

การศึกษาระบบอัลตราไวโอเล็ตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี  
A Study of Ultraviolet-Visible Spectroscopy System

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are two traditional Thai stupas (chedis) flanking a central pedestal. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The text at the top reads 'มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์' (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) and the text at the bottom reads 'พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (Phra Chomklao Jaiyuan Thar Ladkrabang).

นายพร พงศ์วิศิษฐ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาระบบอัลตราไวโอเล็ตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี

A Study of Ultraviolet-Visible Spectroscopy System



นายเพชร พงศ์วิสิทธิ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เก็บครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

# A STUDY OF ULTRAVIOLET-VISIBLE SPECTROSCOPY SYSTEM



Mr. PHACHARA PHONGWISIT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS  
DEPARTMENT OF PHYSICS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ FACULTY OF SCIENCE ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ผู้ถือกรรมสิทธิ์

ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาระบบอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี  
 A STUDY OF ULTRAVIOLET-VISIBLE SPECTROSCOPY SYSTEM  
 ชื่อนักศึกษา นาย พชร พงศ์วิสิษฐ์ รหัสนักศึกษา 54050559  
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
 ภาควิชา ฟิสิกส์  
 ปีการศึกษา 2557  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ. สุรชาติ กมลดีลก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
 ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. ประธาน บุรณศิริ	
อ. ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
อ. กิรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	
อ. สุรชาติ กมลดีลก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาระบบอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี
ชื่อนักศึกษา	นายพชร พงศ์วิศิษฐ์ รหัสนักศึกษา 54050559
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรชาติ กมลติลล

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาหลักการและการทำงานของระบบวัดการดูดกลืนแสงหรือส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy เพื่อใช้ในการศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงในความยาวคลื่นต่างๆของสารตัวอย่างซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดกลืนหรือแสงส่องผ่านแตกต่างกันไปตามชนิดของสาร โดยการเปรียบเทียบความเข้มของแสงที่เดินทางผ่านระบบโดยไม่ผ่านสารตัวอย่างเทียบกับความเข้มของแสงที่เดินทางผ่านสารตัวอย่างเพื่อนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสง จากนั้นจึงนำค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างที่ปราศจากการปนเปื้อนที่พื้นผิวมาเปรียบเทียบกับสารตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือที่พื้นผิวเพื่อเปรียบเทียบถึงผลของรอยนิ้วมือที่มีต่อคุณสมบัติการส่องผ่านหรือดูดกลืนแสงสารตัวอย่าง

**คำสำคัญ :** การส่องผ่านแสง, รอยนิ้วมือ, อัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	A STUDY OF ULTRAVIOLET-VISIBLE SPECTROSCOPY SYSTEM
<b>Students</b>	Mr. Phachara Phongwisit Student ID 54050559
<b>Degree</b>	Bachelor of Science APPLIED PHYSICS
<b>Department</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2014
<b>Advisor</b>	Mr.Surachart Kamoldilok

### ABSTRACT

Aim of this special project was studied and setup an Ultraviolet-Visible Spectroscope System. This setup was used to study an effect of finger print on the surface of screen protector film in the side of light transmission property. To understand the transmission property, intensity of incident light and transmit light were compared to find the result in term of percent of transmission. This result can be explained how difference of finger print on film surface and without finger print on film surface.

**Keywords :** Finger print, Transmission, Ultraviolet-Visible Spectroscopy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความสนับสนุนและคำแนะนำจาก อาจารย์สุรชาติ กมลติลก ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาทางทัศนศาสตร์ การออกแบบ เครื่องมือการทดลองและติดต่อไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องภายในคณะวิทยาศาสตร์ รวมทั้งฝึกฝน ทักษะในด้านการคิดวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตการเรียนและการทำงานได้ในระดับต่อไปได้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ดร.ประธาน บุรณศิริ, อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง และดร.กฤษฎ์ ศรีนวลจันทร์ ที่ได้ให้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการกำหนดทิศทางของโครงการพิเศษนี้แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ภทรียา กิตติเดชาชาญ ที่ได้คำแนะนำรวมทั้งให้ความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือแก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ คุณปราณี บุญวัฒน์ และคุณพีรพัฒน์ ไกรวัฒนวงศ์ นักวิทยาศาสตร์ประจำ ภาควิชาเคมีที่ให้คำแนะนำและความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือแก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณอาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้กรุณาอบความรู้ให้แก่ผู้จัดทำ ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาซึ่งเป็นผลให้สามารถดำเนินการวิจัยในโครงการพิเศษนี้ได้จนเป็นผลสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆและน้องๆสมาชิก Optical Instrument Research Laboratory ทุก ท่านที่ได้ให้กำลังใจและคำปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัยนี้จนเป็นผลสำเร็จ

นายเพชร พงศ์วิสิษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 ธรรมชาติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.2 การดูดกลืนแสง	4
2.2.1 กฎของแลมเบิร์ต	4
2.2.2 กฎของเบียร์	5
2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy	5
2.3.1 ชนิดของเครื่องวัดการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy	6
2.3.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องวัดการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy	7
2.3.3 การแยกแสงที่มีหลายความยาวคลื่นโดยอาศัยหลักการนำ	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม... สละท่อนแสงของเกรตติงแบบสะท้อนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย</b>	9
3.1 การศึกษาและออกแบบระบบวัดค่าการส่องผ่านแสง	9
3.2 การจัดระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy	10
3.2.1 แหล่งกำเนิดแสง	10
3.2.2 เลนส์รวมแสง	10
3.2.3 ตัวจับสารตัวอย่าง	11
3.2.4 ตัวตรวจจับแสง	11
3.2.5 ชุดรางเลื่อน	12
3.3 การทดสอบระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงที่ได้ออกแบบและติดตั้ง	12
3.4 การวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัด ที่มีอยู่ในห้องตลาด	13
3.4.1 เครื่องมือวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU	13
3.4.2 เครื่องมือวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Thermo SCIENTIFIC รุ่น Genensys 10S UV-Vis	14
3.5 การวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่า	15
3.5.1 สารตัวอย่างที่ใช้ในระบบวัดค่าการส่องผ่านแสง	15
3.5.2 ชนิดของการปนเปื้อนที่พื้นผิวของสารตัวอย่างที่ต้องการวัด	15
3.5.3 การเตรียมสารตัวอย่าง	15
3.5.4 การสอบเทียบค่าที่ได้จากการวัด	16
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	17
4.1 ผลการวิจัย	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลง 4.1.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง ไปใช้ 17 โชนน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ โดยระบบวัดที่ได้ออกแบบขึ้นข้างอึ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง โดยเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องตลาด	23
4.1.2.1 ผลการทดลองจากเครื่องมือวัดการส่องผ่านแสง ยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU	23
4.1.2.2 ผลการทดลองจากเครื่องมือวัดการส่องผ่านแสง ยี่ห้อ Thermo SCIENTIFIC รุ่น Genensys 10S UV-Vis	29
4.1.3 ผลการทดลองการหาค่าความยาวคลื่นที่แสงสามารถ ส่องผ่านสารตัวอย่างได้น้อยที่สุด	31
4.2 การอภิปรายผล	33
4.2.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากระบบวัดค่าการส่องผ่าน แสงที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องตลาด	33
4.2.2 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง ที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนด้วยรอยนิ้วมือ	36
4.2.3 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง ทั้ง 3 ชนิด	39
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	40
5.1 สรุปผลการวิจัย	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ก	43
ภาคผนวก ข	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย	2
3.1 สารตัวอย่างที่ใช้ในการวัดค่าการส่องผ่านแสง	15
4.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง	17
4.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง	18
4.3 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง	19
4.4 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง	20
4.5 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง	21
4.6 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง	22
4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง	33
4.8 การเปรียบเทียบผลการทดลอง	34
4.9 การเปรียบเทียบผลการทดลอง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ความยาวคลื่นต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.2 การดูดกลืนแสงตามกฎของเบียร์แลมเบิร์ต	4
2.3 ผลจากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่องUV-Vis Spectroscopy	6
2.4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single beam type)	6
2.5 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ชนิดลำแสงคู่ (Double beam type)	7
2.6 การสะท้อนของแสงของเกรตติงแบบสะท้อน	8
3.1 ระบบวัดการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง	9
3.2 แหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสง	10
3.3 เลนส์รวมแสง	10
3.4 ตัวจับสารตัวอย่าง	11
3.5 ตัวตรวจจับแสง	11
3.6 ชุดรางเลื่อน	12
3.7 การติดตั้งระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงบนชุดรางเลื่อน	12
3.8 ความเข้มแสงที่ปรากฏบนฉากรับภาพ	13
3.9 เครื่องวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อAvantes รุ่นAvaspec-EDU	13
3.10 การจัดระบบวัดการส่องผ่านแสงโดยใช้เครื่องวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อAvantes รุ่นAvaspec-EDU	14
3.11 เครื่องวัดค่าการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-Vis	14
3.12 การเตรียมสารตัวอย่างบนตัวจับสารตัวอย่าง	16
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	23
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	24
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	25
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	26

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	27
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	28
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	29
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	30
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	31
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	32
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	36
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	37
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	38
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	39
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่น	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างซึ่งมีการดูดกลืนหรือแสงความยาวคลื่นต่างๆแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของสารตัวอย่างที่ตรวจสอบ โดยคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงนั้นสามารถตรวจสอบได้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือการใช้เครื่องวัดการดูดกลืนและส่องผ่านแสงแบบอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet - Visible Spectroscopy) จึงได้มีแนวคิดในการศึกษาการวัดการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง และสร้างชุดทดลองเพื่อวัดการดูดกลืนและส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet - Visible Spectroscopy โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบไดโอดเปล่งแสงซึ่งให้แสงความยาวคลื่นในย่านที่ตามองเห็น (Visible) เพื่อศึกษาการดูดกลืนและส่องผ่านแสงในย่านความยาวคลื่นต่างๆของสารตัวอย่างประเภทฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือซึ่งมีคุณสมบัติลดทอนแสงในย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงินซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงว่าถูกต้องตามที่มีการกล่าวอ้างจากทางผู้ผลิตหรือไม่ และศึกษาผลของรอยนิ้วมือว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถืออย่างไร

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการวัดการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy

1.2.2 เพื่อสร้างชุดทดลองในการวัดค่าการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยของโทรศัพท์มือถือที่มีคุณสมบัติลดทอนแสงในบางย่านความยาวคลื่นที่ใช้ในการทดลอง

1.2.4 เพื่อศึกษาผลของรอยนิ้วมือที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดต่างๆ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ได้จัดทำชุดทดลองเพื่อวัดคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยใช้ไดโอดเปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ส่องลงบนสารตัวอย่างเพื่อวัดการตอบสนองต่อแสงความยาวคลื่นต่างๆของสารตัวอย่างประเภทฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือเพื่อเปรียบเทียบกับค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างที่วัดด้วยเครื่องมือวัดที่มีใช้งานอยู่ทั่วไป และศึกษาผลของรอยนิ้วมือที่มีต่อคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีในการดำเนินงาน

1.4.1 แผนการดำเนินงาน สามารถแบ่งขั้นตอนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่1      เสนองงานวิจัย
- ขั้นตอนที่2      ศึกษารายละเอียด ทฤษฎี และข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- ขั้นตอนที่3      ตั้งสมมุติฐาน และเตรียมการทดลอง
- ขั้นตอนที่4      ทำการทดลองและประเมินผลการทดลอง
- ขั้นตอนที่5      ปรับปรุงการทดลองในส่วนที่ผิดพลาด
- ขั้นตอนที่6      สรุปการทำวิจัย และแนวทางในการพัฒนาต่อในอนาคต

1.4.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

เดือน ลำดับ	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
ขั้นตอนที่ 1												
ขั้นตอนที่ 2												
ขั้นตอนที่ 3												
ขั้นตอนที่ 4												
ขั้นตอนที่ 5												
ขั้นตอนที่ 6												

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจในคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง
- 1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์การวัดการดูดกลืนและส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy
- 1.5.3 สามารถทำการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์การวัดการดูดกลืนและส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ได้
- 1.5.4 เกิดความชำนาญและความรู้ในการประยุกต์สร้างชุดทดลอง
- 1.5.5 สามารถวัดการดูดกลืนแสงและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ที่ออกแบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ธรรมชาติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

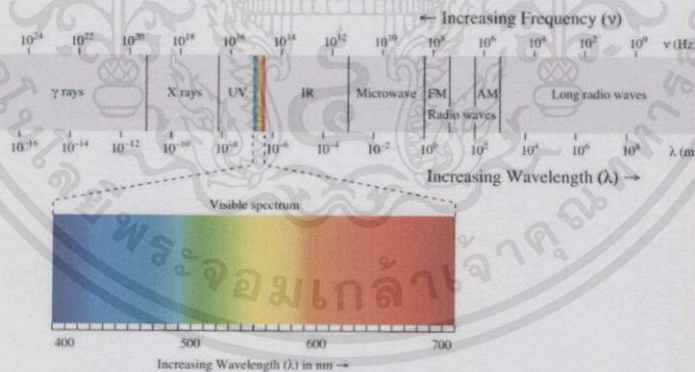
แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งมีความเร็วในสุญญากาศประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที มีความยาวคลื่นแตกต่างกันไปตามย่านต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยแสงในย่านที่ตามองเห็นและแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามองไม่เห็น

$$v = f\lambda \quad (2.1)$$

จากสมการ (2.1) จะเห็นว่าความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ( $\lambda$ ) จะแปรผกผันกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ( $f$ ) ซึ่งความเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ( $v$ ) จะมีค่าแปรผันไปตามตัวกลางที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนผ่าน ซึ่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถอธิบายได้โดยสมการ

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) จะเห็นว่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ( $E$ ) แปรผกผันกับความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ( $\lambda$ ) ยิ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นมากก็จะมีพลังงานลดลงตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น



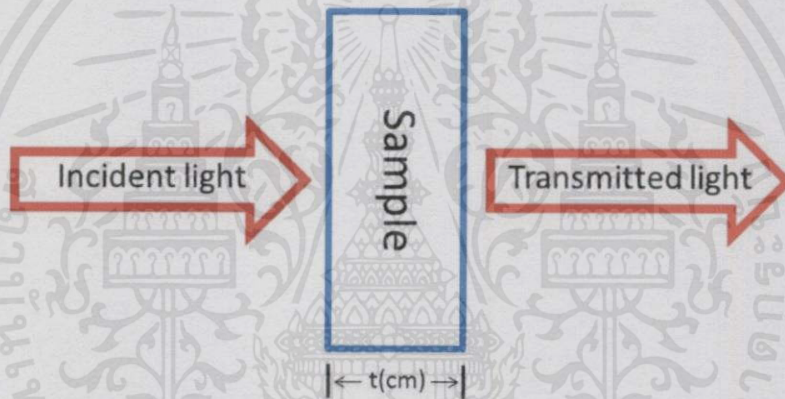
รูปที่ 2.1 ความยาวคลื่นต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามองเห็น (Visible light) นั้นประกอบด้วยแสงทั้งหมด 7 สี คือ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสดและสีแดง ในย่านความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร ซึ่งการที่ดวงตาของมนุษย์สามารถสังเกตสิ่งของต่างๆได้เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบลงบนวัตถุต่างๆแล้วเกิดการสะท้อนหรือดูดกลืนคลื่นในช่วงความยาวใดๆก็ตามคุณสมบัติของวัสดุ หากวัสดุนั้นดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกย่านที่ตามองเห็นจะทำให้เห็นวัตถุนั้นเป็นสีดำ

นอกจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอยู่ในย่านที่ตามองเห็นแล้ว ยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอีกหลายย่านซึ่งสามารถนำมาใช้ในงานวิจัยในด้านอื่นๆ เช่น ย่านอุลตราไวโอเล็ต (Ultra-violet) หรือรังสีเหนือม่วงซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง 210-380 นาโนเมตร ย่านอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วง 700-300,000 นาโนเมตร เป็นต้น

## 2.2 การดูดกลืนแสง

เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงตกกระทบลงบนวัตถุใดๆ อาจเกิดการดูดกลืน การสะท้อน การส่องผ่านหรือการกระจายออกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ ซึ่งในกระบวนการนี้จะวัดเฉพาะแสงที่ตกกระทบบนวัตถุ (Incident light) และแสงที่ส่องผ่านวัตถุ (Transmitted light) เท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงแสงรบกวน (Stray light)



รูปที่ 2.2 การดูดกลืนแสงตามกฎของเบียร์แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law)

จากรูปที่ 2.2 เราสามารถอธิบายการดูดกลืนของแสงได้โดยโดยอาศัยกฎ 2 ข้อ คือ

2.2.1 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ของแสงที่ถูกดูดกลืนไว้ด้วยตัวกลางเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของตัวกลาง คือ

$$I_t = I_0 \times 10^{-\epsilon t} \quad (2.3)$$

โดยค่า  $I_0$  คือ ค่าความเข้มแสงที่เคลื่อนที่โดยไม่ผ่านสารตัวอย่าง

$I_t$  คือ ค่าความเข้มแสงที่เคลื่อนที่ผ่านสารตัวอย่าง

$\epsilon$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

$t$  คือ ระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ภายในตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กฎของเบียร์ (Beer's law) ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ของแสงที่ถูกดูดกลืนไว้ด้วยตัวกลางเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตัวกลาง คือ

$$I_t = I_0 \times 10^{-\epsilon c} \quad (2.4)$$

โดยค่า  $c$  คือ ความเข้มข้นของตัวกลางในหน่วย โมล/ลิตร

เมื่อรวมกฎทั้งสองข้อเข้าด้วยกันเป็นกฎของเบียร์แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) จะได้

$$I_t = I_0 \times 10^{-\epsilon ct} \quad (2.5)$$

ซึ่งสมการ (2.5) แสดงถึงความเข้มของแสงหลังจากเดินทางผ่านตัวกลางใด ๆ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง ( $\epsilon$ ) ความเข้มข้นของตัวกลาง ( $c$ ) และเคลื่อนที่ในตัวกลางเป็นระยะทางหนึ่ง ( $t$ )

ซึ่งค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) ของสารตัวอย่างสามารถคำนวณได้โดยค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากการทดลองดังสมการ

$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad (2.6)$$

โดยค่า  $I_0$  คือ ค่าความเข้มแสงที่เคลื่อนที่โดยไม่ผ่านสารตัวอย่าง

$I_t$  คือ ค่าความเข้มแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสารตัวอย่าง

เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ

$$\%T = \frac{I_t}{I_0} \times 100 \quad (2.7)$$

และค่าการดูดกลืนแสงของตัวกลาง (Absorbance) สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ

$$A = -\log T = \epsilon ct \quad (2.8)$$

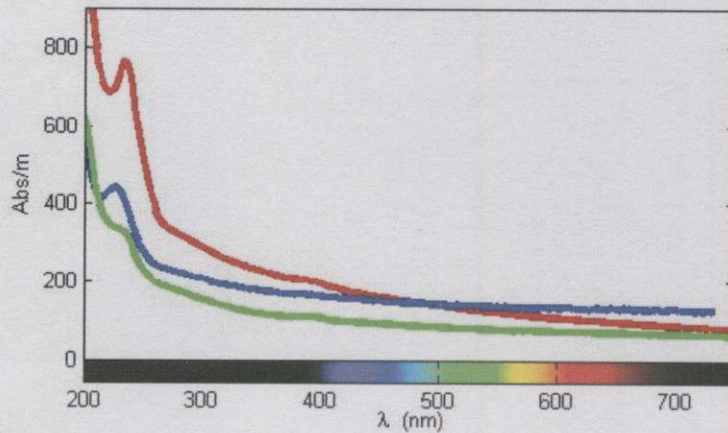
$$A = 2 - \log_{10} \%T \quad (2.9)$$

### 2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet - Visible Spectroscopy

Ultraviolet - Visible Spectroscopy เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การดูดกลืนหรือส่องผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสารในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible) ความยาวคลื่นที่สามารถใช้วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 190-1,000 นาโนเมตร ซึ่งสารที่ใช้วิเคราะห์เป็นได้คือสารอินทรีย์ สารประกอบหรือแม้แต่สารอนินทรีย์ โดยสารแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นที่ต่างกันและปริมาณการดูดกลืนแสงจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารจึง

สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพโดยไม่ทำลายสารที่ตรวจสอบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

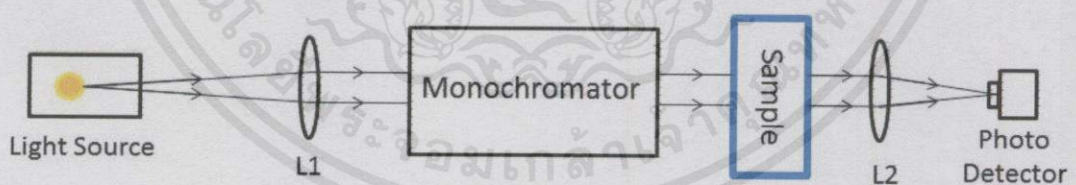


รูปที่ 2.3 ผลจากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (Absorbance) และความยาวคลื่น (Wavelength) หรือความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่าน (% Transmittance) และความยาวคลื่น (Wavelength)

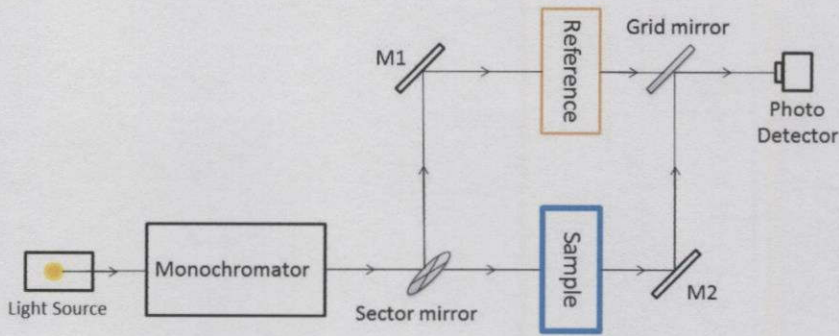
**2.3.1 ชนิดของเครื่องวัดการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy**  
แบ่งตามชนิดของระบบทางเดินแสงเป็น 2 ชนิด คือ

**2.3.1.1 ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single-beam type)** เมื่อแสงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจะผ่านเลนส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนให้แสงเป็นลำขนาน แล้วผ่านเข้าสู่ตัวแยกแสงเพื่อเลือกแสงเพียงความยาวคลื่นที่ต้องการและเข้าสู่ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์รับสัญญาณและส่วนประมวลผลเพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงหรือเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single beam type)

**2.3.1.2 ชนิดลำแสงคู่ (Double-beam type)** เมื่อแสงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจะผ่านเลนส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนให้แสงเป็นลำขนานแล้ว ลำแสงจะเดินทางผ่านเข้าสู่ตัวแยกแสงเพื่อเลือกแสงเพียงความยาวคลื่นที่ต้องการแล้วจึงถูกแยกออกเป็นสองขบวนโดยขบวนหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่ลำแสงอีกขบวนเคลื่อนที่ผ่านสารอ้างอิง หลังจากนั้นลำแสงทั้งสองลำจะเคลื่อนที่เข้าสู่อุปกรณ์รับแสงซึ่งจะทำหน้าที่เปรียบเทียบความเข้มแสงของแสงทั้งสองขบวนเพื่อวิเคราะห์และแสดงผล



รูปที่ 2.5 เครื่องวัดการดูดกลืนของแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ชนิดลำแสงคู่ (Double beam type)

### 2.3.2 ส่วนประกอบที่สำคัญเครื่องวัดการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ประกอบไปด้วย

2.3.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source) เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการที่มีความต่อเนื่องและความเข้มมากพอสำหรับการทดลอง โดยทั่วไปนิยมใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความยาวคลื่นแสงในช่วง 200-700 นาโนเมตร

2.3.2.2 ตัวแยกแสง (Monochromator) ทำหน้าที่แยกแสงที่มีหลายความยาวคลื่นให้กลายเป็นแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นเพียงช่วงแคบๆ โดยอาศัยการดูดกลืน สะท้อนกลับหรือหักเหแสงเพื่อให้ได้แสงที่มีความยาวคลื่นตามที่ต้องการ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

2.3.2.2.1 ตัวกรองแสง (Filter) เป็นกระจกผสมสีแผ่นเดียวทำหน้าที่แยกแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นมากๆ ให้เหลือเป็นเพียงแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นเพียงช่วงแคบๆ โดยอาศัยการดูดกลืนแสงของตัวกรองแสง

2.3.2.2.2 ปริซึม (Prism) เป็นแท่งแก้วทึบซึ่งมีดัชนีหักเหแสงแตกต่างจากอากาศ โดยแสงที่เดินทางผ่านปริซึมจะถูกแยกออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ ได้โดยอาศัยการหักเหของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแตกต่างกัน แสงที่ถูกแยกด้วยปริซึมจะมีความเข้มและระยะห่างระหว่างแต่ละความยาวคลื่นไม่เท่ากันจึงต้องอาศัยการคำนวณอย่างละเอียด

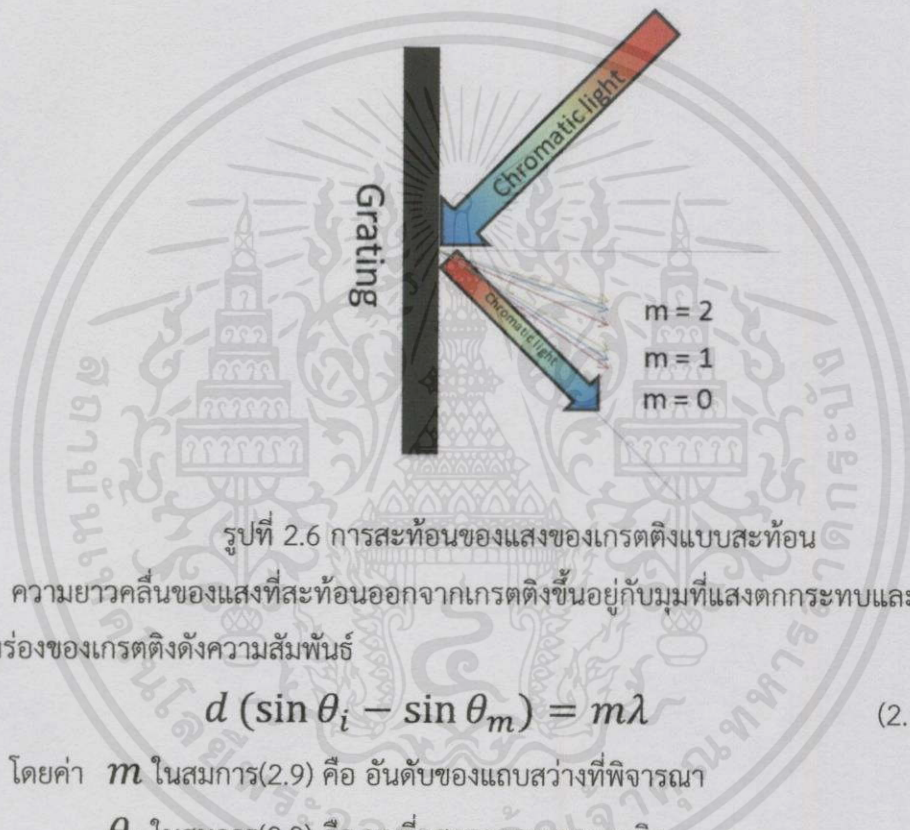
2.3.2.2.3 เกรตติง (Grating) เป็นแผ่นโลหะที่มีรอยขีดเป็นร่องขนาดเล็กๆ จำนวนมาก เมื่อแสงตกกระทบลงบนเกรตติงจะเกิดการสะท้อนออกแตกต่างกันตามความยาวคลื่นของแสงทำให้สามารถแยกแสงแต่ละความยาวคลื่นออกจากกันได้

2.3.2.3 ช่องใส่สารตัวอย่าง (Sample cell) ทำหน้าที่ยึดสารตัวอย่างให้อยู่ตำแหน่งเดิมตลอดระยะเวลาที่วัดค่า มีการสะท้อนแสงน้อยและสามารถป้องกันแสงไม่ให้เล็ดลอดเข้าสู่อุปกรณ์วัดได้

2.3.2.4 ตัวตรวจจับแสง (Photo detector) ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่านจากตัวอย่างที่ตรวจวัด

### 2.3.3 การแยกแสงที่มีหลายความยาวคลื่นโดยอาศัยหลักการสะท้อนแสงของเกรตติงแบบสะท้อน

เกรตติงแบบสะท้อนเป็นอุปกรณ์ทางแสงที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นร่องซึ่งมีความเป็นคาบอย่างสม่ำเสมอ โดยแสงหลายความยาวคลื่น (Chromatic light) เมื่อตกกระทบบนพื้นผิวจะเกิดการสะท้อนเป็นแสงความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic light) ซึ่งแสงแต่ละความยาวคลื่นจะมีมุมสะท้อนแตกต่างกันออกไปและระยะห่างระหว่างลำแสงแต่ละความยาวคลื่นมีความห่างเท่าๆกันทำให้เกิดสเปกตรัมในการสร้างเครื่องมือวัด การเกิดการสะท้อนนี้จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของสารที่ใช้ทำเกรตติง



รูปที่ 2.6 การสะท้อนของแสงของเกรตติงแบบสะท้อน

ความยาวคลื่นของแสงที่สะท้อนออกจากเกรตติงขึ้นอยู่กับมุมที่แสงตกกระทบบนและระยะห่างระหว่างร่องของเกรตติงดังความสัมพันธ์

$$d (\sin \theta_i - \sin \theta_m) = m\lambda \quad (2.10)$$

โดยค่า  $m$  ในสมการ(2.9) คือ อันดับของแถบสว่างที่พิจารณา

$\theta_i$  ในสมการ(2.9) คือ มุมที่แสงตกกระทบบนเกรตติง

$\theta_m$  ในสมการ(2.9) คือ มุมที่แสงสะท้อนจากเกรตติง

$d$  ในสมการที่(2.9) คือ ระยะห่างระหว่างร่องของเกรตติง

$\lambda$  ในสมการที่(2.9) คือ ความยาวคลื่นของแสงที่แถบสว่างที่กำลังพิจารณา

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้สามารถเลือกความยาวคลื่นของคลื่นแสงที่สะท้อนออกจากเกรตติงได้โดยการปรับมุมของแสงที่ตกกระทบบนเกรตติงให้ทำมุมสอดคล้องกับความยาวคลื่นที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยของโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาระบบการวัดการส่องผ่านแสงเพื่อใช้ในการออกแบบระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงของแสงของสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง โดยจะมีรายละเอียดต่างๆในการดำเนินการแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบการวัดการส่องผ่านกลืนแสง

ขั้นตอนที่ 2 การจัดระบบการวัดการส่องผ่านแสง

ขั้นตอนที่ 3 การวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าโดยใช้ระบบวัดการส่องผ่านแสงที่ออกแบบขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 การวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าโดยใช้เครื่องวัดการส่องผ่านแสงที่มีอยู่ในท้องตลาด

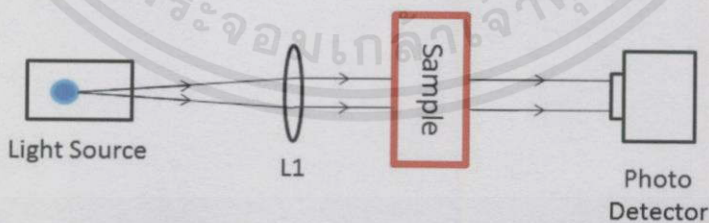
ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดลองจากเครื่องมือวัดแต่ละชนิดและสรุปผลการทดลอง

โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

#### 3.1 การศึกษาและออกแบบระบบวัดค่าการส่องผ่านแสง

ในงานวิจัยขั้นนี้ได้เลือกใช้ระบบวัดค่าการดูดกลืนและส่องผ่านแสงแบบอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปีชนิดลำแสงเดี่ยว โดยเลือกใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสงทดแทนการใช้แหล่งกำเนิดแสงขาวและการใช้เกรตติงแบบสะท้อนเพื่อเลือกความยาวคลื่นของแสง

การศึกษาและออกแบบระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงมีรายละเอียดของการจัดวางระบบทัศนศาสตร์ดังที่แสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 3.1



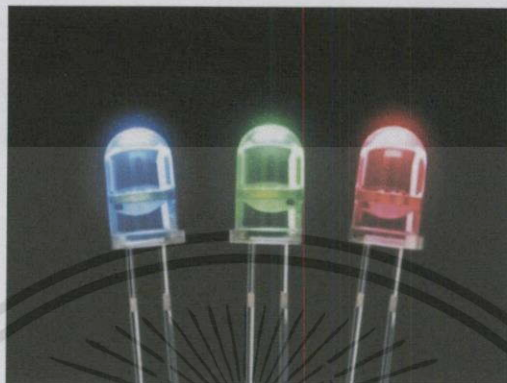
รูปที่ 3.1 ระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง

จากรูปที่ 3.1 แสงจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสงจะเดินทางเข้าสู่เลนส์โฟกัส L1 เพื่อปรับให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเป็นลำแสงขนาน แล้วจึงเดินทางเข้าสู่สารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าและเข้าสู่ตัวตรวจจับแสงหรือPhoto detector เพื่อวัดค่าความเข้มแสง

### 3.2 การจัดระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy

ในการจัดระบบวัดค่าการส่องผ่านจะต้องเตรียมอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)



รูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสง

ในการทดลองนี้จะใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดไดโอดเปล่งแสง หรือ Light Emitting Diode (LED) ซึ่งให้กำเนิดแสงในช่วงแสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่น 470 568 และ 640 นาโนเมตร ตามลำดับ ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงความต่างศักย์ 5 โวลต์

#### 3.2.2 เลนส์รวมแสง (Focusing lens)

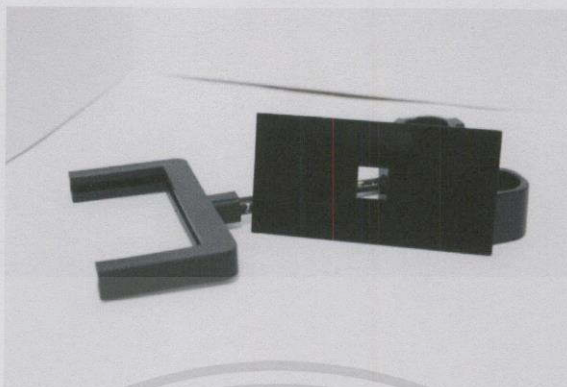


รูปที่ 3.3 เลนส์รวมแสง

เลนส์รวมแสงจะทำหน้าที่ปรับให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงกลายเป็นลำแสงขนานเพื่อให้แสงมีความเข้มที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 ตัวจับสารตัวอย่าง (Sample Holder)



รูปที่ 3.4 ตัวจับสารตัวอย่าง

ตัวจับสารตัวอย่างเป็นแผ่นอะคลิลิกสีดำเจาะรูขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ทำหน้าที่ยึดสารตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสงเดินทางผ่านได้สะดวกและป้องกันแสงส่วนที่ไม่ต้องการไม่ให้ตกกระทบบนตัวตรวจจับแสง

### 3.2.4 ตัวตรวจจับแสง (Photo detector)

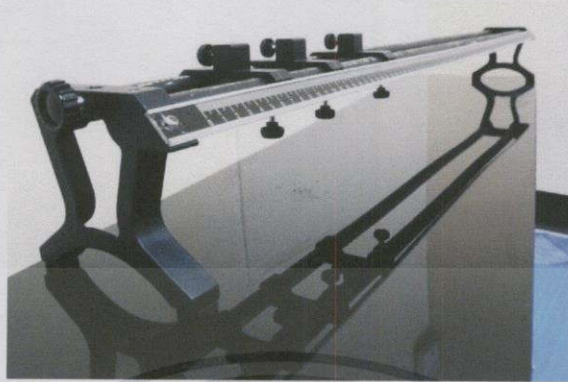


รูปที่ 3.5 ตัวตรวจจับแสง

ตัวตรวจจับแสงเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าและต่อเข้ากับโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดความเข้มแสงที่ส่องผ่านสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 ชุดรางเลื่อน (Optical Bench)



รูปที่ 3.6 ชุดรางเลื่อน

ชุดรางเลื่อนเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนระยะของการจัดวางอุปกรณ์สำหรับระบบวัดการดูดกลืนและส่องผ่านแสงให้อยู่ในระยะที่เหมาะสมแก่การวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง

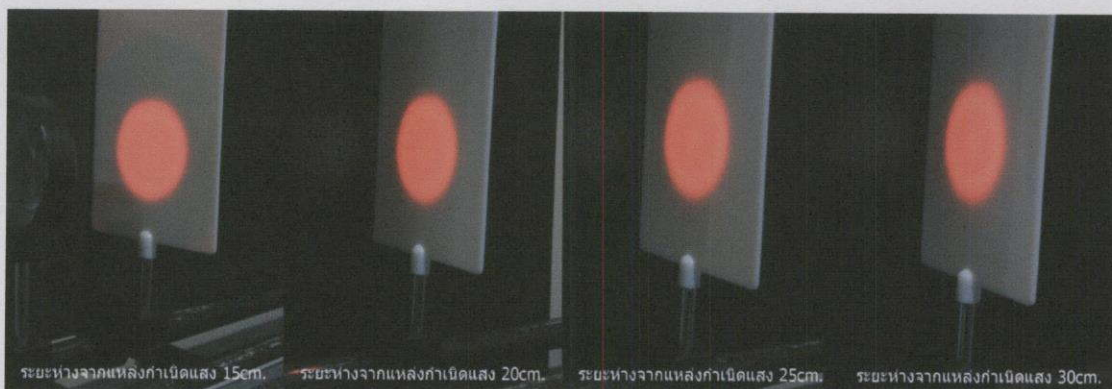
### 3.3 การทดสอบระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงที่ได้ออกแบบและติดตั้ง

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้เป็นระบบวัดการส่องผ่านแสงแบบอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรสโกปีแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบว่าแสงสามารถเดินทางจากแหล่งกำเนิดแสงผ่านระบบไปยังตัวตรวจจับแสงในตำแหน่งที่ให้ความเข้มแสงเหมาะสมกับการทำการทดลองหรือไม่



รูปที่ 3.7 การติดตั้งระบบวัดการส่องผ่านแสงบนชุดรางเลื่อน

และทดสอบว่าลำแสงมีลักษณะเป็นลำแสงขนานหรือไม่โดยการนำฉากรับมาวางไว้ที่ระยะห่างต่างจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อทดสอบว่าลำแสงมีขนาดเท่ากันหรือไม่



รูปที่ 3.8 ความเข้มแสงที่ปรากฏบนฉากรับภาพ

### 3.4 การวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องตลาด

ในการวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องตลาดเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงที่ได้ออกแบบขึ้นเองว่ามีความถูกต้องแม่นยำหรือไม่ โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้เปรียบเทียบผลการทดลองจากเครื่องมือที่มีอยู่ในห้องตลาดจำนวน 2 รุ่น ดังต่อไปนี้

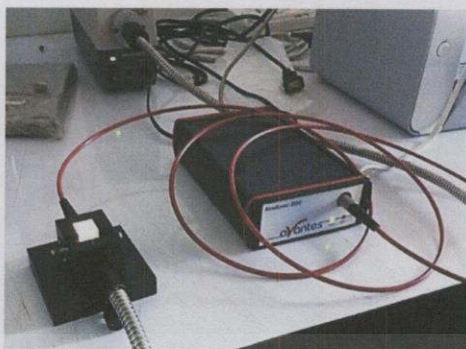
#### 3.4.1 เครื่องวัดค่าการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU

เครื่องมือวัดค่าการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU ใช้แหล่งกำเนิดแสงในย่านแสงที่ตามองเห็น (Visible) หรือแสงที่มีความยาวคลื่นในย่าน 400-700 นาโนเมตร เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU

โดยการจักระบบวัดการส่องผ่านแสงด้วยเครื่องวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU สามารถทำได้ให้แสงส่องผ่านสารตัวอย่างโดยเชื่อมต่อแหล่งกำเนิดแสงมายังสารตัวอย่างด้วยเส้นใยแก้วนำแสงและวิเคราะห์แสงที่ส่องผ่านสารตัวอย่างโดยการเชื่อมต่อแสงจากสารตัวอย่างไปยังเครื่องวัดการส่องผ่านแสงโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสง จากนั้นจึงเชื่อมต่อเครื่องวัดการส่องผ่านแสงเข้ากับคอมพิวเตอร์ทาง USB Port



รูปที่ 3.10 การจัดระบบวัดการส่องผ่านแสงโดยใช้เครื่องวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU

### 3.4.2 เครื่องวัดค่าการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-Vis

เครื่องวัดค่าการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-Vis เป็นเครื่องวัดค่าการส่องผ่านแสงที่นิยมใช้ในการวัดค่าการส่องผ่านแสงหรือค่าการดูดกลืนแสงในทางเคมี โดยเครื่องมือวัดรุ่นนี้จะมีการทำงานโดยอัตโนมัติ ผู้ใช้มีหน้าที่เพียงแค่ตั้งค่าที่ต้องการวัดและบรรจุสารตัวอย่างลงในเครื่องตามที่กำหนด โดยผู้ใช้สามารถเลือกโหมดของการวัดและความยาวคลื่นที่ต้องการได้หลากหลาย



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดค่าการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-Vis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างที่ต้องการวัดค่า

#### 3.5.1 สารตัวอย่างที่ใช้วัดในระบบวัดค่าการส่องผ่านแสง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารตัวอย่างที่ใช้ในการวัดค่าการส่องผ่านแสงด้วยระบบการวัดการส่องผ่านแสงที่ออกแบบเองและระบบที่มีอยู่ในท้องตลาดทั้งสิ้น 3 ชนิดดังที่แสดงดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 สารตัวอย่างที่ใช้ในการวัดค่าการส่องผ่านแสง

สารตัวอย่าง	ลักษณะของสารตัวอย่าง
ฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อA	ฟิล์มบาง
ฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อA	ฟิล์มบาง
ฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อB	ฟิล์มบาง

#### 3.5.2 ชนิดของการปนเปื้อนบนพื้นผิวของสารตัวอย่างที่ต้องการวัด

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการปนเปื้อนพื้นผิวของสารตัวอย่างด้วยเพื่อเปรียบเทียบการส่องผ่านแสงกับพื้นผิวที่ไม่มีการปนเปื้อน ดังต่อไปนี้

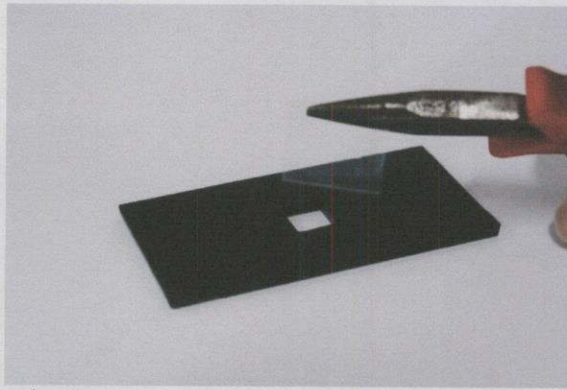
3.5.2.1 พื้นผิวที่ไม่มีการปนเปื้อน เพื่อศึกษาคุณสมบัติการส่องผ่านและการดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นต่างๆของสารตัวอย่าง

3.5.2.2 พื้นผิวที่มีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ เพื่อศึกษาผลของรอยนิ้วมือต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการส่องผ่านและดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นต่างๆของสารตัวอย่าง โดยการป้ายพื้นผิวของสารตัวอย่างด้วยนิ้วมือเพื่อให้เกิดคราบรอยนิ้วมือบนสารตัวอย่างที่ต้องการ

#### 3.5.3 การเตรียมสารตัวอย่าง

ตัดสารตัวอย่างหรือฟิล์มกันรอยให้มีขนาดกว้างและยาวด้านละ 1.5-2 เซนติเมตร ทำการลอกฟิล์มที่เคลือบอยู่ทั้งสองด้านออกและติดสารตัวอย่างลงบนตัวจับสารตัวอย่างโดยระวังไม่ให้สารตัวอย่างทั้งสองด้านเปื้อนรอยนิ้วมือ โดยให้สารตัวอย่างที่ต้องการทดสอบปิดช่องตรงกลางของตัวจับสารตัวอย่างทุกด้าน จากนั้นนำตัวจับสารตัวอย่างติดตั้งบนระบบที่ได้จัดเตรียมเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การเตรียมสารตัวอย่างบนตัวจับสารตัวอย่าง

### 3.5.4 การสอบเทียบค่าที่ได้จากการวัด

ในงานวิจัยนี้จะต้องมีการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดในแต่ละครั้งและในแต่ละเครื่องมือวัดเพื่อสอบเทียบความเที่ยงตรงและความผิดพลาดในการวัดของเครื่องมือโดนอ้างอิงจากค่าที่วัดได้โดยเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องตลาด โดยจะมีการสอบเทียบค่าดังนี้

3.5.4.1 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) คือ ค่าทางสถิติที่บ่งบอกถึงการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูล ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามากหากข้อมูลมีการกระจายตัวสูงและจะมีค่าเป็นศูนย์หากข้อมูลไม่มีการกระจายตัวเลย

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.1)$$

3.5.4.2 ค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty or Standard Error of Mean) คือ ค่าทางสถิติที่บ่งบอกถึงความไม่แน่นอนในการวัดหรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดค่าการทดลอง

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.2)$$

ค่าที่ได้จากการวัดในครั้งที่  $n$  คือ  $\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$

3.5.4.3 เปอร์เซนต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความแตกต่างกันของข้อมูลสองชุดในรูปของเปอร์เซนต์

$$\% \text{ความแตกต่าง} = \frac{2|X_1 - X_2|}{X_1 + X_2} \times 100\% \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยระบบวัดที่ได้ ออกแบบขึ้น

ในการทดลองนี้จะต้องมีการเตรียมสารตัวอย่างตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในขั้นตอนที่ 3.5.3 โดยใช้ระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงที่ได้ออกแบบขึ้นวัดค่าการส่องผ่านแสงและคำนวณให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงโดยเปรียบเทียบความเข้มแสงในขณะที่ไม่มีสารตัวอย่างและในขณะที่มีสารตัวอย่าง

4.1.1.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสง สีฟ้า ยี่ห้อ A โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

ตาราง 4.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง

สีของแหล่งกำเนิดแสง	ความเข้มแสง	ผลการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
สีน้ำเงิน	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.11	0.11	0.13	0.12	0.0094	0.0054
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	3.84	3.83	3.84	3.84	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>x</sub> )	2.96	3.00	2.99	2.98	0.0170	0.0098
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	76.41	77.69	77.09	77.06	0.5232	0.3021
สีเขียว	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.11	0.11	0.12	0.11	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	3.88	3.88	3.88	3.88	0	0
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>x</sub> )	3.20	3.17	3.14	3.17	0.0245	0.0141
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	81.96	81.17	80.32	81.15	0.6712	0.3875
สีแดง	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.14	0.15	0.19	0.16	0.0216	0.0125
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	6.03	6.04	6.08	6.05	0.0216	0.0125
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>x</sub> )	5.04	4.92	4.87	4.94	0.0713	0.0412
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	83.19	80.98	79.46	81.21	1.5332	0.8852

จากตารางที่ 4.1 จะสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งคำนวณได้จากการทดลองมีค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าระบบวัดที่ออกแบบและติดตั้งขึ้นมีความคลาดเคลื่อนของการวัดแต่ละครั้งน้อยมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบวัดที่ได้ออกแบบและติดตั้งมีเสถียรภาพในการวัดค่าเหมาะสมสำหรับการทดลอง

#### 4.1.1.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ

ตาราง 4.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง

สีของแหล่งกำเนิดแสง	ความเข้มแสง	ผลการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
สีน้ำเงิน	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.13	0.14	0.16	0.14	0.0125	0.0072
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	3.10	3.05	3.04	3.06	0.0262	0.0151
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	2.28	2.23	2.23	2.25	0.0236	0.0136
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	72.39	71.82	71.88	72.03	0.2566	0.1481
สีเขียว	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.15	0.16	0.16	0.16	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	3.48	3.59	3.62	3.56	0.0602	0.0348
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	2.72	2.78	2.78	2.76	0.0283	0.0163
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	77.18	76.38	75.72	76.43	0.5946	0.3433
สีแดง	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.16	0.17	0.17	0.17	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	5.84	5.89	5.89	5.87	0.0236	0.0136
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	4.42	4.42	4.48	4.44	0.0283	0.0163
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	75.00	74.30	75.35	74.88	0.4361	0.2518

จากตารางที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งคำนวณได้จากการทดลองมีค่าน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวัดที่ออกแบบและติดตั้งขึ้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบวัดที่ได้ออกแบบและติดตั้งมีเสถียรภาพในการวัดค่าเหมาะสมสำหรับทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.3 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อ A โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

ตาราง 4.3 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง

สีของแหล่งกำเนิดแสง	ความเข้มแสง	ผลการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
สีน้ำเงิน	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.16	0.17	0.18	0.17	0.0082	0.0047
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>o</sub> )	6.30	6.10	6.03	6.14	0.1144	0.0660
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	5.68	5.62	5.63	5.64	0.0262	0.0151
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	89.90	91.91	93.16	91.66	1.3425	0.7751
สีเขียว	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.14	0.15	0.15	0.15	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>o</sub> )	3.26	3.40	3.32	3.33	0.0573	0.0331
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	3.04	3.17	3.21	3.14	0.0726	0.0419
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	92.95	92.92	96.53	94.13	1.6943	0.9782
สีแดง	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.11	0.14	0.13	0.13	0.0125	0.0072
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>o</sub> )	2.84	2.85	2.90	2.86	0.0262	0.0151
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	2.61	2.62	2.61	2.61	0.0047	0.0027
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	91.58	91.51	89.53	90.87	0.9494	0.5481

จากตารางที่ 4.3 จะสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งคำนวณได้จากการทดลองมีค่าน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวัดที่ออกแบบและติดตั้งขึ้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบวัดที่ได้ออกแบบและติดตั้งมีเสถียรภาพในการวัดค่าเหมาะสมสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.4 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อA โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ

ตาราง 4.4 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง

สีของแหล่งกำเนิดแสง	ความเข้มแสง	ผลการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
สีน้ำเงิน	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.13	0.14	0.13	0.13	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	6.09	6.22	6.27	6.19	0.0759	0.0438
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	4.85	4.90	4.90	4.88	0.0236	0.0136
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	79.19	78.29	77.69	78.39	0.6195	0.3577
สีเขียว	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.14	0.15	0.15	0.15	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	3.91	3.97	3.86	3.91	0.0450	0.0260
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	3.10	3.15	3.14	3.13	0.0216	0.0125
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	78.51	78.53	80.59	79.21	0.9752	0.5630
สีแดง	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.15	0.16	0.17	0.16	0.0082	0.0047
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	3.81	3.78	3.76	3.78	0.0205	0.0118
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	3.02	2.98	2.96	2.99	0.0249	0.0144
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	78.42	77.90	77.72	78.01	0.2959	0.1708

จากตารางที่ 4.4 จะสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งคำนวณได้จากการทดลองมีค่าน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวัดที่ออกแบบและติดตั้งขึ้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบวัดที่ได้ออกแบบและติดตั้งมีเสถียรภาพในการวัดค่าเหมาะสมสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.5 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ B โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

ตาราง 4.5 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง

สีของแหล่งกำเนิดแสง	ความเข้มแสง	ผลการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
สีน้ำเงิน	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.15	0.14	0.17	0.15	0.0125	0.0072
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	5.82	5.79	5.81	5.81	0.0125	0.0072
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>๒</sub> )	5.15	5.13	5.11	5.13	0.0163	0.0094
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	88.18	88.32	87.59	88.03	0.3171	0.1831
สีเขียว	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.11	0.11	0.12	0.11	0.0047	0.0027
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>๐</sub> )	3.20	3.15	3.15	3.17	0.0236	0.0136
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>๒</sub> )	3.02	2.92	2.92	2.95	0.0471	0.0272
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	94.17	92.43	92.41	93.01	0.8264	0.4771
สีแดง	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.10	0.14	0.15	0.13	0.0216	0.0125
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>๐</sub> )	3.45	3.40	3.41	3.42	0.0216	0.0125
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>๒</sub> )	3.06	3.08	3.06	3.07	0.0094	0.0054
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	88.36	90.18	89.26	89.27	0.7454	0.4303

จากตารางที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งคำนวณได้จากการทดลองมีค่าน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวัดที่ออกแบบและติดตั้งขึ้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบวัดที่ได้ออกแบบและติดตั้งมีเสถียรภาพในการวัดค่าเหมาะสมสำหรับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.6 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ

ตาราง 4.6 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสง

สีของแหล่งกำเนิดแสง	ความเข้มแสง	ผลการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
สีน้ำเงิน	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.14	0.15	0.18	0.16	0.0170	0.0098
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	6.26	6.25	6.13	6.21	0.0591	0.0341
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	4.37	4.41	4.41	4.40	0.0189	0.0109
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	69.12	69.84	71.09	70.02	0.8161	0.4712
สีเขียว	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.16	0.17	0.15	0.16	0.0082	0.0047
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	3.53	3.50	3.76	3.60	0.1161	0.0670
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	2.57	2.62	2.71	2.63	0.0579	0.0334
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	71.51	73.57	70.91	72.00	1.1390	0.6576
สีแดง	ความเข้มแสงพื้นหลัง(BGI)	0.15	0.15	0.17	0.16	0.0094	0.0054
	ความเข้มแสงตั้งต้น(I <sub>0</sub> )	2.98	2.92	2.95	2.95	0.0245	0.0141
	ความเข้มแสงส่องผ่าน(I <sub>t</sub> )	2.25	2.24	2.23	2.24	0.0082	0.0047
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)	74.20	75.45	74.10	74.59	0.6136	0.3543

จากตารางที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งคำนวณได้จากการทดลองมีค่าน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบวัดที่ออกแบบและติดตั้งขึ้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบวัดที่ได้ออกแบบและติดตั้งมีเสถียรภาพในการวัดค่าเหมาะสมสำหรับการทดลอง

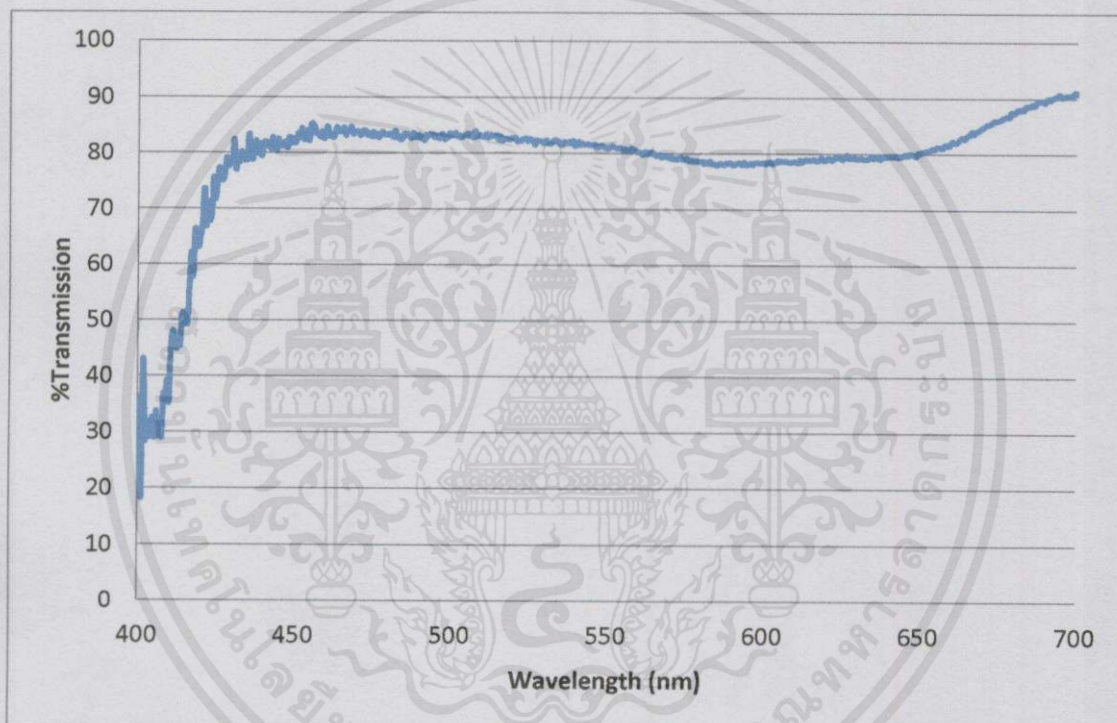
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างโดยเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องทดลอง

ในการทดลองนี้ได้มีการเตรียมสารตัวอย่างเช่นเดียวกับขั้นตอนก่อนหน้า โดยใช้เครื่องมือวัดการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างซึ่งให้ผลอยู่ในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

##### 4.1.2.1 ผลการทดลองจากเครื่องวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU

4.1.2.1.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อA โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

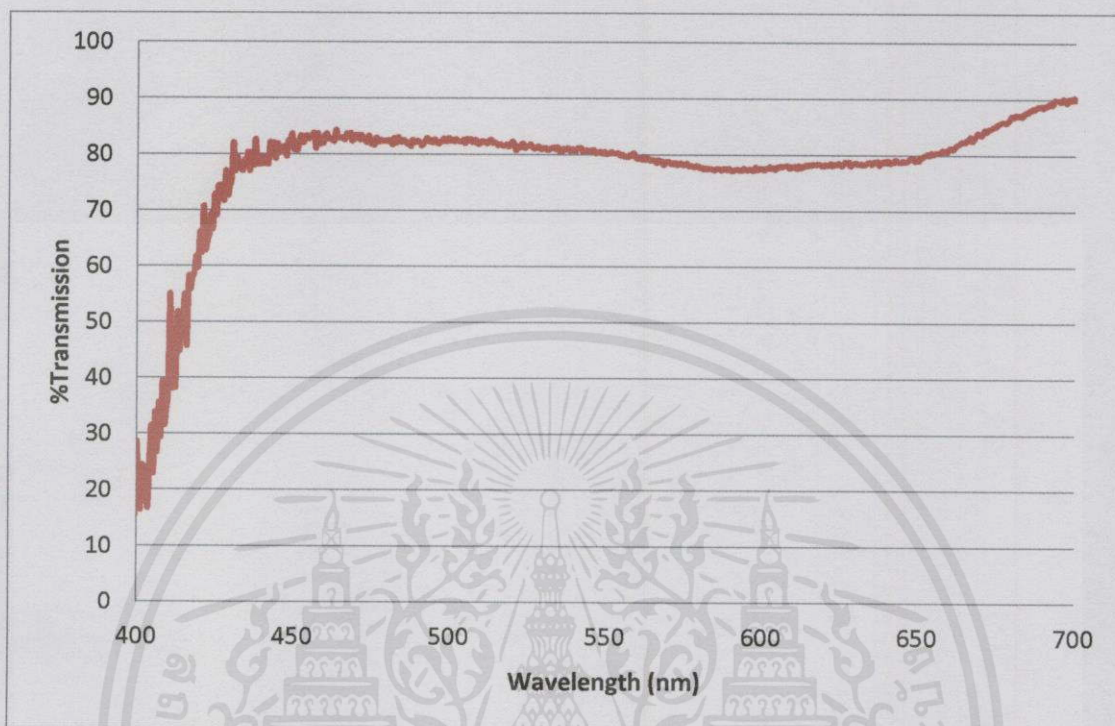


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A สามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตร ได้ดี จึงทำให้มีแสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวส่องผ่านน้อยกว่าแสงในย่านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อA โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ

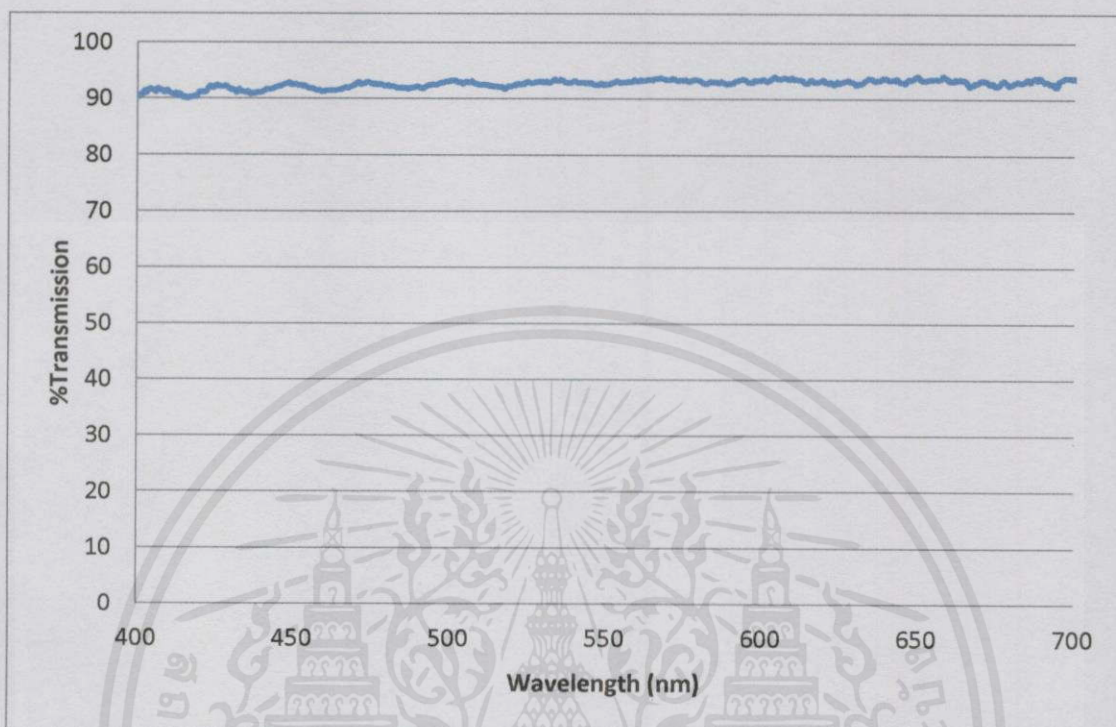


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อA สามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตร ได้ดี จึงทำให้มีแสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวส่องผ่านน้อยกว่าแสงในย่านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 'ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า' 'ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น' อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.3 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อA โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

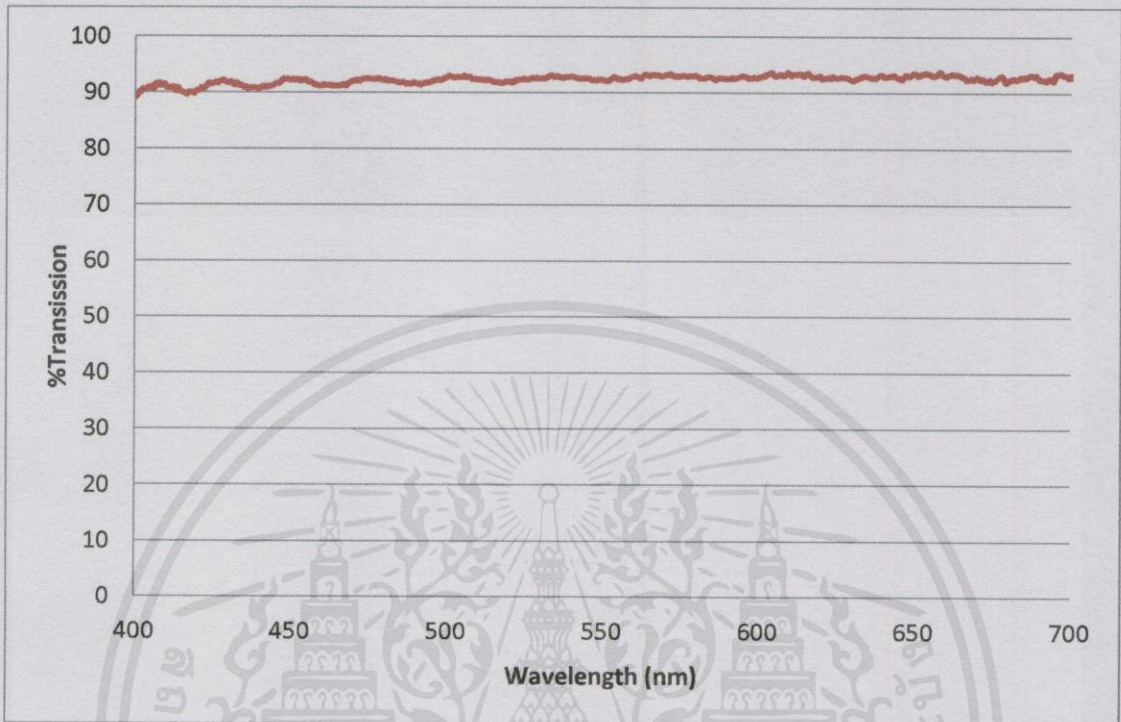


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อA สามารถดูดกลืนแสงในทุกย่านความยาวคลื่นได้เล็กน้อยโดยไม่มีแสงในย่านความยาวคลื่นใดถูกลดทอนไปมากกว่าความยาวคลื่นอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.4 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อA โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ

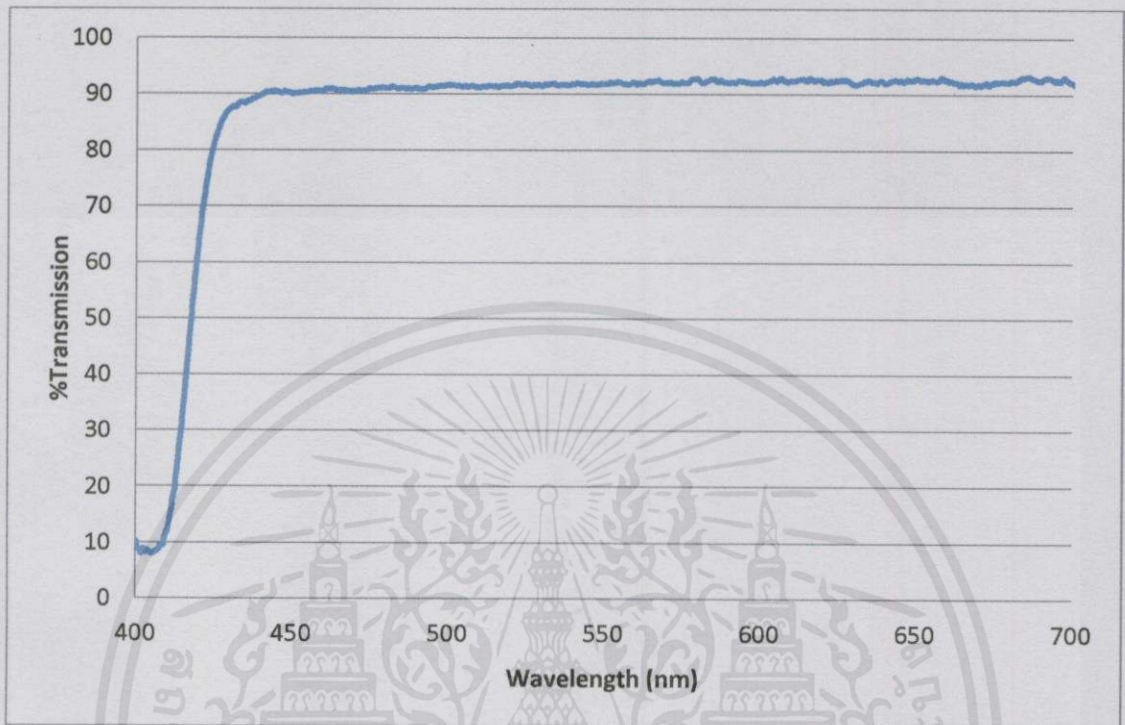


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อA สามารถดูดกลืนแสงในทุกย่านความยาวคลื่นได้เล็กน้อยโดยไม่มีแสงในย่านความยาวคลื่นใดถูกลดทอนไปมากกว่าความยาวคลื่นอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.5 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อB โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

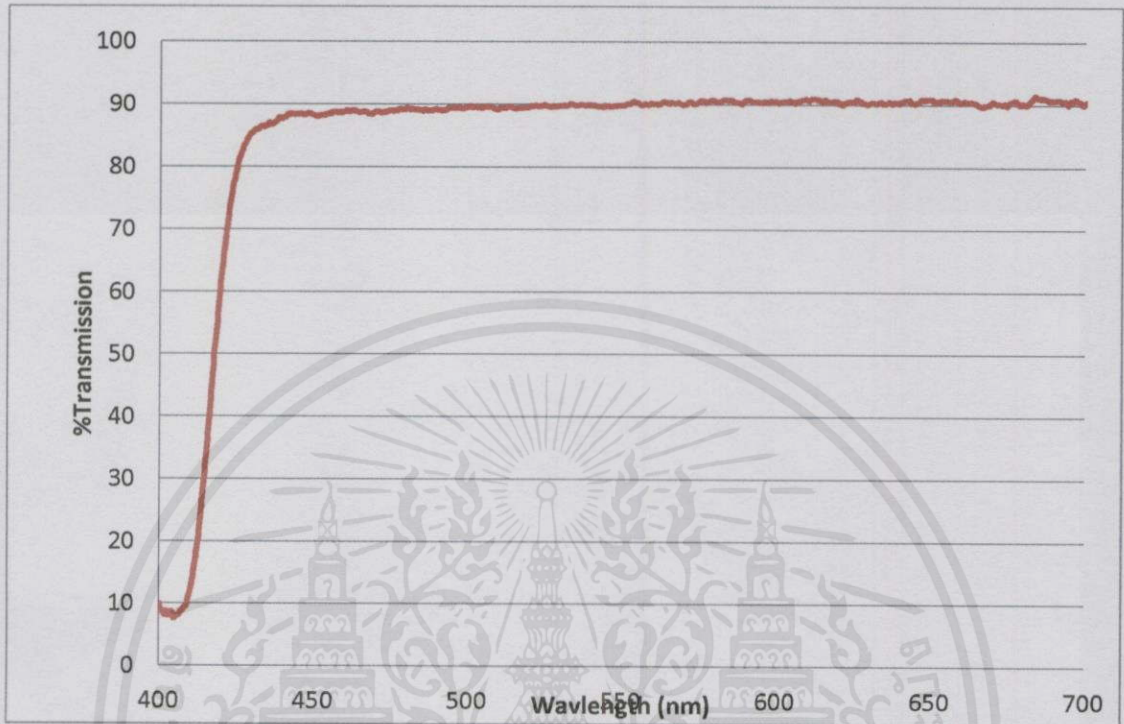


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อB สามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตร ได้ดี จึงทำให้มีแสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวส่องผ่านน้อยกว่าแสงในย่านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1.6 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อA โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ



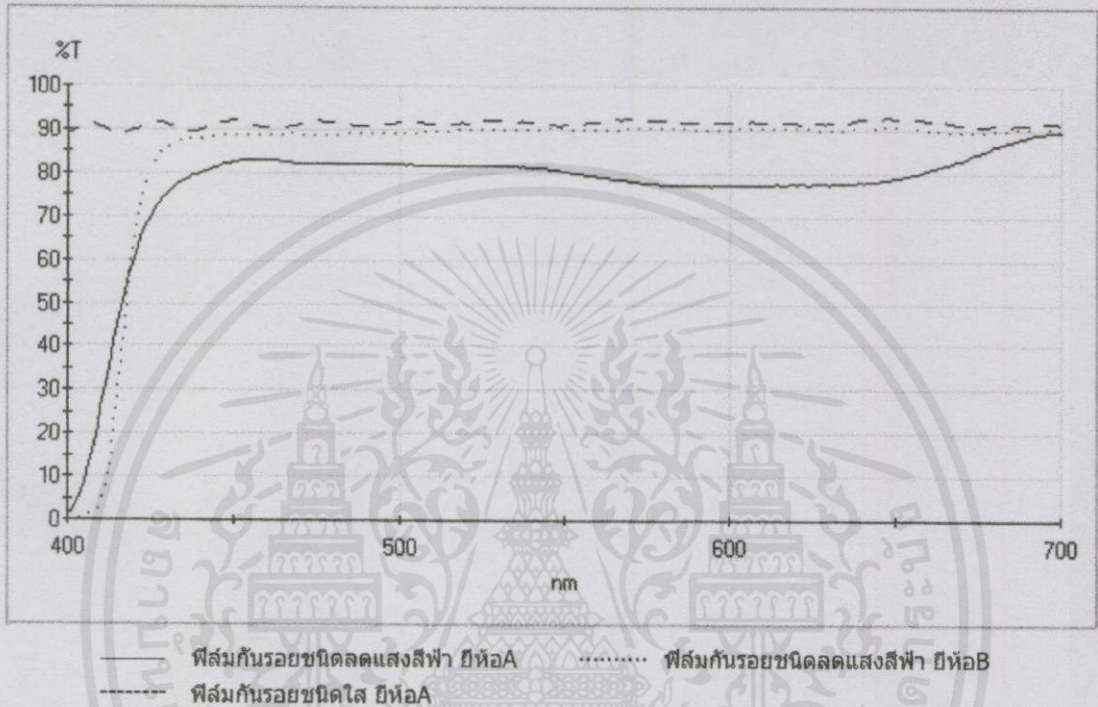
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อB สามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตร ได้ดี จึงทำให้มีแสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวส่องผ่านน้อยกว่าแสงในย่านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2.2 ผลการทดลองจากเครื่องวัดการส่องผ่านแสงยูวีหือ Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-Vis

4.1.2.2.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือทั้งสามตัวอย่างโดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

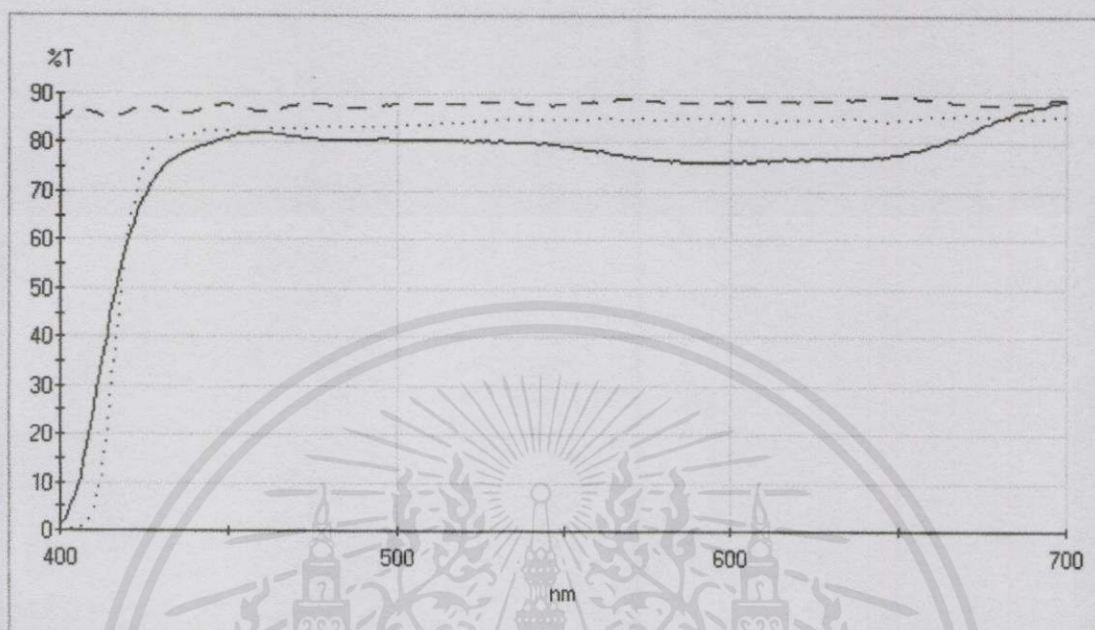


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อAและยี่ห้อBสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น400-430 นาโนเมตรได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดใส ยี่ห้อA ทำให้มีแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวส่องผ่านมาน้อยกว่าแสงในช่วงอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือทั้งสามตัวอย่างโดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

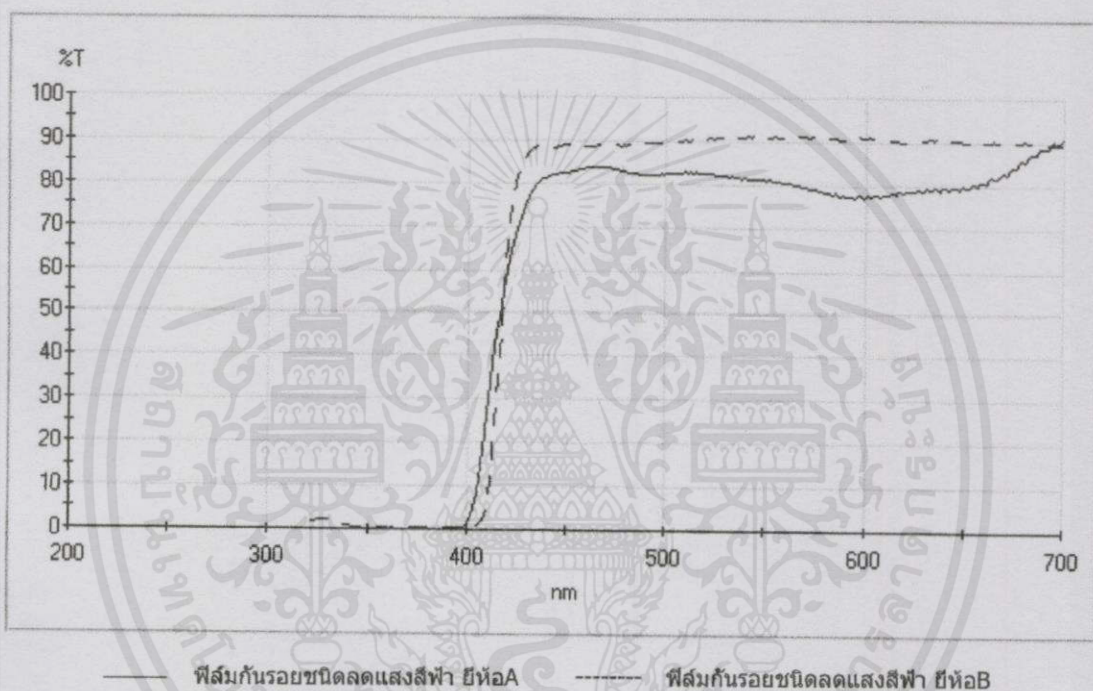
จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อAและยี่ห้อBสามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น400-430 นาโนเมตรได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดใส ยี่ห้อA ทำให้มีแสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวส่องผ่านมาน้อยกว่าแสงในย่านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 ผลการทดลองการหาค่าความยาวคลื่นที่แสงสามารถส่องผ่านสารตัวอย่างได้น้อยที่สุด

ในขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องวัดการส่องผ่านแสงยูวีชื่อ Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-Vis ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถให้แสงความยาวคลื่น 190-1100 นาโนเมตร ทำการทดลองเพื่อหาค่าความยาวคลื่นที่แสงสามารถส่องผ่านสารตัวอย่างได้น้อยที่สุด

4.1.3.1 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือโดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

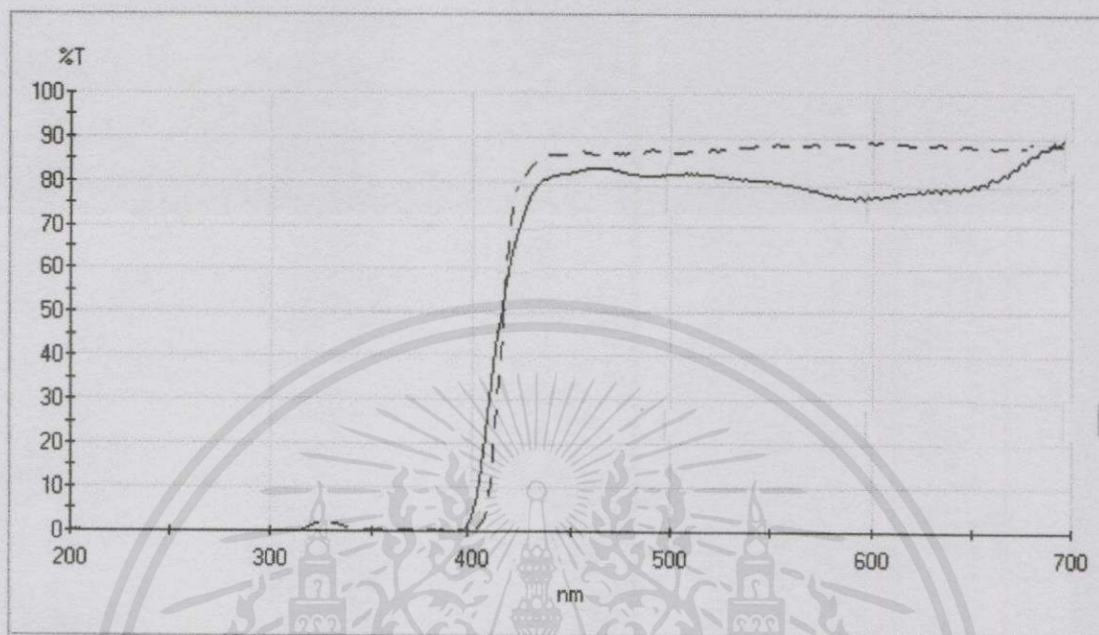


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อAและยี่ห้อB สามารถดูดกลืนแสงในย่าน 200-400 นาโนเมตร ได้ดีมาก แสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงที่ใกล้กับศูนย์จึงแสดงว่าฟิล์มกันรอยทั้งสองชนิดมีการส่องผ่านแสงต่ำในย่านรังสีเหนือม่วง (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3.2 ผลการทดลองการวัดค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือโดยพื้นผิวของสารตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนรอยนิ้วมือ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A และ ยี่ห้อ B สามารถดูดกลืนแสงในย่าน 200-400 นาโนเมตร ได้ดีมาก แสงในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงที่ใกล้กับศูนย์จึงแสดงว่าฟิล์มกันรอยทั้งสองชนิดมีการส่องผ่านแสงต่ำในย่านรังสีเหนือม่วง (UV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การอภิปรายผล

### 4.2.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากระบบวัดค่าการส่องผ่านแสงที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในท้องตลาด

#### 4.2.1.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากระบบที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในท้องตลาดของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อA

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

ความยาวคลื่น ของแหล่งกำเนิด แสง (nm)	ลักษณะพื้นผิว ของสารตัวอย่าง	ผลการทดลอง (%Transmission)			Percentage difference (%)	
		ชนิดของเครื่องมือวัด			ชนิดของเครื่องมือที่ใช้ เปรียบเทียบ	
		ระบบวัดที่ ออกแบบ เอง	Avantes รุ่น Avaspec- EDU	Thermo- SCIENTIFIC รุ่น Genesys 10S UV-Vis	Avantes รุ่น Avaspec- EDU	Thermo- SCIENTIFIC รุ่น Genesys 10S UV-Vis
470	ไม่มีการปนเปื้อน	77.06	83.53	82	8.0578	6.2115
	มีการปนเปื้อน	72.03	83.03	82	14.1881	12.9455
568	ไม่มีการปนเปื้อน	81.15	79.59	79	1.9410	2.6850
	มีการปนเปื้อน	76.43	78.54	78	2.7231	2.0333
640	ไม่มีการปนเปื้อน	81.21	79.68	79	1.9019	2.7589
	มีการปนเปื้อน	74.88	78.83	78	5.1395	4.0816

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างซึ่งคำนวณได้จากผลการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ แม้ว่าค่าทั้งสองของการทดลองที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงสีน้ำเงินจะมากกว่าค่าที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นอีกสองชนิดแต่ก็แสดงว่าระบบวัดการส่องผ่านแสงที่ได้ออกแบบขึ้นสามารถวัดค่าการส่องผ่านแสงได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากระบบที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องทดลองของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดใส ยี่ห้อA

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง (nm)	ลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่าง	ผลการทดลอง (%Transmission)			Percentage difference (%)	
		ชนิดของเครื่องมือวัด			ชนิดของเครื่องมือที่ใช้เปรียบเทียบ	
		ระบบวัดที่ออกแบบเอง	Avantes รุ่น Avaspec-EDU	Thermo-SCIENTIFIC รุ่น Genesys 10S UV-Vis	Avantes รุ่น Avaspec-EDU	Thermo-SCIENTIFIC รุ่น Genesys 10S UV-Vis
470	ไม่มีการปนเปื้อน	91.66	92.74	91	1.1714	0.7227
	มีการปนเปื้อน	78.39	92.15	88	16.1370	11.5512
568	ไม่มีการปนเปื้อน	94.13	93.57	92	0.5967	2.2887
	มีการปนเปื้อน	79.21	92.97	89	15.9833	11.6402
640	ไม่มีการปนเปื้อน	90.87	93.48	91	2.8316	0.1430
	มีการปนเปื้อน	78.01	92.84	89	17.3603	13.1609

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างซึ่งคำนวณได้จากผลการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าระบบวัดการส่องผ่านแสงที่ได้ออกแบบขึ้นสามารถวัดค่าการส่องผ่านแสงได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องทดลอง ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสารตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนมากกว่าค่าที่ได้จากสารตัวอย่างที่ไม่มีการปนเปื้อนนั้นเกิดเพราะการทำให้สารตัวอย่างปนเปื้อนรอยนิ้วมือแต่ละครั้งที่ทำการทดลองมีความหนาของรอยนิ้วมือบนพื้นผิวของฟิล์มแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากระบบที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องทดลองของฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อB

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง (nm)	ลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่าง	ผลการทดลอง (%Transmission)			Percentage difference (%)	
		ชนิดของเครื่องมือวัด			ชนิดของเครื่องมือที่ใช้เปรียบเทียบ	
		ระบบวัดที่ออกแบบเอง	Avantes รุ่น Avaspec-EDU	Thermo-SCIENTIFIC รุ่น Genesys 10S UV-Vis	Avantes รุ่น Avaspec-EDU	Thermo-SCIENTIFIC รุ่น Genesys 10S UV-Vis
470	ไม่มีการปนเปื้อน	88.03	90.63	89	2.9106	1.0959
	มีการปนเปื้อน	70.02	88.88	83	23.7382	16.9651
568	ไม่มีการปนเปื้อน	93.01	92.66	90	0.3770	3.2894
	มีการปนเปื้อน	72	90.24	85	22.4852	16.5605
640	ไม่มีการปนเปื้อน	89.27	92.75	90	3.8238	0.8144
	มีการปนเปื้อน	74.59	90.29	85	19.0442	13.0459

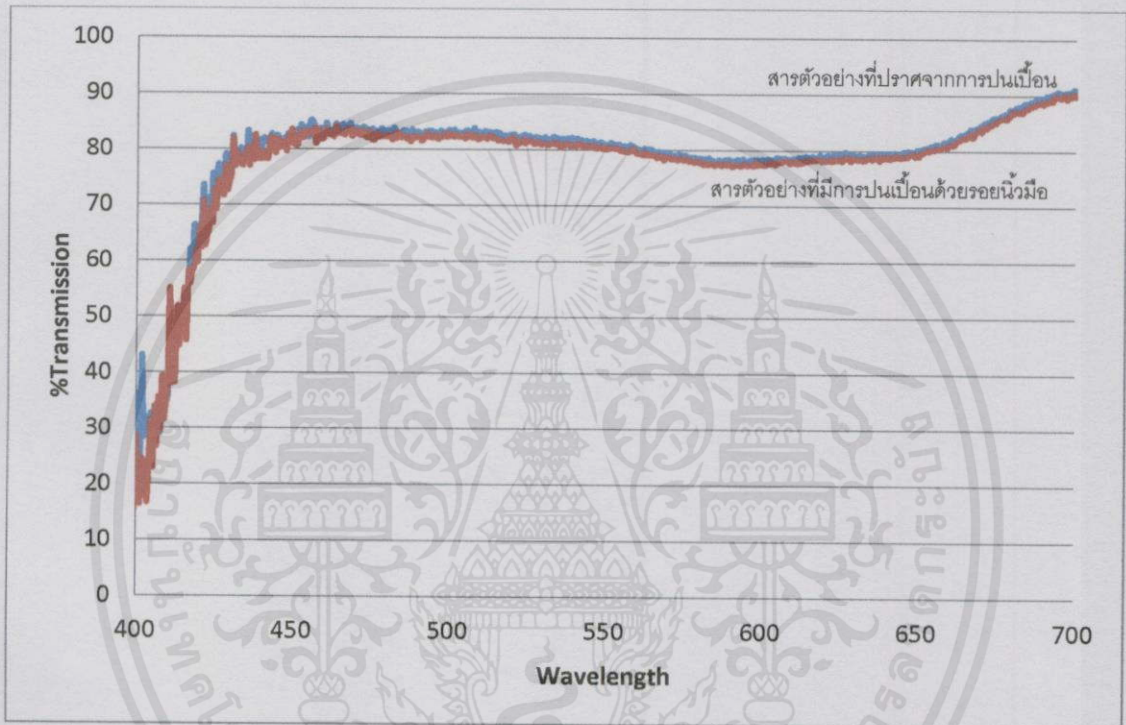
จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างซึ่งคำนวณได้จากผลการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าระบบวัดการส่องผ่านแสงที่ได้ออกแบบขึ้นสามารถวัดค่าการส่องผ่านแสงได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในห้องทดลอง ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสารตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนมากกว่าค่าที่ได้จากสารตัวอย่างที่ไม่มีการปนเปื้อนนั้นเกิดเพราะการทำให้สารตัวอย่างปนเปื้อนรอยนิ้วมือแต่ละครั้งที่ทำการทดลองมีความหนาของรอยนิ้วมือบนพื้นผิวของฟิล์มแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนด้วยรอยนิ้วมือ

ในขั้นตอนนี้จะเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU ซึ่งให้ผลการทดลองที่มีความละเอียดสูงที่สุดนำมาเปรียบเทียบผลของการปนเปื้อนที่พื้นผิวของสารตัวอย่างที่มีต่อคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง

##### 4.2.2.1 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A

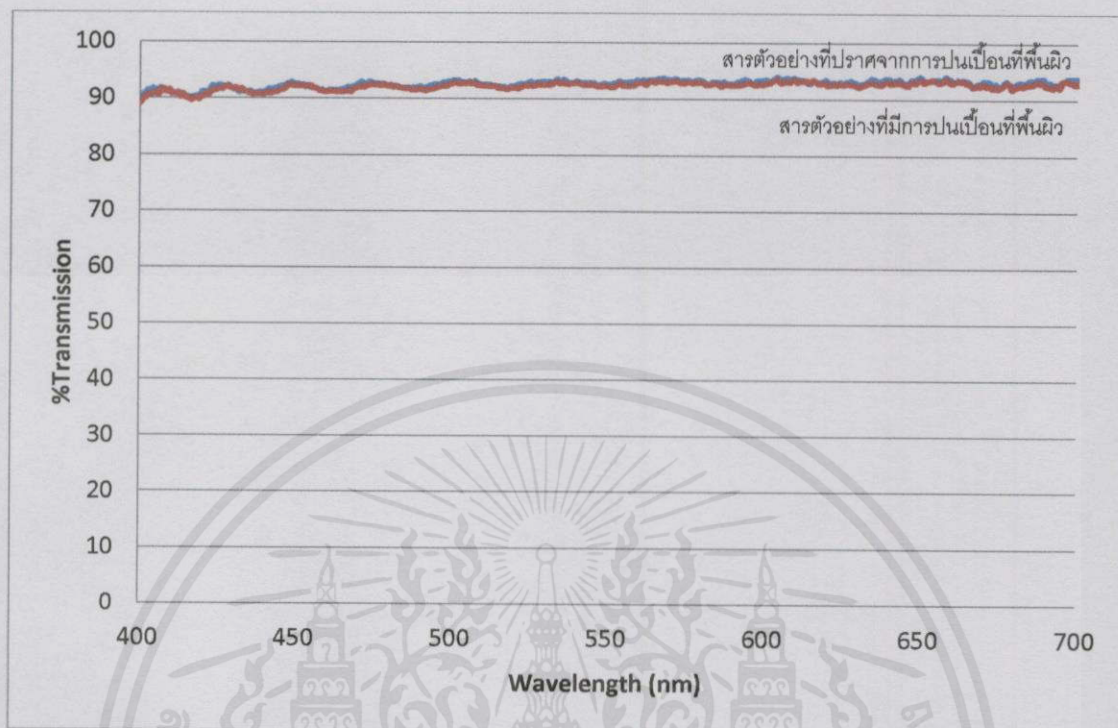


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.11 สามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A ถูกลดทอนลงเนื่องจากการปนเปื้อนด้วยรอยนิ้วมือที่พื้นผิวของฟิล์ม จึงสามารถสรุปได้ว่าคราบไขมันซึ่งเป็นส่วนประกอบในรอยนิ้วมือสามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ได้เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.2 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยชนิดใส ยี่ห้อA

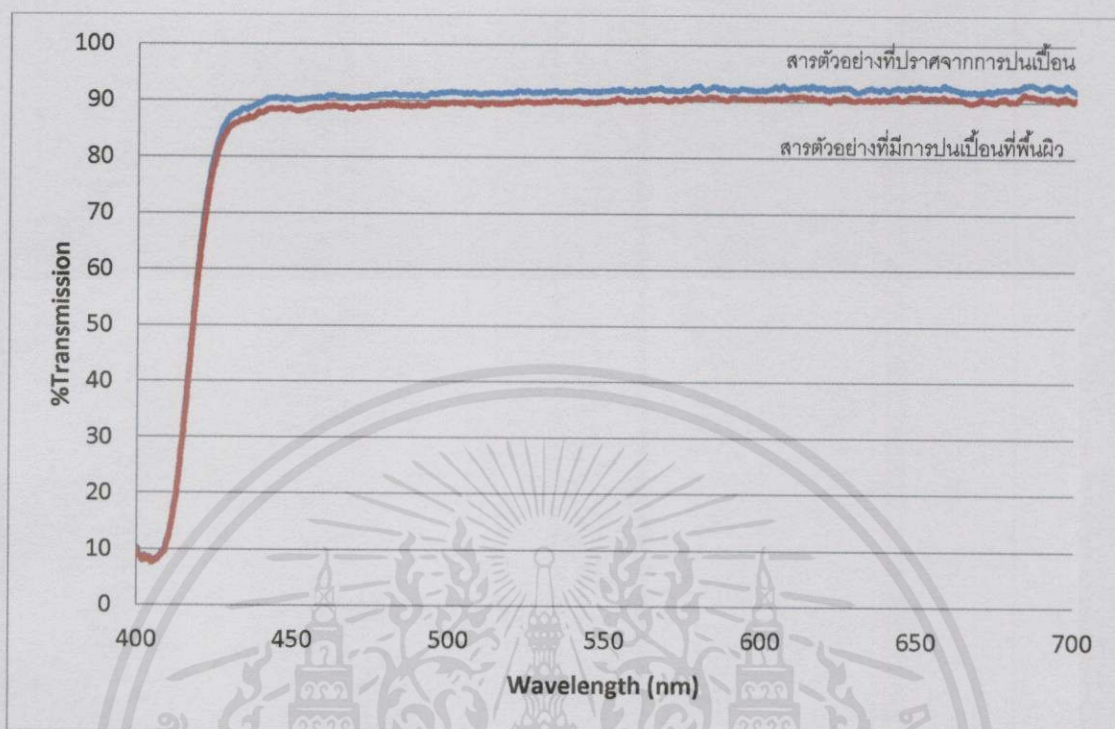


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.12 สามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยชนิดใส ยี่ห้อA ถูกลดทอนลงเนื่องจากการปนเปื้อนด้วยรอยนิ้วมือที่พื้นผิวของฟิล์ม จึงสามารถสรุปได้ว่าคราบไขมัน ซึ่งเป็นส่วนประกอบในรอยนิ้วมือสามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ได้เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.3 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อB



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

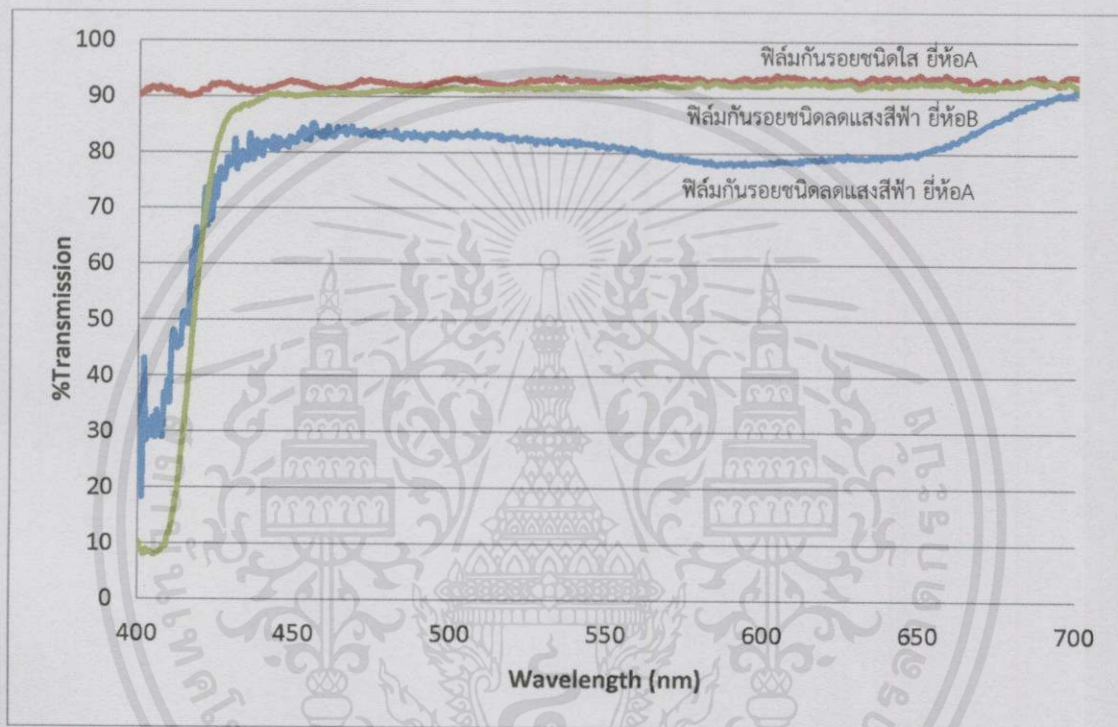
จากรูปที่ 4.13 สามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อB ถูกลดทอนลงเนื่องจากการปนเปื้อนด้วยรอยนิ้วมือที่พื้นผิวของฟิล์ม จึงสามารถสรุปได้ว่าคราบไขมันซึ่งเป็นส่วนประกอบในรอยนิ้วมือสามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร และในย่านความยาวคลื่น 430-700 นาโนเมตรจะเห็นผลของการลดทอนได้มากกว่าย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด

ในขั้นตอนนี้จะเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากเครื่องมือวัดการส่องผ่านแสงยี่ห้อ Avantes รุ่น Avaspec-EDU ซึ่งให้ผลการทดลองที่มีความละเอียดสูงที่สุดนำมาเปรียบเทียบผลของการปนเปื้อนที่พื้นผิวของสารตัวอย่างที่มีต่อคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง

4.2.3.1 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างปราศจากการปนเปื้อน

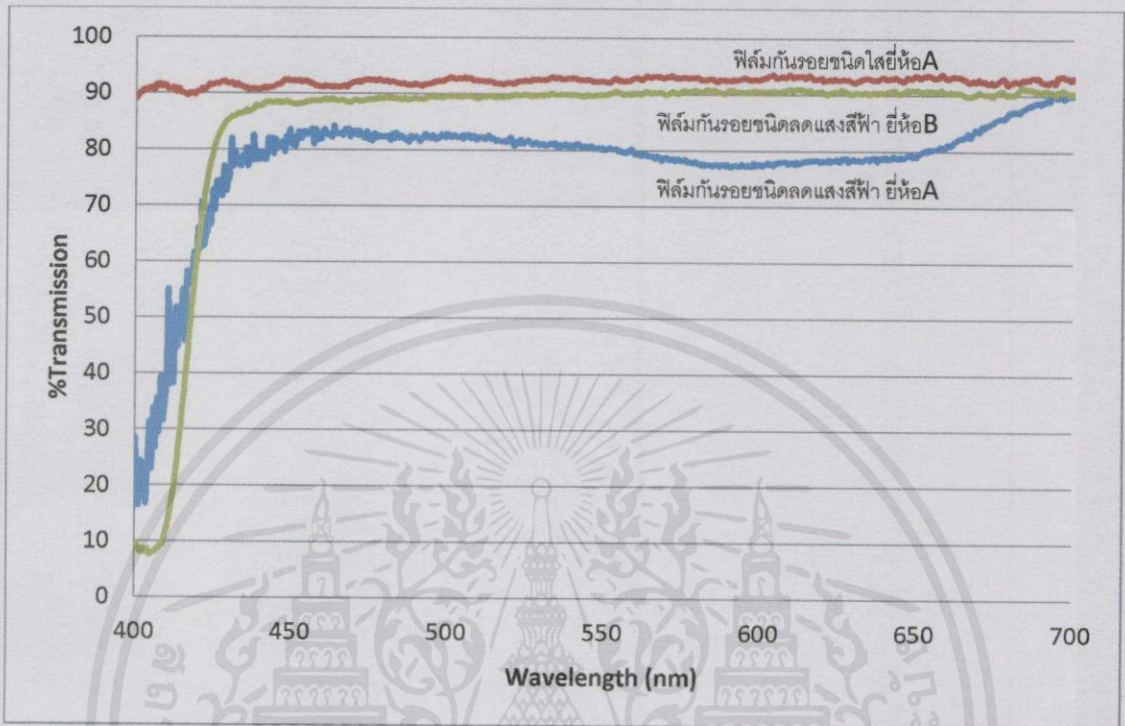


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.14 สามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A และ ยี่ห้อ B สามารถลดทอนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตรได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดใส ยี่ห้อ A โดยฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ B สามารถลดทอนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตรได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A ขณะที่ในย่านความยาวคลื่น 430-700 นาโนเมตรนั้นฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A สามารถลดทอนแสงลงได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.2 การเปรียบเทียบค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด โดยพื้นผิวของสารตัวอย่างมีการปนเปื้อน



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงและความยาวคลื่นของแสง

จากรูปที่ 4.15 สามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A และ ยี่ห้อ B สามารถลดทอนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตรได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดใส ยี่ห้อ A โดยฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ B สามารถลดทอนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตรได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A ขณะที่ในย่านความยาวคลื่น 430-700 นาโนเมตรนั้นฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A สามารถลดทอนแสงลงได้ดีกว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยโครงการพิเศษที่ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างซึ่งเป็นฟิล์มกันรอยโทรศัพท์มือถือซึ่งเป็นที่แพร่หลายอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบัน เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติการลดทอนแสงตามที่ได้มีการโฆษณาของบริษัทผู้ผลิตฟิล์มและเปรียบเทียบคุณสมบัติของฟิล์มเมื่อมีการเปื้อนรอยนิ้วมือซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเป็นประจำว่าทำให้คุณสมบัติของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร

จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าฟิล์มกันรอยชนิดลดแสงสีฟ้า ยี่ห้อ A และ ยี่ห้อ B มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับคำโฆษณาของผู้ผลิตคือสามารถลดทอนแสงในย่านความยาวคลื่น 400-430 นาโนเมตรได้เป็นบางส่วนและสามารถลดทอนแสงในย่านความยาวคลื่น 430-700 นาโนเมตร ได้เล็กน้อย โดยฟิล์มทั้งสองยี่ห้อสามารถดูดกลืนแสงในย่านความยาวคลื่น 200-400 นาโนเมตรได้ทั้งหมด โดยในย่านความยาวคลื่นดังกล่าวฟิล์มจะส่องผ่านแสงได้น้อยมาก

และพบว่าเมื่อพื้นผิวของฟิล์มถูกปนเปื้อนด้วยรอยนิ้วมือจะทำให้คุณสมบัติการส่องผ่านแสงของฟิล์มทั้งสามชนิดลดลงเล็กน้อยโดยไม่มีแสงความยาวคลื่นในย่านใดมีการส่องผ่านแสงเพิ่มขึ้นผิดไปจากเดิม

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่างสำหรับการวัดค่าการส่องผ่านแสงด้วยเครื่องมือวัดที่มีขายอยู่ในท้องตลาดนั้น เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้วัดสารตัวอย่างที่เป็นฟิล์มบางโดยตรงทำให้เกิดช่องว่างภายในระบบวัดซึ่งอาจทำให้ค่าที่วัดมีการคลาดเคลื่อนไปบ้างจึงควรมีการเตรียมช่องใส่สารตัวอย่างให้เหมาะสมกับลักษณะของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ ไชยสุต. 2548. **วิธีการวิเคราะห์โดยอุปกรณ์**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ :

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

แมน อมรสิทธิ์ และคณะ. 2554. **หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์ 50.

Frank L. Pedrotti, S.J., Leno M. Pedrotti and Leno S. Pedrotti. 2007. **Introduction To Optics**. Third edition. London : Pearson Education, Inc.

มหาวิทยาลัยมหิดล. 2558. **สีและแสง การวัดการดูดกลืน**. [Online]. Available :

<http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light>

Wikipedia. 2558. **Beer-Lambert law**. [Online]. Available :

[http://en.wikipedia.org/wiki/Beer%E2%80%93Lambert\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Beer%E2%80%93Lambert_law)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Optical and communication laboratory

## การวัดค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสง

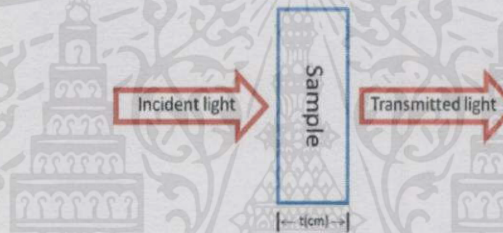
### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการของเครื่องวัดการส่องผ่านแสงชนิด UV-Vis Spectroscope
2. เพื่อศึกษาการดูดกลืนและส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง

### ทฤษฎี

#### 1. การดูดกลืนแสง

เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงตกกระทบลงบนวัตถุใดๆอาจเกิดการดูดกลืน การสะท้อน การส่องผ่านหรือการกระจายออกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ ซึ่งในกระบวนการนี้จะวัดเฉพาะแสงที่ตกกระทบบนวัตถุ (Incident light) และแสงที่ส่องผ่านวัตถุ (Transmitted light) เท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงแสงรบกวน (Stray light)



รูปที่ 1 การดูดกลืนแสงตามกฎของเบียร์แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law)  
จากรูปที่ 1 เราสามารถอธิบายการดูดกลืนของแสงได้โดยอาศัยกฎ 2 ข้อ คือ  
1.1 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ของแสงที่ถูกดูดกลืนไว้ด้วยตัวกลางเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาของตัวกลาง คือ

$$I_t = I_0 \times 10^{-\epsilon t} \quad (1)$$

โดยค่า  $I_0$  คือ ค่าความเข้มแสงที่เคลื่อนที่โดยไม่ผ่านสารตัวอย่าง

$I_t$  คือ ค่าความเข้มแสงที่เคลื่อนที่ผ่านสารตัวอย่าง

$\epsilon$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

$t$  คือ ระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ภายในตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

1.2 กฎของเบียร์ (Beer's law) ซึ่งเราสามารถหาความสัมพันธ์ของแสงที่ถูกดูดกลืนไว้ด้วยตัวกลางเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตัวกลาง คือ

$$I_t = I_0 \times 10^{-\epsilon c} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารโดยค่า  $C$  คือ ค่าความเข้มข้นของตัวกลางในหน่วย โมล/ลิตร นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ เมื่อรวมกฎทั้งสองข้อเข้าด้วยกันเป็นกฎของเบียร์แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's law) จะได้

$$I_t = I_0 \times 10^{-\epsilon c t} \quad (3)$$

ซึ่งสมการ (3) แสดงถึงความเข้มของแสงหลังจากเดินทางผ่านตัวกลางใดๆซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง( $\epsilon$ ) ความเข้มข้นของตัวกลาง( $C$ )และเคลื่อนที่ในตัวกลางเป็นระยะทางหนึ่ง( $t$ )

ซึ่งค่าการส่องผ่านของแสง (Transmittance) ของสารตัวอย่างสามารถคำนวณได้โดยค่าความเข้มแสงที่วัดได้จากการทดลองดังสมการ

$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad (4)$$

โดยค่า  $I_0$  คือ ค่าความเข้มแสงที่เคลื่อนที่โดยไม่ผ่านสารตัวอย่าง

$I_t$  คือ ค่าความเข้มแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสารตัวอย่าง

เปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสงสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ

$$\%T = \frac{I_t}{I_0} \times 100 \quad (5)$$

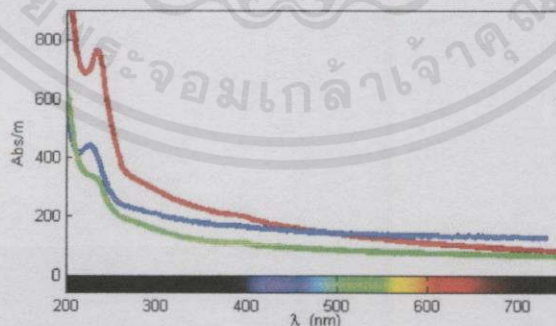
และค่าการดูดกลืนแสงของตัวกลาง (Absorbance) สามารถคำนวณได้ด้วยสมการ

$$A = -\log T = \epsilon ct \quad (6)$$

$$A = 2 - \log_{10} \%T \quad (7)$$

## 2 หลักการทำงานของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy

Ultraviolet - Visible Spectroscopy เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การดูดกลืนหรือส่องผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสารในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible) ความยาวคลื่นที่สามารถใช้วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 190-1,000 นาโนเมตร ซึ่งสารที่ใช้วิเคราะห์เป็นได้คือสารอินทรีย์ สารประกอบหรือแม้แต่สารอนินทรีย์ โดยสารแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นที่ต่างกันและปริมาณการดูดกลืนแสงจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารจึงสามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพโดยไม่ทำลายสารที่ตรวจสอบ



รูปที่2 ผลจากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy

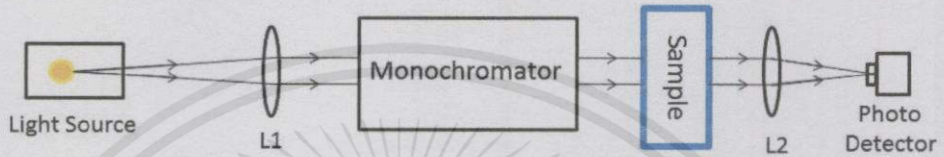
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดกลืน

แสง(Absorbance)และความยาวคลื่น(Wavelength) หรือความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่อง

ผ่าน(%Transmittance)และความยาวคลื่น(Wavelength)ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

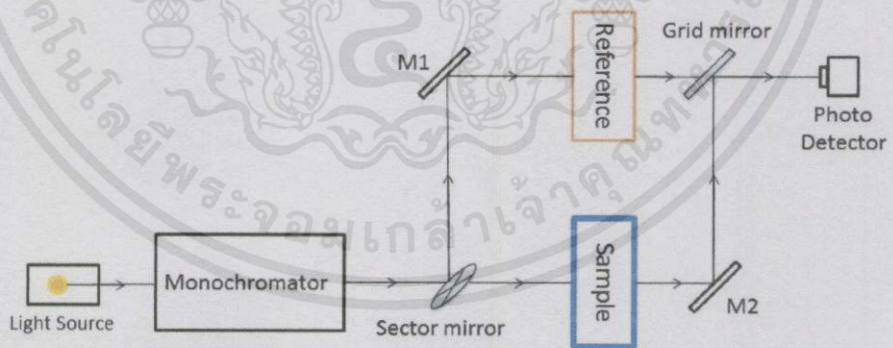
2.1 ชนิดของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy แบ่งตามชนิดของระบบทางเดินแสงเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1 ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single-beam type) เมื่อแสงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจะผ่านเลนส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนให้แสงเป็นลำขนาน แล้วผ่านเข้าสู่ตัวแยกแสงเพื่อเลือกแสงเพียงความยาวคลื่นที่ต้องการและเข้าสู่ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์รับสัญญาณและส่วนประมวลผลเพื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสงหรือเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารตัวอย่าง



รูปที่3 เครื่องวัดการดูดกลืนของแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single beam type)

2.1.2 ชนิดลำแสงคู่ (Double-beam type) เมื่อแสงเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดจะผ่านเลนส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนให้แสงเป็นลำขนานแล้ว ลำแสงจะเดินทางผ่านเข้าสู่ตัวแยกแสงเพื่อเลือกแสงเพียงความยาวคลื่นที่ต้องการแล้วจึงถูกแยกออกเป็นสองขบวนโดยขบวนหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่ลำแสงอีกขบวนเคลื่อนที่ผ่านสารอ้างอิง หลังจากนั้นลำแสงทั้งสองลำจะเคลื่อนที่เข้าสู่อุปกรณ์รับแสงซึ่งจะทำหน้าที่เปรียบเทียบความเข้มแสงของแสงทั้งสองขบวนเพื่อวิเคราะห์และแสดงผล



รูปที่4 เครื่องวัดการดูดกลืนของแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ชนิดลำแสงคู่ (Double beam type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบ Ultraviolet-Visible Spectroscopy ประกอบไปด้วย

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source) เป็นแหล่งกำเนิดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการที่มีความต่อเนื่องและความเข้มมากพอสำหรับใช้ในการทดลอง โดยทั่วไปนิยมใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ ความยาวคลื่นแสงในช่วง 200-700 นาโนเมตร

2.2.2 ตัวแยกแสง (Monochromator) ทำหน้าที่แยกแสงที่มีหลายความยาวคลื่นให้ กลายเป็นแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นเพียงช่วงแคบๆ โดยอาศัยการดูดกลืน สะท้อนกลับหรือหักเห แสงเพื่อให้ได้แสงที่มีความยาวคลื่นตามที่ต้องการ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

2.2.2.1 ตัวกรองแสง (Filter) เป็นกระจกผสมสีแผ่นเดียวทำหน้าที่แยกแสงที่มีช่วงความยาว คลื่นหลายๆให้เหลือเป็นเพียงแสงสีเดียวที่มีความยาวคลื่นเพียงช่วงแคบๆโดยอาศัยการดูดกลืนแสงของ ตัวกรองแสง

2.2.2.2 ปริซึม (Prism) เป็นแท่งแก้วหนาซึ่งมีดัชนีหักเหแสงแตกต่างจากอากาศ โดยแสงที่ เดินทางผ่านปริซึมจะถูกแยกออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆได้โดยอาศัยการหักเหของแสงเมื่อเดิน ทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหแตกต่างกัน แสงที่ถูกแยกด้วยปริซึมจะมีความเข้มและระยะห่าง ระหว่างแต่ละความยาวคลื่นไม่เท่ากันจึงต้องอาศัยการคำนวณอย่างละเอียด

2.2.2.3 เกรตติง (Grating) เป็นแผ่นโลหะที่มีรอยขีดเป็นร่องขนาดเล็กๆจำนวนมาก เมื่อแสง ตกกระทบลงบนเกรตติงจะเกิดการสะท้อนออกแตกต่างกันตามความยาวคลื่นของแสงทำให้สามารถ แยกแสงแต่ละความยาวคลื่นออกจากกันได้

2.2.3 ช่องใส่สารตัวอย่าง (Sample cell) ทำหน้าที่ยึดสารตัวอย่างให้อยู่ตำแหน่งเดิมตลอด ระยะเวลาที่วัดค่า มีการสะท้อนแสงน้อยและสามารถป้องกันแสงไม่ให้เล็ดลอดเข้าสู่อุปกรณ์วัดค่าได้

2.2.4 ตัวตรวจจับแสง (Photo detector) ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มแสงที่ผ่านจากตัวอย่าง ที่ตรวจจับ

### 3. การสอบเทียบค่าที่ได้จากการวัด

3.1 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) คือ ค่าทางสถิติที่บ่งบอกถึง การกระจายตัวของกลุ่มข้อมูล ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามากหากข้อมูลมีการกระจายตัวสูง และจะมีค่าเป็นศูนย์หากข้อมูลไม่มีการกระจายตัวเลย

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (8)$$

3.2 ค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty or Standard Error of Mean) คือ ค่าทาง สถิติที่บ่งบอกถึงความไม่แน่นอนในการวัดหรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดค่าการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ค่าที่ได้จากการวัดในครั้งที่  $n$  คือ  $\bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}$  (9)

## อุปกรณ์

- 1.ชุดรางเลื่อน
- 2.แหล่งกำเนิดแสงชนิดLED สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน
- 3.แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง
- 4.เลนส์นูนความยาวโฟกัส 10 cm.
- 5.ตัวจับสารตัวอย่าง
- 6.Photo detector

## วิธีการทดลอง

ตอนที่1 จัดอุปกรณ์ให้เหมาะสมสำหรับการวัดค่าการส่องผ่านแสง

ตอนที่2 วัดค่าการส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างแต่ละชนิด โดยที่

- 1.พื้นผิวไม่เป็นรอยนิ้วมือ
- 2.พื้นผิวเป็นรอยนิ้วมือ
- 3.หลังจากทำความสะอาดพื้นผิวที่เป็นรอยนิ้วมือนิ้วด้วยน้ำยาทำความสะอาด

ตอนที่3 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านแสงของสารตัวอย่างแต่ละชนิดและค่าความ

ไม่แน่นอนในการวัดของการทดลองในแต่ละครั้ง

## ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

สีของแหล่งกำเนิดแสง	ความเข้มแสง	ผลการทดลอง				Standard deviation	Uncertainty
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย		
สีน้ำเงิน	ความเข้มแสงพื้นหลัง( $B_{G1}$ )						
	ความเข้มแสงตั้งต้น( $I_0$ )						
	ความเข้มแสงพื้นหลัง( $B_{G2}$ )						
	ความเข้มแสงส่องผ่าน( $I_t$ )						
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)						
สีเขียว	ความเข้มแสงพื้นหลัง( $B_{G1}$ )						
	ความเข้มแสงตั้งต้น( $I_0$ )						
	ความเข้มแสงพื้นหลัง( $B_{G2}$ )						
	ความเข้มแสงส่องผ่าน( $I_t$ )						
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)						
สีแดง	ความเข้มแสงพื้นหลัง( $B_{G1}$ )						
	ความเข้มแสงตั้งต้น( $I_0$ )						
	ความเข้มแสงพื้นหลัง( $B_{G2}$ )						
	ความเข้มแสงส่องผ่าน( $I_t$ )						
	เปอร์เซ็นต์ส่องผ่านแสง(%T)						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น กรุณาแจ้งเจ้าหน้าที่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AvaSpec-ULS2048 StarLine Versatile Fiber-optic Spectrometer

AvaSpec-ULS2048



Options include deep-UV detector coating for better performance in the deep-UV-range, a detector collection lens to enhance sensitivity in the 200-300 nm range and order-sorting filters to reduce 2<sup>nd</sup> order effects. Furthermore, the AvaSpec-ULS2048 is available with a wide range of slit sizes, gratings and fiber-optic entrance connectors.

The AvaSpec-ULS2048 is also available in dual or multi-channel versions (up to 10 spectrometers in a 19" rack), where all spectra are taken simultaneously.

Connection with your PC is done via USB-connection, delivering a scan every 1.8 milliseconds. Integration time can be as short as 1.3 milliseconds up to a maximum of 10 minutes. It comes complete with AvaSoft-Spect software, USB cable and an extensive manual, including a quick start guide in four languages.

It's the workhorse of our spectrometer line-up, the AvaSpec-ULS2048. Used in many applications in the UV/VIS-range, it is particularly useful in time-critical situations thanks to its exceptional response speed. Priced affordably, the AvaSpec-ULS2048 is the choice of many of our most demanding customers.

### Technical Data

<b>Optical Bench</b>	US Symmetrical Czerny-Turner, 75 mm focal length
<b>Wavelength range</b>	200-900 nm
<b>Resolution</b>	0.05-20 nm, depending on slit configuration (variable)
<b>Stray light</b>	0.04-6.1%, depending on the grating
<b>Sensitivity</b>	3% (0.0 counts/nm) per nm integration time
<b>Detector</b>	CCD linear array, 2048 pixels
<b>Signal/Noise</b>	200:1
<b>A/D converter</b>	16-bit, 2.49fs
<b>Integration time</b>	1.3 ms - 30 minutes
<b>Interface</b>	USB 2.0 high-speed, 480 Mbps RS-232, 115,200 bps
<b>Sample speed (with on-board averaging)</b>	1.1 ms / scan
<b>Data transfer speed</b>	1.8 ms / scan (USB2) 4.30 ms / scan (RS-232)
<b>Digital I/O</b>	HD-26 connector, 2 Analog in, 2 Analog out, 3 Digital in, 12 Digital out, trigger, sync
<b>Power supply</b>	Direct USB power, 350 mA Or with SP132 external 12VDC, 150 mA
<b>Dimensions, weight</b>	175 x 130 x 44 mm (1 channel), 726 grams

Pre-configured spectrometers can be shipped within 24 hours



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Grating selection table for AvaSpec-ULS2048

Use	Useable range (nm)	Spectral range (nm)	Lines/mm	Slits (nm)	Detector
UV/VIS/NIR	200-1100**	900**	300	300	UA
UV/VIS/NIR	200-1100**	900**	300	300/1000	UNA-GB
UV/VIS	200-850	500	800	300	UB
UV	200-750	250-220*	1200	250	UC
UV	200-650	185-145*	1800	UV	UD
UV	200-580	155-70*	2400	UV	UE
UV	200-400	70-45*	3600	UV	UF
UV/VIS	250-850	500	600	400	VB
VIS/NIR	300-1100**	900**	300	500	VA
VIS	350-1000	500	500	500	VB
VIS	350-800	250-200*	1200	500	VC
VIS	350-750	145-90*	1800	500	VD
VIS	350-640	75-60*	2400	500	VE
NIR	500-1650	500	600	750	HA
NIR	500-1650	220-150*	1200	750	HB
NIR	600-1180	350-300	800	800	HC
NIR	600-1100**	900**	300	1000	IA
NIR	600-1100	500	600	1000	IB

\* depends on the starting wavelength of the grating, the higher the wavelength, the bigger the dispersion and the smaller the range to select.  
 \*\* Please note that not all 2048 pixels will be used for the useable range.

Resolution table (FWHM in nm) for AvaSpec-ULS2048

Grating (lines/mm)	Wavelength (nm)					
	300	400	500	600	700	800
300	0.80 - 0.90*	1.30-1.20*	2.30	4.60	9.60	20.0
600	0.40 - 0.50*	0.65	1.15	2.31	4.50	10.0
800	0.28	0.40	0.80	1.60	3.20	8.0
1200	0.18 - 0.22*	0.25	0.51	1.01	2.00	5.0
1800	0.10 - 0.16*	0.15	0.30-0.42*	0.60	1.50	3.5
2400	0.08 - 0.11*	0.10 - 0.15*	0.20	0.55	1.30	2.7
3600	0.05 - 0.09*	0.10	0.18	0.38	0.95	1.8

\* depends on the starting wavelength of the grating, the higher the wavelength, the bigger the dispersion and the better the resolution.

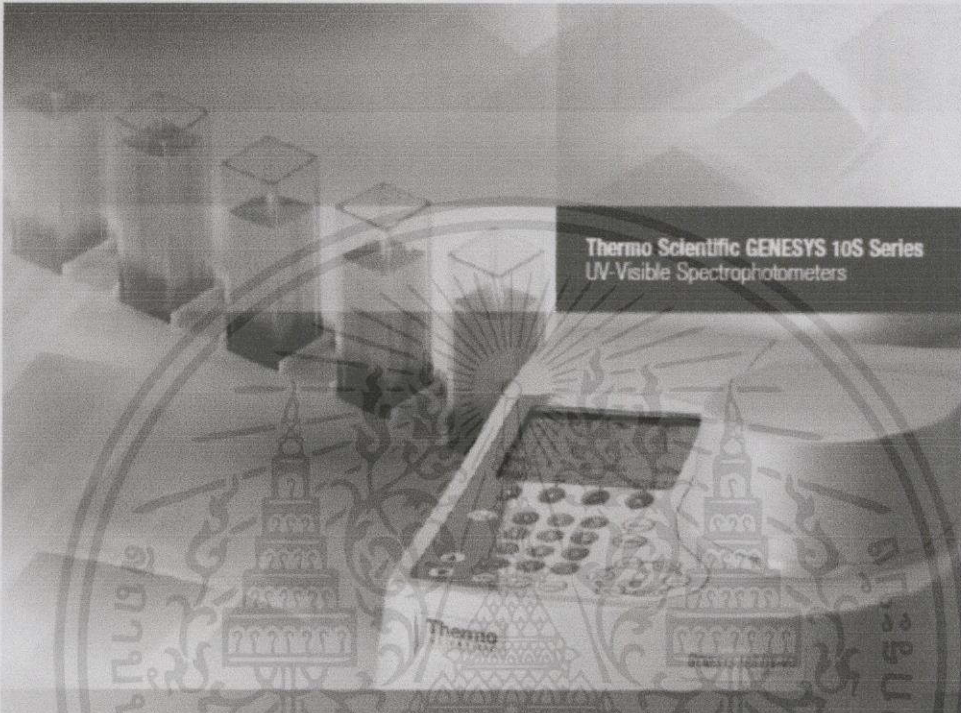
Ordering information

AvaSpec-ULS2048-US82

Fiber optic spectrometer, 25 mm Avantespec, 2048 pixel CCD detector, USB powered, high speed USB interface, fixed, Avantespec, USB interface cable, SpectraQ software, standard hardware options



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Thermo Scientific GENESYS 10S Series  
UV-Visible Spectrophotometers

Powerful performance  
**affordable price**

Accurate • Reliable • Easy-to-Use

**Thermo**  
SCIENTIFIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Research Quality Measurements with Routine Simplicity

A high-intensity xenon lamp and dual-beam optical geometry empower the **GENESYS 10S UV-Vis spectrophotometer** to deliver unsurpassed data quality throughout the entire UV-Visible range. Firing pulses of light only when the instrument is taking a measurement, the xenon lamp provides strong illumination from the UV to the near-IR region of the spectrum.

The GENESYS 10S UV-Vis uses dual-beam optics to make accurate measurements. Because the light from the xenon lamp is very intense, a beam splitter can be used to direct and measure a small portion of light to an internal reference detector without a loss of performance in sample measurement. This allows simultaneous measurement of the sample with real-time reference beam correction for each flash of the lamp.

The dual-beam optical configuration has performance advantages over single-beam and array detector instruments and ensures:

- Each measurement is as accurate as possible — reference beam correction on each data point
- Superior photometric accuracy over long measurements — no drift
- Peaks do not shift as the scan speed changes

### Flexible 1.8 nm Bandwidth

The GENESYS 10S UV-Vis balances regulatory compliance with sensitivity. A 1.8 nm spectral bandwidth allows the system to meet Pharmacopeia requirements for resolution. The 1.8 nm bandwidth permits more light energy to reach the sample resulting in lower detection limits and superior signal-to-noise performance.

### ① Xenon Flash Lamp

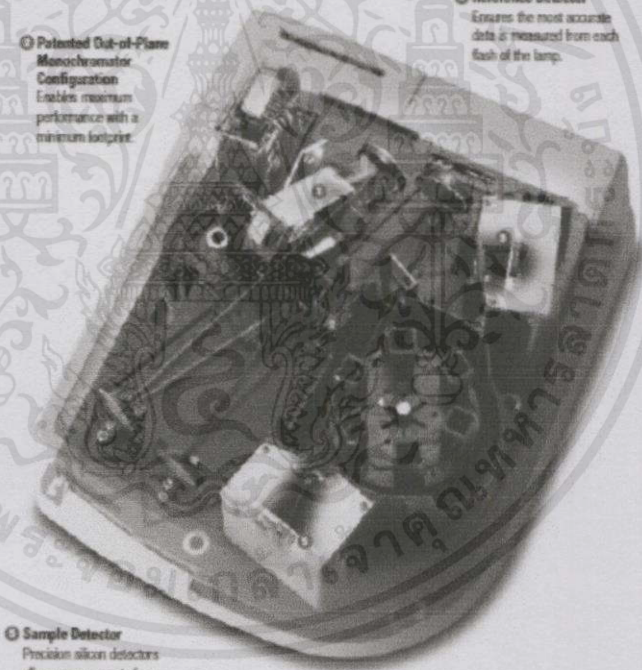
Long lifetime lamp is guaranteed for 2 years of continuous use.

### ② Patented Out-of-Plane Monochromator Configuration

Enables maximum performance with a minimum footprint.

### ③ Reference Detector

Ensures the most accurate data is measured from each flash of the lamp.



### ④ Sample Detector

Precision silicon detectors allow measurements from the UV to the near-IR.

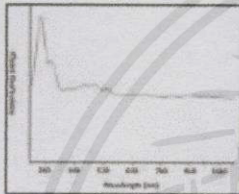
### ⑤ Integrated 6-Cell Changer

Increase your sample throughput with the automation of this integrated cell changer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Instant-On and Maintenance-Free Xenon Lamp

The xenon lamp in the GENESYS 10S UV-Vis spectrophotometer provides excellent performance over the entire wavelength range of 190–1100 nm. It also provides intense light in the UV region of the spectrum adding sensitivity for life science, environmental, and organic chemistry applications.



Guaranteed for 3 years of continuous use, the xenon lamp typically provides 5 to 7 years of maintenance-free performance. The lamp may not need replacing over the entire lifetime of the instrument – as it is only on when taking measurements. The benefits of the xenon lamp include:

- No warm-up – instant measurements
- Long life – rarely replaced over the life of the instrument
- Will not damage sensitive samples – does not continuously expose sample to intense UV light
- Temperature stability – does not change sample compartment temperature

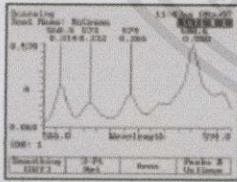
### Cost of Lamp Replacement

Instrument	Instrument Purchase	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	5-Year Cost of Ownership
Traditional Lamp Instrument	\$ 901	\$ 901	\$ 901	\$ 901	\$ 901	\$ 901	\$ 4,405
GENESYS 10S UV-Vis	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

*Savings with Xenon Lamp: \$ 4,405*

### Fast Wavelength Scanning

Wavelength scanning is one key aspect of UV-Visible spectrophotometric analysis. Enhanced scanning technology in the GENESYS 10S series acquires high-quality spectral data quickly. The GENESYS 10S series instruments accelerate through wavelength scans at speeds up to 4,200 nm/minute.



The exceptionally large photometric range allows you to accurately measure small absorbance changes even when using highly absorbing blank samples. Not only can you initiate a scan from the embedded local control software, you can also:

- Analyze scan data to determine peak and valley wavelengths
- Perform peak height and 3-point net calculations for a sloping baseline
- Save scan data to a USB memory device
- Print graphical scan data with the internal printer

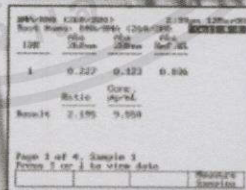
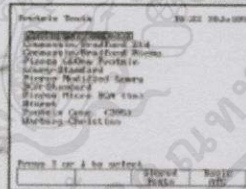
### Options for Life Science

Every life science lab is unique and often measures a variety of samples. Having a full-featured, monochromator-based spectrophotometer in your laboratory provides flexibility for routine and advanced assays. Whether you need the nanoCell accessory for occasional small-volume measurements or constant and precise Peltier temperature control, we offer a variety of accessories for your life science assays.

From simple nucleic acid concentration measurements to protein concentration and kinetics assays, the embedded software in our life science analyzers delivers the power you need in a convenient and easy-to-use interface. Pre-configured methods can be edited and then stored to personalize assay methods quickly. Example pre-configured methods include:

- Nucleic acid ratio and concentration (260/280 and 260/230)
- Direct protein at 280 nm and 205 nm
- Coomassie/Bradford (Standard and Micro)
- Lowry (Standard)
- BCA (Standard)
- Thermo Scientific™ Pierce™ Micro-BCA™, modified Lowry, and 660 Protein assays
- Cell growth (with scaling factor)

Add software control to measure multi-cell kinetics and to acquire data for sophisticated analysis. Ask your sales representative for more information about our dedicated life science analyzers.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## GENESYS 10S Series Specifications

	GENESYS 10S UV-Vis	GENESYS 10S Vis
Optical Design	Dual-Beam - Internal Reference Detector	Single-Beam
Spectral Bandwidth	1.8 nm	5.0 nm
Light Source (Typical Lifetime)	Xenon Flash Lamp (5 years, 3 years guaranteed)	Tungsten-Halogen Lamp (1000 hrs.)
Detectors	Dual Silicon Photodiodes	Silicon Photodiode
Wavelength		
Range	190-1100 nm	325-1100 nm
Accuracy		±1.0 nm
Repeatability		±0.5 nm
Scan Speed		11,000 nm/min
Scan Speed for Scanning		Up to 3600 nm/min
Data Interval for Scanning	0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 nm	1.0, 2.0, 3.0, 5.0 nm
Photometric		
Linear Range	Up to 3.5 A at 200 nm	Up to 3.0 A at 340 nm
Display	-0.1 A, -1.5-125NT, ±9999 C	-0.1-3.0 A, -0.3-125NT, ±9999 C
Accuracy	±0.005 A at 1.0 A 0.010 A K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0.5% or ±0.005 A, whichever is greater up to 2 A
Noise	<0.0005 at 0.0 A <0.0050 at 1.0 A <0.0080 at 2.0 A RMS at 200 nm	<0.001 A at 0.0 A <0.002 A at 2.0 A Peak-to-peak at 340 nm
Drift	<0.0005 A/hr	0.002 A/hr after warm-up
Stray Light	<0.06%T at 220, 340 nm (M1, NaClO <sub>2</sub> ) <1.0%T 190-200 nm (KCl)	<0.1%T at 340, and 400 nm
Display	Equipped with LCD backlight, 9.7 x 7.1 cm (3.8 x 2.8 in.)	
Keyboard	Rubber Membrane with tactile response keys	
Printer (optional)	40 column internal (text and graphics), External USB printer (HP PCL 3D and greater)	
Connectivity	USB Type A port for USB memory device (front panel) USB Type B port for optional computer connectivity (rear panel) USB Type A port for external printer (rear panel)	
Dimensions	30 W x 40 D x 25 H cm (11.8 x 15.7 x 9.8 in.)	
Weight	8.8 kg (19 lbs)	
Power Requirements	Selected Automatically 100-240 V, 50-60 Hz	

### Supplied as Standard

- GENESYS 10S Series spectrophotometer
- 9-position cell changer
- Single cell holder
- 100-240 V Automatic Power supply
- AC power cord
- Spare fuses
- Protective plastic cover
- USB memory device
- USB cable

Note: Software is not included with the instrument and must be ordered separately.

### Ordering Information

GENESYS 10S UV-Vis Instrument	Part Number
GENESYS 10S UV-Vis, US line cord	840-200100
GENESYS 10S UV-Vis, with internal printer, US line cord	840-200200
GENESYS 10S UV-Vis, European & UK line cords	840-200700
GENESYS 10S UV-Vis, with internal printer, European & UK line cords	840-200800
GENESYS 10S Vis Instrument	Part Number
GENESYS 10S Vis, US line cord	840-201000
GENESYS 10S Vis, with internal printer, US line cord	840-201000
GENESYS 10S Vis, European & UK line cords	840-200500
GENESYS 10S Vis, with internal printer, European & UK line cords	840-200600

www.thermo.com/10s

©2011 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved. SP is a registered trademark of ThermoFisher Development Company. US is a trademark of the International Standards Organization. All other trademarks are the property of Thermo Fisher Scientific Inc. or other suppliers. Specifications, terms and pricing are subject to change. Not all products are available in all countries. Please consult your local sales representative for details.



Thermo Fisher Scientific Corporation  
5000 Lakeside Drive, Pittsburgh, PA 15201-0001

Africa +27 11 822 8120  
Australia +61 3 9757 4300  
Austria +43 1 333 50 34 0  
Belgium +32 53 73 40 41  
Canada +1 800 530 8447  
China +86 10 6418 2668

Denmark +45 70 29 62 40  
Europe-Other +40 1 333 50 34 0  
Finland/Norway/Sweden +35 9 556 468 00  
France +33 1 60 82 43 00  
Germany +49 6102 458 1014

India +91 22 6742 9404  
Italy +39 02 950 591  
Japan +81 45 453 0100  
Latin America +1 561 999 6700  
Middle East +90 1 333 50 34 0  
Netherlands +31 76 578 56 55

New Zealand +64 9 980 6700  
New/Used US +40 1 333 50 34 0  
Spain +34 914 845 995  
Switzerland +41 61 716 77 00  
UK +44 1462 220555  
USA +1 800 532 4752

**Thermo**  
SCIENTIFIC  
Part of Thermo Fisher Scientific

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

# THORLABS

## DET36A Si Biased Detector

### User Guide



---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Chapter 5 Common Operating Circuits

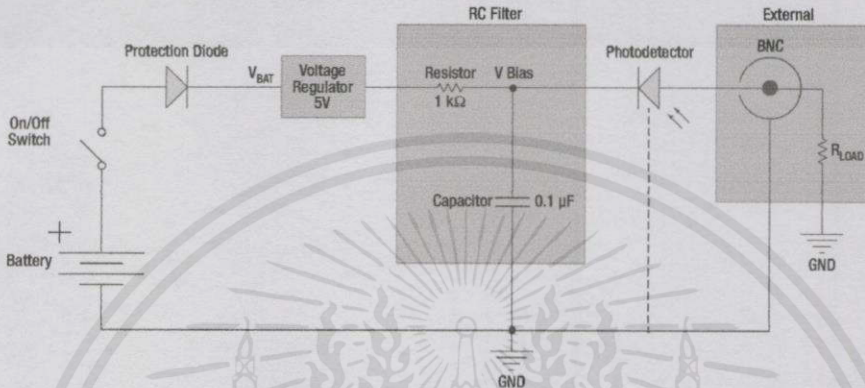


Figure 2 Basic DET Circuit

The DET Series Detectors are designed according to the circuit depicted above. The detector is reverse biased to produce a linear response with applied input light. The photocurrent generated is based upon the incident light and wavelength and can be viewed on the oscilloscope by attaching a load resistance on the output. The function of the RC Filter is to filter any high frequency noise from the input supply which may contribute to a noisy output.

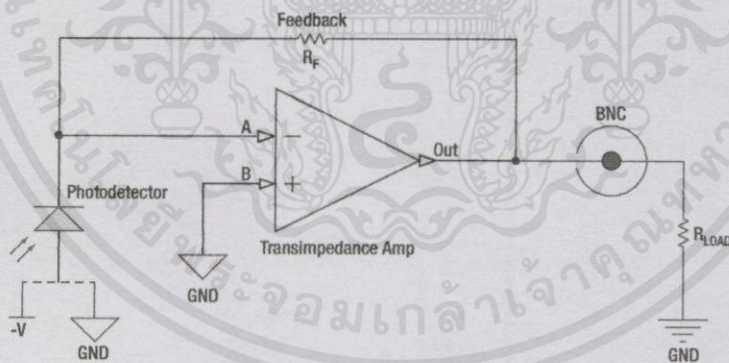


Figure 3 Amplified Detector

## Chapter 7 Specifications

All measurements performed with a 50  $\Omega$  load unless stated otherwise.

Electrical Specifications		
Detector		Silicon PIN
Active Area		3.6 x 3.6 mm (13 mm <sup>2</sup> )
Wavelength Range	$\lambda$	350 to 1100 nm
Peak Wavelength	$\lambda_p$	970 nm
Peak Response <sup>2</sup>	$\mathcal{R}(\lambda_p)$	0.65 A/W
Shunt Resistance	$R_{sh}$	1 G $\Omega$
Diode Capacitance	$C_J$	40 pF
Rise Time <sup>2,3</sup>	$t_r$	14 ns
NEP ( $\lambda_p$ )		$1.6 \times 10^{-14}$ W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Bias Voltage	$V_R$	10 V
Dark Current <sup>2</sup> (with 1 M $\Omega$ Load)	$I_D$	0.35 nA
Output Voltage	$V_{OUT}$	0 to 10 V
General		
On/Off Switch		Slide
Battery Check Switch		Momentary Pushbutton
Output		BNC (DC Coupled)
Package Size		2.8" x 1.9" x 0.83" (70 mm x 48 mm x 21 mm)
PD Surface Depth		0.13" (3.4 mm)
Weight		0.2 kg
Accessories		SM1T1 Coupler SM1RR Retainer Ring
Storage Temp		-20 to 70 °C
Operating Temp		10 to 50 °C
Battery		A23, 12 V <sub>DC</sub> , 40 mAh
Low Battery Voltage <sup>4</sup>		(See Battery Check)
$V_{OUT}$ (Hi-Z)		~9 V
$V_{OUT}$ (50 $\Omega$ )		~400 mV

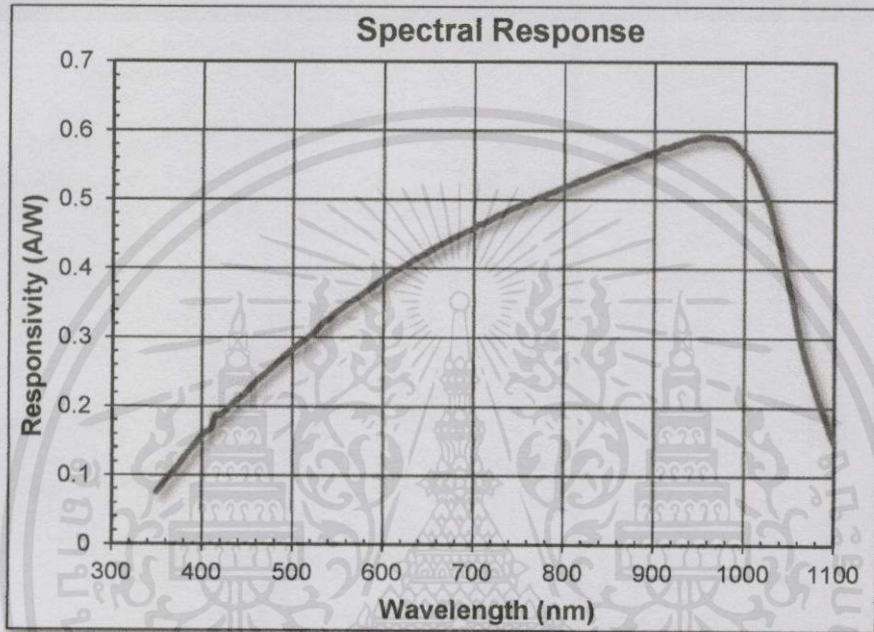
<sup>2</sup> Measured with specified bias voltage of 5.0 V

<sup>3</sup> Low battery voltage will result in slower rise times and decreased bandwidth.

<sup>4</sup> Assumes the battery voltage drops below 9.6 V. The reverse protection diode generates a 0.6 V drop.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

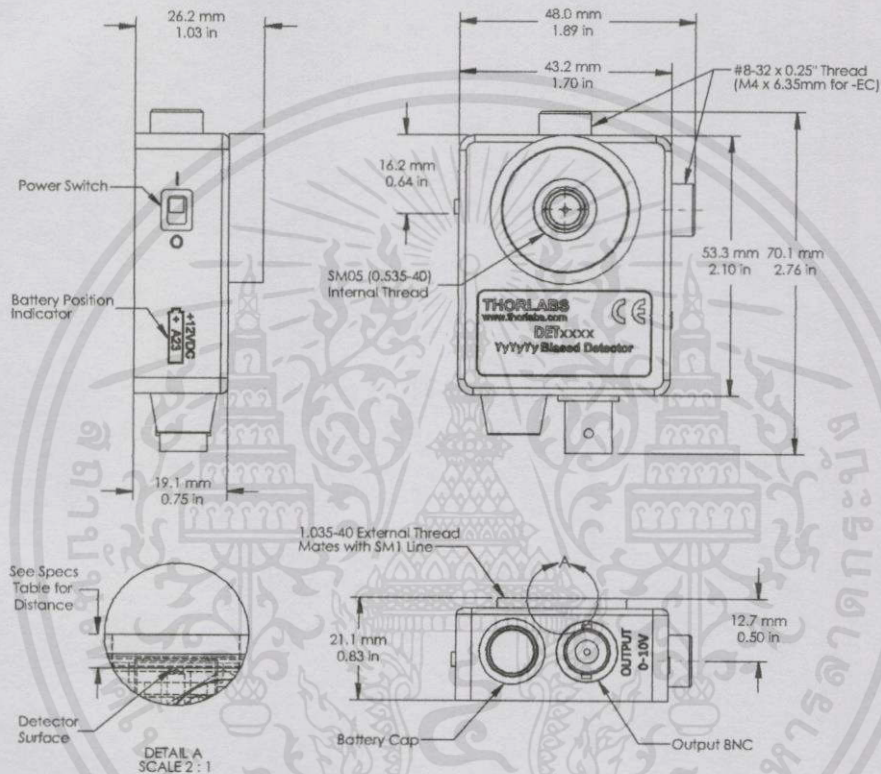
## 7.1. Response Curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2. Mechanical Drawing

Visit the web for a more detailed mechanical drawing.



# TAIWAN OASIS LED DATA SHEET



Part No.TOL-80aSBbCEa-B3H

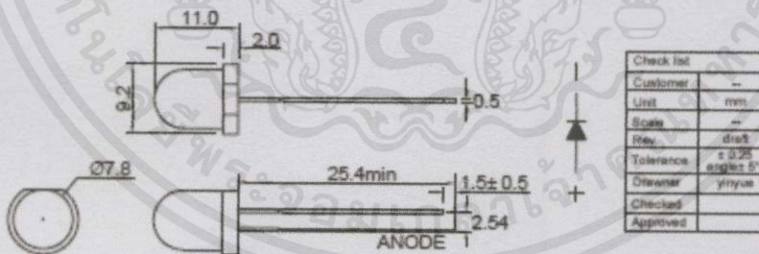
- ◆ Pb free product
  - ◆ Blue Emitting LED.
  - ◆ High Efficiency LED, φ8mm, Water Clear Package.
  - ◆ The device are made with InGaN Light Emitting Diode.
  - ◆ RoHS compliant
- Absolute Maximum Ratings**  
Tamb=25° C unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
DC Forward current		If	20	mA
Peak Forward current	1/10 duty cycle@1kHz	I <sub>fp</sub>	100	mA
Power dissipation	Tamb=60°C	Pv	105	mW
Junction temperature		Tj	85	°C
Operating temperature range		Tamb	-40~85	°C
Storage temperature range		Tstg	-40~100	°C
Soldering temperature	3-1±5s, 2mm from body	Tsd	260	°C

**Optical and Electrical Characteristics**  
Tamb=25° C unless otherwise specified

Parameter	Test condition	symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Dominant Wavelength	If=20mA	λd	465	470	475	nm
Spectrum Half Width	If=20mA	Δλ		35		nm
Forward Voltage	If=20mA	Vf		3.5	4.0	v
Reverse Current	Vr=5v	Ir			10	μA
Luminous intensity	If=20mA	Iv	1700	3600		md
Full viewing angle	If=20mA	2θ1/2		30		deg.

**Package dimensions & Internal Circuit Diagram**



We reserve the right to change to improve technical design and may do so without further notice.

[www.taiwan oasis.com.tw](http://www.taiwan oasis.com.tw)

DATE:25-Oct-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TAIWAN OASIS LED DATA SHEET



Part No. TOL-80aHGaCEa

- ◆ Pb free products.
- ◆ Green Emitting LED.
- ◆ High Efficiency LED,  $\phi 8\text{mm}$ , Water Clear Package.
- ◆ The device are made with GaP/GaP Light Emitting Diode.
- ◆ RoHS compliant

### Absolute Maximum Ratings

(Unless otherwise specified)

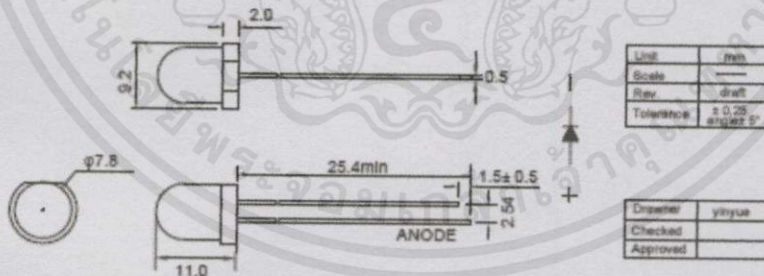
Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
DC Forward current		$I_f$	20	mA
Peak Forward current	1/10 duty cycle @ 1kHz	$I_{fp}$	100	mA
Power dissipation	$T_{amb}=50^\circ\text{C}$	$P_v$	75	mW
Junction temperature		Tj	85	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		$T_{amb}$	-40~85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	-40~100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	3s $\pm$ 5s, 2mm from body	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$

### Optical and Electrical Characteristics

(Unless otherwise specified)

Parameter	Test condition	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Peak Emission Wavelength	$I_f=20\text{mA}$	$\lambda_p$		568		nm
Spectrum Half Width	$I_f=20\text{mA}$	$\Delta\lambda$		30		nm
Forward Voltage	$I_f=20\text{mA}$	$V_f$		2.25	2.5	V
Reverse Current	$V_r=5\text{V}$	$I_r$			10	$\mu\text{A}$
Luminous Intensity	$I_f=20\text{mA}$	$I_v$	103	200		md
Full viewing angle	$I_f=20\text{mA}$	$2\theta_{1/2}$		30		deg.

### Package dimensions & Internal Circuit Diagram



We reserve the right to change to improve technical design and may do so without further notice.

[www.taiwan oasis.com.tw](http://www.taiwan oasis.com.tw)

DATE: 12-Oct-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TAIWAN OASIS LED DATA SHEET



Part No. TOL-80aMRaCEa-U3

- ◆ Pb Free Products.
- ◆ Ultra Red Emitting LED.
- ◆ High Efficiency LED,  $\varnothing 8\text{mm}$ , Water Clear Package.
- ◆ The device are made with AlGaInP Light Emitting Diode .
- ◆ RoHS compliant

## Absolute Maximum Ratings

Tested at 25°C unless otherwise specified

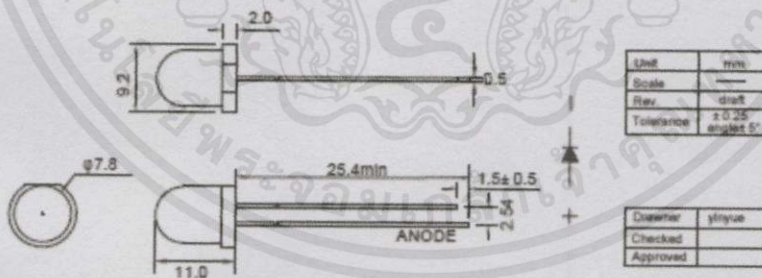
Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
DC Forward current		$I_f$	20	mA
Peak Forward current	1/10 duty cycle @ 1kHz	$I_{fp}$	100	mA
Power dissipation	$T_{amb}=50^\circ\text{C}$	$P_v$	105	mW
Junction temperature		$T_j$	85	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		$T_{amb}$	-40~85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	-40~100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	3s $\leq$ t $\leq$ 5s, 2mm from body	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$

## Optical and Electrical Characteristics

Tested at 25°C unless otherwise specified

Parameter	Test condition	symbol	Min.	Typ.	Max.	unit
Dominant Wavelength	$I_f=20\text{mA}$	$\lambda_d$		640		nm
Spectrum Half Width	$I_f=20\text{mA}$	$\Delta\lambda$		15		nm
Forward Voltage	$I_f=20\text{mA}$	$V_f$		2.0	2.4	V
Reverse Current	$V_r=5\text{V}$	$I_r$			100	$\mu\text{A}$
Luminous Intensity	$I_f=20\text{mA}$	$I_v$	202	400		mod
Full viewing angle	$I_f=20\text{mA}$	$2\theta_{1/2}$		30		deg.

## Package dimensions & Internal Circuit Diagram



We reserve the right to change to improve technical design and may do so without further notice.

[www.taiwan oasis.com.tw](http://www.taiwan oasis.com.tw)

DATE:13-Oct-07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้