโดยใช้เกรตติงเลี้ยวเบน และ 3) อุปกรณ์บันทึกค่า ทำหน้าที่วัดค่าปริมาณแสงแต่ละความยาวคลื่น โดยจะประกอบไปด้วยตัววัดแสง, ส่วนขยายสัญญาณ, และส่วนแสดงผล โดยอุปกรณ์นี้นำมาใช้วัดค่าความยาวคลื่นและค่าความเข้มของการดูดกลืน, ความเข้มของการส่งผ่านของแหล่งกำเนิดแสง และของแผ่นกรองแสง หรือฟิล์ม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project title	Design and Construction of Monochromotor
Name	Miss Paweena Pothibunrach Mr. Piyawat Boonyasata
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Suwan Kusumran Asst. Prof. Anupong Songprapa Dr. Jiti Nookaow
Department	Applied Physics
Academic	1999

Abstract

The purpose of this special project is to develop an optical instrument ,known as Spectrometer. Its function is to seperate light source wavelength, polychromatic, into selected monochromatic wavelength. The instrument consists of three major parts ,i.e., 1) tungstein lamp as a light source 2) monochromator, mostly with grating, 3) recorder used for measuring light intensity as a function of wavelengths. Some applications of this instrument are for measuring absorbed intensity, transmitted intensity of chemicals, filters and others.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากคนหลายฝ่ายดังนี้

คุณพ่อและคุณแม่

ผู้ให้กำลังใจและการดูแล

รศ.สุวรรณ คูสำราญ

ผู้ให้ความรู้ด้านวิชาการ

ผศ.อนุพงษ์ ทรงประภา

ผู้ให้คำแนะนำ

ดร.จิตติ หนูแก้ว

ผู้ให้คำแนะนำ

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ผู้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษ

คณะกรรมการทุกท่าน

ที่กรุณาตรวจรายงานโครงการพิเศษ

และ เพื่อนๆที่นํารักทุกคน

ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือซึ่งกันและกัน

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามด้วยความจริงใจ

นางสาวปวีณา โปธิบุญราช

นายปิยะวัฒน์ บุญยะสาตะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 แสง	3
2.1.1 ธรรมชาติของแสง	3
2.1.1.1 คลื่นและรังสี	4
2.1.1.2 หลักของฮอยเกนส์	5
2.1.1.3 ดัชนีหักเห	6
2.1.2 การวัดปริมาณทางแสง	7
2.1.2.1 แหล่งกำเนิดแสง	9
2.1.2.2 ตัวตรวจวัดรังสี	11
2.2 เกรตติงโมโนโครเมเตอร์	14
2.2.1 ลักษณะของแผ่นเกรตติง	15
2.2.2 ชนิดของเกรตติง	17
2.2.3 Blazed เกรตติง	19
2.2.4 เครื่องมือที่ใช้เกรตติง	23
2.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขยาย	25
2.4 วงจรขยายสัญญาณ	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 การออกแบบและการทดลอง	28
3.1 การทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	28
3.2 วิธีการทดลองเพื่อตรวจสอบค่าความถูกต้อง	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	33
4.1 เมื่อใช้แสงเลเซอร์ปรับเทียบสเกล	33
4.2 การหาค่าการส่งผ่านของแสง	40
4.2.1 เมื่อใช้ PMT กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	40
4.2.2 เมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	51
4.2.3 เมื่อใช้เครื่องแยกแสง	62
4.3 เมื่อนำค่า Transmittance ของเครื่องในห้องปฏิบัติการ กับเครื่องแยกแสงสีมาเปรียบเทียบกัน	73
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	84
ภาคผนวก ก. เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ข. รูปถ่ายของเครื่องแยกแสงสี	
ภาคผนวก ค. รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ	

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หน้าคลื่นทรงกลม	5
รูปที่ 2.2 หน้าคลื่นระนาบ	5
รูปที่ 2.3 แสดงการหาหน้าคลื่นตามหลักของฮอย์เกนส์	6
รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของ PMT	12
รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของ CCD	13
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของ PDA	13
รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของ Photodiode detector	14
รูปที่ 2.9 การเลี้ยวเบนในกรณีแสงตกกระทบบำมุม θ_1 กับระนาบเกรตติง	15
รูปที่ 2.10 การเลี้ยวเบนจากเกรตติงชนิดสะท้อน	18
รูปที่ 2.11 ก) การเลี้ยวเบนสำหรับเกรตติงชนิดส่งผ่านแบบ unblazed	20
ข) การเลี้ยวเบนสำหรับเกรตติงชนิดส่งผ่านแบบ blazed	20
รูปที่ 2.12 ก) การเลี้ยวเบนสำหรับเกรตติงชนิดสะท้อนแบบ unblazed	21
ข) การเลี้ยวเบนสำหรับเกรตติงชนิดสะท้อนแบบ blazed	21
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของของ Blazed angle กับลำแสงตกกระทบบและลำแสงหักเห	21
รูปที่ 2.14 ลักษณะของค่าความยาวคลื่นที่ได้จากแผ่นเกรตติง	21
รูปที่ 2.15 การสะท้อนของแสงภายในตัวโมโนโครเมเตอร์ชนิด Czerny-Turner	22
รูปที่ 2.16 สเปกโตรกราฟแบบ echelle	23
รูปที่ 2.17 สเปกโตรมิเตอร์แบบ Czerny-Turner	24
รูปที่ 2.18 แหล่งจ่ายไฟด้านบวกและด้านลบ	25
รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของตัวออปแอมป์	25
รูปที่ 2.20 ลักษณะการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวออปแอมป์	26
รูปที่ 2.21 วงจรขยายแบบกลับเฟส	26
รูปที่ 2.22 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	27
รูปที่ 3.1 การทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์	28
รูปที่ 3.2 เส้นสเปกตรัมที่ได้จากแผ่นเกรตติง	29
รูปที่ 3.3 วงจรตัวตรวจวัดแสง	30
รูปที่ 4.1 กราฟค่า V_0 เมื่อใช้แสงเลเซอร์กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	35
รูปที่ 4.2 กราฟเมื่อใช้แสงเลเซอร์ปรับสเกลเครื่องแยกแสงสี	38
รูปที่ 4.3 กราฟเมื่อใช้แสงเลเซอร์ปรับสเกลเครื่องแยกแสงสีในช่วงความยาวคลื่นเลเซอร์	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4	กราฟค่า I_0 ของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง	49
รูปที่ 4.5	ค่า Transmittance เมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง	50
รูปที่ 4.6	กราฟค่า V_0 ของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ detector เป็นตัววัดแสง	60
รูปที่ 4.7	ค่า Transmittance เมื่อใช้ detector เป็นตัววัดแสง	61
รูปที่ 4.8	กราฟค่า V_0 ของเครื่องแยกแสงสี	71
รูปที่ 4.9	ค่า Transmittance ของเครื่องแยกแสงสี เมื่อผ่านแผ่นกรองแสงสีต่างๆ	72
รูปที่ 4.10	การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีม่วงระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	79
รูปที่ 4.11	การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีน้ำเงินระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	80
รูปที่ 4.12	การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีเขียวระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	81
รูปที่ 4.13	การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีส้มระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	82
รูปที่ 4.14	การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีแดงระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	83
รูปที่ 4.15	การเปรียบเทียบค่า Transmittance เมื่อใช้เครื่องในห้องปฏิบัติการแต่ใช้ตัววัดแสงต่างกัน	84
รูปที่ 4.16	การเปรียบเทียบค่า I_0, V_0 เมื่อใช้เครื่องในห้องปฏิบัติการแต่ใช้ตัววัดแสงต่างกัน	84
รูปที่ 4.17	การเปรียบเทียบค่า Transmittance เมื่อใช้ตัววัดแสงตัวเดียวกันแต่เครื่องแยกแสงต่างกัน	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
ตารางที่ 2.2 ค่าการตอบสนองของตัวรับแสงชนิดต่างๆ	9
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเมื่อใช้เลเซอร์กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	33
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อใช้เลเซอร์กับเครื่องแยกแสงสี	36
ตารางที่ 4.3 เมื่อทำการขยายช่วงความยาวคลื่น	37
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเมื่อใช้ PMT กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	40
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเมื่อใช้ PMT กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีม่วง	41
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเมื่อใช้ PMT กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีน้ำเงิน	42
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเมื่อใช้ PMT กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีเขียว	43
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเมื่อใช้ PMT กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีส้ม	45
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเมื่อใช้ PMT กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีแดง	46
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลอง Transmittance กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	47
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองหาค่า V_0 เมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	51
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองเมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีม่วง	52
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองเมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีน้ำเงิน	53
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองเมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีเขียว	54
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองเมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีส้ม	55
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองเมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ เมื่อผ่านแผ่นกรองสีแดง	57
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองค่า Transmittance เมื่อใช้ detector กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองหาค่า V_0 ของเครื่องแยกแสงสี	62
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีม่วงกับเครื่องแยกแสงสี	63
ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีน้ำเงินกับเครื่องแยกแสงสี	64
ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีเขียวกับเครื่องแยกแสงสี	65
ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีส้มกับเครื่องแยกแสงสี	66
ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีแดงกับเครื่องแยกแสงสี	68
ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า Transmittance ของเครื่องแยกแสงสี	69
ตารางที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีม่วง ระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	73
ตารางที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงิน ระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	74
ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีเขียว ระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	75
ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีส้ม ระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	76
ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีแดง ระหว่าง เครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางแสง (optical technology) ได้มีการพัฒนาไปอย่างมากและเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น ซึ่งจากคุณสมบัติของแสงทั้งทางด้านการสะท้อน การเลี้ยวเบนการแทรกสอดของแสงซึ่งสามารถนำคุณสมบัติเหล่านี้มาใช้ในการพัฒนาทัศนูปกรณ์ต่างๆในโครงการนี้จะใช้คุณสมบัติของแสงขาวที่มีค่าความยาวคลื่นหลายค่า (Polychromatic) มาจากสเปกตรัม (Spectrum) จนมีค่าความยาวคลื่นเดียว (monochromatic) ซึ่งทัศนูปกรณ์ที่ใช้ในการแยกเส้นสเปกตรัมของแสงเรียกว่า โมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

1.2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องแยกแสงสี (Monochromator) ชนิดเกรตติงแบบสะท้อนได้
2. เพื่อสามารถเข้าใจถึงการออกแบบของเครื่องแยกแสงสีได้
3. เพื่อสามารถวัดค่าความยาวคลื่นและเปรียบเทียบค่าความยาวคลื่นที่ได้กับผลทางทฤษฎี
4. เพื่อเรียนรู้การทำงานที่เป็นระบบและวิเคราะห์ปัญหา

1.3. ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะครอบคลุมถึงการแยกเส้นสเปกตรัมของแสงเพื่อให้สามารถได้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นเดียว(monochromatic) ตลอดจนถึงความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้าของตัวตรวจวัด ต่อค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ

1.4. วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของเครื่องแยกแสงสี (monochromator)
2. ศึกษาการทำงานของตัวตรวจวัด (detector)
3. ออกแบบวงจรตัวตรวจวัด
4. ทดสอบวงจรทีละส่วน
5. นำแต่ละส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน
6. วัดค่าที่ได้ออกมาแสดงผลในรูปกราฟ
7. สรุปผลการทดลอง

1.5. สิ่งที่ได้คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจในทฤษฎีต่างๆ ของเครื่องแยกแสงสี และตัวตรวจวัด (detector)
2. สามารถที่จะนำเครื่องแยกแสงสีนี้ไปพัฒนาสร้างเป็น spectrometer
3. สามารถนำอุปกรณ์นี้ไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น การสร้าง filter
4. สามารถรู้จักการทำงานที่เป็นระบบ และรู้จักการแก้ปัญหาโดยใช้เหตุผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แสง

2.1.1. ธรรมชาติของแสง

เมื่อพูดถึงแสงเรามักจะคิดถึงกันว่าจะต้องมาจากแหล่งกำเนิดแสงเสมอ เช่น ดวงอาทิตย์ เพลวเทียน แล้วเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงจากแหล่งกำเนิด เมื่อผ่านวัตถุที่โปร่งใสก็จะมีการหักเห และ จะเกิดการสะท้อนเมื่อกระทบผิววัตถุที่สะท้อนแสง ในศตวรรษที่ 17 นิวตัน (Sir Isaac Newton ค.ศ.1643 – 1727) มีแนวคิดที่ว่า “แสงเป็นอนุภาคที่ส่งต่อกันออกมา คล้ายลูกปิงปองที่โยนต่อกันออกไป” และยังสามารถอธิบายกฎการสะท้อนและหักเหของแสง โดยใช้ทฤษฎีที่ว่าแสงเป็นอนุภาค

ต่อมาในปี ค.ศ. 1670 ฮอยเกนส์ (Christian Huggens ค.ศ. 1629 – 1695) ได้เสนอทฤษฎีคลื่น (Wave theory) ซึ่งอธิบายกฎการสะท้อนและการหักเหของแสง

อีก 160 ปีต่อมา ทอมัส ยัง (Thomas Young ค.ศ. 1773 – 1829) พบว่าแสงสามารถเกิดการแทรกสอดได้โดยทดลองผ่านให้แสงผ่านช่องสลิตคู่(double-slit)ทำให้สามารถวัดค่าความยาวคลื่นแสงได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ยอมรับทฤษฎีคลื่นมากกว่าทฤษฎีอนุภาค

ในปี ค.ศ. 1821 เฟรสเนล (Augustin Fresnel ค.ศ. 1788 –1827) ค้นพบทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และได้ผลออกมาเป็นชุดสมการแมกซ์เวลล์ (Maxwell equation) ซึ่งสามารถหาอัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยพบว่าความเร็วของคลื่นเหล่านี้มีค่าเท่ากับความเร็วของคลื่นแสงซึ่งเป็นการสนับสนุนว่าแสงก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย แต่ทฤษฎีคลื่นแสงนี้ยังไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ตัวนำปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเมื่อถูกแสง (Photoelectric)

พลังค์ (Max Planck ค.ศ. 1858 – 1947) อธิบายสเปกตรัมของรังสีที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำ (black body) โดยการสมมติฐานที่ว่าอะตอมเปล่งแสงออกมาอย่างไม่ต่อเนื่อง กล่าวคือ พลังงาน E ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากวัตถุดำ มีค่าขึ้นกับความถี่ ν โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = h\nu$$

ต่อมาไอน์สไตน์ (Albert Einstein ค.ศ. 1879 – 1955) ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) ซึ่งถือว่าแสงเป็นลำของอนุภาคโฟตอน เป็นแนวคิดของทฤษฎีควอนตัม ที่เรียกว่าควอนตัมของพลังงานหรือโฟตอน จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นกับความถี่หรือความยาวคลื่นของแสงนั้น รวมทั้งทฤษฎีสัมพันธภาพ โดยจะกล่าวถึงมวลจะขึ้นกับความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่และมวลกับพลังงานจะสมมูลกัน

คอมพ์ตัน (Arthur Compton ค.ศ. 1892 – 1962) ได้พบว่าเมื่อโฟตอนชนกับอิเล็กตรอนแล้วจะทำให้พลังงานและโมเมนตัมของโฟตอนเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นสมบัติของอนุภาคเมื่อมีการชนกัน ซึ่งแนวคิดข้างต้นนี้สนับสนุนทฤษฎีอนุภาคเป็นอย่างมาก

ในปี ค.ศ. 1924 เดอ บรอยล์ (Louis de Broglie ค.ศ. 1892 – 1987) เสนอแนวคิดที่ว่าอนุภาคที่มีโมเมนตัม p จะมีความยาวคลื่น λ ที่เกี่ยวข้องกันดังสมการ

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{เมื่อ } h \text{ คือ ค่าคงตัวของพลังค์}$$

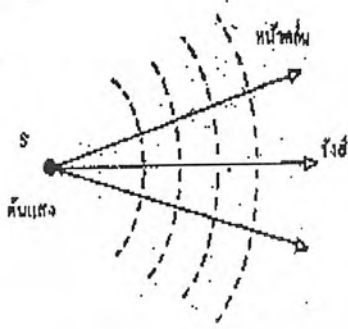
ซึ่งสนับสนุนทฤษฎีที่ว่าแสงมีสมบัติเป็นคลื่น

กล่าวโดยสรุปข้อเสนอลักษณะข้างต้น จะเห็นได้ว่าแสงมีสมบัติที่เป็นทั้งคลื่นและอนุภาค (wave – particle duality) โดยในสมบัติที่แสงเป็นคลื่นนั้นจะสามารถใช้อธิบายในเรื่องการเคลื่อนที่และปรากฏการณ์การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสงได้ ส่วนสมบัติทางอนุภาคนั้นจะสามารถใช้พิจารณาในเรื่องที่แสงมีอันตรกิริยากับสสารต่างๆ ได้

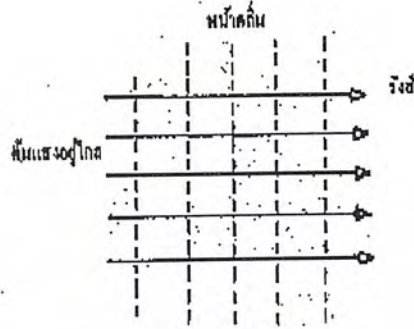
2.1.1.1. คลื่นและรังสี

เมื่อพูดถึงรังสีของแสงและลำแสง ซึ่งหมายถึง คลื่นแสงและหน้าคลื่น (wave front) เส้นใด ๆ ที่ลากตั้งฉากกับหน้าคลื่น คือ รังสี (ray) ของแสง รังสีแสดงทิศทางซึ่งหน้าคลื่นเคลื่อนที่ไป สำหรับหน้าคลื่นที่แผ่ออกมาจากต้นแสงขนาดเล็กมากจะมีหน้าคลื่นเป็นทรงกลม รังสีของแสงจะมีลักษณะ ดังรูป 2.1 และ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 หน้าคลื่นทรงกลม



รูป 2.2 หน้าคลื่นระนาบ

ในกรณีที่ต้นแสงที่อยู่ไกลอาจถือว่าเป็นหน้าคลื่นเป็นระนาบได้ ดังรูป 2.2 จะเห็นว่ารังสีอาจแสดงถึงรูปร่างของหน้าคลื่นได้ เพื่อความสะดวกจึงเขียนรังสีแทนคลื่นแสงได้

ในตัวกลางเอกพันธ์ แสงจะมีความเร็วเท่ากันทุกจุด ทุกทิศทาง ความเร็วของคลื่นทุกชนิดขึ้นกับตัวกลางที่คลื่นผ่าน การที่ความเร็วของคลื่นขึ้นกับสมบัติของตัวกลาง ทำให้เกิดปรากฏการณ์สะท้อนและหักเห ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เปลี่ยนไป และความเร็วของคลื่นก็จะเปลี่ยนไปด้วย คลื่นสะท้อนซึ่งเป็นคลื่นใหม่จะสะท้อนกลับในตัวกลางเดิม ส่วนคลื่นหักเหจะเดินทางผ่านตัวกลางที่อยู่ติดกัน พลังงานของคลื่นที่ตกกระทบแบ่งไประหว่างคลื่นสะท้อนและหักเห คลื่นสะท้อนจะมีพลังงานมากกว่า เช่น ในคลื่นสะท้อนที่ผิวกระจก ในกรณีอื่นคลื่นหักเหอาจมีพลังงานมากกว่าก็ได้

คลื่นแสงที่นัยน์ตาเรามองเห็นมีความยาวคลื่นประมาณ 4,000 – 7,000 อังสตรอม หรือ 400 – 700 นาโนเมตร เมื่อ

$$\begin{aligned} 1 \text{ อังสตรอม} &= 10^{-10} \text{ เมตร} \\ \text{และ } 1 \text{ นาโนเมตร} &= 10^{-9} \text{ เมตร} \end{aligned}$$

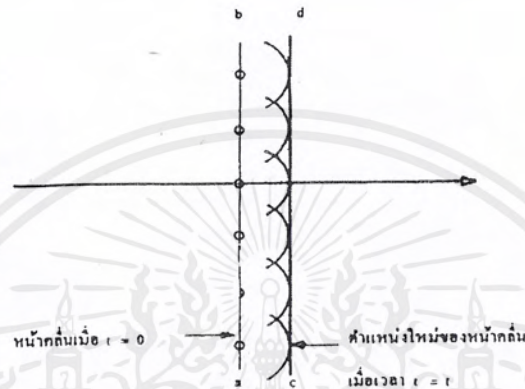
2.1.1.2. หลักของฮอยเกนส์

หลักของฮอยเกนส์ (Huygen's principle) เป็นวิธีทางเรขาคณิตที่จะหารูปร่างของหน้าคลื่นใหม่ หลักของฮอยเกนส์ กล่าวว่า ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นอาจถือว่าเป็นต้นกำเนิดของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุติยภูมิ (Secondary wave) ซึ่งแผ่ออกไปทุกทิศทางด้วยความเร็วเท่าเดิมเมื่ออยู่ในตัวกลางเดิม ตำแหน่งของหน้าคลื่นใหม่ภายหลังเวลา t จะเป็นผิวสัมผัสกับลูกคลื่นใหม่เหล่านี้

พิจารณาหน้าคลื่นเดิม ab เคลื่อนที่ไปในทิศทางดังลูกศร ดังรูป 2.3 หน้าคลื่นใหม่ เมื่อเวลาผ่านไป t หาได้โดยเขียนวงกลมหลายวงให้มีจุดศูนย์กลางอยู่บน ab รัศมี vt เมื่อ v เป็นความเร็วของคลื่น เส้นสัมผัสกับวงกลมเหล่านี้จะเป็นหน้าคลื่นใหม่ cd



รูปที่ 2.3 แสดงการหาหน้าคลื่นตามหลักของฮอยเกนส์

2.1.1.3. ดัชนีหักเห

ความเร็วของแสงในสุญญากาศจะมีค่ามากกว่าความเร็วของแสงในตัวกลางอื่น ๆ และในสุญญากาศแสงจะมีความเร็วเท่ากันหมดทุกความยาวคลื่น แต่ในตัวกลางอื่นอาจมีความเร็วแตกต่างกัน ค่าอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศต่อความเร็วของแสงในตัวกลางอื่น เรียกว่า “ดัชนีหักเห” (refractive index) ของตัวกลางนั้น

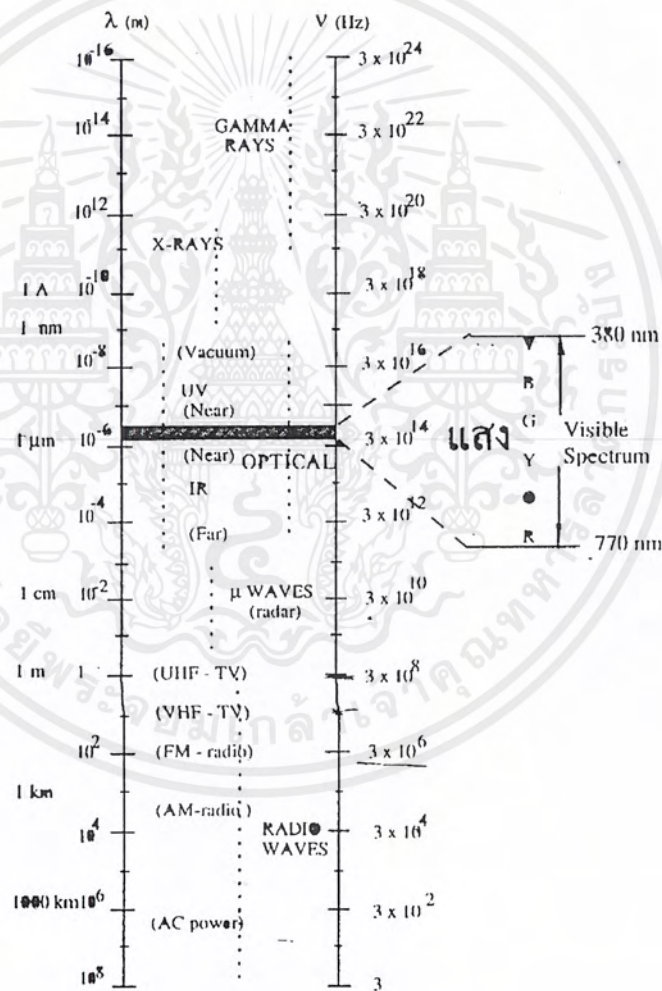
หรือ $n = \frac{c}{v}$ เมื่อ c เป็นความเร็วในสุญญากาศ $= 3 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที
 v เป็นความเร็วในตัวกลางใด ๆ

เนื่องจากความเร็วในตัวกลางใด ๆ มีค่าน้อยกว่า c ฉะนั้นค่าของ n จึงมากกว่า 1 เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2. การวัดปริมาณทางแสง

ในการวัดปริมาณต่าง ๆ ทางแสงนั้น โดยปกติจะเป็นการวัดที่อ้างอิงกับตาปกติของมนุษย์ โดยทั่วไปช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็นของตามนุษย์จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 380 ถึง 770 นาโนเมตร ซึ่งเรียกช่วงที่ทำให้เกิดการมองเห็นว่าเป็นช่วงของแสง (Visible region) ส่วนช่วงแสงที่อยู่ในช่วงที่มองไม่เห็นมี 2 ช่วง คือ อัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) และ อินฟราเรด (Infrared) โดยเราจะเรียก 3 ช่วงนี้รวมกันว่าเป็น optical region ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electromagnetic Spectrum

Type of Radiation	Frequency Range (Hz)	Wavelength Range	Type of Transition
gamma-rays	$10^{20} - 10^{24}$	<10-12 m	Nuclear
x-rays	$10^{17} - 10^{20}$	1 nm-1 pm	inner electron
ultraviolet	$10^{15} - 10^{17}$	400 nm-1 nm	outer electron
visible	$4-7.5 \times 10^{14}$	750 nm-400 nm	outer electron
near-infrared	$1 \times 10^{14} - 4 \times 10^{14}$	2.5 μm -750 nm	outer electron molecular vibrations
infrared	$10^{13} - 10^{14}$	25 μm -2.5 μm	molecular vibrations
microwaves	$3 \times 10^{11} - 10^{13}$	1 mm-25 μm	molecular rotations, electron spin flips*
radio waves	$< 3 \times 10^{11}$	>1 mm	nuclear spin flips*

*energy levels split by a magnetic field

ตารางที่ 2.1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยปริมาณและหน่วยในการวัดแสงมี ดังนี้

1. พลังงานส่องสว่าง , Q_v (luminous energy)

Q_v มีหน่วยเป็น lm-s หรือ talbot

2. ความหนาแน่นพลังงานการส่องสว่าง , W_v (luminous energy density)

$W_v = \frac{dQ_v}{dV}$ มีหน่วยเป็น lm-s / m³

3. ฟลักซ์การส่องสว่าง , Φ_v (luminous flux)

$\Phi_v = \frac{dQ_v}{dt}$ มีหน่วยเป็น lumen (lm)

4. ความหนาแน่นฟลักซ์การส่องสว่าง (luminous flux density) ที่ผิววัตถุใด ๆ จะมีปริมาณนี้ ใน 2 ลักษณะ คือ

- เกิดจากการสะท้อนที่ผิวนั้น เรียกว่า การเปล่งส่องสว่าง , M_v (luminous exitance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M_v = \frac{d\Phi_A}{dA} \quad \text{มีหน่วยเป็น } \text{lm/m}^2$$

- เกิดจากการตกกระทบบนผิวนั้น เรียกว่า ความสว่าง , E_v (Illuminance)

$$E_v = \frac{d\Phi_A}{dA} \quad \text{มีหน่วยเป็น } \text{lm/m}^2 \text{ หรือ lux (lx)}$$

5. ความเข้มส่องสว่าง , I_v (luminous intensity)

$$I_v = \frac{d\Phi_A}{d\omega} \quad \text{มีหน่วยเป็น } \text{lm/sr} \text{ หรือ candela (cd)}$$

6. ความส่องสว่าง , L_v (luminance)

$$L_v = \frac{dI_v}{dA \cos \theta} \quad \text{มีหน่วยเป็น } \text{cd/m}^2$$

2.1.2.1. แหล่งกำเนิดแสง (Source)

โดยทั่วไปเราแบ่งชนิดของแหล่งกำเนิดแสงออกเป็นกลุ่ม ๆ ดังนี้

1. แสงอาทิตย์และจากท้องฟ้า

แสงจากแหล่งทั้งสองนี้ จะทำให้เกิดเป็นแสงสว่างในเวลากลางวันบนผิวโลก แสงจากท้องฟ้าจะมีสีในย่านของสีน้ำเงิน ค่า irradiance ที่วัดนอกชั้นบรรยากาศเฉลี่ยต่อปี เรียกว่า ค่าคงตัวสุริยะ (solar constant) มีค่าเท่ากับ 1350 W/m^2 ในกรณีที่ไม่สามารถนำแสงอาทิตย์มาใช้ได้สะดวก เช่น ในห้องทดลองจะนิยมใช้หลอด ซีนอน (Xenon) ความดันสูงแทนแสงจากดวงอาทิตย์ สเปกตรัมของแสงจากดวงอาทิตย์นี้ ถ้าวัดนอกชั้นบรรยากาศ มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมของวัตถุดำ (blackbody)

วัตถุดำ หมายถึง วัตถุที่ดูดกลืนและเปล่งรังสีอย่างสมบูรณ์ (ideal absorber และ perfect emitter) และจะให้รังสีได้มากกว่าวัตถุอื่นที่อุณหภูมิเท่ากันในทุกทิศทางและความยาวคลื่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แหล่งกำเนิดแสงประเภทที่เปล่งจากวัตถุร้อน (Incandescent sources)

แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้ ได้แก่

- วัตถุดำ (blackbody source)
- Nernst glower and globalar
- ไส้ทังสแตน (tungsten filament)

แหล่งกำเนิดประเภทนี้ อาศัยการเผาผลาญด้วยไฟฟ้าจนเกิดการเปล่งแสงออกมา กล่าวคือ ความร้อนจะไปทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในสถานะถูกกระตุ้น(excited state) และเมื่ออิเล็กตรอนเหล่านี้กลับคืนสู่สถานะพื้น (ground state) จะเปล่งแสงออกมา

วัตถุดำจะเป็นโพรง (cavity) ที่มีรูเล็ก ๆ และแสงที่ออกมาจากรูนี้จะมีค่าสภาพเปล่งรังสีเป็น 1 (emissivity)

หลอดไฟที่มีไส้หลอดเป็นทังสแตนเป็นที่นิยมใช้อย่างมากในงานที่ต้องการแสงที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องในช่วงที่ตามองเห็นและช่วงอินฟราเรด แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้มีค่าสภาพเปล่งรังสีใกล้เคียงกับ 1 เนื่องจากทังสแตนระเหยไปเคลือบบนผิวหลอด ทำให้ค่าลูเมนที่ได้ลดลง รวมทั้งลดอายุการใช้งาน เนื่องจากความต้านทานไส้หลอดเพิ่มขึ้นจากการใช้งาน จึงนิยมบรรจุแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือ อาร์กอน ลงไปช่วยลดอัตราการระเหย

3. หลอดไฟประเภทปล่อยประจุ (Discharge tubes)

หลอดไฟประเภทนี้อาศัยการปล่อยประจุไฟฟ้า (Electrical discharge) ในแก๊สเพื่อทำให้เกิดแสงขึ้น ตัวหลอดทำด้วยแก้วหรือควอทซ์ซึ่งแก้วจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตร ส่วนควอทซ์จะดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 180 นาโนเมตร ภายในหลอด มีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว และแหล่งกำเนิดของอิเล็กตรอนร้อน หลังการทำงานคือ สนามไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า จะเร่งอิเล็กตรอนร้อนให้มีพลังงานมากพอ และอิเล็กตรอนร้อนจะวิ่งชนอะตอมของแก๊สให้แตกตัวเป็นไอออน การกลับสู่ระดับพลังงานต่ำ ๆ ของแก๊สจะทำให้มีแสงเกิดขึ้น ชนิดของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนร้อนมีได้หลายชนิด เช่น

- การให้ความร้อนแก่แคโทด (thermionic emission)
- การให้สนามไฟฟ้าค่าสูง ๆ แก่แคโทด (field emission)
- การให้ประจวบชนแคโทด (secondary emission)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อาร์กคาร์บอน (carbon arc)

แหล่งกำเนิดแสงประเภทนี้จะให้แสงที่มีความเข้มสูง แต่อาจมีความยาวคลื่นมากมาย ถ้าการอาร์กเกิดในบรรยากาศของไอความดันสูง เรียกว่า Compact short – arc source ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดประเภทนี้ได้แก่ mercury arc lamp , xenon arc lamp , mercury – xenon arc lamp , hydrogen – arc lamp , และ deuterium arc lamp เป็นต้น

5. หลอดเรืองแสง (Fluorescent lamps)

เป็นหลอดที่มีความดันต่ำ กระแสไฟฟ้าต่ำ ทำให้ได้รังสีอัลตราไวโอเล็ตไปทำให้เกิดการเรืองแสงของสารที่ฉาบไว้ที่ผิวในของหลอด และสเปกตรัมของรังสีที่ได้จากหลอดนี้ขึ้นกับสารที่ฉาบไว้ เช่น หลอดที่ใช้โดยทั่วไปจะฉาบ สังกะสีเบริลเลียมซิลิเกต (zinc beryllium silicate) และ แมกนีเซียมทังสเตท (Magnesium tungstate) เป็นต้น

6. ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode – LED)

เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงความเข้มต่ำ และทำจากสารกึ่งตัวนำที่มีรอยต่อ พี – เอ็น (p – n junction semiconductor) เมื่อให้ค่าความต่างศักย์แก่รอยต่อแบบไบแอสตรง (Forward bias) ก็จะทำให้เกิดการรวมตัวของโฮล (Hole) และ อิเล็กตรอน (Electron) เกิดการเปล่งแสงขึ้น เช่น

GaAs ให้ค่าความเข้มแสงสูงสุด (peak output) ที่ 900 nm

SiC ให้ค่าความเข้มแสงสูงสุด (peak output) ที่ 580 nm เป็นต้น

2.1.1.2 ตัวตรวจวัดรังสี (Detectors of Radiation)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดรังสีหรือเป็นตัวตรวจวัดแสงที่ใช้กันอยู่มีหลายชนิดได้แก่

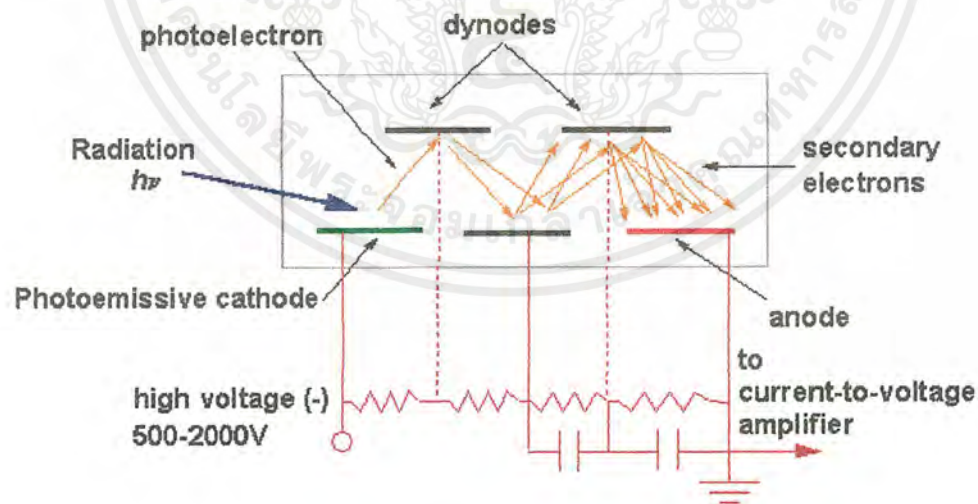
1. ตามนุษย์ ซึ่งไม่สามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ ทำได้แค่เพียงการเปรียบเทียบเท่านั้น
2. ตัวตรวจวัดทางความร้อน (Thermal detectors) เป็นตัวตรวจวัดซึ่งจะทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีหลายชนิด เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples, thermopiles) เกิดค่าความต่างศักย์ขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
- โบโลมิเตอร์ และเทอร์มิสเตอร์ (bolometers , thermistor) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยทั้ง 2 ชนิดนี้ต่างกันตรงวัสดุที่นำมาใช้ประดิษฐ์ โดยจะทำมาจากโลหะ และ ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ตามลำดับ

1. ตัวตรวจวัดทางควอนตัม (Quantum detectors) ตัวตรวจหาชนิดจะมีการตอบสนองต่ออัตราการเพิ่มของโฟตอนที่ตกกระทบ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิดคือ

- photoemissive พวกนี้จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะเมื่อมีรังสีตกกระทบ ได้แก่ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tubes หรือ PMT) ซึ่งเป็นตัวรับแสงใช้กับแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ เนื่องจากมีการขยายภายในสูงและมีค่าความไวสูง โดย PMT จะประกอบด้วย photocathode และอนุกรม dynodes ในแท่งแก้วที่ปิด โดยเมื่อมีโฟตอนไปตกกระทบ cathode ก็จะได้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเป็นปรากฏการณ์ photoelectric effect จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้ไปตกกระทบบนแผ่น dynodes โดยใช้ค่าความต่างศักย์เป็นตัวเร่งดังรูป 2.5

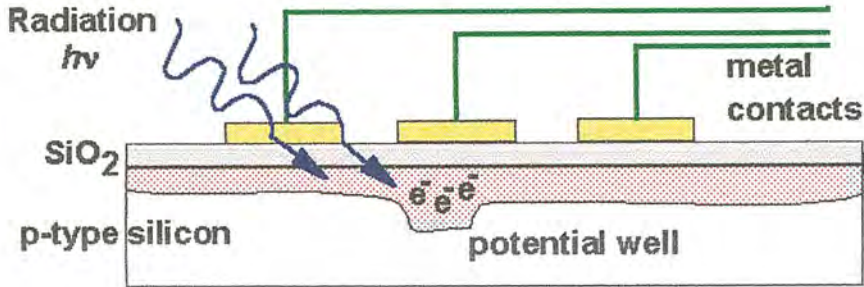


รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของ PMT

- photoconductive เป็นตัวตรวจหาประเภทที่เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล (electron - hole pair) ขึ้นเมื่อมีโฟตอนมาตกกระทบ ทำให้มีสภาพการนำทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

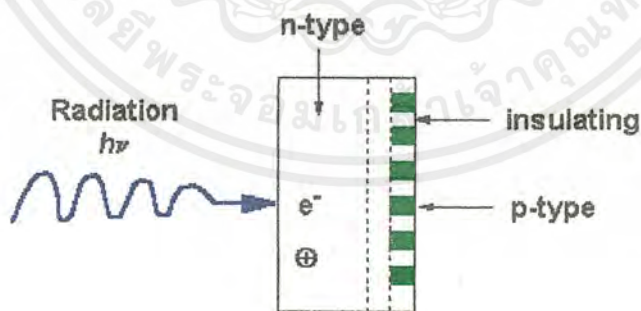
1. Charge-Coupled Device (CCD) ซึ่งเป็น IC chip ที่ประกอบด้วยพื้นที่ (array) ของตัวนำทางไฟฟ้าโดยจะทำการเพิ่มคู่ของอิเล็กตรอน - โฮล ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของ CCD

- Photovoltaic ตัวตรวจหาประเภทนี้ โฟตอนที่ตกกระทบจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่ตกคร่อมรอยต่อ p-n เช่น

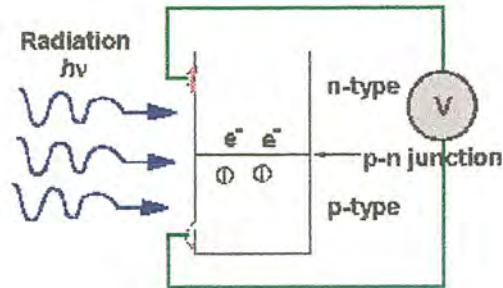
1. Photodiode Array Detector (PDA) เป็นการรับแสงโดยตรงของ photodiode ที่เป็นพื้นที่ โดยจะสามารถรับแสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่อเนื่องได้ และมีความสามารถในการรับค่า uv-vis ได้ทุกค่าความยาวคลื่น โดยแสงที่ตกกระทบจะไปทำการเพิ่มคู่ของอิเล็กตรอน - โฮล ที่ใกล้กับรอยต่อ ดังรูป 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของ PDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Photodiode and Photovoltaic Detectors เป็นตัวรับแสงที่ประกอบไปด้วย รอยต่อ p-n ซึ่งจะเป็นตัวสร้างค่าความต่างศักย์เมื่อมีแสงมาตกกระทบ ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของ Photodiode detector

Wavelength range

Table 1: Wavelength range

Detector type	λ (μm)
Si	0.2 - 1.1
Ge	0.4 - 1.8
InAs	1.0 - 3.8
InSb	1.0 - 7.0
InSb (77K)	1.0 - 5.6
HgCdTe (77K)	1.0 - 25.0

ตารางที่ 2.2 ค่าการตอบสนองของตัวรับแสงชนิดต่างๆ

2.1 เกรตติงโมโนโครเมเตอร์ (Grating Monochromator)

เกรตติงโมโนโครเมเตอร์ที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้น จะมีลักษณะดังรูป ซึ่งภายในตัว โมโนโครเมเตอร์จะประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

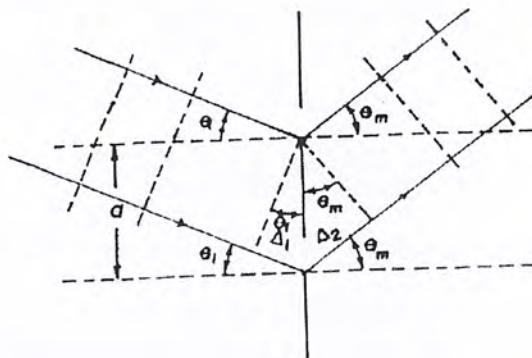
1. เกรตติงเลี้ยวเบน (Diffraction grating) ซึ่งจะมี 2 ชนิดคือ เกรตติงชนิดส่งผ่าน (transmission grating) และ เกรตติงชนิดสะท้อน (reflection grating)ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเลือกค่าความยาวคลื่นเมื่อมีการหมุนแผ่นเกรตติงไป

2. ช่องสลิตเดี่ยว (Single slits) ซึ่งจะทำให้เกิดการแทรกสอดของแสงทำให้ได้แถบสว่างกลางกว้างที่สุดและมีความสว่างมากที่สุดด้วย

3. กระจกโค้ง (Spherical mirror) ทำหน้าที่ในการลำแสงให้เป็นลำแสงขนาน

2.2.1 ลักษณะของแผ่นเกรตติง

ในเครื่องแยกแสงสีหรือ Monocromator นี้เราจะใช้แผ่นเกรตติงในการแยกสเปกตรัมของแสง โดยเราจะสามารถเลือกใช้แผ่นเกรตติงที่มีชื่อว่า เกรตติงเลี้ยวเบน (diffraction grating) โดยจากรูปที่ 2.9 ซึ่งจะแสดงการเลี้ยวเบนของแผ่นเกรตติงในกรณีที่แสงทำมุมตกกระทบ θ_i กับระนาบของเกรตติง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ที่ $m = 0$ จะเกิดเมื่อ $\theta_m = -\theta_i$ นั่นคือ ลำแสงจะอยู่ในแนวเดียวกับลำแสงตกกระทบสำหรับทุกค่าความยาวคลื่น จึงทำให้แสงทุกความยาวคลื่นมาอยู่ที่แถบสว่างกลางทั้งหมดหรือ ที่ $m=0$ นั้นเอง ส่วนในอันดับที่สูงขึ้น ทั้งที่ m เป็น บวกหรือลบก็ตามจะทำให้ได้เส้นสเปกตรัมที่จะปรากฏอยู่ทั้งสองข้างของแถบสว่างกลาง โดยถ้าเราให้กรณีที่แสงตกกระทบมีทิศทางที่คงที่ ค่า θ_m ของแถบสว่างที่ $m \neq 0$ จะมีค่าขึ้นกับค่าความยาวคลื่นดังนั้น ถ้าแหล่งกำเนิดแสงมีหลายความยาวคลื่นก็จะทำให้เกรตติงสามารถแยกแสงแต่ละค่าความยาวคลื่นออกมาได้โดยการเปลี่ยนอันดับ m นั้นเอง ด้วยคุณสมบัติเช่นนี้เองจึงทำให้เกรตติงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความยาวคลื่นและใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของแสง ซึ่งเหมือนกับปริซึม แต่แผ่นเกรตติงจะมีข้อดีกว่าปริซึมหลายด้านดังนี้



รูปที่ 2.9 การเลี้ยวเบนในกรณีที่แสงตกกระทบทำมุม θ_i กับระนาบของเกรตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Free spectral range ของแผ่นเกรตติง

Free spectral range, F จะหมายถึงช่วงความยาวคลื่นที่จะไม่มีการซ้อนทับกันของภาพจากการเลี้ยวเบน ซึ่งถ้า λ_1 เป็นความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดที่มีในแสงตกกระทบ และ ความยาวคลื่น λ_2 เป็นความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดที่ไม่มีการซ้อนทับกันในอันดับที่ m และให้สเปกตรัมที่ซ้อนทับกันพอดีกับจุดเริ่มต้นของสเปกตรัมในอันดับที่ $(m+1)$ หรือ

$$m\lambda_2 = (m+1)\lambda_1$$

ดังนั้นค่าความยาวคลื่นที่ไม่มีการซ้อนทับกันในอันดับที่ m คือ

$$F = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_1}{m}$$

โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อ ค่า m มีอันดับที่สูงขึ้นแล้ว ช่วงความยาวคลื่นที่ไม่มีการซ้อนทับกันจะยิ่งน้อยลง

2. การกระจายแสงของเกรตติง (Dispersion of grating)

เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอันดับ m จนอยู่ในอันดับที่สูง ๆ ของการเลี้ยวเบนแล้วก็จะได้เส้นสเปกตรัมของค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ แยกห่างกันมากขึ้นด้วย โดยการแยกกันของเส้นสเปกตรัมนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้การกระจายเชิงมุม (angular dispersion, D) ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าระยะห่างระหว่างเชิงมุมต่อหน่วยความยาวคลื่นเป็นเท่าใด ซึ่งจะสามารถหาได้จากสมการ

$$D = \frac{m}{a \cos \theta_m}$$

โดยการกระจายของแสงของเกรตติง จะเปลี่ยนแปลงตามมุมเลี้ยวเบนอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามที่ตำแหน่งของแสงเลี้ยวเบนใด ๆ ผลของการเพิ่มค่าคงตัว จะทำให้อันดับของการเลี้ยวเบน ณ ตำแหน่งนั้นเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแยกของเกรตติง (Resolution of grating)

การแยกของเกรตติง ก็คือ ความสามารถในการทำให้เส้นสเปกตรัมในอันดับเดียวกันของความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกันกันอยู่ห่างกันอย่างชัดเจน โดยมีนิยาม คือ

$$R = \frac{\lambda_{\min}}{(\Delta\lambda)_{\min}}$$

เมื่อ $(\Delta\lambda)_{\min}$ คือช่วงความยาวคลื่นที่ต่ำที่สุดที่เส้นสเปกตรัม 2 เส้นอยู่แยกกัน และจะสามารถหาค่าการแยกของเกรตติงได้จาก

$$R = mN = \frac{W \sin \theta_m}{\lambda}$$

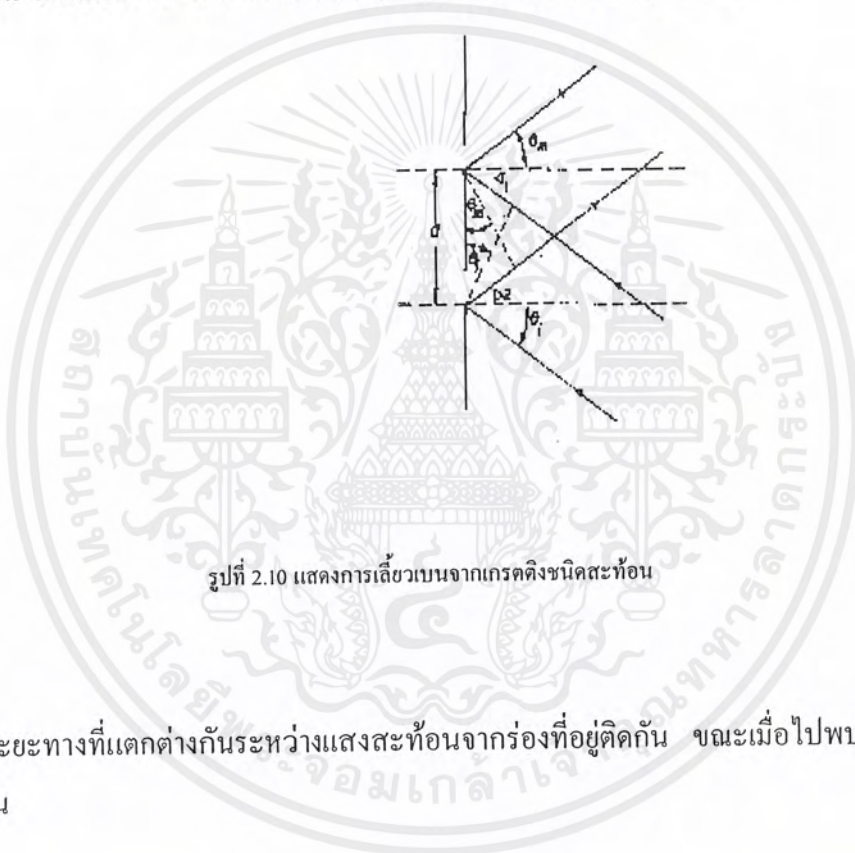
เมื่อ W เป็นความกว้างของแผ่นเกรตติง ซึ่ง $W = Na$

ซึ่งสมการนี้บอกให้ทราบถึงการแยกของเกรตติงว่าขึ้นกับอันดับของแถบสว่าง m และจำนวนช่องของเกรตติง N และความกว้างของช่องบนแผ่นเกรตติง a โดยการแยกนี้จะขึ้นกับอันดับของแถบสว่างเพียงอย่างเดียว รวมทั้งจำนวนช่อง ของเกรตติงด้วย อีกทั้งค่าการแยกจะขึ้นกับความกว้างของแผ่นเกรตติงมากกว่าที่จะขึ้นกับจำนวนช่องของแผ่นเกรตติง และจะได้ว่าการมีค่าการแยกสูงๆ นั้นจะมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของเกรตติงที่ต้องมีขนาดใหญ่และอันดับมีค่ามากซึ่งในเรื่องของอันดับนั้น ถ้ายังมีค่าสูงมากก็จะทำให้ความสว่างที่จะปรากฏบนฉากมีค่าน้อย เป็นที่สังเกตเห็นได้ยาก

2.2.2 ชนิดของเกรตติง

ในปัจจุบันได้มีการทำเกรตติงด้วยการใช้หัวเพชรที่แหลมคมกรีดไปบนแผ่นแก้วที่มีการขยายตัวน้อย หรือบนแผ่นฟิล์มของอะลูมิเนียมหรือทองที่ฉาบอยู่บนแก้ว แผ่นแก้วนี้ก่อนนำมาใช้ต้องทำการขัดผิวให้เรียบในอันดับ 1 ใน 10 ของความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เครื่องมือที่ใช้ในการทำให้เกิดรอยขีดปัจจุบันสามารถทำได้ถึง 3600 ร่องต่อมิลลิเมตร บนความกว้างมากกว่า 40 เซนติเมตร โดยมีความลึก ขนาดและระยะห่างสม่ำเสมอ

โดยทั่วไปเกรตติงอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เกรตติงชนิดส่งผ่าน (transmission grating) และเกรตติงชนิดสะท้อน (reflection grating) ในเกรตติงชนิดส่งผ่านนั้น แสงอาจจะผ่านออกไปตามช่องบนแผ่นแก้ว (transmission amplitude grating) หรืออาจผ่านออกไปจากบริเวณต่าง ๆ ของแผ่นแก้วที่มีการหน่วงเฟสเป็นค่าต่าง ๆ (transmission phase grating) ซึ่งการหน่วงเฟสนี้ อาจทำได้โดยการทำให้เกิดช่องที่มีความหนาต่าง ๆ กัน สำหรับในเกรตติงชนิดสะท้อนนั้น ด้านที่เป็นร่องหรือรอยขีดจะมีการสะท้อนที่ดีมาก และแสงที่สะท้อนไปจากร่องทั้งหลายนี้ก็จะทำให้เกิดผลเช่นเดียวกับแสงที่ส่งผ่านช่องออกมา คือมีการไปรวมกันให้ผลออกมาเป็นแถบสว่าง - มืด ซึ่งในงานวิจัยที่ต้องการความละเอียดถูกต้องและแม่นยำแล้ว จะนิยมใช้เกรตติงชนิดสะท้อน เมื่อมีแสงสะท้อนจากร่องต่าง ๆ บนเกรตติงดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการเลี้ยวเบนจากเกรตติงชนิดสะท้อน

ระยะทางที่แตกต่างกันระหว่างแสงสะท้อนจากร่องที่อยู่ติดกัน ขณะเมื่อ ไปพบกันบนฉาก จะมีค่าเป็น

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = a \sin \theta_i - a \sin \theta_m$$

ถ้า $\Delta = m\lambda$ ผลของการรวมแสงจะทำให้ได้แถบสว่างหลักเช่นเดียวกับกรณีของเกรตติงชนิดส่งผ่าน ดังนั้น สมการแสดงเงื่อนไขการเกิดแถบสว่างจะเป็นเช่นเดียวกันคือ

$$m\lambda = a (a \sin \theta_i - a \sin \theta_m)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีข้อกำหนดของเครื่องหมายของมุมเป็นแบบเดียวกัน ในรูปที่ 2.10 นี้ θ_m กับ θ_i อยู่คนละด้านของเส้นปกติ ดังนั้น θ_m จึงมีค่าเป็นลบ ที่อันดับที่ $m=0$ มุม $\theta_m = -\theta_i$ กล่าวคือร่องบนเกรตติงทำหน้าที่เป็นกระจกสำหรับความยาวคลื่นทุกค่า

โลหะที่ฉาบไว้บนผิวของเกรตติงชนิดสะท้อนแสงนี้ควรมีค่าการสะท้อนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในย่านอัลตราไวโอเล็ต คือช่วง 110-160 นาโนเมตร นิยมฉาบด้วยแมกนีเซียมฟลูออไรด์ หรือลิเทียมฟลูออไรด์บนอะลูมิเนียม และที่ย่านที่ต่ำกว่า 100 นาโนเมตร นิยมฉาบด้วยทองหรือแพลตินัม ส่วนในย่านอินฟราเรดนิยมฉาบด้วยเงินหรือทอง

เนื่องจากลำแสงเลี้ยวเบนจากเกรตติงจะต้องผ่านเลนส์หรือกระจกเข้าเพื่อรวมแสงไปตกลงบนฉาก ในบางกรณีที่มีปัญหาจากการดูคลื่นแสงของเลนส์หรือกระจกมาก เช่นในกรณีของอัลตราไวโอเล็ตในย่าน 100-200 นาโนเมตร อาจต้องมีการแก้ไขโดยให้เกรตติงรูปเว้า (concave grating) ในการทำให้เกิดการเลี้ยวเบนและการรวมแสง เกรตติงรูปเว้านี้ก็คือกระจกเว้าที่มีช่องอยู่บนด้านที่มีการสะท้อนแสงนั่นเอง

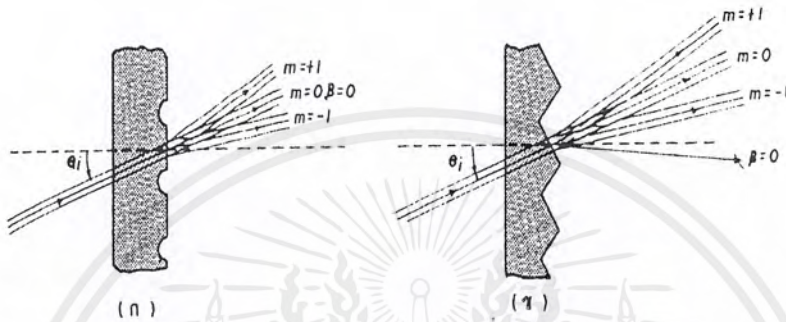
2.2.3 Blazed grating

ประสิทธิภาพของเกรตติงที่ความยาวคลื่นและอันดับใด ๆ หมายถึงอัตราส่วนของพลังงานของแสงเลี้ยวเบนต่อพลังงานของแสงตกกระทบ ณ ความยาวคลื่นนั้น การเพิ่มจำนวนช่องบนเกรตติงเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้พลังงานของแสงผ่านไปได้มาก และทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แถบสว่างในภาพการเลี้ยวเบนอันดับศูนย์ ซึ่งเป็นแถบที่ไม่มีการกระจายแสง เป็นแถบที่ทำให้เสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์และทำให้ประสิทธิภาพลดลง และแถบสว่างอันดับศูนย์นี้ยังรวมแถบสว่างที่สุดของภาพการแทรกสอดไว้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแถบสว่างที่สุดนี้ตรงกับจุดสูงสุดของภาพการเลี้ยวเบนของสลิตเดี่ยว โดยเทคนิคที่ใช้ในการทำร่องของเกรตติงเพื่อทำให้จุดสูงสุดของภาพการเลี้ยวเบนของสลิตเดี่ยว เลื่อนไปตรงกับแถบสว่างของภาพการแทรกสอดในอันดับอื่น ๆ เรียกว่า blazing

เพื่อให้เข้าใจถึงผลของ blazing ให้พิจารณารูปที่ 2.11 ในกรณีที่เป็นเกรตติงชนิดส่งผ่าน และรูปที่ 2.12 ในกรณีที่เป็นเกรตติงชนิดสะท้อน และเพื่อง่ายต่อการพิจารณาจึงให้มีลำแสงส่งผ่านหรือสะท้อนจากร่องเพียงร่องเดียวบนเกรตติง ในทั้งสองรูปนี้แสดงให้เห็นทั้งกรณีที่เกรตติง

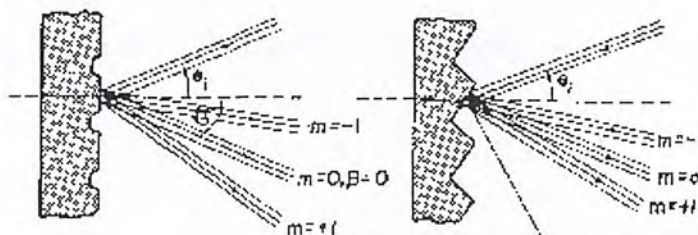
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแบบ unblazed และ blazed การทำ blazing ของเกรตติงจะส่งผลให้มีการเลื่อนจุดสูงสุดในการเลี้ยวเบน คือตำแหน่งที่ $\beta = 0$ ไปจากตำแหน่งของภาพการแทรกสอดอันดับ $m = 0$ เปรียบ $\beta = 0$ หมายถึงการที่แสงจากขอบและจากจุดกึ่งกลางของร่องบนเกรตติงไปถึงฉากในระยะทางที่เท่ากัน ซึ่งแสดงว่าแสงไม่มีการเลี้ยวเบน ในรูปที่ 2.11 ตำแหน่งที่ $\beta = 0$ นี้อยู่ในแนวเดียวกับแสงเลี้ยวเบน ส่วนในรูปที่ 2.12 ตำแหน่งที่ $\beta = 0$ อยู่ในแนวของแสงสะท้อน (มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน)



รูปที่ 2.11 (ก) สำหรับเกรตติงชนิดส่งผ่านแบบ unblazed จะมีจุดสูงสุดในภาพการเลี้ยวเบนที่ ซึ่งซ้อนทับภาพการแทรกสอดอันดับที่ $m = 0$ (ข) ในเกรตติงแบบ blazed จุดสูงสุดทั้งสองจะแยกจากกัน

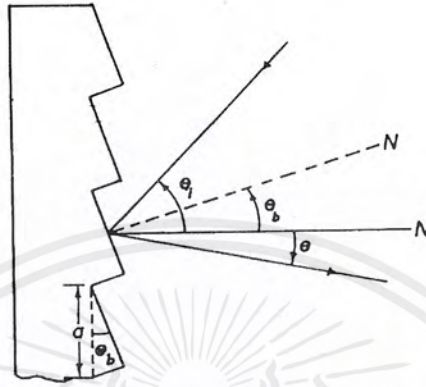
โดยการทำให้รูปร่างของร่องในรูปที่ 2.11 (ข) เป็นลักษณะของปริซึม หรือเป็นกระจกราบที่เอียงดังในรูปที่ 2.12 (ข) ตำแหน่งที่ความแตกต่างของระยะทางของแสงจากขอบและจุดกึ่งกลางร่องไปถึงฉากเป็นศูนย์หรือ $\beta = 0$ จะเลื่อนไปในแนวที่ลำแสงเลี้ยวเบน (กรณีเกรตติงชนิดส่งผ่าน) และในแนวที่ลำแสงสะท้อน (กรณีเกรตติงชนิดสะท้อน) อย่างไรก็ตาม ตำแหน่งสูงสุดของภาพการแทรกสอดจะยังคงอยู่ที่เดิมและตำแหน่งนี้จะหาได้จากสมการ $m\lambda = a \sin \theta$ โดยวัดมุมเทียบกับระนาบของเกรตติง ในทั้งสองรูปนี้การทำ blazing จะไม่ทำให้ระนาบและระยะระหว่างร่องของเกรตติงเปลี่ยนไป ผลที่ได้จะทำให้จุดสูงสุดของภาพจากการเลี้ยวเบนไปซ้อนทับภาพการแทรกสอดในอันดับ m ที่สูงขึ้น และเกรตติงแบบ blazed นี้จะทำการปรับแนวที่ส่งพลังงานออกไปได้ตามต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

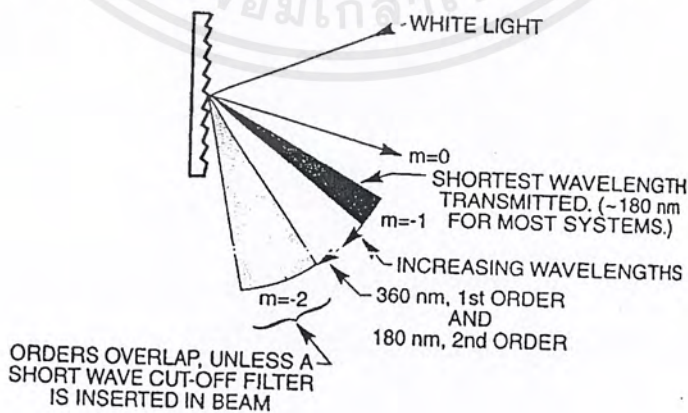
รูปที่ 2.12 (ก) สำหรับเกรตติงชนิดสะท้อนแบบ unblazed จะมีจุดสูงสุดในภาพการเลี้ยวเบนที่ ซึ่งซ้อนทับภาพการแทรกสอด อันดับที่ $m = 0$

(ข) ในเกรตติงแบบ blazed จุดสูงสุดทั้งสองจะแยกจากกัน



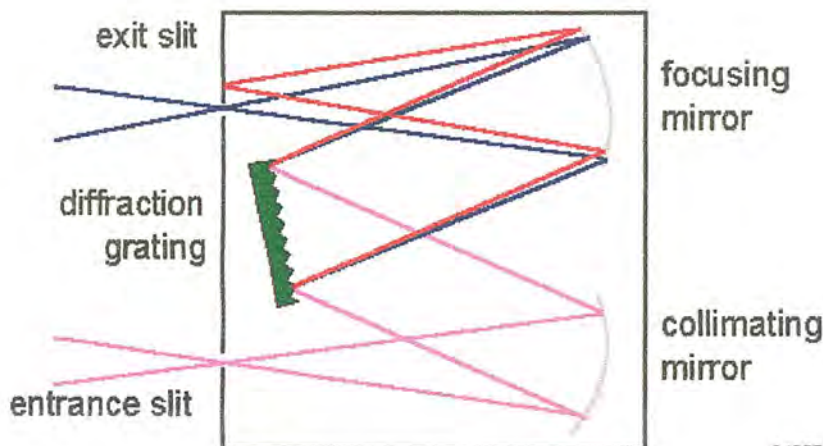
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของ blazed angle θ_b กับลำแสงตกกระทบและลำแสงหักเห

การทำ blazing กับเกรตติงให้ได้ผลตามต้องการนั้นขึ้นกับการเลือกมุมของปริซึมหรือมุมเอียงของกระจก ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 (ข) และ 2.12(ข) ตามลำดับ มุมดังกล่าวนี้เรียกว่า blazed angle ของเกรตติง พิจารณารูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นกรณีเกรตติงชนิดสะท้อน ลำแสงตกกระทบบนร่องด้วยมุมตกกระทบ θ_i และหักเหออกไปเป็นมุม θ โดยจะวัดมุมทั้งสองนี้เทียบกับเส้นปกติ N ของระนาบเกรตติง ส่วนเส้นปกติ N ของร่องจะทำมุม θ_b กับ N มุม θ_b นี้คือ blazed angle ถ้าเราต้องการให้ลำแสงเลี้ยวเบนสอดคล้องกับทั้งเงื่อนไขของการสะท้อนจากร่อง และเงื่อนไขของแถบสว่างอันดับที่ m นั่นคือ $\theta = \theta_m$



รูปที่ 2.14 ลักษณะของค่าความยาวคลื่นที่ได้จากแผ่นเกรตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



©1995 CHP

รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการสะท้อนของแสงภายในตัว Czerny-Turner โมโนโครเมเตอร์

โดยการทำงานจะเริ่มเมื่อมีแสงผ่านเข้ามาทางช่องสลิต (Entrance slit) ซึ่งจะเป็นแสงที่มีหลายค่าความยาวคลื่นรวมกันอยู่ (polychromatic) หรือ แสงขาวผ่านเข้ามา ซึ่งจะไปสะท้อนกับกระจกเงา (collimating mirror) เพื่อทำหน้าที่ในการจัดลำแสง ให้เป็นลำแสงขนานเพื่อไปตกกระทบบนแผ่นเกรตติง (diffraction grating) ซึ่งจะมีหน้าที่ในการเลือกเส้นสเปกตรัมที่สอดคล้องกับค่ามุมตกกระทบบนแผ่นเกรตติงของแสงจากนั้นแสงโดยเราจะสามารถเลือกค่าความยาวคลื่นได้จากการหมุนของแผ่นเกรตติงเพื่อทำให้ค่ามุมเปลี่ยนแปลงไป ซึ่ง ณ ที่นี้เราก็จะได้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นต่างๆแยกออกจากกัน โดยแสงเหล่านี้จะเคลื่อนที่ต่อไปยังกระจกโค้ง (focus mirror) เพื่อสะท้อนแสงให้เดินทางออกทางช่องสลิต ซึ่งจะมีแสงสีเดียวที่จะออกไปได้ เนื่องจากแสงที่ผ่านแผ่นเกรตติงมานั้นจะมีค่ามุมสะท้อนที่ต่างกัน ทำให้เราได้แสงที่มีค่าความยาวคลื่นเดียว (monochromatic)

โดยในการสร้างเครื่องแยกแสงสี (Monochromator) นี้จะต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1. Band pass คือ ช่วงความยาวคลื่นที่เครื่องสามารถที่จะแยกเส้นสเปกตรัมของแสงออกได้
2. Dispersion คือกำลังในการแยกของแสงจะอยู่ในรูปของ spectral range / slit width (nm / mm) โดยค่านี้จะมีค่าขึ้นกับ ค่าความยาวโฟกัส ค่ากำลังการแยกของแผ่นเกรตติง และ ส่วนประกอบอื่นๆของเกรตติง
3. ค่า Resloution คือค่าที่ต่ำที่สุดของแสงที่จะสามารถแยกได้
4. ค่า Acceptance angle (f/#) คือค่าความสามารถในการรับแสง
5. Blaze wavelength คือค่าความยาวคลื่นของแสงที่มีความเข้มมากที่สุดในอันดับแรก

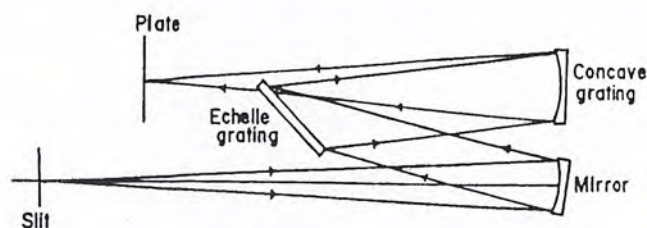
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เครื่องมือที่ใช้เกรตติง

ในปัจจุบันได้มีการนำเกรตติงมาใช้ประโยชน์ในเครื่องมือทางทัศนศาสตร์หลายชนิด ดังนี้

สเปกโตรสโคป (spectroscope) เป็นเครื่องมือที่เดิมเคยใช้ปริซึมเป็นตัวกระจายแสง ต่อมาได้้นำเกรตติงมาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการแยกเส้นสเปกตรัม ประโยชน์ของเครื่องมือชนิดนี้คือ ใช้วิเคราะห์สเปกตรัม และใช้หาความยาวคลื่น หลักการของเครื่องมือนี้คือให้แสงผ่านเข้ามาทางสลิตและ collimating lens เพื่อทำให้ลำแสงขนานไปตกกระทบเกรตติง จากนั้นก็มองภาพผ่านกล้องโทรทรรศน์ที่มีระยะโฟกัสอยู่ไกลมาก ในกรณีที่เป็นเครื่องมือราคาไม่สูงมาก มักนิยมใช้เกรตติงชนิดส่งผ่านที่ราคาไม่สูงมาก แต่ในกรณีที่ต้องการความละเอียดและแม่นยำสูง เช่นในงานวิจัย นิยมใช้เกรตติงชนิดสะท้อน เครื่องมือชนิดนี้อาจจัดแปลงเป็น สเปกโตรกราฟ (spectrograph) โดยทำการบันทึกสเปกตรัมลงบนฟิล์มหรืออุปกรณ์บันทึกภาพชนิดอื่น ๆ สำหรับสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) จะต่างจากสเปกโตรกราฟในวิธีการบันทึกภาพ คือ ในสเปกโตรมิเตอร์จะให้ช่วงแคบ ๆ ของสเปกตรัมผ่านสลิตออกไปสู่หัววัดแสง โดยทำการหมุนเกรตติงไป การออกแบบเครื่องมือประเภทนี้มีหลายชนิด

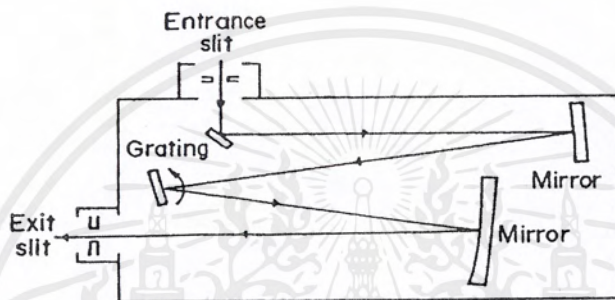
สเปกโตรกราฟ ชนิด Echelle ดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยใช้กับเกรตติงแบบ Echelle เพื่อเพิ่มการกระจายแสงและกำลังการแยกให้มากขึ้น สมบัติของเกรตติงแบบ Echelle คืออันดับของการเลี้ยวเบนที่ให้ความสามารถในการแยกดีนั้นจะมีค่ามาก และช่วงความยาวคลื่นที่ไม่มีการซ้อนทับก็มีค่ามาก จึงมีการใช้เกรตติงรูปเว้าอีกอันหนึ่งเพื่อกระจายแสงในอันดับที่มีการซ้อนทับไปในทิศที่ตั้งฉากกับการกระจายของเกรตติงแบบ Echelle ในรูปนี้กระจกเว้าจะจัดให้ลำแสงจากสลิตเป็นลำขนานกันไปตกกระทบบนเกรตติงแบบ Echelle ที่วางอยู่ในลักษณะที่ร่องอยู่ในแนวราบ แสงที่หักเหจากเกรตติงนี้จะกระจายโดยเกรตติงเว้าที่วางในลักษณะที่ร่องอยู่ในแนวตั้ง เกรตติงเว้านี้จะทำหน้าที่รวมแสงให้ไปตกกระทบบนฟิล์มด้วย



รูปที่ 2.16 แสดงสเปกโตรกราฟแบบ echelle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกโตรมิเตอร์ แบบ Czemy - Turner แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 แสงจากสลิตจะสะท้อนที่ กระจกกราบไปยังกระจกเว้าเพื่อให้เป็นลำขนานไปตกกระทบบนเกรตติง ถ้าแสงหักเหจะสะท้อนที่ กระจกเว้าอีกอันหนึ่งเพื่อทำการรวมแสงให้ออกจากเครื่อง ถ้าเราหมุนเกรตติงไป สเปกตรัมก็จะ เลื่อนไปบนสลิตด้วย ทำให้เราสามารถวัดแสงในช่วงแคบ ๆ ของสเปกตรัมได้ เครื่องมือที่ใช้ สำหรับเลือกให้ความยาวคลื่นเพียงค่าเดียวจากสเปกตรัมหรือให้ความยาวคลื่นในช่วงแคบ ๆ ผ่าน สลิตออกมาได้นี้เรียกว่า monochromator

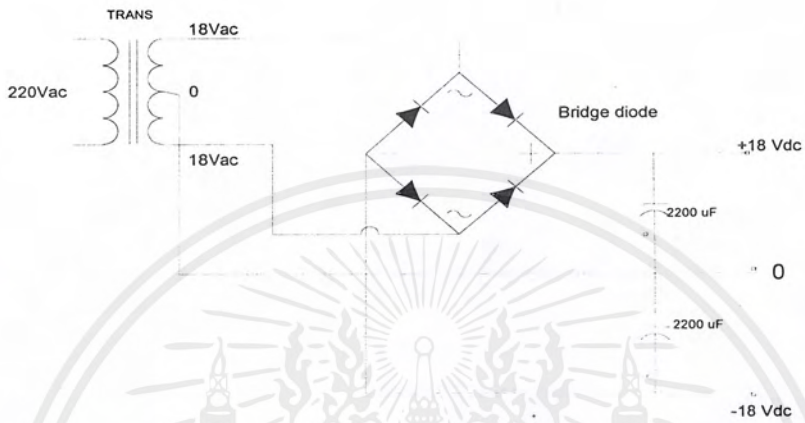


รูปที่ 2.17 แสดงสเปกโตรมิเตอร์แบบ Czemy - Turner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขยาย(amplifier)

ในการจ่ายไฟให้กับตัวออปแอมป์นั้น จำเป็นต้องมีการป้อนไฟทั้งทางด้านบวกและด้านลบ ซึ่งจะต้องทำการแปลงไฟที่ได้จากไฟสลับ(VAC) ให้เป็นไฟตรง(VDC) โดยจะมีรูปวงจรถ่ายไฟ(supply)ให้กับตัวออปแอมป์ดังรูป 2.18

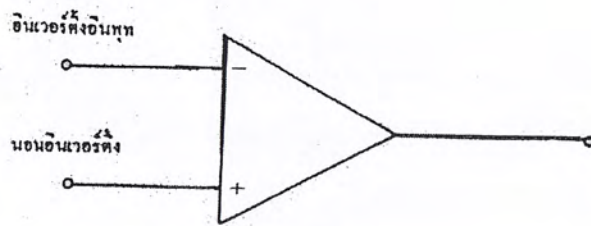


รูปที่ 2.18 แหล่งจ่ายไฟทางด้านบวกและด้านลบ

2.4 วงจรขยายสัญญาณ (amplifier)

ในวงจรขยายสัญญาณที่เรานำมาใช้นี้จะใช้ ออปแอมป์ (Op Amp) หรือที่เราเรียกว่า ออปเปอเรชันนัล แอมพลิไฟเออร์ (operation amplifier) โดยในการใช้งานออปแอมป์ มักมีการป้อนกลับแบบลบจากเอาต์พุตมายังขั้วลบ(inverting input) ด้วยตัวต้านทานหรืออิมพีแดนซ์เพื่อควบคุมอัตราขยายให้เป็นไปตามต้องการ

โดยสัญลักษณ์ของตัวออปแอมป์เป็นดังรูป



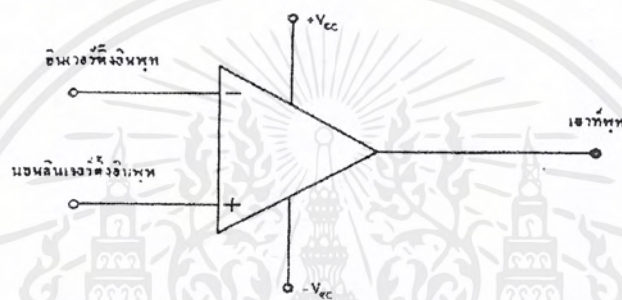
รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ของตัวออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งออปแอมป์ในอุดมคติมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. มีอัตราขยายแรงดันเป็นอนันต์
2. มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ หรือกล่าวได้ว่ากระแสอินพุตเป็นศูนย์นั่นเอง
3. มีค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็น ศูนย์

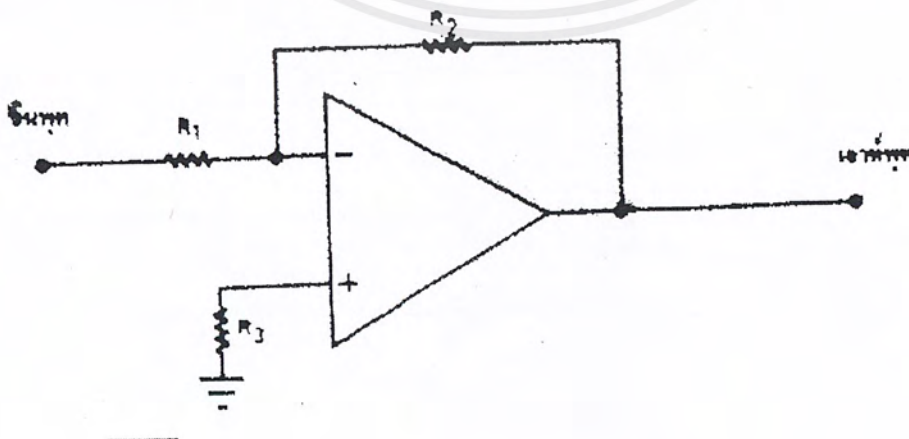
ในการต่อแหล่งจ่ายไฟให้เข้ากับตัวไอซี ส่วนใหญ่มักจะใช้แหล่งจ่ายไฟ 2 จุด คือ บวกและลบ เพื่อจ่ายให้กับวงจรขยายความแตกต่าง โดยมีลักษณะการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวออปแอมป์ ดังรูป



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับตัวออปแอมป์

การประยุกต์ใช้งานออปแอมป์

การขยายแบบกลับเฟส (inverting amplifier)

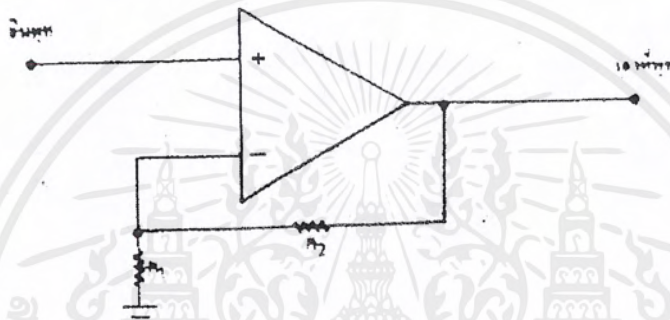


รูปที่ 2.21 วงจรขยายแบบกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.21 อัตราการขยายของวงจรสามารถคำนวณได้ด้วยค่าอัตราส่วนของ R_2/R_1 นั่นคือ แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับผลคูณของ กับแรงดัน อินพุต โดยสัญญาณที่ได้จะอยู่ใน ลักษณะมีเฟสกลับกันอินพุตเพราะเราทำการป้อนสัญญาณทางด้านขาอินเวอร์ตอินพุต ส่วน R_3 ควรเลือกให้มีค่าใกล้เคียงกับกับค่า R_1 และ R_2 ขนานกัน เพื่อชดเชยการผิดพลาดเนื่องจากแรงดันออฟเซตที่อาจเกิดขึ้นจากกระแสไบอัส

วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (non – inverting amplifier)



รูปที่ 2.22 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

จากรูปที่ 2.22 เป็นรูปของวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ซึ่งจะมีค่าความต้านทานอินพุตสูงมาก และอัตราการขยายแรงดันของวงจรจะกำหนดด้วยค่าความต้านทาน โดยจะเท่ากับค่าอัตราส่วนระหว่าง $R_1 + R_2$ กับ R_1 โดยค่าเอาต์พุตที่ได้จะมีเฟสเดียวกับสัญญาณอินพุต

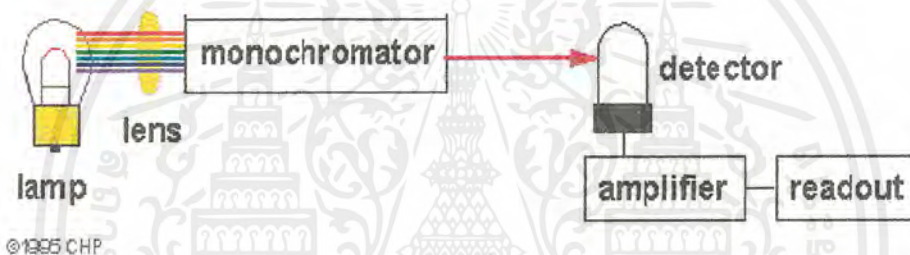
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการทดลอง

3.1 การทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

ในการนำโมโนโครเมเตอร์มาใช้งานนั้น ส่วนใหญ่เราจะนำมาใช้ร่วมกับตัววัดแสง (detector) เพื่อทำการหาค่าอัตราการดูดกลืนแสงของตัวกลางโปร่งใสเพื่อใช้เลือก filter ที่สามารถกรองแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ซึ่งการนำโมโนโครเมเตอร์มาประกอบเข้ากับตัวรับแสง (detector) นั้น เราจะเรียกเครื่องมือชนิดนี้ว่า สเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) ซึ่งจะสามารถแสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือนี้ได้ดังรูป 3.1



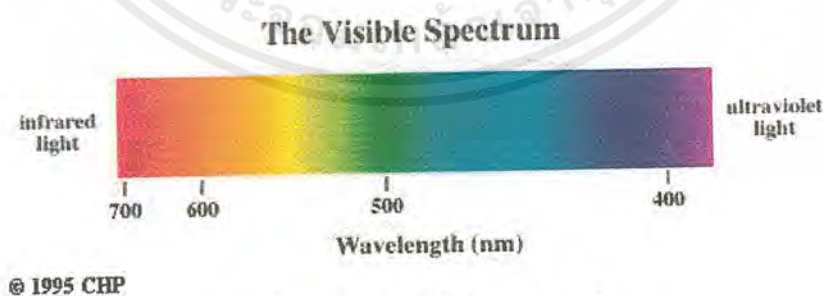
รูปที่ 3.1 การทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

โดยจากรูปเป็นการทำงานของ UV-spectroscopy ซึ่งจะมีค่าความเข้มของแสงอยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตใกล้ (near-ultraviolet) และช่วงแสงที่แลเห็นได้ (visible light) ซึ่งแต่ละค่าความยาวคลื่นนี้เป็นแสงที่มีความต่อเนื่อง (continuous light source) โดยแสงจะถูกแยกค่าความยาวคลื่นโดยใช้ปริซึมหรือเกรตติงโมโนโครเมเตอร์ และจะไปเข้าตัวรับแสงและขยายสัญญาณ (amplifier) แล้วอ่านค่าที่บอกปริมาณแสงออกมาเป็นค่าความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้า โดยส่วนประกอบสำคัญของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (lamp) ซึ่งจะมีที่นิยมใช้กันอยู่มี 2 ชนิด คือ
 - 1.1) หลอดไฮโดรเจนและหลอดดิวทีเรียมความดันต่ำ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงต่อเนื่องที่ดีที่สุดตั้งแต่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 160 – 360 nm
 - 1.2) หลอดทังสเตน ประกอบด้วยหลอดทังสเตนที่บรรจุอยู่ในหลอดสุญญากาศ โดยให้ความยาวคลื่นตั้งแต่ ช่วง UV ใกล้ ช่วงแสงที่แลเห็นได้ จนถึงช่วง IR ใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Chopper ทำหน้าที่ในการแบ่งความเร็วของคลื่นออกเป็นส่วนๆ ตามที่เราต้องการ
3. เลนส์นูน ทำหน้าที่รวมแสงให้ไปตกลงบนสลิต ซึ่งเลนส์นี้จะวางตั้งฉากกับแผ่นสลิตและจะวางแหล่งกำเนิดแสงให้อยู่ในระนาบโฟกัสของเลนส์ โดยจะส่งผลทำให้แสงที่มีการเคลื่อนที่ผ่านเลนส์ทำให้แสงที่จะไปถึงแผ่นสลิตนั้นมีหน้าคลื่นเป็นคลื่นระนาบ
4. สลิตเดี่ยว (single – slit) ซึ่งจะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของแสงโดยที่แถบสว่างกลางจะมีความสว่างมาก
5. กระจกเงา ทำหน้าที่จัดลำแสงจากสลิตให้เป็นลำขนานกันไปตกกระทบบนแผ่นเกรตติง
6. แผ่นเกรตติง ทำหน้าที่ในการแยกสเปกตรัมของแสงโดยจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เกรตติงชนิดส่งผ่าน และเกรตติงชนิดสะท้อน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ เกรตติงชนิดสะท้อน เพราะจะให้ความละเอียดและความแม่นยำที่สูงกว่า โดยด้านที่เป็นร่องหรือรอยขีดของเกรตติงสะท้อนนั้นจะมีการสะท้อนที่ดี โดยโลหะที่ฉาบไว้บนผิวของเกรตติงชนิดนี้ควรมีค่าการสะท้อนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต คือช่วง 110 – 160 nm นิยมฉาบด้วย แมกนีเซียมฟลูออไรด์ หรือ ลิเทียม ฟลูออไรด์บน อลูมิเนียม ซึ่งถ้าเราทำการหมุนเกรตติงไป จะทำให้เกิดการเลี้ยวของสเปกตรัมบนเกรตติงด้วย จึงทำให้สามารถวัดแสงในช่วงแคบ ๆ ของสเปกตรัมได้ โดยแสงที่ผ่านจากแผ่นเกรตติงออกมานั้นจะมีลักษณะเป็นสเปกตรัมดังรูป 3.2



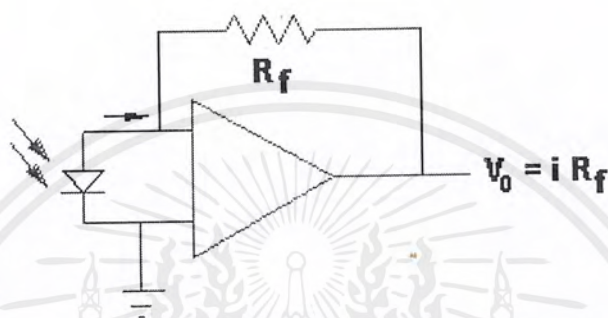
รูปที่ 3.2 เส้นสเปกตรัมที่ได้จากแผ่นเกรตติง

7. ตัวรับแสง (detector) ซึ่งในที่นี้เราจะใช้โฟโตไดโอด (photodiode) ซึ่งจะอาศัยแสงจากภายนอกที่ผ่านเข้ามาไปกระตุ้นให้ไดโอดทำงาน โดยในการต่อนั้นจะเป็นการไปอัสแบบกลับทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้เพราะไม่ต้องการให้โฟโตไดโอดทำงานทันทีทันใด แต่จะต้องการให้ทำงานเฉพาะเมื่อมีปริมาณแสงสว่างมากพอตามที่กำหนดเสียก่อน คือเมื่อมีแสงมาตกกระทบแผ่นโฟโตไดโอดแล้วจะทำให้เกิดกระแสรั่วไหล ซึ่งกระแสรั่วไหลนี้จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มของแสง

8. วงจรขยาย (amplifier) เนื่องจากค่าแสงที่เราได้จากเครื่องโมนโครเมเตอร์นั้นมีค่าความเข้มแสงน้อยมาก เราจึงจำเป็นต้องมีการขยายค่าที่เราได้จากตัวรับแสง(photo detector) โดยเราจะใช้ตัวขยายสัญญาณหรือที่รู้จักกันว่า Op Amp (operation amplifier) มาช่วยขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.3 วงจรตัวตรวจวัดแสง

3.2 วิธีการทดลองเพื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องของเครื่อง

ตอนที่ 1 การปรับเทียบสเกลความยาวคลื่นโดยใช้แสงเลเซอร์

เนื่องจากเราทราบมาแล้วว่าแสงเลเซอร์มีค่าความยาวคลื่นที่แน่นอน คือ 632.8 nm ทำให้เราสามารถนำแสงเลเซอร์นี้ในการปรับเทียบสเกลความยาวคลื่นของเครื่องนี้ได้โดย

1. จัดลำแสงของเลเซอร์ให้ผ่านแนวของสลิตไปตกลงบนแผ่นเกรตติง
2. หมุนแผ่นเกรตติงไปโดยทำการบันทึกค่าความต่างศักย์ทุกๆค่าความยาวคลื่นที่หมุนไป
3. ทำการทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย
4. พล็อตกราฟระหว่างค่าความยาวคลื่นกับค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้ในแต่ละค่าความยาวคลื่น
5. หาค่าตำแหน่งสูงสุดที่ได้ซึ่ง ณ ตำแหน่งนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ค่าความยาวคลื่นเป็น 632.8 nm
6. ทำการปรับสเกลของเครื่องให้ได้ค่าตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 หาค่าการส่งผ่าน (Transmission)

ในการทดสอบเครื่องมือวัดนี้ เราจะใช้การหาค่าการส่งผ่านของแสง(transmittance) หรือค่า $T(\lambda)$ มาช่วย ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของแสงที่สามารถผ่านตัวกรองแสงหรือ filter ที่สามารถผ่านไปได้จนถึงตัวรับแสง ที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ แล้วพล็อตกราฟออกมา โดยสามารถหาค่า $T(\lambda)$ หรือค่าการส่งผ่าน(transmission) ได้ดังนี้

1. การหาค่า V_0

- 1.1 จัดลำแสงให้ไปตกลงบนตัวรับแสง (detector) ซึ่งจะวางอยู่ในที่ปิดมิดชิด
- 1.2 ปรับค่าความยาวคลื่นแสงไปที่ประมาณ 400 nm (สีม่วง) จากนั้นอ่านค่าความต่างศักย์จาก โวลต์มิเตอร์(voltmeter)
- 1.3 ปรับค่าความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นไปอีก 10 nm จากนั้นอ่านค่าความต่างศักย์จาก โวลต์มิเตอร์(voltmeter)
- 1.4 ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1.3 จนถึงค่าความยาวคลื่นประมาณ 700 nm
- 1.5 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1.2 อีกเพื่อหาค่า V_0 เฉลี่ย
- 1.6 เขียนกราฟค่า V_0 ที่ได้จากการทดลอง (แกน y) กับค่าความยาวคลื่น(แกน x)

2. การหาค่า $T(\lambda)$

- 2.1 ทำการใส่แผ่นกรองแสงสีเขียวในช่องใส่แผ่นเพื่อกรองแสงจากตัว monochromator ที่ จะตกลงบนตัวรับแสง (detector)
- 2.2 วัดค่าความต่างศักย์ V ที่แต่ละค่าความยาวคลื่น ดังการทดลองหาค่า V_0
- 2.3 คำนวณหาค่า transmittance $T(\lambda) = V(\lambda) / V_0(\lambda)$ ที่แต่ละค่าความยาวคลื่น
- 2.4 เขียนกราฟระหว่างค่า $T(\lambda)$ (แกน y) กับค่าความยาวคลื่น (λ) (แกน x)
- 2.5 เปลี่ยนแผ่นกรองแสงเป็นสีอื่น (น้ำเงิน ,เขียว, เหลือง ,แดง) และทำการทดลองดังข้อ 2.1 – 2.4 อีกครั้ง
- 2.6 นำกราฟที่ได้ในแต่ละแผ่นกรองมาเปรียบเทียบกัน โดยพล็อตกราฟลงบนแผ่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 หาค่าการตอบสนองของตัวรับแสงที่มีอยู่กับเครื่อง โมโน โครเมเตอร์

โดยทำการทดลองตอนนี้เพื่อหาค่าการตอบสนองของตัวรับแสงที่มีอยู่ detector เมื่อเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงหรือเปลี่ยนเครื่องแยกแสง ซึ่งผลที่ได้น่าจะมีค่าเหมือนกัน โดยสามารถทำการทดลองได้ดังนี้

1. ทำการทดลองดังตอนที่ 1 และตอนที่ 2 แต่เปลี่ยนตัวรับแสง(detector) ที่มีมาใช้แทน PMT ในเครื่อง โมโน โครเมเตอร์ที่มีอยู่
2. นำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2

ตอนที่ 4 หาค่าความถูกต้องจากเครื่อง โมโน โครเมเตอร์ที่ได้มาตรฐาน

เนื่องจากเราทำการสร้างเครื่อง โมโน โครเมเตอร์ขึ้นมาใหม่นั้นเราเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับเครื่อง โมโน โครเมเตอร์ที่ได้มาตรฐานที่ใช้ PMT เป็นตัวรับแสง

- 3.1 ทำการทดลองดังตอนที่ 1 และ ตอนที่ 2 อีกครั้ง โดยใช้เครื่อง โมโน โครเมเตอร์ที่มีอยู่
- 3.2 นำผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 ตอน มาเปรียบเทียบกัน
- 3.3 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ตอนที่ 1 เมื่อใช้แสงเลเซอร์ปรับเทียบสเกล

1. เมื่อใช้เลเซอร์ปรับเทียบสเกลกับเครื่องในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเมื่อใช้แสงเลเซอร์กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ

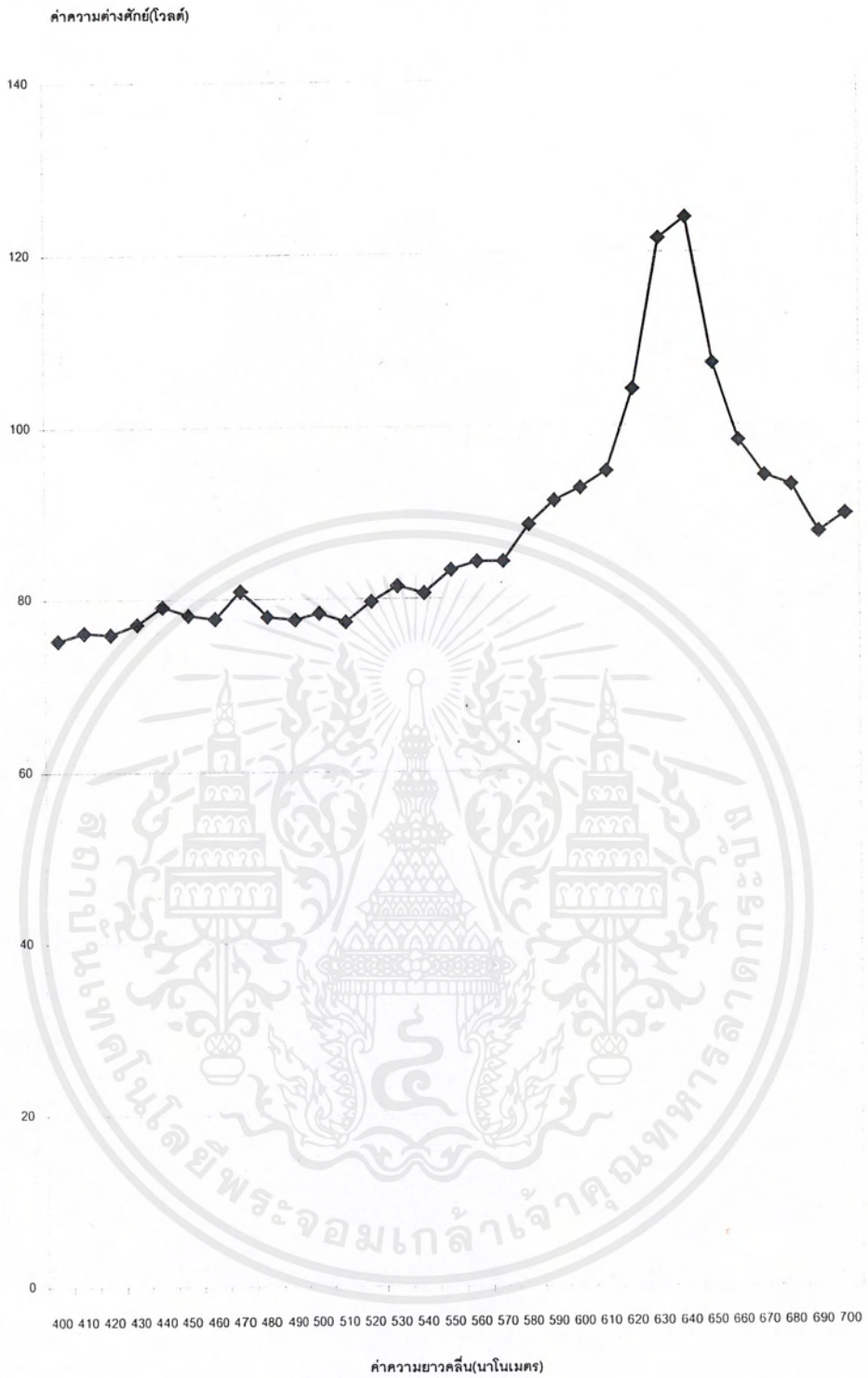
ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(mA)	ครั้งที่2(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	75.3	75.2	75.3
410	76.1	76.2	76.2
420	76	75.9	75.9
430	77.2	77	77.1
440	79.2	79.1	79.2
450	78.3	78	78.2
460	77.4	78.1	77.8
470	81	80.8	80.9
480	78	77.9	77.9
490	77.7	77.5	77.6
500	78.4	78.3	78.4
510	77.3	77.3	77.3
520	79.6	79.7	79.7
530	81.6	81.4	81.5
540	80.7	80.6	80.7
550	83.4	83.3	83.4
560	84.3	84.4	84.4
570	84.2	84.4	84.3
580	88.6	88.6	88.6
590	91.3	91.5	91.4
600	92.8	92.9	92.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(mA)	ครั้งที่2(mA)	เฉลี่ย(mA)
610	94.6	94.9	94.8
620	104	104.4	104.2
621	104.8	104.3	104.6
622	105.9	105.8	105.9
623	107.1	107	107.1
624	107.2	107	107.1
625	107	107	107
626	107.2	107.2	107.2
627	107.5	107.4	107.5
628	107.7	107.6	107.7
629	110.5	109.9	110.2
630	121.5	121.7	121.6
631	124	124	124
632	124.6	124.3	124.5
633	124.3	124.2	124.3
634	124.2	124.2	124.2
635	124	124.1	124.1
636	124	124.1	124.1
637	124.1	124.2	124.2
638	124.2	124.2	124.2
639	124.2	124.2	124.2
640	124	124	124
650	107.1	107	107.1
660	98.3	98.2	98.3
670	94.2	94.1	94.2
680	93	93	93
690	87.6	87.5	87.6
700	89.7	89.6	89.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้เลเซอร์กับPMT



รูปที่ 4.1 รูปกราฟค่า V_0 เมื่อใช้แสงเลเซอร์กับเครื่องในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อใช้เลเซอร์ปรับเทียบสเกลกับเครื่องแยกแสงสี

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อใช้แสงเลเซอร์กับเครื่องแยกแสงสี

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(mA)	ครั้งที่2(mA)	ครั้งที่3(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	0.11	0.1	0.1	0.10
410	0.11	0.11	0.1	0.11
420	0.11	0.11	0.1	0.11
430	0.11	0.11	0.1	0.11
440	0.11	0.11	0.1	0.11
450	0.11	0.1	0.1	0.10
460	0.11	0.1	0.1	0.10
470	0.11	0.1	0.1	0.10
480	0.11	0.1	0.1	0.10
490	0.11	0.11	0.11	0.11
500	0.11	0.11	0.1	0.11
510	0.11	0.1	0.1	0.10
520	0.11	0.1	0.1	0.10
530	0.11	0.1	0.1	0.10
540	0.11	0.1	0.1	0.10
550	0.11	0.1	0.1	0.10
560	0.11	0.1	0.1	0.10
570	0.11	0.1	0.1	0.10
580	0.11	0.1	0.1	0.10
590	0.11	0.1	0.1	0.10
600	0.11	0.11	0.1	0.10
610	0.12	0.11	0.14	0.12
620	0.1	0.13	0.15	0.13
630	7.58	7.55	7.53	7.55
640	7.03	6.78	1.59	5.13
650	0.12	0.11	0.11	0.11
660	0.12	0.11	0.11	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
670	0.12	0.11	0.11	0.11
680	0.12	0.11	0.11	0.11
690	0.11	0.1	0.11	0.11
700	0.11	0.1	0.11	0.11

ตารางที่ 4.3 เมื่อทำการขยายในช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(mA)	ครั้งที่2(mA)	ครั้งที่3(mA)	เฉลี่ย(mA)
620	0.1	0.13	0.15	0.13
622	0.16	0.15	0.17	0.16
624	0.18	0.18	6.51	2.29
626	6.7	7.26	7.4	7.12
628	7.42	7.51	7.47	7.46
630	7.58	7.55	7.51	7.54
632	7.64	7.59	7.51	7.58
634	7.66	7.6	7.29	7.52
636	7.49	7.38	6.98	7.28
638	7.3	7.13	4.15	6.19
640	7.03	6.78	1.59	5.13
642	1.4	3.75	0.21	1.79
644	0.67	0.71	0.12	0.5
646	0.14	0.13	0.11	0.13
648	0.12	0.12	0.11	0.12
500	0.11	0.11	0.1	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้เลเซอร์กับเครื่องแยกแสงสี

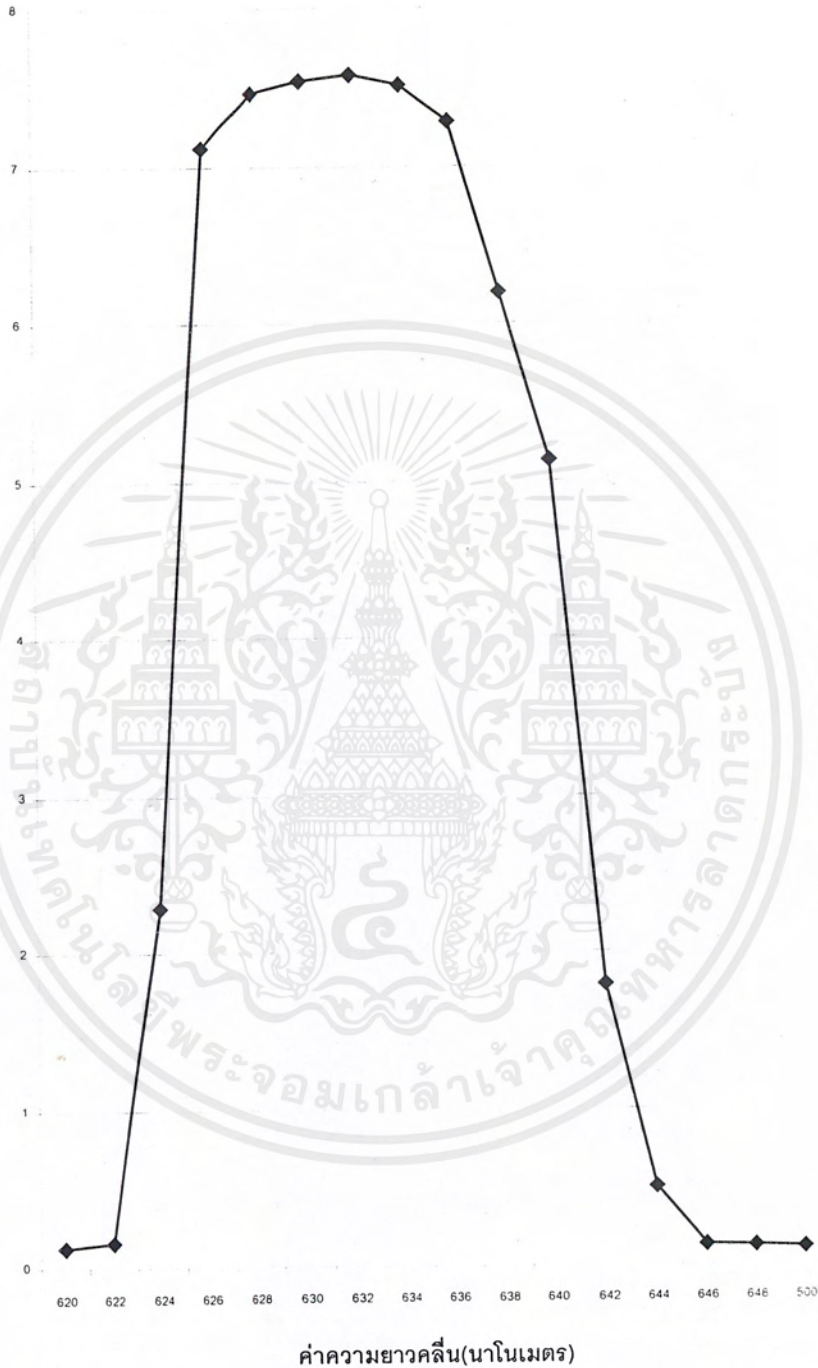


รูปที่ 4.2 รูปภาพเมื่อใช้แสงเลเซอร์ปรับสเกลเครื่องแยกแสงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้แสงเลเซอร์กับเครื่องแยกแสง

ค่าความต่างศักย์(โวลต์)



รูปที่ 4.3 รูปกราฟเมื่อใช้แสงเลเซอร์ปรับสเกลเครื่องแยกแสงสีเมื่อขยายในช่วงความยาวคลื่นของเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตอนที่ 2 การหาค่าการส่งผ่านของแสง

4.2.1 การหาค่าการส่งผ่านของแสงของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT วัดแสง

1. หาค่า I_0 ของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการ

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	0.879	0.876	0.878
410	0.89	0.889	0.890
420	0.905	0.904	0.905
430	0.917	0.916	0.917
440	0.93	0.929	0.930
450	0.943	0.943	0.943
460	0.955	0.954	0.955
470	0.968	0.966	0.967
480	0.979	0.976	0.978
490	0.988	0.986	0.987
500	0.995	0.994	0.995
510	1.002	0.999	1.001
520	1.008	1.005	1.007
530	1.012	1.009	1.011
540	1.015	1.013	1.014
550	1.018	1.016	1.017
560	1.02	1.018	1.019
570	1.022	1.02	1.021
580	1.023	1.021	1.022
590	1.024	1.022	1.023
600	1.025	1.022	1.024
610	1.025	1.023	1.024
620	1.024	1.023	1.024
630	1.023	1.022	1.023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
640	1.021	1.021	1.021
650	1.02	1.02	1.020
660	1.018	1.018	1.018
670	1.016	1.016	1.016
680	1.014	1.014	1.014
690	1.013	1.011	1.012
700	1.01	1.009	1.010

2. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีม่วง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีม่วงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	0.82	0.819	0.820
410	0.832	0.832	0.832
420	0.847	0.848	0.848
430	0.855	0.856	0.856
440	0.858	0.857	0.858
450	0.854	0.853	0.854
460	0.845	0.844	0.845
470	0.825	0.822	0.824
480	0.802	0.8	0.801
490	0.772	0.769	0.771
500	0.673	0.627	0.650
510	0.425	0.394	0.410
520	0.243	0.23	0.237
530	0.195	0.189	0.192
540	0.176	0.173	0.175
550	0.173	0.173	0.173
560	0.186	0.186	0.186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
570	0.222	0.225	0.224
580	0.274	0.279	0.277
590	0.34	0.342	0.341
600	0.427	0.445	0.436
610	0.636	0.659	0.648
620	0.808	0.816	0.812
630	0.892	0.898	0.895
640	0.957	0.96	0.959
650	0.995	0.995	0.995
660	1.006	1.004	1.005
670	1.008	1.007	1.008
680	1.007	1.006	1.007
690	1.005	1.004	1.005
700	1.002	1.001	1.002

3. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีน้ำเงิน

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีน้ำเงินกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	0.809	0.806	0.808
410	0.825	0.851	0.838
420	0.849	0.874	0.862
430	0.872	0.892	0.882
440	0.891	0.907	0.899
450	0.905	0.915	0.910
460	0.915	0.923	0.919
470	0.923	0.925	0.924
480	0.925	0.925	0.925
490	0.923	0.922	0.923

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
500	0.915	0.914	0.915
510	0.903	0.903	0.903
520	0.885	0.885	0.885
530	0.865	0.864	0.865
540	0.832	0.83	0.831
550	0.79	0.785	0.788
560	0.747	0.742	0.745
570	0.628	0.614	0.621
580	0.45	0.415	0.433
590	0.219	0.203	0.211
600	0.148	0.146	0.147
610	0.148	0.151	0.150
620	0.186	0.193	0.190
630	0.213	0.213	0.213
640	0.209	0.209	0.209
650	0.236	0.246	0.241
660	0.344	0.371	0.358
670	0.752	0.766	0.759
680	0.838	0.841	0.840
690	0.912	0.916	0.914
700	0.953	0.953	0.953

4. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีเขียว

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีเขียวกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	0.067	0.067	0.067
410	0.073	0.074	0.074
420	0.085	0.087	0.086
430	0.101	0.104	0.103
440	0.136	0.144	0.140
450	0.283	0.373	0.328
460	0.7	0.741	0.721
470	0.812	0.82	0.816
480	0.861	0.868	0.865
490	0.9	0.902	0.901
500	0.923	0.925	0.924
510	0.936	0.937	0.937
520	0.944	0.944	0.944
530	0.943	0.944	0.944
540	0.936	0.936	0.936
550	0.924	0.922	0.923
560	0.912	0.912	0.912
570	0.899	0.899	0.899
580	0.885	0.883	0.884
590	0.862	0.861	0.862
600	0.842	0.841	0.842
610	0.834	0.835	0.835
620	0.833	0.834	0.836
630	0.831	0.831	0.831
640	0.826	0.825	0.826
650	0.823	0.824	0.824
660	0.831	0.834	0.833
670	0.859	0.864	0.862
680	0.89	0.893	0.892
690	0.92	0.923	0.922
700	0.948	0.948	0.948

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีส้ม

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีส้มกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	0.109	0.11	0.110
410	0.113	0.115	0.114
420	0.122	0.124	0.123
430	0.131	0.135	0.133
440	0.145	0.147	0.146
450	0.16	0.166	0.163
460	0.178	0.182	0.180
470	0.205	0.211	0.208
480	0.235	0.247	0.241
490	0.289	0.298	0.294
500	0.361	0.382	0.372
510	0.449	0.471	0.460
520	0.675	0.722	0.699
530	0.807	0.828	0.818
540	0.911	0.918	0.915
550	0.976	0.983	0.980
560	1.004	1.002	1.003
570	1.014	1.012	1.013
580	1.017	1.014	1.016
590	1.018	1.016	1.017
600	1.019	1.017	1.018
610	1.019	1.018	1.019
620	1.019	1.018	1.019
630	1.018	1.017	1.018
640	1.017	1.016	1.017
650	1.016	1.014	1.015
660	1.014	1.014	1.014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
670	1.012	1.011	1.012
680	1.01	1.009	1.010
690	1.007	1.006	1.007
700	1.003	1.003	1.003

6. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีแดง

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีแดงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT เป็นตัววัดแสง

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
400	0.064	0.064	0.064
410	0.064	0.065	0.065
420	0.065	0.066	0.066
430	0.067	0.068	0.068
440	0.07	0.071	0.071
450	0.074	0.076	0.075
460	0.078	0.08	0.079
470	0.085	0.087	0.086
480	0.092	0.095	0.094
490	0.102	0.104	0.103
500	0.114	0.118	0.116
510	0.125	0.129	0.127
520	0.144	0.148	0.146
530	0.162	0.17	0.166
540	0.192	0.198	0.195
550	0.235	0.25	0.243
560	0.288	0.301	0.295
570	0.388	0.416	0.402

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น	ครั้งที่ 1(mA)	ครั้งที่ 2(mA)	เฉลี่ย(mA)
580	0.585	0.685	0.635
590	0.805	0.822	0.814
600	0.905	0.926	0.916
610	0.964	0.972	0.968
620	1.001	1	1.001
630	1.010	1.008	1.009
640	1.012	1.01	1.011
650	1.012	1.01	1.011
660	1.012	1.01	1.011
670	1.011	1.008	1.010
680	1.009	1.006	1.008
690	1.008	1.004	1.006
700	1.001	1.001	1.001

7. คำนวณหาค่า Transmittance $T(\lambda) = I(\lambda) / I_0(\lambda)$

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า Transmittance ของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ PMT วัตต์แสง

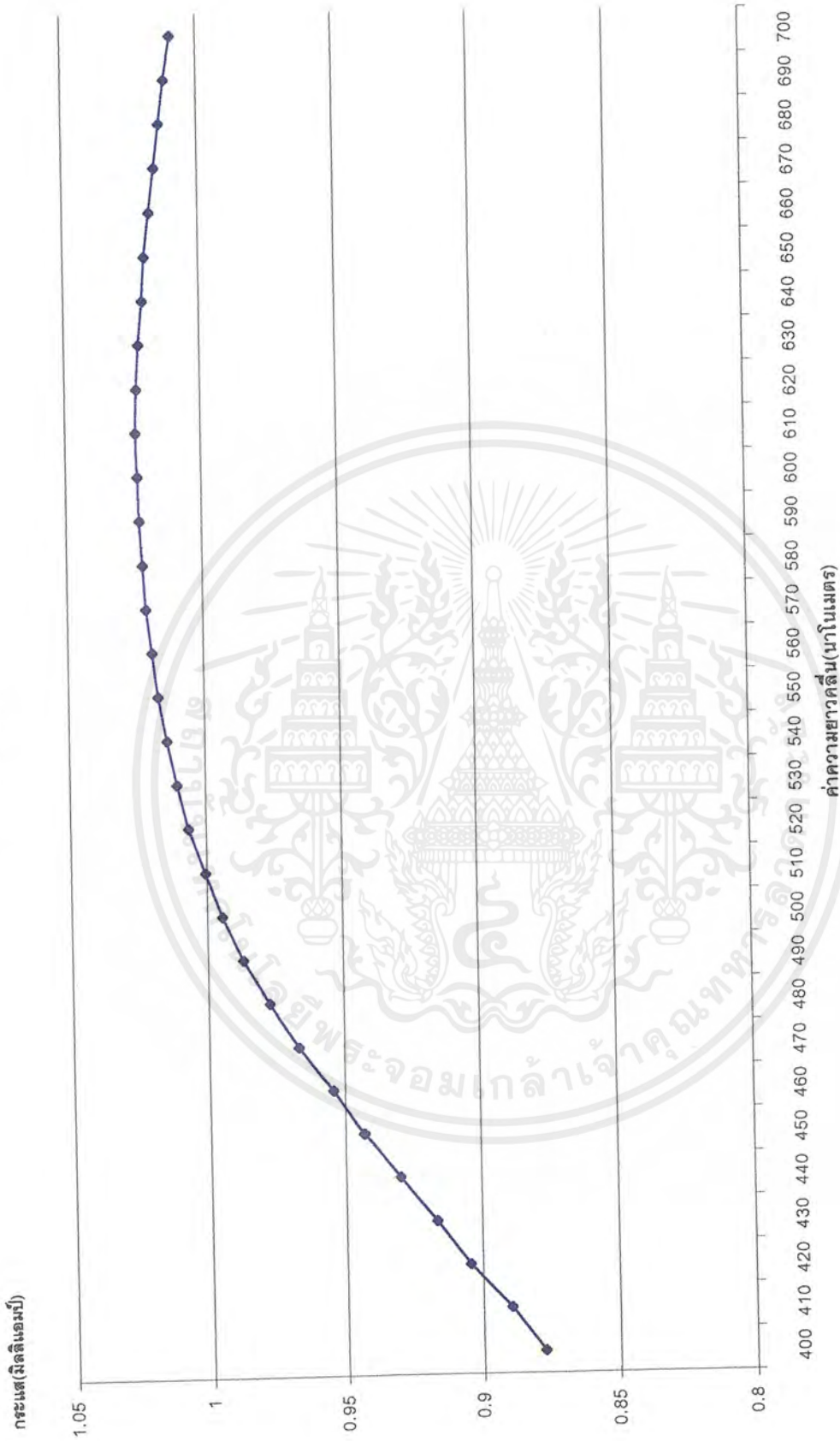
ค่าความยาวคลื่น	สีม่วง	สีน้ำเงิน	สีเขียว	สีส้ม	สีแดง
400	0.934	0.920	0.076	0.125	0.073
410	0.935	0.942	0.083	0.128	0.073
420	0.937	0.953	0.095	0.136	0.073
430	0.933	0.962	0.112	0.145	0.074
440	0.923	0.967	0.151	0.157	0.076
450	0.905	0.965	0.348	0.173	0.079
460	0.885	0.962	0.755	0.189	0.083
470	0.852	0.956	0.844	0.215	0.089
480	0.819	0.946	0.884	0.247	0.097
490	0.781	0.935	0.913	0.297	0.104
500	0.654	0.920	0.929	0.374	0.117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น	สีม่วง	สีน้ำเงิน	สีเขียว	สีส้ม	สีแดง
510	0.409	0.903	0.936	0.459	0.127
520	0.235	0.879	0.938	0.694	0.145
530	0.190	0.856	0.934	0.809	0.164
540	0.172	0.820	0.923	0.902	0.192
550	0.170	0.774	0.908	0.963	0.238
560	0.183	0.731	0.895	0.984	0.289
570	0.219	0.608	0.881	0.992	0.394
580	0.271	0.423	0.865	0.994	0.621
590	0.333	0.206	0.842	0.994	0.795
600	0.426	0.144	0.822	0.995	0.895
610	0.632	0.146	0.815	0.995	0.945
620	0.793	0.185	0.814	0.995	0.978
630	0.875	0.208	0.813	0.995	0.987
640	0.939	0.205	0.808	0.996	0.990
650	0.975	0.236	0.807	0.995	0.991
660	0.987	0.351	0.818	0.996	0.993
670	0.992	0.747	0.848	0.996	0.994
680	0.993	0.828	0.879	0.996	0.994
690	0.993	0.903	0.911	0.995	0.994
700	0.992	0.944	0.939	0.994	0.992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

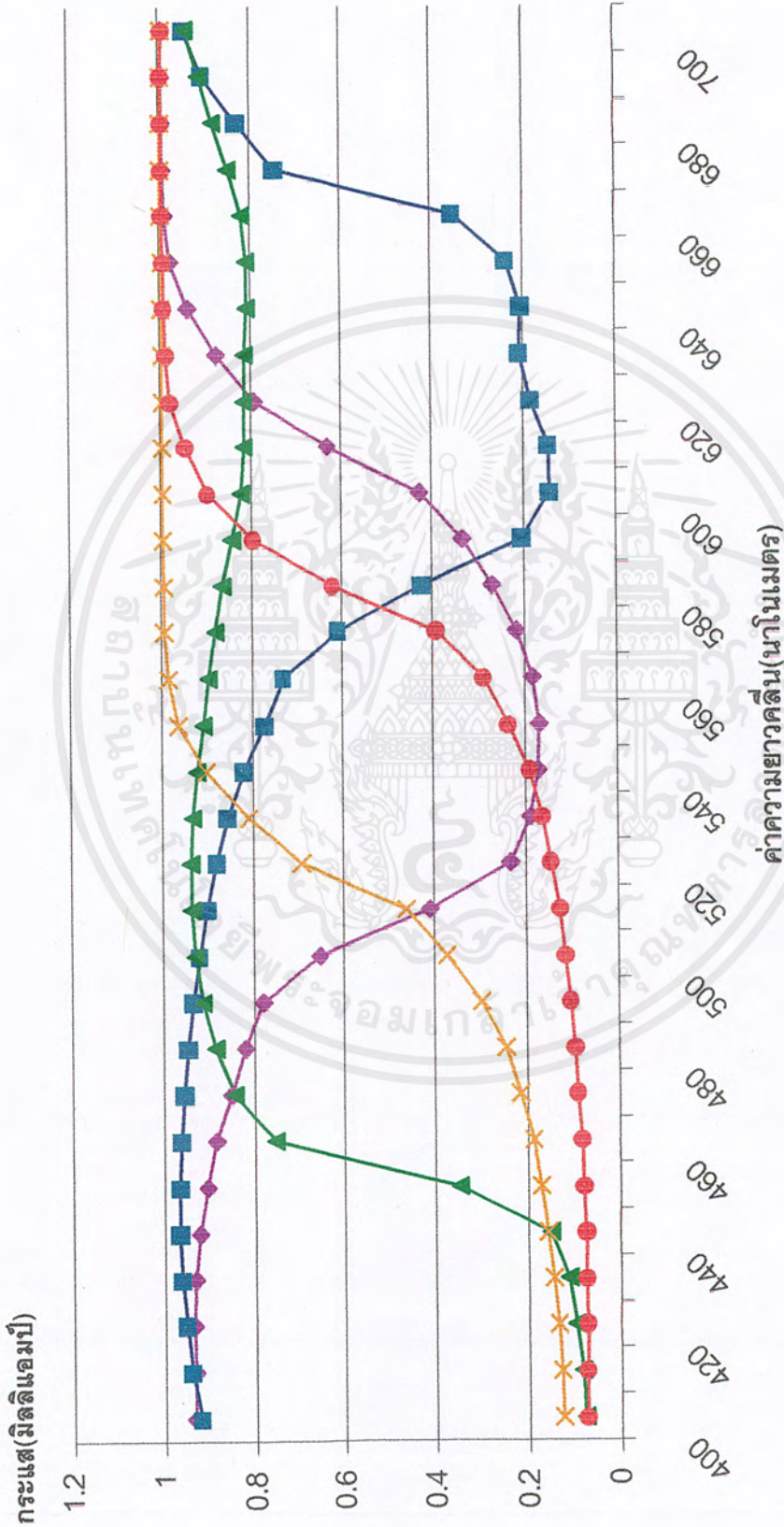
ค่า Io ของ PMT



รูปที่ 4.4 กราฟค่า Io ของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้PMT เป็นตัววัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้ PMT



รูปที่ 4.5 ค่า Transmittance ของแต่ละความยาวคลื่นแสงเมื่อผ่านแผ่นกรองสีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การหาค่าการส่งผ่านของแสงของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ detector วัดแสง

1. หาค่า V_0 ของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ detector วัดแสง

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองเมื่อใช้ Detector เป็นตัววัดแสงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการ

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่ 1(V)	ครั้งที่ 2(V)	ครั้งที่ 3(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.2	0.4	0.4	0.33
410	0.4	0.5	0.5	0.47
420	0.5	0.7	0.7	0.63
430	0.7	0.9	0.9	0.83
440	0.9	1.2	1.1	1.07
450	1.2	1.5	1.5	1.40
460	1.6	1.9	2	1.83
470	2.1	2.9	2.5	2.50
480	2.6	3.6	3.3	3.17
490	3.5	4.8	4.4	4.23
500	4.3	6.5	5.5	5.43
510	5.6	7.3	7.1	6.67
520	6.8	9.8	8.7	8.43
530	8.2	10.5	10.5	9.73
540	10.2	11.8	12.5	11.50
550	11.8	14.1	14.5	13.47
560	13.6	15.6	16.6	15.27
570	15.3	18	18.2	17.17
580	16.8	20.4	19.9	19.03
590	18.5	20.8	22.3	20.53
600	21.2	22.6	24.9	22.90
610	22	24.1	27.4	24.50
620	24.1	26.1	28.8	26.33
630	25.5	27.5	30.2	27.73
640	27.2	29	32	29.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่ 1(V)	ครั้งที่ 2(V)	ครั้งที่ 3(V)	เฉลี่ย(V)
650	28.8	30.8	33.4	31.00
660	32	31.1	35.3	32.80
670	33.6	33.2	36.7	34.50
680	35.4	34.8	37.9	36.03
690	36	36.2	43.5	38.57
700	38	38	45.3	40.43

2. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีม่วง

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีม่วงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ Detector วัดแสง

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.3	0.3	0.3
410	0.4	0.4	0.4
420	0.4	0.4	0.4
430	0.5	0.5	0.5
440	0.6	0.6	0.6
450	0.7	0.7	0.7
460	0.7	0.7	0.7
470	0.7	0.7	0.7
480	0.7	0.7	0.7
490	0.6	0.6	0.6
500	0.4	0.4	0.4
510	0.4	0.4	0.4
520	0.3	0.3	0.3
530	0.3	0.3	0.3
540	0.3	0.3	0.3
550	0.3	0.3	0.3
560	0.3	0.3	0.3
570	0.3	0.3	0.3
580	0.3	0.3	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
590	0.3	0.3	0.3
600	0.3	0.3	0.3
610	0.3	0.3	0.3
620	0.4	0.4	0.4
630	0.5	0.5	0.5
640	1.4	1.4	1.4
650	6.5	6.5	6.5
660	15	15	15
670	27.3	27.3	27.3
680	31.5	31.5	31.5
690	36.1	36.1	36.1
700	39.2	39.2	39.2

3. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีน้ำเงิน

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีน้ำเงินกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ Detector วัดแสง

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.3	0.3	0.3
410	0.3	0.3	0.3
420	0.4	0.4	0.4
430	0.5	0.5	0.5
440	0.6	0.6	0.6
450	0.8	0.8	0.8
460	1.2	1.2	1.2
470	1.6	1.6	1.6
480	1.9	1.9	1.9
490	2.5	2.5	2.5
500	2.8	2.8	2.8
510	2.8	2.8	2.8
520	2.8	2.8	2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
530	2.4	2.4	2.4
540	1.9	1.9	1.9
550	1.6	1.6	1.6
560	1	1	1
570	0.6	0.6	0.6
580	0.5	0.5	0.5
590	0.4	0.4	0.4
600	0.3	0.3	0.3
610	0.3	0.3	0.3
620	0.3	0.3	0.3
630	0.3	0.3	0.3
640	0.3	0.3	0.3
650	0.3	0.3	0.3
660	0.3	0.3	0.3
670	0.3	0.3	0.3
680	0.4	0.4	0.4
690	0.7	0.7	0.7
700	2.8	2.8	2.8

4. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีเขียว

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีเขียวกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ Detector วัดแสง

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.2	0.2	0.2
410	0.2	0.2	0.2
420	0.2	0.2	0.2
430	0.29	0.29	0.29
440	0.3	0.3	0.3
450	0.3	0.3	0.3
460	0.3	0.3	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
470	0.3	0.3	0.3
480	0.4	0.4	0.4
490	0.8	0.8	0.8
500	1.7	1.7	1.7
510	2.6	2.6	2.6
520	4.2	4.2	4.2
530	5.3	5.3	5.3
540	6.2	6.2	6.2
550	6.4	6.4	6.4
560	6.4	6.4	6.4
570	5.7	5.7	5.7
580	5.3	5.3	5.3
590	4.6	4.6	4.6
600	3.8	3.8	3.8
610	3.1	3.1	3.1
620	2.6	2.6	2.6
630	2.6	2.6	2.6
640	2.7	2.7	2.7
650	2.7	2.7	2.7
660	2.7	2.7	2.7
670	2.9	2.9	2.9
680	3.7	3.7	3.7
690	5.7	5.7	5.7
700	8.6	8.6	8.6

5. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีส้ม

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีส้มกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ Detector วัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.2	0.2	0.2
410	0.2	0.2	0.2
420	0.3	0.3	0.3
430	0.2	0.2	0.2
440	0.2	0.2	0.2
450	0.2	0.2	0.2
460	0.2	0.2	0.2
470	0.3	0.3	0.3
480	0.3	0.3	0.3
490	0.3	0.3	0.3
500	0.2	0.2	0.2
510	0.3	0.3	0.3
520	0.3	0.3	0.3
530	0.3	0.3	0.3
540	0.3	0.3	0.3
550	0.7	0.7	0.7
560	0.4	0.4	0.4
570	10.4	10.4	10.4
580	15.7	15.7	15.7
590	20	20	20
600	22.2	22.2	22.2
610	24.2	24.2	24.2
620	26	26	26
630	27.3	27.3	27.3
640	30.1	30.1	30.1
650	31.1	31.1	31.1
660	32.5	32.5	32.5
670	33.8	33.8	33.8
680	37.5	37.5	37.5
690	39.6	39.6	39.6
700	41.1	41.1	41.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีแดง

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีแดงกับเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ Detector วัดแสง

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.3	0.3	0.3
410	0.3	0.3	0.3
420	0.3	0.3	0.3
430	0.3	0.3	0.3
440	0.3	0.3	0.3
450	0.3	0.3	0.3
460	0.3	0.3	0.3
470	0.3	0.3	0.3
480	0.3	0.3	0.3
490	0.3	0.3	0.3
500	0.3	0.3	0.3
510	0.3	0.3	0.3
520	0.3	0.3	0.3
530	0.3	0.3	0.3
540	0.3	0.3	0.3
550	0.3	0.3	0.3
560	0.3	0.3	0.3
570	0.3	0.3	0.3
580	0.3	0.3	0.3
590	0.4	0.4	0.4
600	0.5	0.5	0.5
610	1.4	1.4	1.4
620	9.2	9.2	9.2
630	17.5	17.5	17.5
640	25.4	25.4	25.4
650	30.3	30.3	30.3
660	32.9	32.9	32.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	เฉลี่ย(V)
670	35.7	35.7	35.7
680	37.5	37.5	37.5
690	36.9	36.9	36.9
700	38.9	38.9	38.9

7. คำนวณหาค่า Transmittance $T(\lambda) = V(\lambda) / V_0(\lambda)$

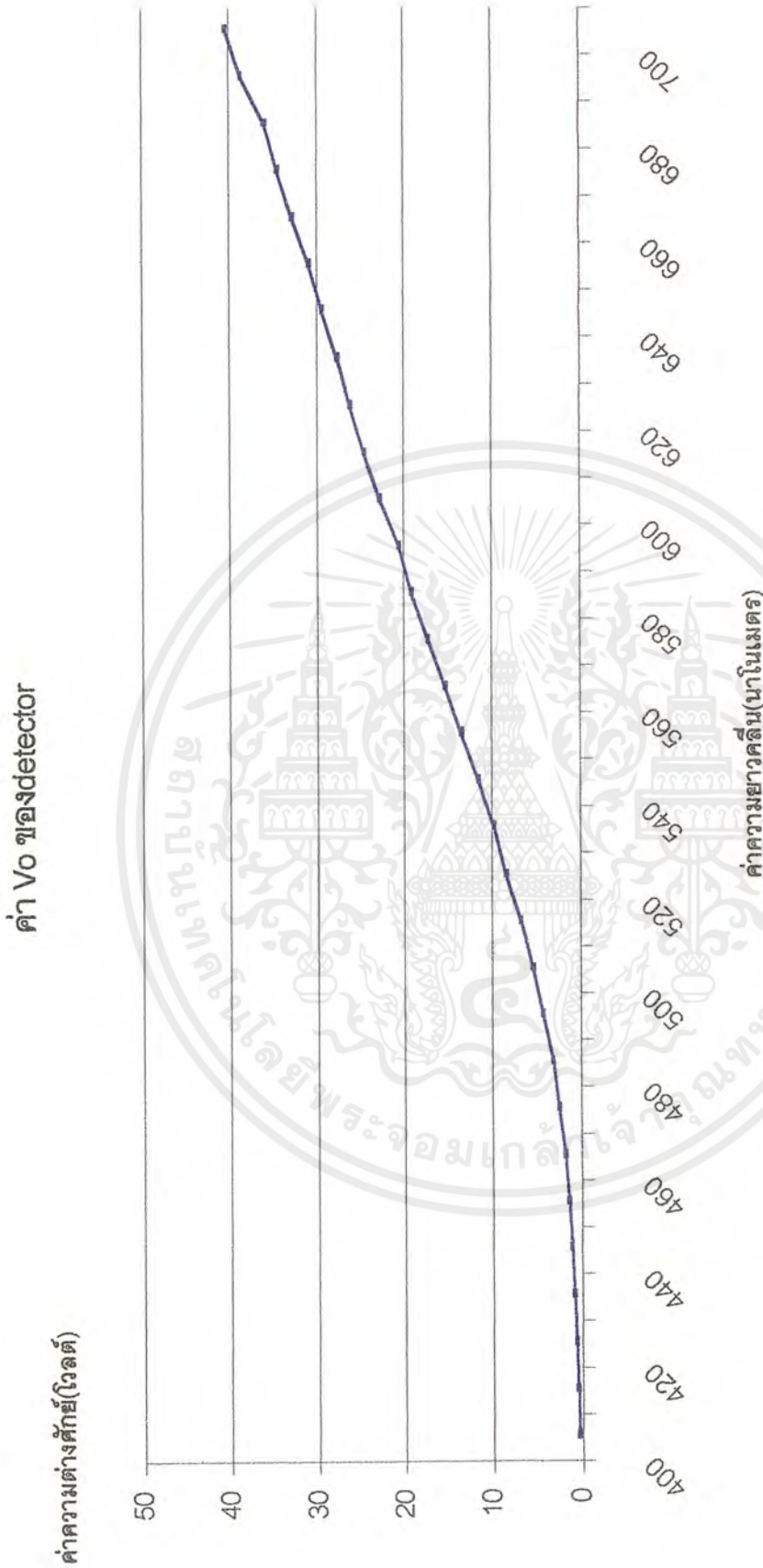
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองเมื่อกำหนดหาค่า Transmittance ของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ Detector วัดแสง

ค่าความยาวคลื่น(nm)	สีม่วง	สีน้ำเงิน	สีเขียว	สีส้ม	สีแดง
400	0.9	0.9	0.6	0.6	0.9
410	0.86	0.64	0.43	0.43	0.64
420	0.63	0.63	0.32	0.47	0.47
430	0.6	0.6	0.35	0.24	0.36
440	0.56	0.56	0.28	0.19	0.28
450	0.5	0.57	0.21	0.14	0.21
460	0.38	0.65	0.16	0.11	0.16
470	0.28	0.64	0.12	0.12	0.12
480	0.22	0.6	0.16	0.09	0.09
490	0.14	0.59	0.19	0.07	0.07
500	0.07	0.52	0.31	0.04	0.06
510	0.06	0.42	0.39	0.05	0.05
520	0.04	0.33	0.49	0.04	0.03
530	0.03	0.25	0.54	0.03	0.03
540	0.03	0.17	0.54	0.03	0.02
550	0.02	0.12	0.48	0.05	0.02
560	0.02	0.07	0.42	0.03	0.02
570	0.02	0.03	0.33	0.60	0.02
580	0.02	0.03	0.28	0.82	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	สีม่วง	สีน้ำเงิน	สีเขียว	สีส้ม	สีแดง
590	0.02	0.02	0.22	0.97	0.02
600	0.01	0.01	0.17	0.97	0.02
610	0.01	0.01	0.13	0.98	0.06
620	0.02	0.01	0.10	0.99	0.35
630	0.02	0.01	0.09	0.98	0.63
640	0.05	0.01	0.09	1.02	0.86
650	0.21	0.01	0.09	1.00	0.98
660	0.48	0.01	0.08	0.99	1.00
670	0.79	0.01	0.08	0.98	1.03
680	0.87	0.01	0.10	1.04	1.04
690	0.94	0.02	0.15	1.03	0.96
700	0.97	0.07	0.21	1.02	0.96

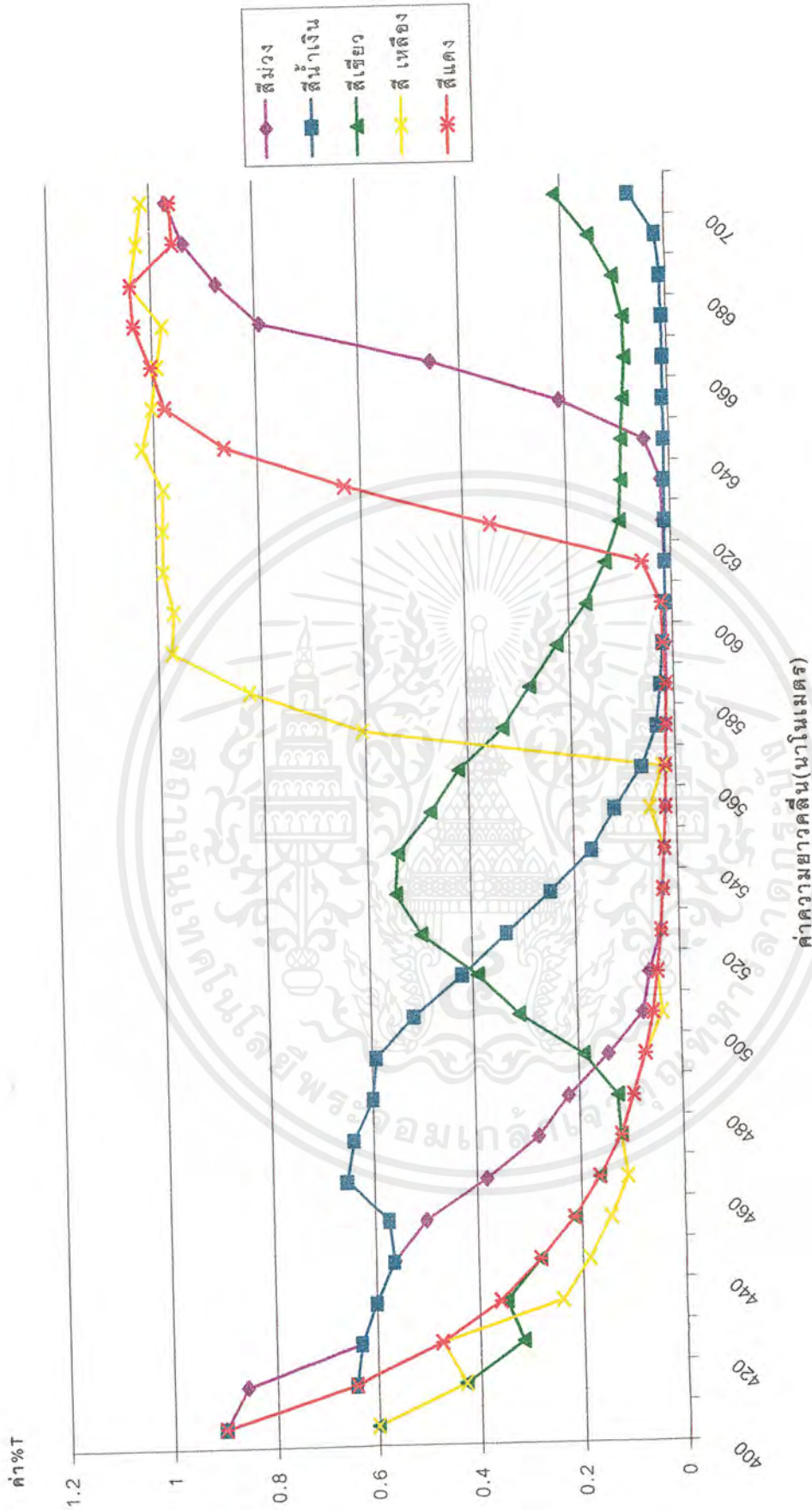
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟค่า V_0 ของเครื่องในหัวข้อปฏิบัติการเมือใช้ Detector เป็นตัววัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Transmittance เมื่อใช้ detector



รูปที่ 4.7 ค่า Transmittance ของแต่ละความยาวคลื่นแสงเมื่อผ่านแผ่นกรองสีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การหาค่าการส่งผ่านของแสงของเครื่องในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ detector วัดแสง

1. หาค่า V_0 ของเครื่องแยกแสงสี

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองหาค่า V_0 ของเครื่องแยกแสงสี

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.195	0.166	0.124	0.168	0.167
410	0.223	0.18	0.155	0.181	0.181
420	0.28	0.214	0.184	0.215	0.215
430	0.307	0.258	0.224	0.257	0.255
440	0.356	0.306	0.271	0.306	0.306
450	0.415	0.358	0.313	0.335	0.347
460	0.49	0.434	0.384	0.409	0.422
470	0.607	0.531	0.491	0.5	0.516
480	0.749	0.665	0.616	0.615	0.641
490	0.916	0.823	0.763	0.76	0.793
500	1.196	0.984	0.933	0.925	0.959
510	1.309	1.199	1.116	1.109	1.158
520	1.513	1.395	1.302	1.302	1.349
530	1.728	1.589	1.488	1.485	1.539
540	1.928	1.762	1.665	1.65	1.714
550	2.078	1.917	1.815	1.801	1.866
560	2.196	2.04	1.936	2.023	2.032
570	2.31	2.148	2.034	2.112	2.13
580	2.409	2.234	2.115	2.208	2.221
590	2.483	2.307	2.182	2.274	2.291
600	2.498	2.38	2.239	2.33	2.355
610	2.533	2.4	2.282	2.37	2.385
620	2.57	2.468	2.332	2.42	2.444
630	2.594	2.516	2.381	2.433	2.475
640	2.637	2.55	2.419	2.481	2.516
650	2.669	2.557	2.454	2.532	2.545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
660	2.703	2.629	2.501	2.554	2.592
670	2.864	2.748	2.621	2.686	2.717
680	3.182	3.123	2.936	3.032	3.078
690	3.798	3.661	3.544	3.621	3.641
700	4.28	4.16	4	4.01	4.085

2. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีม่วง

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีม่วงกับเครื่องแยกแสงสี

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.068	0.042	0.049	0.054	0.052
410	0.073	0.052	0.049	0.058	0.055
420	0.082	0.063	0.058	0.068	0.066
430	0.083	0.07	0.063	0.071	0.071
440	0.081	0.068	0.061	0.065	0.067
450	0.073	0.06	0.054	0.058	0.059
460	0.062	0.044	0.044	0.046	0.045
470	0.047	0.034	0.029	0.03	0.032
480	0.03	0.021	0.018	0.019	0.02
490	0.02	0.012	0.008	0.01	0.011
500	0.013	0.005	0.002	0.005	0.005
510	0.01	0.002	0.002	0.001	0.002
520	0.008	0.001	0.001	0.001	0.001
530	0.008	0.001	0.002	0.002	0.002
540	0.007	0.001	0.001	0.002	0.002
550	0.007	0.001	0.001	0.002	0.002
560	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001
570	0.007	0.002	0.001	0.001	0.002
580	0.009	0.004	0.001	0.001	0.003
590	0.01	0.005	0.002	0.001	0.004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
600	0.011	0.003	0.004	0.003	0.004
610	0.028	0.02	0.013	0.024	0.022
620	0.226	0.163	0.188	0.17	0.179
630	0.811	0.707	0.751	0.692	0.729
640	1.424	1.358	1.296	1.35	1.354
650	1.841	1.709	1.702	1.728	1.719
660	2.029	1913	1.9	1.919	1.974
670	2.199	2.092	2.081	2.079	2.087
680	2.555	2.473	2.437	2.447	2.46
690	3.118	2.972	2.923	2.969	2.971
700	3.535	3.398	3.335	3.4	3.399

2. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีน้ำเงิน

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีน้ำเงินกับเครื่องแยกแสงสี

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	(V)ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.085	0.044	0.039	0.031	0.042
410	0.085	0.053	0.046	0.044	0.049
420	0.108	0.07	0.065	0.062	0.068
430	0.137	0.096	0.088	0.09	0.093
440	0.162	0.24	0.118	0.117	0.14
450	0.194	0.157	0.151	0.144	0.154
460	0.233	0.192	0.183	0.184	0.188
470	0.27	0.233	0.222	0.216	0.228
480	0.3	0.264	0.253	0.248	0.258
490	0.317	0.282	0.272	0.268	0.277
500	0.305	0.277	0.265	0.265	0.271
510	0.261	0.239	0.232	0.227	0.236
520	0.216	0.192	0.189	0.186	0.191
530	0.157	0.101	0.139	0.133	0.136
540	0.098	0.0485	0.086	0.075	0.081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
550	0.058	0.043	0.04	0.037	0.042
560	0.039	0.027	0.025	0.022	0.026
570	0.031	0.02	0.018	0.016	0.019
580	0.024	0.014	0.011	0.009	0.013
590	0.02	0.009	0.007	0.005	0.008
600	0.019	0.008	0.006	0.005	0.007
610	0.02	0.008	0.007	0.006	0.008
620	0.021	0.01	0.008	0.007	0.009
630	0.02	0.01	0.008	0.006	0.009
640	0.017	0.01	0.007	0.006	0.009
650	0.118	0.011	0.008	0.007	0.010
660	0.031	0.017	0.018	0.02	0.019
670	0.132	0.129	0.115	0.135	0.131
680	0.683	0.645	0.52	0.543	0.594
690	1.554	1.472	1.441	1.433	1.457
700	2.5	2.338	2.332	2.429	2.384

4. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีเขียว

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีเขียวกับเครื่องแยกแสงสี

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.031	0.004	0.002	0.002	0.003
410	0.028	0.005	0.001	0.002	0.004
420	0.026	0.004	0.001	0.001	0.003
430	0.024	0.004	0.001	0.001	0.003
440	0.022	0.002	0.001	0.001	0.002
450	0.027	0.003	0.002	0.001	0.003
460	0.048	0.01	0.007	0.009	0.010
470	0.098	0.041	0.037	0.043	0.042
480	0.206	0.095	0.088	0.101	0.098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
490	0.325	0.186	0.19	0.187	0.189
500	0.418	0.291	0.306	0.297	0.302
510	0.477	0.389	0.401	0.402	0.402
520	0.48	0.457	0.467	0.465	0.466
530	0.426	0.469	0.403	0.457	0.442
540	0.355	0.411	0.395	0.409	0.402
550	0.293	0.338	0.335	0.342	0.337
560	0.233	0.28	0.277	0.275	0.276
570	0.169	0.217	0.213	0.221	0.215
580	0.119	0.152	0.163	0.155	0.154
590	0.096	0.106	0.106	0.105	0.106
600	0.096	0.09	0.087	0.086	0.089
610	0.096	0.088	0.085	0.085	0.087
620	0.096	0.089	0.088	0.0866	0.089
630	0.09	0.083	0.082	0.08	0.083
640	0.086	0.08	0.078	0.078	0.079
650	0.103	0.092	0.097	0.095	0.096
660	0.166	0.157	0.148	0.165	0.161
670	0.298	0.318	0.313	0.339	0.316
680	0.59	0.656	0.664	0.628	0.642
690	1.343	1.397	1.394	1.42	1.396
700	2.213	2.215	2.208	2.307	2.214

5. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีส้ม

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีส้มกับเครื่องแยกแสงสี

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	(V)ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.03	0.016	0.013	0.011	0.015
410	0.029	0.016	0.013	0.01	0.015
420	0.028	0.016	0.013	0.01	0.015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
430	0.026	0.015	0.012	0.011	0.014
440	0.026	0.015	0.012	0.01	0.014
450	0.025	0.016	0.013	0.011	0.015
460	0.025	0.016	0.013	0.011	0.015
470	0.025	0.016	0.014	0.011	0.015
480	0.025	0.016	0.014	0.011	0.015
490	0.025	0.016	0.014	0.011	0.015
500	0.024	0.017	0.015	0.01	0.016
510	0.025	0.018	0.015	0.011	0.017
520	0.026	0.019	0.018	0.014	0.019
530	0.042	0.06	0.074	0.064	0.062
540	0.445	0.443	0.433	0.409	0.438
550	1.101	0.995	1.052	1.031	1.042
560	1.493	1.444	1.432	1.414	1.438
570	1.701	1.671	1.639	1.647	1.659
580	1.836	1.79	1.767	1.779	1.785
590	1.914	1.8876	1.841	1.841	1.864
600	1.963	1.922	1.897	1.845	1.910
610	2.013	1.978	1.951	1.93	1.965
620	2.051	2.032	1.994	1.983	2.013
630	2.086	2.061	2.016	2.025	2.043
640	2.113	2.085	2.064	2.069	2.077
650	1.153	2.13	2.088	2.1	2.094
660	1.194	2.165	2.138	2.15	2.144
670	1.289	2.271	2.253	2.279	2.262
680	2.594	2.538	2.544	2.594	2.569
690	3.072	3.038	3.033	3.484	3.055
700	3.585	3.549	3.518	3.521	3.535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หาค่าการส่งผ่านของแสง เมื่อใช้แผ่นกรองสีแดง

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองเมื่อใช้แผ่นกรองสีแดงกับเครื่องแยกแสงสี

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
400	0.019	0.021	0.024	0.027	0.023
410	0.018	0.021	0.025	0.026	0.023
420	0.018	0.021	0.024	0.026	0.023
430	0.018	0.021	0.024	0.024	0.023
440	0.02	0.021	0.023	0.024	0.022
450	0.02	0.022	0.023	0.024	0.023
460	0.02	0.022	0.024	0.023	0.023
470	0.02	0.022	0.024	0.023	0.023
480	0.021	0.023	0.025	0.023	0.023
490	0.022	0.023	0.025	0.022	0.023
500	0.021	0.024	0.025	0.022	0.023
510	0.022	0.024	0.025	0.021	0.023
520	0.022	0.024	0.025	0.022	0.023
530	0.022	0.025	0.025	0.023	0.024
540	0.022	0.024	0.026	0.023	0.024
550	0.023	0.025	0.026	0.023	0.024
560	0.024	0.026	0.027	0.023	0.025
570	0.025	0.027	0.028	0.023	0.026
580	0.029	0.031	0.033	0.028	0.03
590	0.127	0.14	0.133	0.113	0.13
600	0.611	0.616	0.688	0.622	0.619
610	1.299	1.258	1.269	1.211	1.264
620	1.71	1.708	1.714	1.67	1.709
630	1.914	1.914	1.93	1.885	1.914
640	2.051	2.035	2.049	2.005	2.042
650	2.119	2.119	2.115	2.072	2.117
660	2.188	2.186	2.178	2.164	2.182
670	2.301	2.295	2.328	2.277	2.298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ครั้งที่1(V)	ครั้งที่2(V)	ครั้งที่3(V)	ครั้งที่4(V)	เฉลี่ย(V)
680	2.615	2.601	2.641	2.563	2.608
690	3.157	3.146	3.152	2.973	3.149
700	3.642	3.631	3.642	3.44	3.637

7. คำนวณหาค่า Transmittance $T(\lambda) = V(\lambda) / V_0(\lambda)$

ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองเมื่อคำนวณหาค่า Transmittance ของเครื่องแยกแสงสี

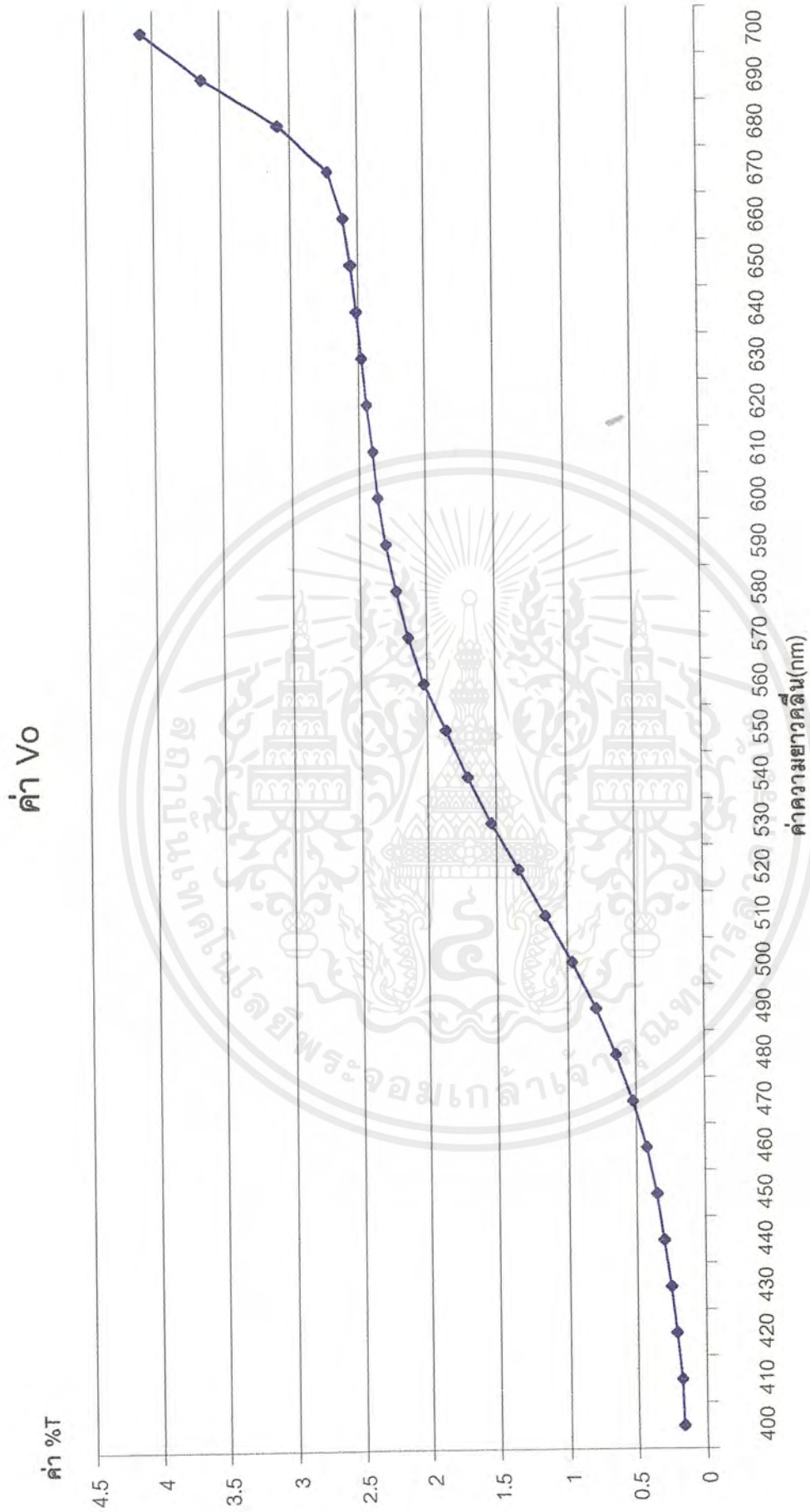
ค่าความยาวคลื่น(nm)	ค่า V_0	ม่วง	น้ำเงิน	เขียว	ส้ม	แดง
400	0.167	0.308	0.249	0.018	0.087	0.135
410	0.181	0.305	0.274	0.019	0.080	0.127
420	0.215	0.305	0.315	0.01	0.068	0.106
430	0.258	0.274	0.361	0.009	0.052	0.087
440	0.306	0.217	0.458	0.005	0.044	0.072
450	0.347	0.170	0.444	0.007	0.042	0.065
460	0.422	0.107	0.446	0.023	0.034	0.053
470	0.516	0.062	0.441	0.081	0.029	0.044
480	0.641	0.031	0.404	0.153	0.023	0.035
490	0.793	0.014	0.349	0.238	0.019	0.028
500	0.959	0.005	0.283	0.315	0.017	0.024
510	1.158	0.002	0.203	0.347	0.014	0.019
520	1.349	0.001	0.141	0.346	0.014	0.017
530	1.539	0.0013	0.088	0.287	0.040	0.016
540	1.714	0.001	0.047	0.235	0.256	0.014
550	1.866	0.001	0.022	0.180	0.558	0.013
560	2.032	0.001	0.013	0.136	0.708	0.012
570	2.13	0.001	0.009	0.101	0.779	0.012
580	2.221	0.001	0.006	0.069	0.803	0.014
590	2.291	0.002	0.003	0.046	0.814	0.057
600	2.355	0.001	0.003	0.038	0.811	0.263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	ค่า Vo	ม่วง	น้ำเงิน	เขียว	ส้ม	แดง
610	2.385	0.009	0.003	0.036	0.823	0.529
620	2.444	0.073	0.004	0.036	0.824	0.699
630	2.475	0.295	0.004	0.033	0.827	0.774
640	2.516	0.538	0.003	0.031	0.826	0.812
650	2.545	0.675	0.004	0.038	0.823	0.832
660	2.592	0.762	0.007	0.062	0.827	0.842
670	2.717	0.768	0.048	0.116	0.833	0.846
680	3.078	0.799	0.193	0.209	0.835	0.847
690	3.641	0.816	0.400	0.383	0.839	0.865
700	4.085	0.832	0.583	0.542	0.865	0.890

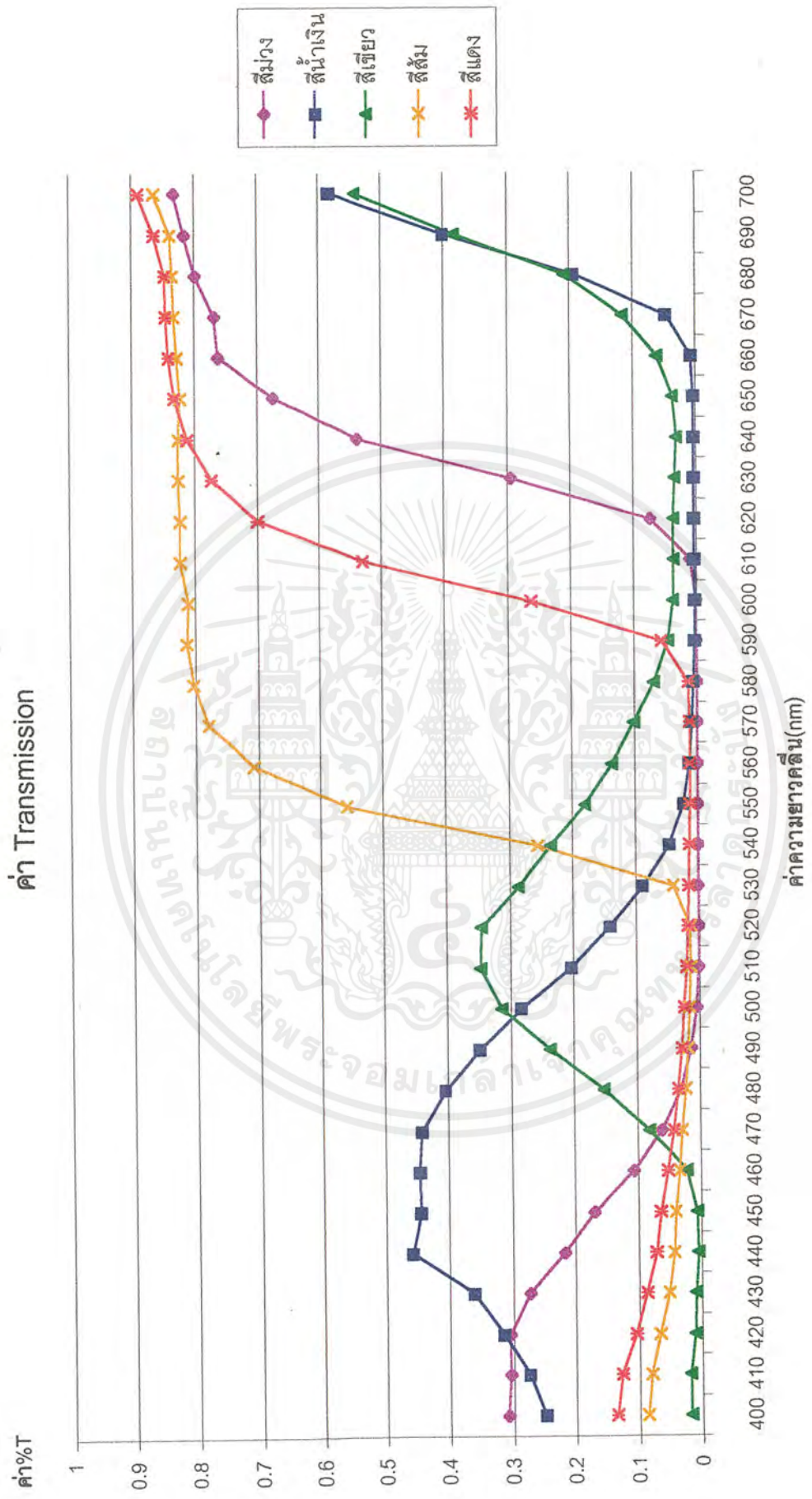


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟค่า V_0 ของเครื่องแยกแสงดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่า Transmittance ของเครื่องแยกแสงสีเมื่อผ่านแผ่นกรองต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ตอนที่ 3 เมื่อนำค่า Transmittance ของเครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสีมาเปรียบเทียบ

1. เมื่อนำค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีม่วงมาเปรียบเทียบกัน
ตารางที่ 4.25 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีม่วง

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
400	0.933	0.308
410	0.935	0.305
420	0.937	0.305
430	0.933	0.274
440	0.923	0.237
450	0.905	0.170
460	0.885	0.107
470	0.852	0.062
480	0.819	0.031
490	0.781	0.013
500	0.654	0.005
510	0.409	0.002
520	0.235	0.001
530	0.190	0.001
540	0.172	0.001
550	0.170	0.001
560	0.183	0.001
570	0.219	0.001
580	0.271	0.001
590	0.333	0.001
600	0.426	0.001
610	0.632	0.009
620	0.793	0.073
630	0.875	0.295
640	0.939	0.538
650	0.975	0.675

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
660	0.987	0.765
670	0.992	0.768
680	0.993	0.799
690	0.993	0.816
700	0.990	0.832

2. เมื่อนำค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีน้ำเงินมาเปรียบเทียบกัน

ตารางที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีน้ำเงิน

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
400	0.920	0.249
410	0.942	0.274
420	0.952	0.315
430	0.962	0.361
440	0.967	0.458
450	0.965	0.444
460	0.963	0.446
470	0.955	0.441
480	0.946	0.406
490	0.935	0.349
500	0.920	0.233
510	0.902	0.203
520	0.879	0.141
530	0.856	0.088
540	0.820	0.047
550	0.774	0.022
560	0.731	0.013
570	0.608	0.009
580	0.423	0.006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
590	0.206	0.003
600	0.144	0.003
610	0.146	0.003
620	0.185	0.004
630	0.208	0.004
640	0.205	0.003
650	0.126	0.004
660	0.351	0.007
670	0.747	0.005
680	0.828	0.193
690	0.903	0.400
700	0.944	0.583

3. เมื่อนำค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีเขียวมาเปรียบเทียบกับ

ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีเขียว

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
400	0.076	0.018
410	0.083	0.019
420	0.095	0.012
430	0.112	0.010
440	0.151	0.005
450	0.348	0.007
460	0.755	0.023
470	0.844	0.081
480	0.884	0.153
490	0.913	0.238
500	0.929	0.315
510	0.936	0.347

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
520	0.938	0.346
530	0.934	0.287
540	0.923	0.235
550	0.908	0.180
560	0.895	0.136
570	0.881	0.101
580	0.865	0.069
590	0.842	0.046
600	0.822	0.038
610	0.815	0.036
620	0.814	0.036
630	0.813	0.033
640	0.809	0.031
650	0.807	0.038
660	0.818	0.032
670	0.848	0.116
680	0.879	0.209
690	0.911	0.383
700	0.939	0.542

4. เมื่อนำค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีส้มมาเปรียบเทียบกับกัน

ตารางที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีส้ม

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
400	0.125	0.086826
410	0.128	0.080332
420	0.136	0.067599
430	0.145	0.052427
440	0.157	0.044118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
450	0.173	0.042
460	0.189	0.034
470	0.215	0.029
480	0.247	0.023
490	0.297	0.019
500	0.374	0.017
510	0.459	0.014
520	0.694	0.014
530	0.809	0.040
540	0.902	0.256
550	0.963	0.558
560	0.985	0.708
570	0.992	0.776
580	0.994	0.803
590	0.994	0.814
600	0.995	0.811
610	0.995	0.824
620	0.995	0.824
630	0.995	0.826
640	0.996	0.826
650	0.995	0.823
660	0.996	0.827
670	0.996	0.833
680	0.995	0.835
690	0.995	0.839
700	0.994	0.865

5. เมื่อนำค่า Transmittance ของแผ่นกรองสีแดงมาเปรียบเทียบกับกัน

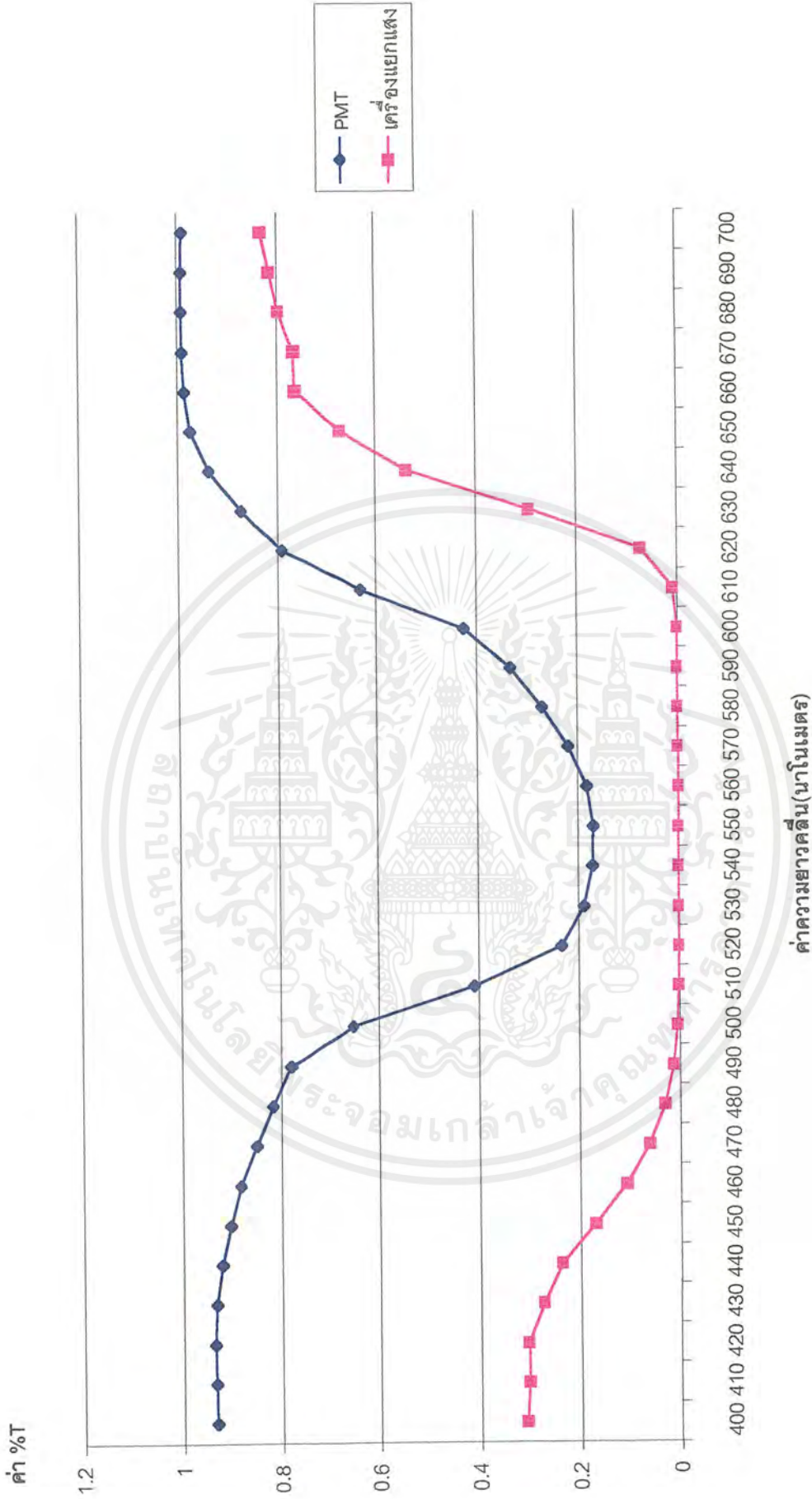
ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบค่า Transmittance ของแผ่นกรองแสงสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความยาวคลื่น(nm)	เครื่องห้องปฏิบัติการ	เครื่องแยกแสงสี
400	0.073	0.135
410	0.073	0.127
420	0.072	0.105
430	0.074	0.087
440	0.076	0.072
450	0.080	0.065
460	0.083	0.053
470	0.089	0.047
480	0.096	0.036
490	0.104	0.028
500	0.117	0.024
510	0.127	0.019
520	0.145	0.017
530	0.164	0.016
540	0.192	0.014
550	0.238	0.013
560	0.289	0.012
570	0.394	0.012
580	0.621	0.014
590	0.795	0.057
600	0.894	0.263
610	0.945	0.529
620	0.978	0.699
630	0.987	0.773
640	0.990	0.812
650	0.991	0.832
660	0.993	0.842
670	0.994	0.846
680	0.994	0.847
690	0.994	0.865
700	0.992	0.890

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

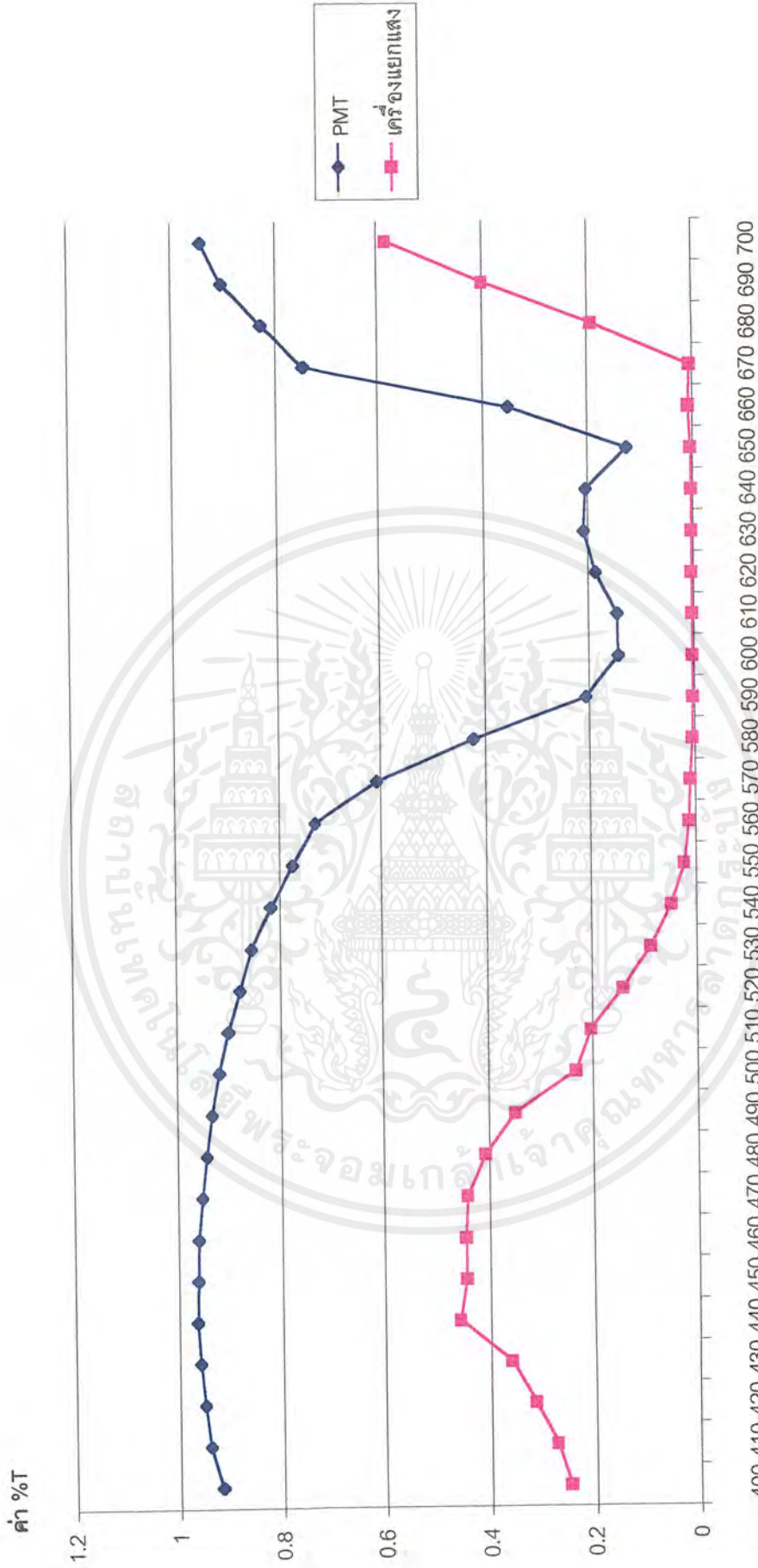
สีม่วง



รูปที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Transmittance แผนกรองแสงสีม่วงระหว่างเครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีน้ำเงิน

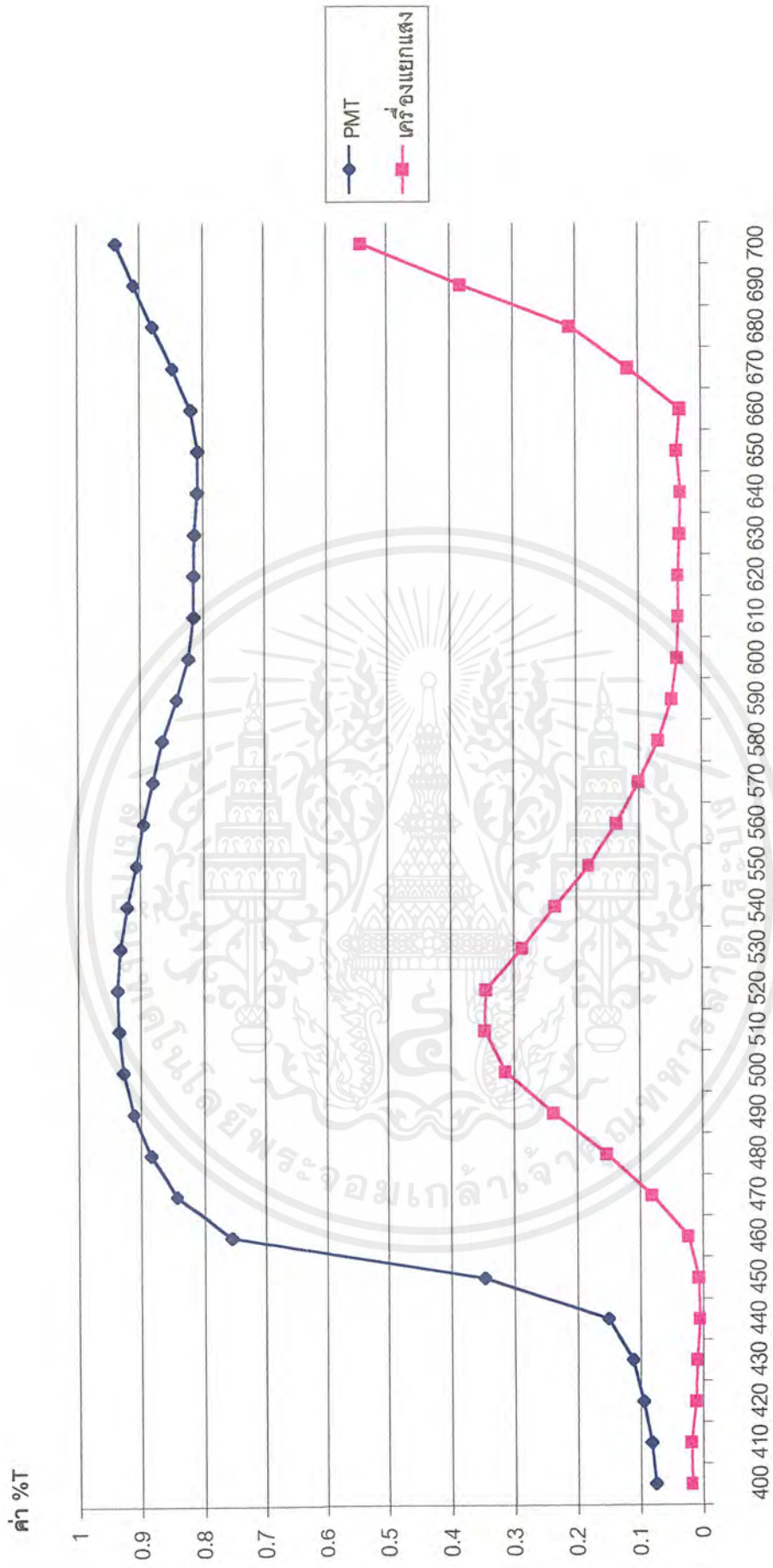


ค่าความยาวคลื่น(นาโนเมตร)

รูปที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Transmittance แผนกรองแสงสีน้ำเงินระหว่างเครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเขียว

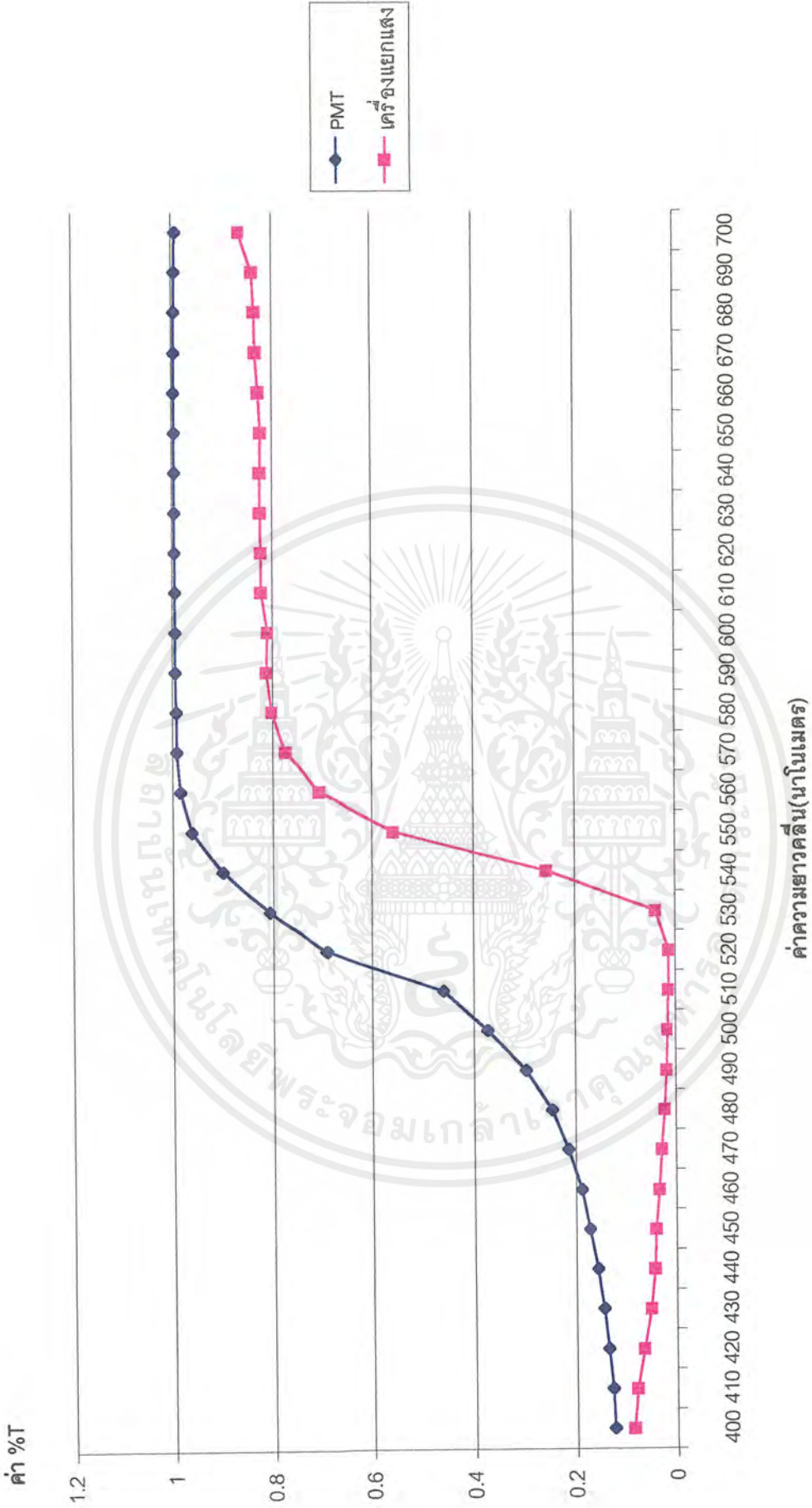


ค่าความขุ่น (นาโนเมตร)

รูปที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบค่า Transmittance แผนกรองแสงสีเขียวระหว่างเครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

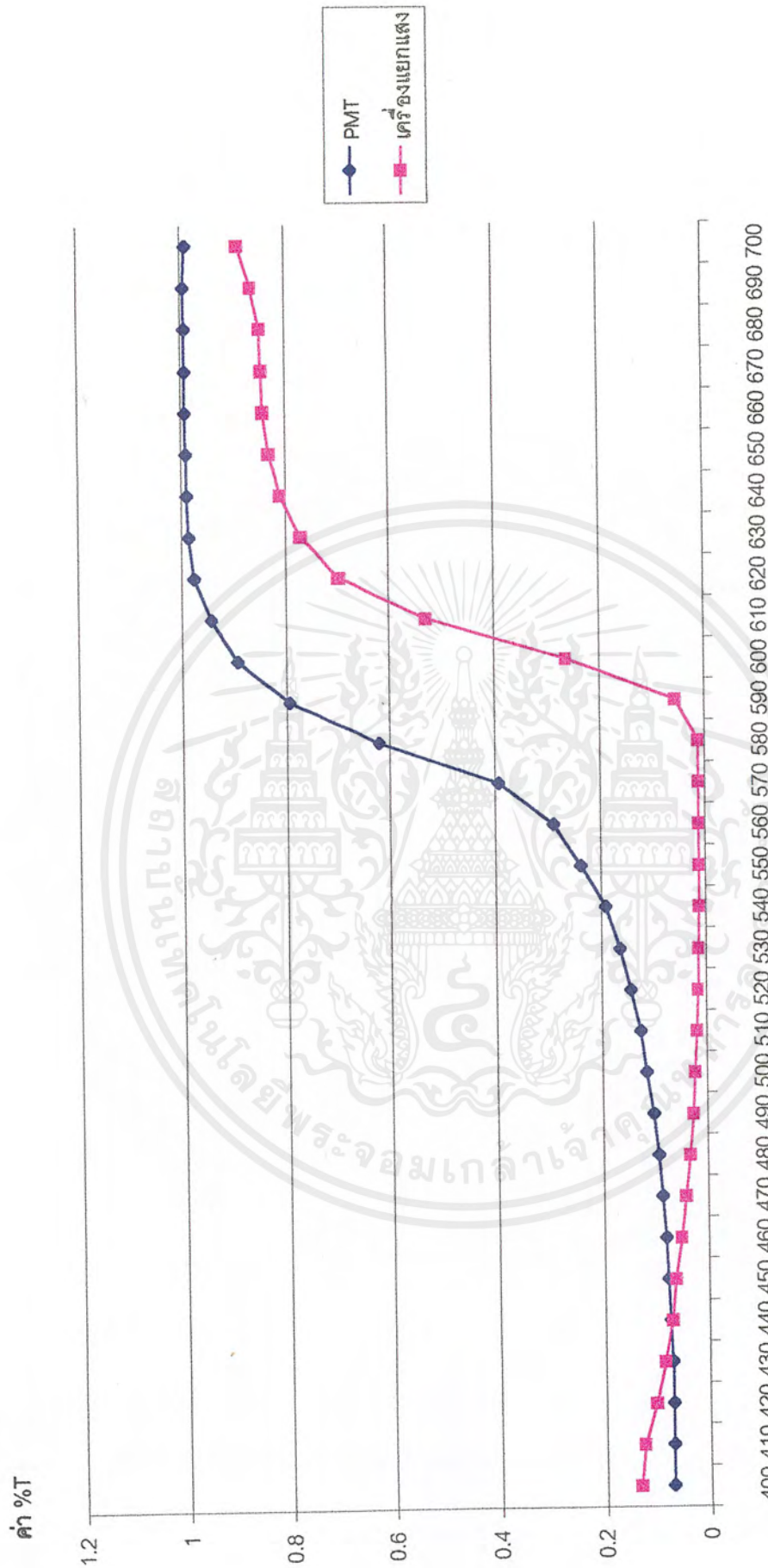
สีส้ม



รูปที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบค่า Transmittance แขนงสีส้มระหว่างเครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีแดง



ค่าความยาวคลื่น(นาโนเมตร)

รูปที่ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบกับค่า Transmittance แผ่นกรองแสงสีแดงระหว่างเครื่องในห้องปฏิบัติการกับเครื่องแยกแสงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการทดสอบเครื่องโมโนโครเมเตอร์โดยการเปรียบเทียบผลจากชุดการทดลองโมโนโครเมเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการซึ่งยึดไว้เป็นมาตรฐาน จะสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ผลการทดลองจากการวัดผลโดยมีlaserเป็นแหล่งกำเนิดแสง

นำเลเซอร์มาเป็นแหล่งกำเนิดแสงเพื่อทำการทดสอบความถูกต้องของชุดทดลองโมโนโครเมเตอร์ การที่ใช้ Laser เพราะทราบค่าความยาวคลื่นที่แน่นอนคือประมาณ 632 นาโนเมตร แล้วทำการวัดค่ากระแสที่ออกมาจากเครื่องPMT จากการทดลองจะเห็นว่าที่ความยาวคลื่น 632 นาโนเมตร ให้ค่ากระแสออกมาสูงสุดนั้นก็หมายความว่าเครื่องมือได้ถูกตั้งไว้ถูกต้องแล้ว ดังรูปที่ 4.1

2. ผลการทดลองจากการวัดผลโดยมีเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงในเครื่องโมโนโครเมเตอร์

นำเลเซอร์มาเป็นแหล่งกำเนิดแสงแทนหลอดทั้งสแตนด์ เพื่อทำการจัดอุปกรณ์ให้มีความถูกต้อง จากผลการทดลองจะเห็นว่าที่ความยาวคลื่นประมาณ 632 นาโนเมตร จะให้ค่าโวลต์เตจออกมาสูงสุด ซึ่งก็แสดงว่าเครื่องมือมีความถูกต้อง ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

3. ผลการทดลองจากการใช้ชุดการทดลองโมโนโครเมเตอร์ในห้องปฏิบัติการ

จากการทำการทดลองซ้ำเพื่อหาความถูกต้องของผลการทดลองจะเห็นว่ารูปกราฟของปริมาณแสงเมื่อผ่านฟิลเตอร์แล้วจะมีจุดสูงสุดของแต่ละเส้นต่างกันตามสีของฟิลเตอร์ ที่น่าสังเกตคือแสงสีเขียวไม่ถูกกรองในช่วงความถี่สูงๆ นั่นอาจคิดได้ว่าเป็นเพราะ PMT มีความไวในการวัดมากนั่นเอง ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

4. ผลการทดลองจากเครื่องโมโนโครเมเตอร์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวรับแสงที่สร้างขึ้น

จากการทดลองจะเห็นรูปกราฟมีจุดสูงสุดที่แตกต่างกันในแต่ละเส้น ตามสีของฟิลเตอร์ โดยช่วงที่สูงสุดก็จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของสีนั้นๆ ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

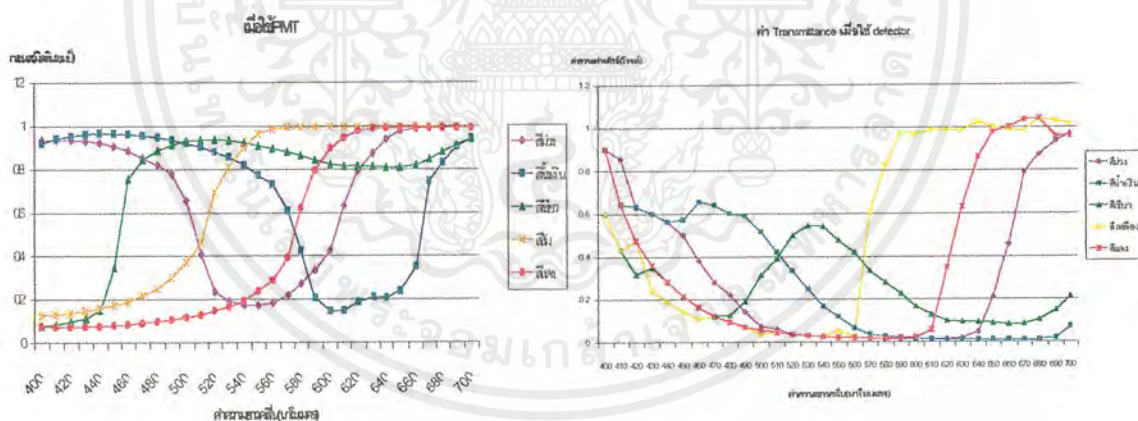
5. ผลการทดลองจากเครื่องโมนโครเมเตอร์ที่สร้างขึ้น

จากกราฟผลการทดลอง จะเห็นว่าเส้นกราฟมีการแยกช่วงสีที่ผ่านการกรองแล้วออกมาอย่างชัดเจน ให้ค่าโวลต์สูงตามช่วงความยาวคลื่น แต่เครื่องนี้จะมีความไวในการตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นมาก ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

จากการทดลองที่ทำมา คือ ชุดทดลองโมนโครเมเตอร์ในห้องปฏิบัติการกับตัวรับแสง ที่สร้างขึ้น, เครื่องโมนโครเมเตอร์ที่สร้างขึ้น นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับว่าเมื่อมีปัจจัยเปลี่ยนไป ผลที่ได้จะเป็นอย่างไร และผลที่ได้ก็คือ

1. เมื่อใช้โมนโครเมเตอร์ชุดเดียวกันแต่ใช้ตัวตรวจสอบที่แตกต่างกันคือ PMT กับ detector ที่สร้างขึ้น ให้ผลออกมาที่แตกต่างกันดังนี้

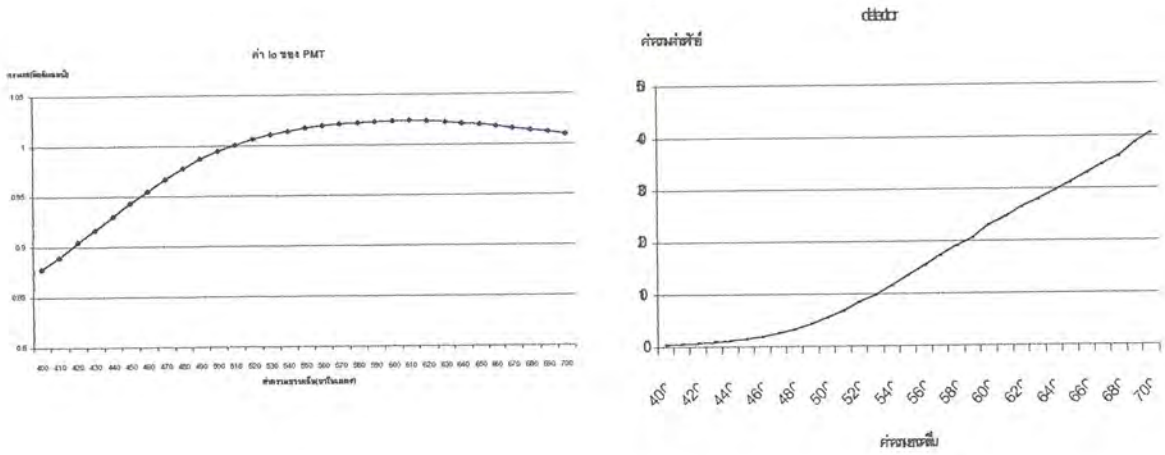
1.1 ในช่วงที่ความยาวคลื่นน้อยที่ฟิลเตอร์สีน้ำเงินจะเห็นว่าผลที่ได้จาก PMT มีช่วงที่กว้างมากกว่า detector ที่สร้างขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการดูรูปกราฟ V_0 โดยจะเห็นว่าในช่วงที่ความยาวคลื่นน้อย PMT จะมีการตอบสนองที่ดีกว่า detector ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าของ detector



รูปที่ 4.15 เมื่อเปรียบเทียบค่า Transmittance เมื่อใช้เครื่องในห้องปฏิบัติการแต่ใช้ตัววัดแสงต่างกัน

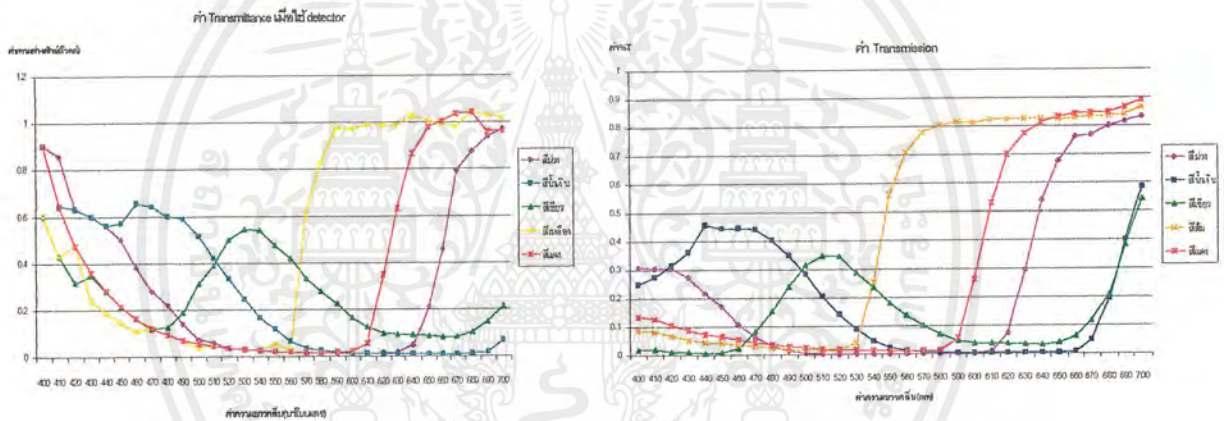
1.2 สำหรับฟิลเตอร์สีเขียว จะเห็นว่าในช่วงปลายที่ความยาวคลื่นสูงๆ PMT จะมีค่าโวลต์สูง แต่สำหรับ detector จะถูกตัดลงไป นั่นก็เป็นเพราะว่า PMT มีความไวสูงมาก จึงสามารถวัดค่าออกมาได้สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 เมื่อเปรียบเทียบค่า I_0, V_0 เมื่อใช้เครื่องในห้องปฏิบัติการแต่ใช้ตัววัดแสงต่างกัน

2. เมื่อใช้ ตัวรับแสง ตัวเดียวกันกับชุดโมโนโครเมเตอร์ 2 ชุด



รูปที่ 4.17 เมื่อเปรียบเทียบค่า Transmittance เมื่อใช้ตัววัดแสงตัวเดียวกันแต่เครื่องแยกแสงต่างกัน

จะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้ มีแนวโน้มที่คล้ายกัน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ชุดทดลองโมโนโครเมเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถแยกแสง ได้ อย่างถูกต้อง แต่ตัวรับแสงที่ใช้มีการตอบสนองไม่ดีในช่วงความยาวคลื่นน้อยๆ ทำให้ ความยาวคลื่นน้อยๆทำให้ค่าที่วัดได้แตกต่างจาก PMT ที่มีความไวสูง ซึ่งถูกใช้เป็นมาตรฐาน สำหรับงานนี้

สรุปคือ ชุดทดลอง spectroscopy ที่สร้างขึ้นมานี้ เหมาะแก่การตรวจสอบสัญญาณในช่วง ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตร ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

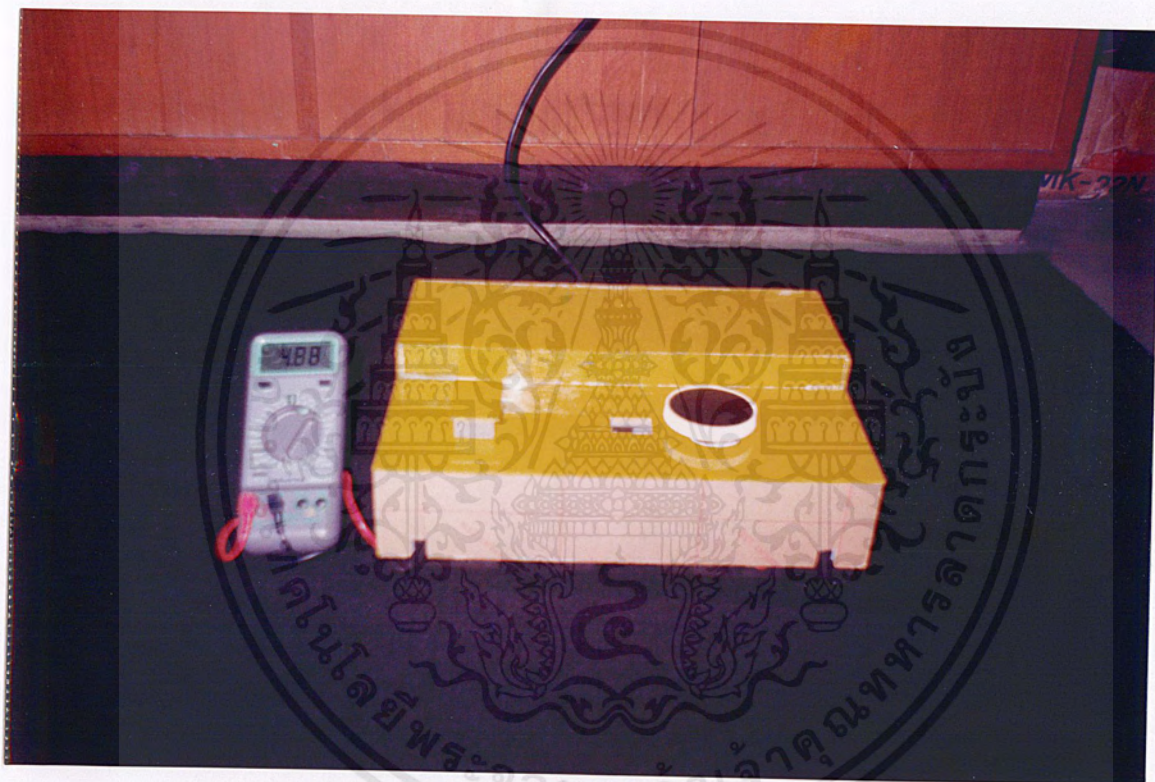
1. Texas Instruments in Corporate : **The linear Control Circuits Data Book for designs Engineers** (Second Edition) , Page 131 – 137
2. George L.Trigg. : **Encyclopedia of Applied Physics Vol.10** , Page 553 – 566
3. รศ.สุวรรณ คูสำราญ : **ทัศนศาสตร์กายภาพ (Physical Optics)** , 1994.
4. ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : **ฟิสิกส์ 2 รุ่นที่ 3** , หน้า 270 – 272
5. ยืน ภูสุวรรณ : **ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2** , หน้า 233-241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075

LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

BULLETIN NO. DL-S 12640, SEPTEMBER 1978—REVISED OCTOBER 1979

20 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AND MILITARY TEMPERATURE RANGES

- Low Noise . . . $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ Typ
- Low Harmonic Distortion . . . 0.01% Typ
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Internal Frequency Compensation
- Low Power Consumption
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . $13 \text{ V}/\mu\text{s}$ Typ

description

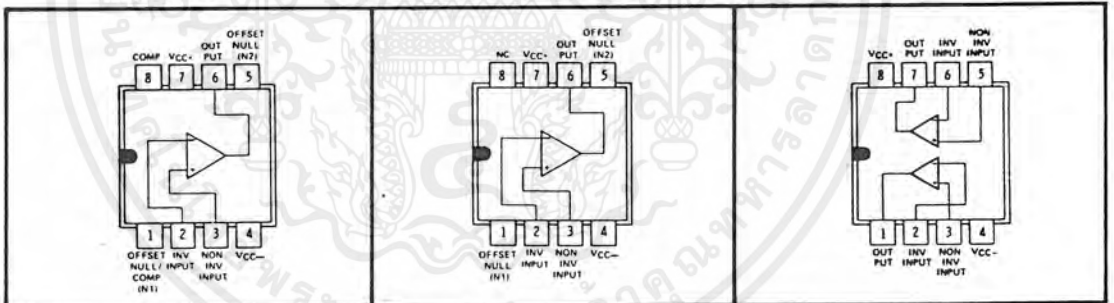
The JFET-input operational amplifiers of the TL071 series are designed as low-noise versions of the TL081 series amplifiers with low input bias and offset currents and fast slew rate. The low harmonic distortion and low noise make the TL071 series ideally suited as amplifiers for high-fidelity and audio preamplifier applications. Each amplifier features JFET-inputs (for high input impedance) coupled with bipolar output stages all integrated on a single monolithic chip.

Device types with an "M" suffix are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C , those with an "I" suffix are characterized for operation from -25°C to 85°C , and those with a "C" suffix are characterized for operation from 0°C to 70°C .

TL070, TL070A
JG OR P DUAL-IN-LINE
PACKAGE (TOP VIEW)

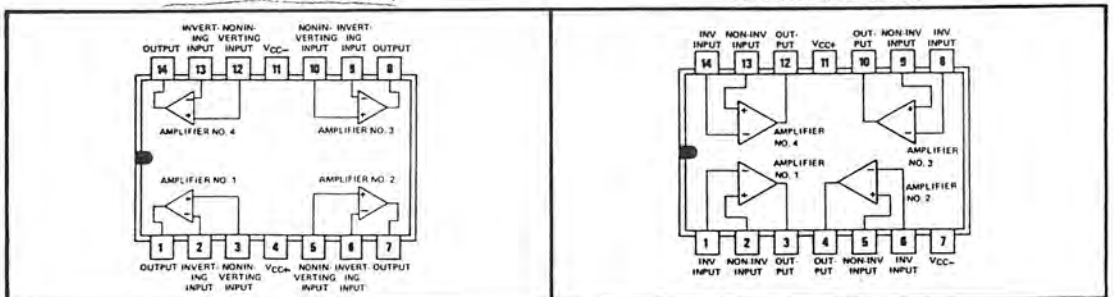
TL071, TL071A, TL071B
JG OR P DUAL-IN-LINE
PACKAGE (TOP VIEW)

TL072, TL072A, TL072B
JG OR P DUAL-IN-LINE
PACKAGE (TOP VIEW)



TL074, TL074A, TL074B
J OR N DUAL-IN-LINE
OR W PACKAGE (TOP VIEW)

TL075
N DUAL-IN-LINE
PACKAGE (TOP VIEW)



Copyright © 1979 by Texas Instruments Incorporated

1079

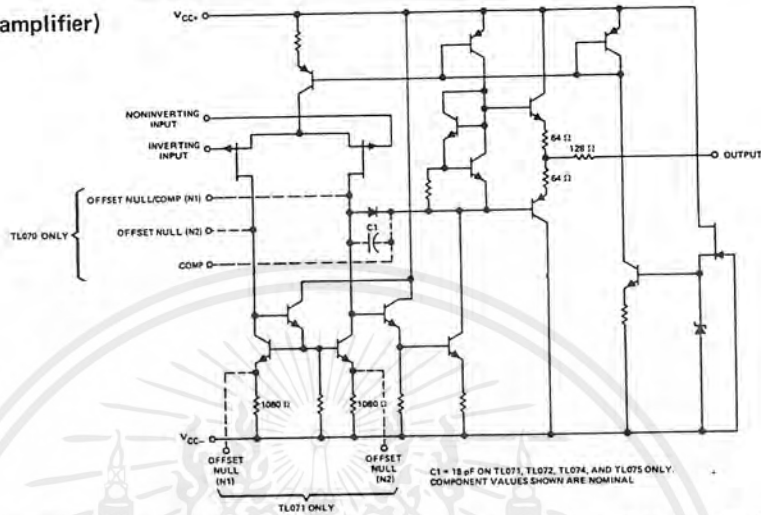
TEXAS INSTRUMENTS
INCORPORATED

131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

schematic (each amplifier)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	TL07_C	TL07_I	TL07_C TL07_AC TL07_BC	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	18	18	18	V
Supply voltage, V_{CC-} (see Note 1)	-18	-18	-18	V
Differential input voltage (see Note 2)	± 30	± 30	± 30	V
Input voltage (see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	± 15	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	Unlimited	Unlimited	Unlimited	
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 5)	680	680	680	mW
Operating free-air temperature range	-55 to 125	-25 to 85	0 to 70	°C
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C
Lead temperature 1/16 inch (1.6 mm) from case for 60 seconds	J, JG or W package	300	300	°C
Lead temperature 1/16 inch (1.6 mm) from case for 10 seconds	N or P package	260	260	°C

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
3. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.
5. For operation above 25°C, free-air temperature, refer to Dissipation Derating Table. In the J and JG packages, TL07_M chips are alloy-mounted; TL07_I, TL07_C, TL07_AC, and TL07_BC chips are glass-mounted.

DISSIPATION DERATING TABLE

PACKAGE	POWER RATING	DERATING FACTOR	ABOVE T_A
J (Alloy-Mounted Chip)	680 mW	11.0 mW/°C	88°C
J (Glass-Mounted Chip)	680 mW	8.2 mW/°C	67°C
JG (Alloy-Mounted Chip)	680 mW	8.4 mW/°C	69°C
JG (Glass-Mounted Chip)	680 mW	6.6 mW/°C	47°C
N	680 mW	9.2 mW/°C	76°C
P	680 mW	8.0 mW/°C	65°C
W	680 mW	8.0 mW/°C	65°C

iso see Dissipation Derating Curves, Section 2.

DEVICE TYPES, SUFFIX VERSIONS, AND PACKAGES

	TL070	TL071	TL072	TL074	TL075
TL07_M	JG, J	JG, J	JG, J	J, W	*
TL07_I	JG, P	JG, P	JG, P	J, N	*
TL07_C	JG, P	JG, P	JG, P	J, N	N
TL07_AC	JG, P	JG, P	JG, P	J, N	*
TL07_BC	*	JG, P	JG, P	J, N	*

*These combinations are not defined by this data sheet.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		TL07_M			TL07_I			TL07_C TL07_AC TL07_BC			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$R_S = 50\ \Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	'70, '71, '72, '75‡	3	6		3	6		3	10	mV	
		'74	3	9		3	6		3	10		
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							3	6		
	$R_S = 50\ \Omega$, $T_A = \text{full range}$	'70, '71, '72, '75‡		9			9			13		
		'74		15			9			13		
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							7.5	5		
αV_{IO} Temperature coefficient of input offset voltage	$R_S = 50\ \Omega$, $T_A = \text{full range}$		10			10			10	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
I_{IO} Input offset current§	$T_A = 25^\circ\text{C}$	'70, '71, '72, '74, '75‡	5	50		5	50		5	50	pA	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							5	50		
	$T_A = \text{full range}$	'70, '71, '72, '74, '75‡		20			10			2	nA	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B								2	2	
I_{IB} Input bias current§	$T_A = 25^\circ\text{C}$	'70, '71, '72, '74, '75‡	30	200		30	200		30	200	pA	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							30	200		
	$T_A = \text{full range}$	'70, '71, '72, '74, '75‡		50			20			7	nA	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B								7	7	
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$T_A = 25^\circ\text{C}$	'70, '71, '72, '74, '75‡	± 11	± 12		± 11	± 12		± 10	± 11	V	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							± 11	± 12		
								± 11	± 12			
V_{OPP} Maximum peak-to-peak output voltage swing	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$		24	27		24	27		24	27	V	
	$T_A = \text{full range}$, $R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$		24	24		24	24		24	24		
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$R_L > 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = \pm 10\ \text{V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	'70, '71, '72, '74, '75‡	35	200		50	200		25	200	V/mV	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							50	200		
	$R_L > 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = \pm 10\ \text{V}$, $T_A = \text{full range}$	'70, '71, '72, '74, '75‡	20			25			15			
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							25			
B_1 Unity-gain bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L = 10\ \text{k}\Omega$		3			3			3	MHz		
r_i Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10^{12}			10^{12}			10^{12}	Ω		
$CMRR$ Common-mode rejection ratio	$R_S \leq 10\ \text{k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	'70, '71, '72, '74, '75‡	80	86		80	86		70	76	dB	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							80	86		
									80	86		
k_{SVR} Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$)	$R_S \leq 10\ \text{k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	'70, '71, '72, '74, '75‡	80	86		80	86		70	76	dB	
		'70A, '71A, '72A, '74A '71B, '72B, '74B							80	86		
									80	86		
I_{CC} Supply current (per amplifier)	No load, $T_A = 25^\circ\text{C}$	No signal,	1.4	2.5		1.4	2.5		1.4	2.5	mA	
V_{O1}/V_{O2} Channel separation	$A_{VD} = 100$, $T_A = 25^\circ\text{C}$					120			120		dB	

†All characteristics are specified under open-loop conditions unless otherwise noted. Full range for T_A is -55°C to 125°C for TL07_M; -25°C to 85°C for TL07_I; and 0°C to 70°C for TL07_C, TL07_AC, and TL07_BC.

‡Types TL075I and TL075M are not defined by this data sheet.

§Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 18. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as is possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL07_M			ALL OTHERS			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR	Slew rate at unit gain $V_I = 10\text{ V}$, $C_L = 100\text{ pF}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, See Figure 1	10	13		13			$\text{V}/\mu\text{s}$
t_r	Rise time $V_I = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, See Figure 1		0.1		0.1			μs
	Overshoot factor $C_L = 100\text{ pF}$		10		10			%
V_n	Equivalent input noise voltage $R_S = 100\ \Omega$			18		18		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
				4		4		μV
I_n	Equivalent input noise current $R_S = 100\ \Omega$, $f = 1\text{ kHz}$		0.01		0.01			$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
THD	Total harmonic distortion $V_{O(\text{rms})} = 10\text{ V}$, $R_L > 2\text{ k}\Omega$, $R_S \leq 1\text{ k}\Omega$, $f = 1\text{ kHz}$		0.01		0.01			%

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

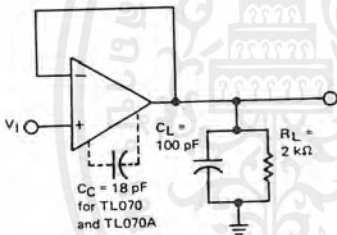


FIGURE 1—UNITY-GAIN AMPLIFIER

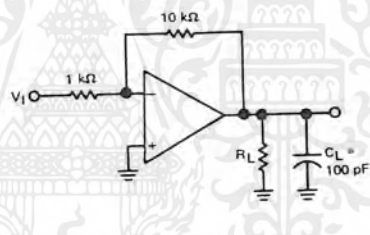


FIGURE 2—GAIN-OF-10 INVERTING AMPLIFIER

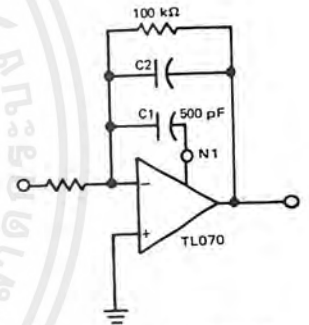


FIGURE 3—FEED-FORWARD COMPENSATION

INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUITS

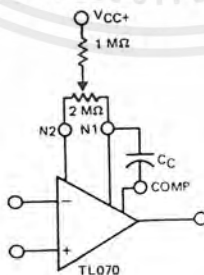


FIGURE 4

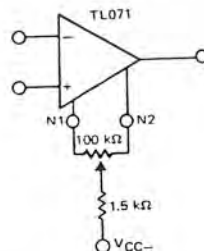


FIGURE 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

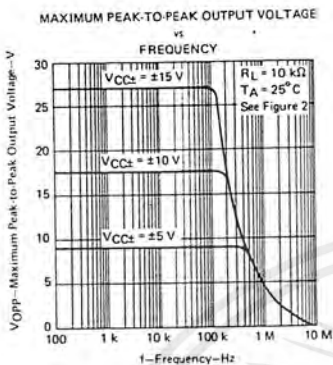


FIGURE 6

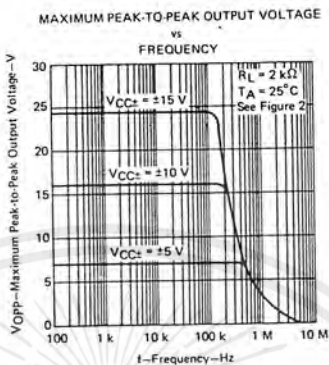


FIGURE 7

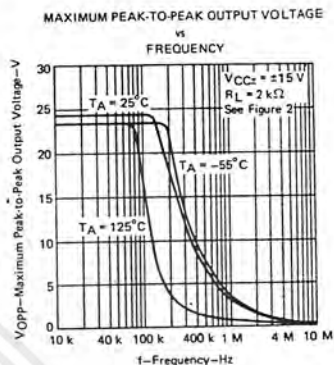


FIGURE 8

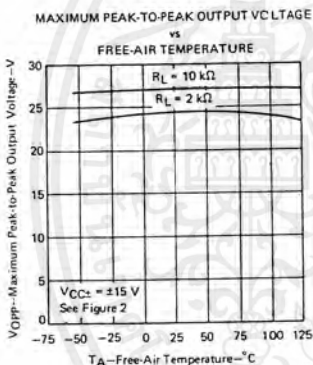


FIGURE 9

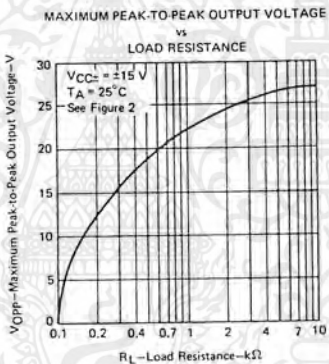


FIGURE 10

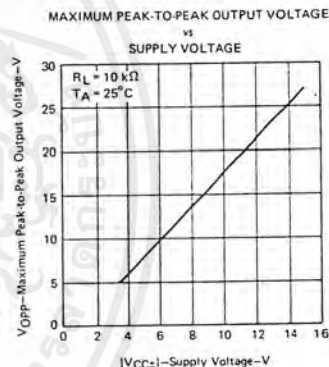


FIGURE 11

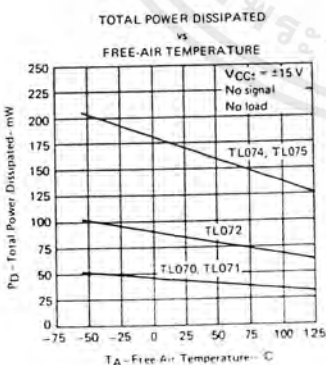


FIGURE 12



FIGURE 13

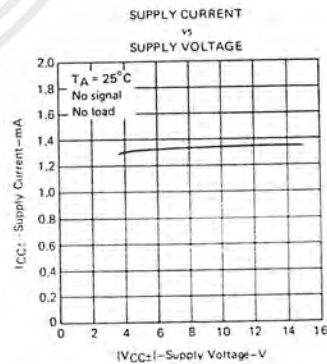


FIGURE 14

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 18-pF compensation capacitor is used with TL070 and TL070A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

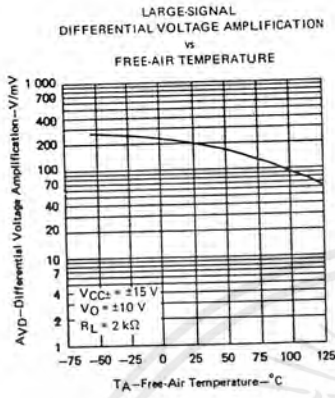


FIGURE 15

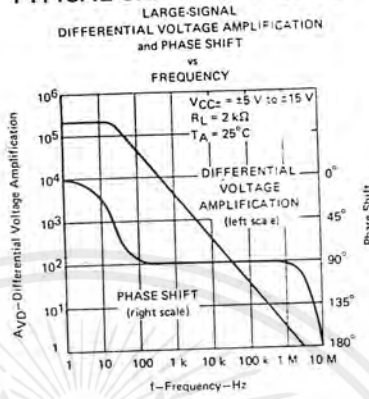


FIGURE 16

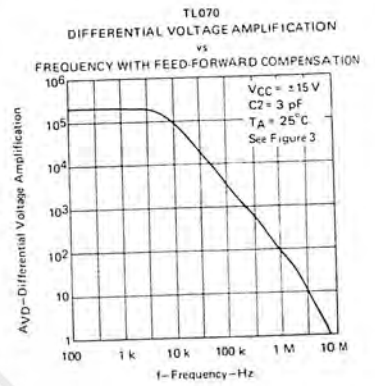


FIGURE 17

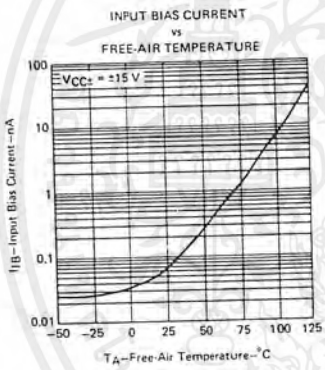


FIGURE 18

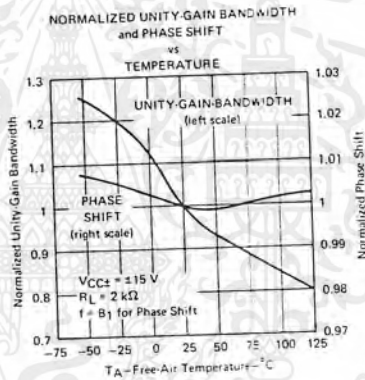


FIGURE 19

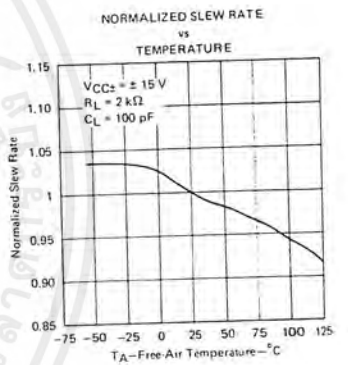


FIGURE 20

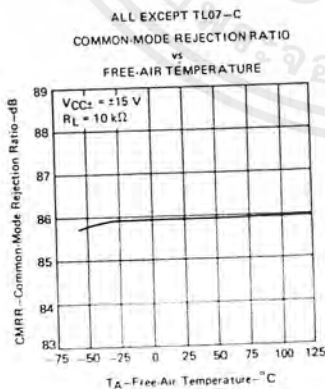


FIGURE 21

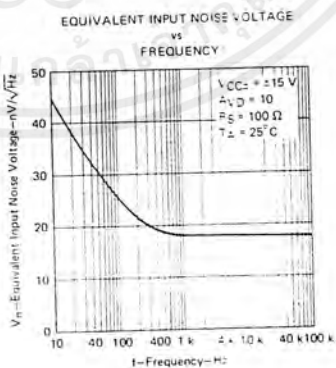


FIGURE 22

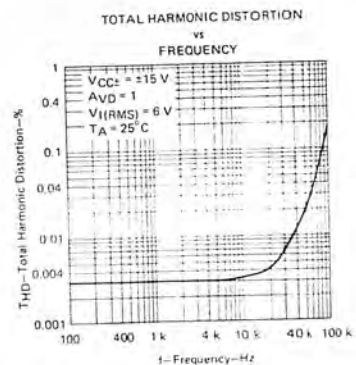


FIGURE 23

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 18-pF compensation capacitor is used with TL070 and TL070A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL CHARACTERISTICS†

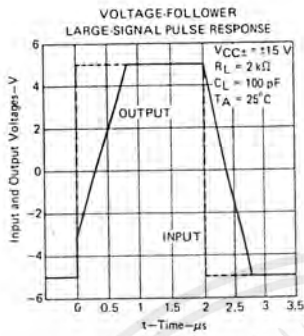


FIGURE 24

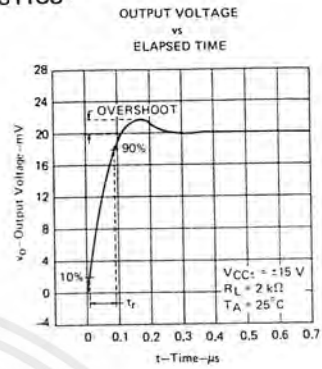


FIGURE 25

†Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices. A 18-pF compensation capacitor is used with TL070 and TL070A.

TYPICAL APPLICATION DATA

0.5-Hz SQUARE-WAVE OSCILLATOR

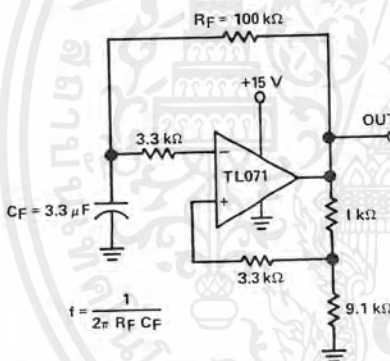


FIGURE 26—0.5-Hz SQUARE-WAVE OSCILLATOR

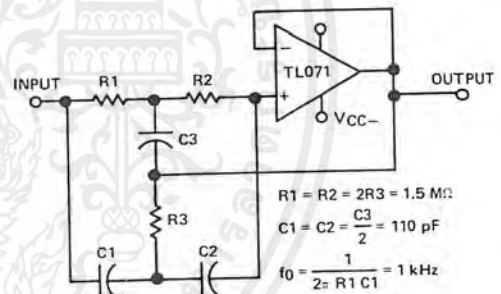
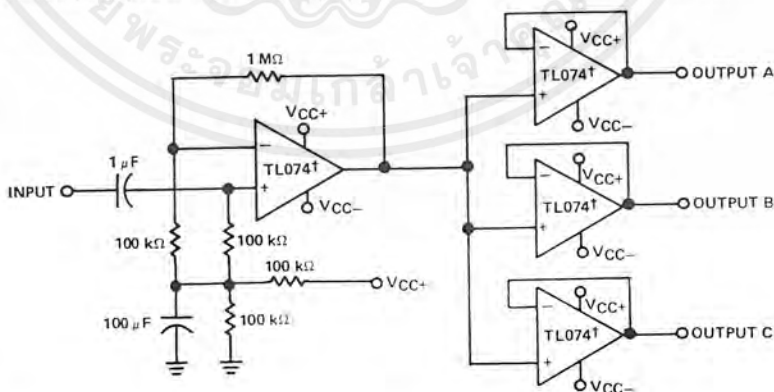


FIGURE 27—HIGH-Q NOTCH FILTER



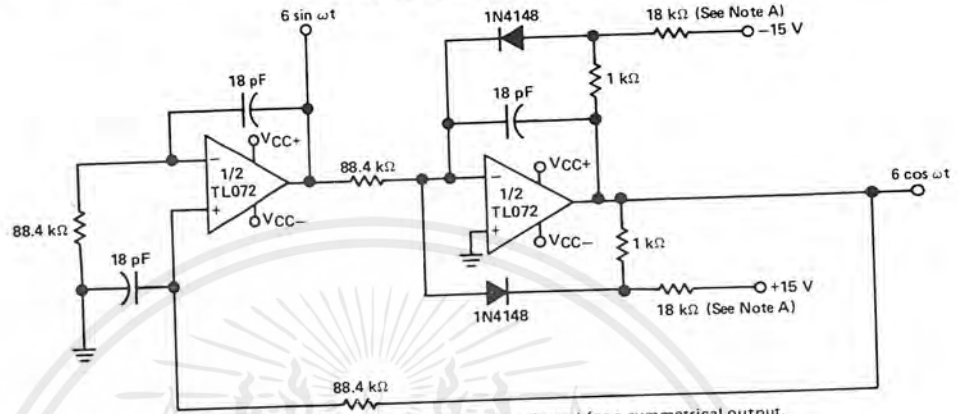
† or TL075

FIGURE 28—AUDIO DISTRIBUTION AMPLIFIER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPES TL070, TL070A, TL071, TL071A, TL071B, TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B, TL075 LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

TYPICAL APPLICATION DATA



Note A: These resistor values may be adjusted for a symmetrical output.

FIGURE 29—100-KHz QUADRATURE OSCILLATOR

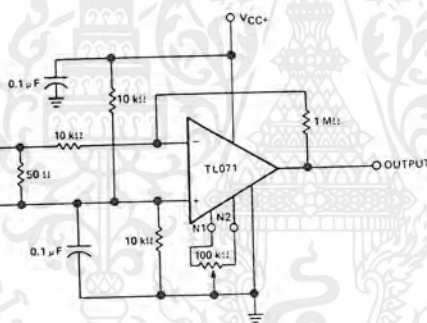


FIGURE 30—AC AMPLIFIER

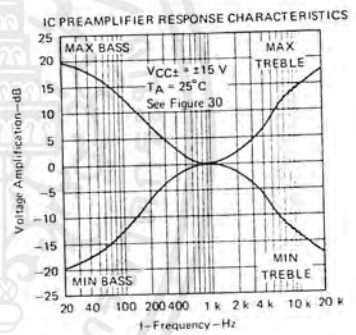


FIGURE 31

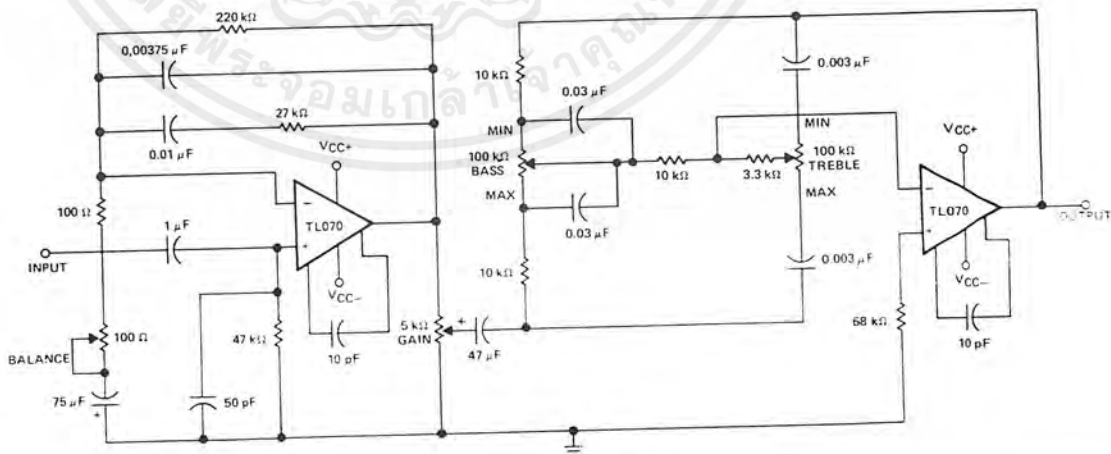


FIGURE 32—IC PREAMPLIFIER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้