สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างเครือข่ายทางด้านสิ่งแวดล้อมตามโปรโตคอลของโกลบ

นายกฤษฎา อุดมเวช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62308
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2549

.b 11420134
.i.....

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GLOBE Protocols Research Network Program

Mr. Krisada Udomwech

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for

the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การสร้างเครือข่ายทางด้านสิ่งแวดล้อมตามโปรโตคอลของโกลบ
นักศึกษา	นายกฤษฎา อุดมเวช
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ.กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน	
กรรมการ	อ.สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์	
กรรมการ	อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	

.....

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง การสร้างเครือข่ายทางด้านสิ่งแวดล้อมตามโปรโตคอลของโกลบ

นักศึกษา นายกฤษฎา อุดมเวช
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา 2548
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดสำหรับการวัดค่าความหนาแน่นของวัตถุในอากาศเชิงแสง (AOT) สำหรับสำรวจปริมาณของฝุ่นละออง ไอน้ำ หรือแก๊ส ที่เราเรียกว่า แอโรซอล นั้นก็คือ ซันโฟโตมิเตอร์ แต่ราคาของเครื่อง ซันโฟโตมิเตอร์ มันมีราคาค่อนข้างแพงด้วยเหตุนี้การต้องการทราบค่าคุณสมบัติของ แอโรซอล จึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นแล้วถ้าเราสามารถที่จะสร้างเครื่อง ซันโฟโตมิเตอร์ นี้ในราคาที่ถูกได้เพื่อใช้สำหรับสำรวจสภาพ แอโรซอล ที่เคลื่อนที่ในบรรยากาศโดยใช้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ที่มีราคาถูกในการสำรวจหาค่า เอโอที ตัวอย่างเช่น ใช้ แอลอีดีเป็น อุปกรณ์รับแสงโดยที่ แอลอีดี สามารถที่จะเป็นตัวกรองแสงในความยาวคลื่นที่ 550 นาโนเมตร และ 625 นาโนเมตร หรือใกล้เคียงซึ่งเป็นไปตามรูปแบบของ โกลบ ซันโฟโตมิเตอร์ และในส่วนของ การเก็บและประมวลผลข้อมูล เราใช้ คอมพิวเตอร์ แทน โดยที่แรกที่จะทำการสำรวจนั้นก็คือบริเวณชุมชนใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ เพราะว่า สนามบินเป็นสถานที่ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจะมีความเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศอยู่ตลอดเวลาและบริเวณนี้จะมีผลกระทบต่อชีวิตของผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ สนามบิน โดยที่การสำรวจทางด้านบรรยากาศนี้จะต้องมีการสำรวจอยู่ตลอดเวลา และนอกจากจะทำการสำรวจสภาพบรรยากาศและสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของสภาพบรรยากาศแล้ว ยังเป็นการให้เยาวชนเข้ามามีส่วนร่วมในการสำรวจครั้งนี้ด้วยเพราะนอกจากเยาวชนมีส่วนร่วมในการใช้เครื่องมือแล้ว ยังเป็นการเปิดโอกาศให้เยาวชนรู้จักกับวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title: GLOBE Protocols Research Network Program

Name: Mr. Krisada Udomwech

Department: Applied Physics Faculty of Science

Major: Applied Physics

Special Project Adviser: Assoc.Prof.Dr.Preecha Yupapin

Academic Year: 2005

ABSTRACT

Measurements of aerosol optical thickness (AOT) for explore quantity of powder, water vapor or gas to call that "Aerosol" it is Sun photometer. But price of Sun photometer it will very expensive because of this result if you want to explore quantity of aerosol will very hard. If can to built Sun photometer that inexpensive for use explore aerosol that move in atmosphere by use electronic component that inexpensive and can use for explore of AOT for example use LED is same Photodiode by LED can is filter in 550 nm (Green) and 625 nm (Red) or nearly by this concept come from GLOBE Sun photometer . And part of data logger will use computer for keep and calculate data. First place that use this Sun photometer is community around Bangkok Suvarnabhumi International Airport because Airport is large building that have different of atmosphere and it have result with life of people that live in community around airport. The explore atmosphere in this place in every time for control aerosol that come from airport that have result with community it will be necessity. For this project will use Sun photometer for explore aerosol at community around airport and open opportunity for student that life in this community use this measurements for explore aerosol of this project too. Because of them will life in community that nearly airport that can explored aerosol very easy. They will give opportunity to know science method in really.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถที่จะสำเร็จลุล่วงได้ด้วนความช่วยเหลือจาก คณาจารย์บุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงงานพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือดังมีรายนามต่อไปนี้

รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน	ที่ท่านอาจารย์ได้จัดหาหัวข้อที่น่าสนใจนี้ และคำปรึกษาตลอดการทำโครงงานพิเศษ
อาจารย์กีรยุทธ์ ศรีนวลจันทร์	ที่ให้คำปรึกษาทางด้านการทำโครงงานพิเศษ
ครอบครัวน้องนิสา ศรีปัญญา	ที่ให้ความร่วมมือในการใช้เครื่องมือบริเวณชุมชนที่อยู่ใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิ
ครอบครัวน้องอุมาพร อุดมเวช	ที่ให้ความร่วมมือในการใช้เครื่องมือบริเวณจังหวัดนครราชสีมา
ครอบครัวอุดมเวช	ที่ให้กำลังใจและคอยสอบถามความคืบหน้าของงานตลอดจนวิธีการทำโครงงานพิเศษ
คุณพุทธพร คงธรรม	ที่ให้กำลังใจและช่วยในการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาตลอดจนกำลังใจในการทำโครงงานพิเศษนี้

นายกฤษฎา อุดมเวช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
2.1.1 คลื่นวิทยุ	6
2.1.2 คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ	6
2.1.3 รังสีอินฟราเรด	7
2.1.4 แสง	7
2.1.5 รังสีอัลตราไวโอเลต	7
2.1.6 รังสีเอกซ์	8
2.2 ทฤษฎีแสง	8
2.2.1 การส่องสว่างและการเปรียบเทียบความเข้มแสง	9
2.2.2 หน้าคลื่นและรังสีของแสง	10
2.2.3 หลักของฮอยแกนส์	11
2.2.4 การสะท้อนของแสง	11
2.2.5 การหักเหและการสะท้อนกลับหมด	12
2.2.6 สี	16
2.2.7 สีของวัตถุ	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.8 การมองเห็นสี	17
2.2.9 การผสมสี	18
2.3 หลอด LED	18
2.3.1 ไดโอดคืออะไร	19
2.3.2 ไดโอดให้แสงได้อย่างไร	22
2.3.3 ข้อได้เปรียบ	23
2.5 การตรวจวัดรังสีความอาทิตย์	24
5.5.1 ปริมาณรังสี	24
2.5.2 รังสีอัลตราไวโอเลต	25
2.5.3 รังสีโลก	25
2.5.4 ปริมาณรังสีในทางอุตุนิยมวิทยา	26
2.5.5 เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ในทางอุตุนิยมวิทยา	26
2.5.6 การตรวจวัดรังสีชนิดพิเศษ	27
2.5.7 การตรวจวัดรังสีอัตราไวโอเลต	27
2.6 Visual Basic การเขียนโปรแกรมควบคุมผ่าน Network	28
2.6.1 TPC IP	28
2.6.2 การตรวจหาหมายเลข IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์	29
2.6.3 Server & Client	29
2.6.4 Ms Winsock Control 6	30
2.6.5 Add Winsock Control	31
2.6.6 Properties Winsock Dialo	33
2.6.7 Winsock Procedure	34
2.6.8 Winsock Properties & Events	35
2.6.9 Basic Winsock Process Connect	36
2.6.10 Add winsock Control	39
2.6.11 Winsock Procedure Code	44
2.6.12 Option Code	46
2.6.13 Menu Code	47
2.6.14 Using Program Connect	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.15 ขั้นตอนการสร้างไฟล์ข้อมูล แบบ Random ในภาษา Basic	50
2.6.16 ขั้นตอนการอ่านไฟล์ข้อมูล แบบ Random ในภาษา Basic	51
2.6.17 วิธีการเขียนโปรแกรมสำหรับส่งไฟล์ฝั่ง Server	52
2.6.18 วิธีการเขียนโปรแกรมสำหรับส่งไฟล์ฝั่ง Client	54
บทที่ 3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย	56
3.1 การศึกษาข้อมูล	56
3.2 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย	56
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	61
4.1 การหาค่า Optical Respond ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ	61
4.1.1 การหาค่า Optical Respond โดยใช้ LED สีเขียว	61
4.1.2 การหาค่า Optical Respond โดยใช้ LED สีแดง	63
4.2 ผลการทดลองเมื่อใช้เครื่องมือ	65
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	73
5.1 สรุปผลการทดลอง	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน 4

ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่นแสงในแต่ละสี 7

ตารางที่ 2.2 ค่าดัชนีการหักเหในตัวกลางต่าง ๆ 13

ตารางที่ 2.3 เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ในทางอุตุนิยมวิทยา 27

ตารางที่ 2.4 ค่าที่ตั้งใน Properties 33

ตารางที่ 2.5 ค่าสำหรับตั้งใน Control 41

ตารางที่ 4.1 ค่าโวล์ตที่ได้จากความยาวคลื่นต่าง ๆ (1) 61

ตารางที่ 4.2 ค่าโวล์ตที่ได้จากความยาวคลื่นต่าง ๆ (2) 63

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือบริเวณชุมชนใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิ 65

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือและส่งข้อมูลผ่าน Network บริเวณชุมชนใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิ 66

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่า AOT ที่ชุมชนใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ 67

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือบริเวณจังหวัดนครราชสีมา 69

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือและส่งข้อมูลผ่าน Network บริเวณจังหวัดนครราชสีมา 70

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่า AOT ที่ชุมชนใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 5
รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงที่ตามองเห็น 9
รูปที่ 2.4 แสดงหน้าคลื่นวงกลมรูปที่ 10
รูปที่ 2.5 แสดงหน้าคลื่นระนาบ 10
รูปที่ 2.6 แสดงหน้าคลื่นโดย ab เป็นหน้าคลื่นเดิม , a'b' เป็นหน้าคลื่นใหม่ 11
รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนของแสง 11
รูปที่ 2.8 แสดงการสะท้อนของแสงบนกระจกราบ 12
รูปที่ 2.9 แสดงรังสีตกกระทบ รังสีหักเห และรังสีสะท้อนของแสง เมื่อแสงเดินทางจากอากาศไปยังน้ำ 13
รูปที่ 2.10 แสงหักเหเบนออกจากเส้นปกติ 14
รูปที่ 2.11 แสงหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติ 15
รูปที่ 2.12 แสดงการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง 15
รูปที่ 2.13 เมื่อแสงขาวผ่านปริซึมจะแยกเป็นแสงสีต่าง ๆ 16
รูปที่ 2.14 แผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้สีแดงผ่านได้ 16
รูปที่ 2.15 หลอด LED 18
รูปที่ 2.16 อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิดโซนดีพลีชั่น เป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน 20
รูปที่ 2.17 เมื่อต่อขั้วลบของแบตเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เหมือนกับไม่มีความต้านทาน 21
รูปที่ 2.18 เมื่อต่อขั้วบวกของแบตเข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P โซนดีพลีชั่นมีขนาดกว้างขึ้น อิเล็กตรอนและโฮลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ 21
รูปที่ 2.19 ควบคุมทิศทางของแสงในหลอด LED 23
รูปที่ 2.20 Windows/Winipcfg.exe 29
รูปที่ 2.21 ServerและClient 30
รูปที่ 2.22 Add Winsock Control 31
รูปที่ 2.23 Component of VB 32
รูปที่ 2.24 Properties of VB 33
รูปที่ 2.25 Add Winsock Control 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 การจัดวาง Control ต่าง ๆ 40
รูปที่ 2.27 Using Program Connect 48
รูปที่ 2.28 Using Program Connect 49
รูปที่ 2.29 Using Program Connect 50
รูปที่ 3.1 Sun photometer 56
รูปที่ 3.2 Surface spectrum 57
รูปที่ 3.3 แบบการทดลองการหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม 58
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความไวของLED LMP-D600 58
รูปที่ 3.5 พื้นที่บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ 59
รูปที่ 3.6 พื้นที่ชุมชนบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิที่ใช้สำรวจ 59
รูปที่ 3.7 โปรแกรม Visual Basic 60
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า Optical Respond ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ 62
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า Optical Respond ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ 64
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ AOT 68
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ AOT 68
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ AOT 72
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ AOT 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ

สิ่งแวดล้อมคือ สิ่งที่อยู่รอบตัวเรา คือสิ่งที่เป็นส่วนหนึ่งของการดำรงชีวิต และในทุกวันนี้สิ่งที่อยู่รอบตัวเรานั้น ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากในทางลบ ก่อให้เกิดผลกระทบกับการใช้ชีวิตของมนุษย์อย่างชัดเจนมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้น การที่จะสนใจในการศึกษา การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมจึงเป็นเรื่องที่น่าจะมีความสำคัญอย่างมากสำหรับในปัจจุบัน ซึ่งในปัจจุบันนี้ ได้มีการจัดตั้งเครือข่ายทางด้านสิ่งแวดล้อมโลก หรือที่เรียกว่า GLOBE ย่อมาจาก Global Learning and Observation to Benefit the Environment เป็นโครงการวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมและสิ่งแวดล้อมศึกษา นานาชาติบริหารโดยองค์กรแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา และประเทศไทยเป็นสมาชิกของ GLOBE ประเทศที่85 โดยการเซ็นสัญญาระหว่างรัฐบาลไทย กับ รัฐบาสหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2542 และสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)จะเป็นผู้ประสานงาน ระหว่าง GLOBE กับโรงเรียนที่เข้าร่วม

GLOBE คืออะไร

GLOBE ย่อมาจาก Global Learning and Observation to Benefit the Environmentเป็นโครงการวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมและสิ่งแวดล้อมศึกษา นานาชาติบริหารโดยองค์กรแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา

- National Oceanic and Atmospheric Administration
- National Aeronautics and Space Administration
- National Science Foundation
- Department of Education and State

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดมุ่งหมายของ GLOBE มีลักษณะอย่างไร

ให้นักเรียน ครู และชุมชน ทั่วโลก สามารถพัฒนาศักยภาพในการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะเข้าใจความสัมพันธ์ของระบบต่างๆ ของโลก และ ตระหนักถึงสภาพและปัญหาสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่นและระดับโลก(อากาศ น้ำ ดิน สิ่งปกคลุมดิน/ชีววิทยา)

วิธีการวิจัยค้นคว้าของ GLOBE มีลักษณะอย่างไร

ให้นักเรียนอายุตั้งแต่ 5-18 ปี ทั่วโลก ทำการศึกษาค้นคว้าสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นของตนโดยการสังเกตตรวจวัดภาคสนามด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ข้อมูลที่ได้ส่งเข้าทางเพื่อเป็นข้อมูลที่จะใช้ในการวิจัยค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์ของ GLOBE และนักเรียนอื่นๆ ทั่วโลก

สิ่งที่จะทำร่วมกับ GLOBE

ในปัจจุบันได้มีการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิขึ้น เป็นผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านบรรยากาศโดยตรง ด้วยเหตุนี้ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม บริเวณรอบสนามบินสุวรรณภูมิจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะ นอกจากเราจะศึกษาสภาพความแวดล้อม ก่อนและหลังจากสร้างสนามบินแล้วนำข้อมูลมาศึกษาวิจัยแล้ว เรายังสามารถนำการวิจัยนี้ไปใช้ในการรองรับมาตรฐานสิ่งแวดล้อมให้กับสนามบินได้อีกด้วย โดยในงานวิจัยนี้นักศึกษามีหน้าที่ในการสร้างเครื่องมือ ตรวจวัดปริมาณฝุ่นในอากาศ หรือเรียกว่า Sun photometer เพื่อเป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการตรวจวัด โดยจะมีนักเรียนจากโรงเรียนต่าง ๆ รอบสนามบินสุวรรณภูมิ เป็นผู้ที่จะนำเครื่องมือนี้ไปใช้ในการวัดและบันทึกผลการทดลอง และจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาโดย นักวิทยาศาสตร์ ในโครงการของ Globe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างเครือข่ายทางด้านสิ่งแวดล้อม (GLOBE)

2. ศึกษาหลักการทำงานและรูปแบบของอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นในอากาศ (Sun Photometer)

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อมบริเวณรอบสนามบินสุวรรณภูมิทั้งขณะทำการก่อสร้างและเปิดบริการ โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นร่วมกับเครือข่าย GLOBE

4. เพื่อแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบสนามบินสุวรรณภูมิ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในด้านใด เพื่อที่จะได้หาทางแก้ไขในกรณีที่สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปในด้านลบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษารูปแบบและหลักการทำงานของเครื่อง Sun photometer และทำการสร้างเครื่อง Sun Photometer ตามรูปแบบมาตรฐานของ Globe จากนั้นทำการทดลองวัดปริมาณฝุ่นละอองที่จำลองสถานการณ์ขึ้นในห้องปฏิบัติการ บันทึกผลการทดลองที่ได้ และทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานจนได้มาตรฐานตามที่ Globe รับรอง จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปใช้ในการศึกษา ปริมาณฝุ่นรอบสนามบินสุวรรณภูมิ โดยมีสมาชิกของ Globe เป็นผู้ใช้อุปกรณ์นี้ในการทดลอง เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างเครือข่าย Globe ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

กิจกรรม	ตค.-พย.48	ธค.48-มค.49	กพ.-มีค.49	เมย.-พค.49	มิย-กค.49	สค-กย.49
1. ศึกษาทฤษฎี	←→					
2. สร้างเครื่องมือวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ	←	→←	→			
3. ทดสอบเครื่องมือในห้องวิจัย		←	→←	→		
4. วัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ ณ สถานที่จริง				←→	→←	
5. เขียนรายงานสรุปผลการทดลอง						←→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งที่มีผลกระทบกับชีวิตมนุษย์มากที่สุด สำหรับทุก ๆ อย่างดังนั้นการที่เราเริ่มที่จะสนใจการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องที่ไม่น่าจะมองข้ามไป เพราะ นอกจากเราจะได้รู้ว่าในอนาคต สิ่งแวดล้อมจะมีแนวโน้มไปในทางไหนแล้ว เรายังสามารถที่จะรู้ได้ว่าในปัจจุบันเราต้องทำอย่างไรเพื่อที่จะมี สิ่งแวดล้อมที่เราต้องการสำหรับอนาคต ในอนาคตอันใกล้นี้ พื้นที่บริเวณ เขตลาดกระบัง จะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เนื่องจาก สนามบินสุวรรณภูมิ เป็นการดีที่ว่าเราจะมีเศรษฐกิจ และเม็ดเงินที่มากขึ้น แต่เมื่อมองอีกแง่หนึ่งแล้ว สภาพแวดล้อมบริเวณนี้ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ในฐานะที่ เป็นสถาบันชั้นนำทางด้านเทคโนโลยี และเป็นสถาบันที่อยู่ได้เพราะ ชุมชนรอบข้าง นอกจากเราจะใช้ความรู้ในการพัฒนาเทคโนโลยีแล้ว เราน่าจะที่จะนำความรู้มาพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนด้วย

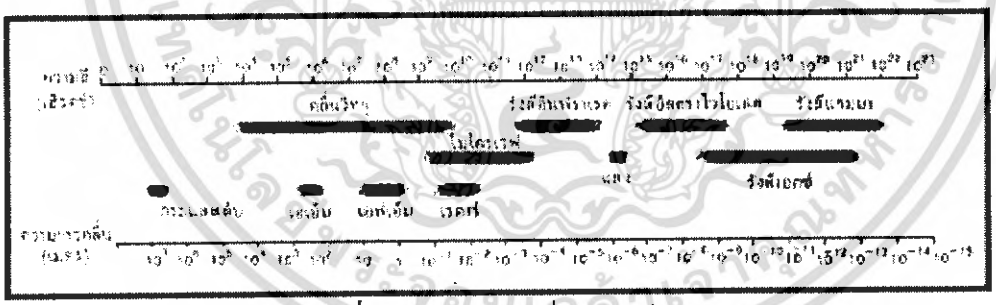
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

การดำรงชีวิตของมนุษย์นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันล้วนต้องพึ่งทรัพยากรจากธรรมชาติเป็นหลัก แต่ในปัจจุบันดูเหมือนว่าการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ของมนุษย์จะมากเกินไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเราสามารถเห็นได้อย่างเด่นชัดมากในปัจจุบัน ดังนั้นการใส่ใจในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาตินี้ถือได้ว่าเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างมากในปัจจุบัน และมีการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติอย่างหนึ่งที่เป็นที่น่าสนใจนั้นก็คือ การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ เนื่องด้วยปัจจุบันปัญหาทางมลพิษทางอากาศมีมาก และมีการก่อสร้างตลอดเวลา ทำให้ปริมาณฝุ่นในธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ดังนั้นการที่เราจะให้ความสนใจกับเรื่องนี้ จึงถือได้ว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างหนึ่ง

2.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่ต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้างเราเรียกช่วงความถี่เหล่านี้ว่า **"สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า"** และมีชื่อเรียกช่วงต่าง ๆ ของความถี่ต่างกันตามแหล่งกำเนิดและวิธีการตรวจวัดคลื่น



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่าง ๆในสเปกตรัมมีสมบัติที่สำคัญเหมือนกันคือ เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่ากับแสงและมีพลังงานส่งผ่านไปพร้อมกับคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นมีชื่อเรียกดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุมีความถี่ช่วง 10^4-10^9 Hz (เฮิรตซ์) ใช้ในการสื่อสาร คลื่นวิทยุมีการส่งสัญญาณ 2 ระบบคือ

2.1.1.1 ระบบเอเอ็ม (A.M. = Amplitude Modulation)

ระบบเอเอ็ม มีช่วงความถี่ 530 – 1600 kHz (กิโลเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้าไปกับคลื่นวิทยุเรียกว่า "คลื่นพาหะ" โดยแอมพลิจูดของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง

ในการส่งคลื่นระบบ A.M. สามารถส่งคลื่นได้ทั้งคลื่นดินเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงขนานกับผิวโลกและคลื่นฟ้าโดยคลื่นจะไปสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แล้วสะท้อนกลับลงมา จึงไม่ต้องใช้สายอากาศตั้งสูงรับ

2.1.1.2 ระบบเอฟเอ็ม (F.M. = Frequency Modulation)

ระบบเอฟเอ็ม มีช่วงความถี่ 88 - 108 MHz (เมกะเฮิรตซ์) สื่อสารโดยใช้คลื่นเสียงผสมเข้ากับคลื่นพาหะ โดยความถี่ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณคลื่นเสียง

ในการส่งคลื่นระบบ F.M. ส่งคลื่นได้เฉพาะคลื่นดินอย่างเดียว ถ้าต้องการส่งให้คลุมพื้นที่ต้องมีสถานีถ่ายทอดและเครื่องรับต้องตั้งเสาอากาศสูง ๆ รับ

2.1.2 คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟ

คลื่นโทรทัศน์และไมโครเวฟมีความถี่ช่วง 10^8 - 10^{12} Hz มีประโยชน์ในการสื่อสาร แต่จะไม่สะท้อนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แต่จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไปนอกโลก ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์จะต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะ ๆ เพราะสัญญาณเดินทางเป็นเส้นตรง และผิวโลกมีความโค้ง ดังนั้นสัญญาณจึงไปได้ไกลสุดเพียงประมาณ 80 กิโลเมตรบนผิวโลก อาจใช้ไมโครเวฟนำสัญญาณจากสถานีส่งไปยังดาวเทียม แล้วให้ดาวเทียมนำสัญญาณส่งต่อไปยังสถานีรับที่อยู่ไกล ๆ

เนื่องจากไมโครเวฟจะสะท้อนกับผิวโลหะได้ดี จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจหาตำแหน่งของอากาศยาน เรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า เรดาร์ โดยส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครเวฟออกไปกระทบอากาศยาน และรับคลื่นที่สะท้อนกลับจากอากาศยาน ทำให้ทราบระยะห่างระหว่างอากาศยานกับแหล่งส่งสัญญาณไมโครเวฟได้

2.1.3 รังสีอินฟาเรด (Infrared rays)

รังสีอินฟาเรดมีช่วงความถี่ 10^{11} - 10^{14} Hz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-3} - 10^{-6} เมตร ซึ่งมีช่วงความถี่คาบเกี่ยวกับไมโครเวฟ รังสีอินฟาเรดสามารถใช้กับฟิล์มถ่ายรูปบางชนิดได้ และใช้เป็นการควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรลกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้

2.1.4 แสง (Light)

แสงมีช่วงความถี่ 10^{14}Hz หรือความยาวคลื่น $4x10^{-7}$ - $7x10^{-7}$ เมตร เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ประสาทตาของมนุษย์รับได้ สเปคตรัมของแสงสามารถแยกได้ดังนี้

สี	ความยาวคลื่น (nm)
ม่วง	380-450
เขียว	500-570
เหลือง	570-590
[illegible]	590-610
[illegible]	[illegible]

ตารางที่ 2.1 ความยาวคลื่นแสงในแต่ละสี

2.1.5 รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet rays)

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ รังสีเหนือม่วง มีความถี่ช่วง 10^{15} - 10^{18} Hz เป็นรังสีตามธรรมชาติส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดประจุอิสระและไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ รังสีอัลตราไวโอเลต สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ แต่มีอันตรายต่อผิวหนังและตาคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 รังสีเอกซ์ (X-rays)

รังสีเอกซ์ มีความถี่ช่วง 10^{16} - 10^{22} Hz มีความยาวคลื่นระหว่าง 10^{-8} - 10^{-13} เมตร ซึ่งสามารถทะลุสิ่งกีดขวางหนา ๆ ได้ หลักการสร้างรังสีเอกซ์คือ การเปลี่ยนความเร็วของอิเล็กตรอน มีประโยชน์ทางการแพทย์ในการตรวจดูความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกาย ในวงการอุตสาหกรรมใช้ในการตรวจหารอยร้าวภายในชิ้นส่วนโลหะขนาดใหญ่ ใช้ตรวจหาอาวุธปืนหรือระเบิดในกระเป๋าเดินทาง และศึกษาการจัดเรียงตัวของอะตอมในผลึก

2.1.7 รังสีแกมมา (γ-rays)

รังสีแกมมามีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้ามีความถี่สูงกว่ารังสีเอกซ์ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์และสามารถกระตุ้นปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง

2.2 ทฤษฎีทางแสง (Light)

ก่อนศตวรรษที่ 17 การศึกษาเรื่องแสงเชื่อกันว่า แสงเป็นอนุภาคที่ถูกส่งออกมาจากต้นกำเนิดแสง แสงสามารถผ่านทะลุวัตถุโปร่งใสและสะท้อนจากผิวของวัตถุทึบแสงได้ เมื่ออนุภาคเหล่านี้ผ่านเข้าสู่ตาจะทำให้เกิดความรู้สึกในการมองเห็น

นิวตัน (Newton) ได้เสนอทฤษฎีอนุภาคของแสง (Particle theory) ซึ่งสามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์สะท้อนและ18การหักเหของแสง

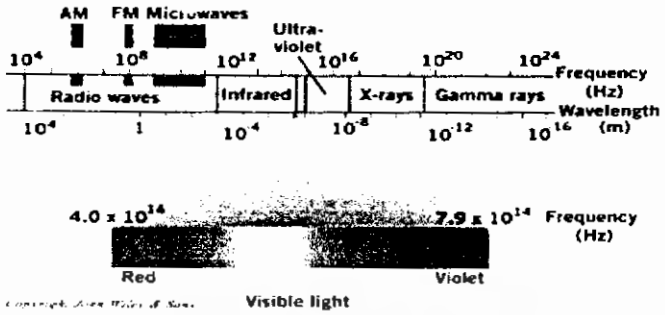
ฮอยเกนส์ (Christain Huygen) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแสง (Waves Theory) กล่าวว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเดินทางในลักษณะของคลื่น นอกจากนี้ยังได้แสดงให้เห็นว่า กฎการสะท้อนและการหักเหสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีคลื่นแสง

ทอมัส ยัง (Thomas Young) ได้ค้นพบปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสง

เฟรสเนล (Augustin Fresnel) ได้ทำการทดลอง เกี่ยวกับการ แทรกสอด และการเลี้ยวเบนของแสง

แสงช่วงที่ตาสามารถ มองเห็นมีค่าอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร และมีความถี่อยู่ในช่วง 103-105 เฮิรตซ์ โดยแสงสีม่วงซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด หรือ ความถี่สูงสุด ส่วนแสงสีอื่น ๆ ให้สเปคตรัมของแสงในช่วงนี้ก็มีความยาวคลื่นสูงขึ้นตามลำดับ จนถึงแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด หรือมีความถี่ต่ำที่สุด ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงที่ตามองเห็น

คลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าแสงสีแดงเรียกว่า **"อินฟราเรด" (Infrared)** ส่วนคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วงเรียกว่า **"อัลตราไวโอเลต" (Ultraviolet)**

2.2.1 การส่องสว่างและการเปรียบเทียบความเข้มแสง

แสงเป็นพลังงาน สามารถทำให้เกิดความสว่างบนผิววัตถุ โดยปริมาณการส่องสว่างของแสงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ

ก. ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิด

ข. ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงกับพื้นที่ที่แสงตกกระทบ

ค. มุมตกกระทบของรังสีแสง

ความสว่าง (Luminance) ของผิวใด ๆ หมายถึงค่าความสว่างที่ตกบนพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ถ้าพิจารณาผิวที่อยู่ห่างจากหลอดไฟที่มีกำลังส่องสว่าง 1 แคลเดลลา เป็นระยะทาง 1 เมตร ความเข้มแห่งการส่องสว่างจะมีค่า 1 ลักซ์ (lux) โดยความเข้มแห่งการส่องสว่างจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง

$$E = I/R^2 \qquad (2.1)$$

ให้ E คือ ความสว่าง (lux)

I คือ กำลังส่องสว่าง (แคนเดลลา, cd) โดยที่ $I = \frac{P}{4\pi R^2}$, P แทนกำลังของ หลอดไฟ (Watt) และ $4\pi R^2$ คือ พื้นที่ผิวที่แสงตกกระทบ (m^2)

R คือ ระยะห่างจากหลอดไฟถึงผิวที่พิจารณา (m)

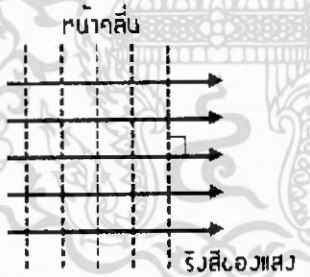
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 หน้าคลื่นและรังสีของแสง

เมื่อเกิดคลื่นบนผิวน้ำจะเห็นหน้าคลื่นแผ่ออกจากจุดกำเนิดคลื่นเป็นรูปวงกลม แต่ถ้าเป็นแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดก็จะแผ่หน้าคลื่นออกไปเป็นรูปทรงกลม ถ้าลากเส้นจากจุดกำเนิดคลื่นออกไปในแนวตั้งฉากกับหน้าคลื่น เส้นที่ลากออกไปนี้เราเรียกว่า รังสีของแสง

ในกรณีที่แหล่งกำเนิดแสงอยู่ไกลมาก ๆ หน้าคลื่นของแสงจะเป็นหน้าคลื่นระนาบ ดังนั้นรังสีของแสงจึงเป็นเส้นตรงขนานกัน ซึ่งรังสีของแสงสามารถบอกถึงลักษณะ การเคลื่อนที่ของคลื่นและหน้าคลื่นได้ ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับแสงจึงใช้รังสีของแสงแทนหน้าคลื่น

รูปที่ 2.4 แสดงหน้าคลื่นวงกลมรูปที่

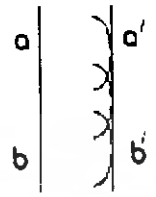


รูปที่ 2.5 แสดงหน้าคลื่นระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 หลักของฮอยเกนส์

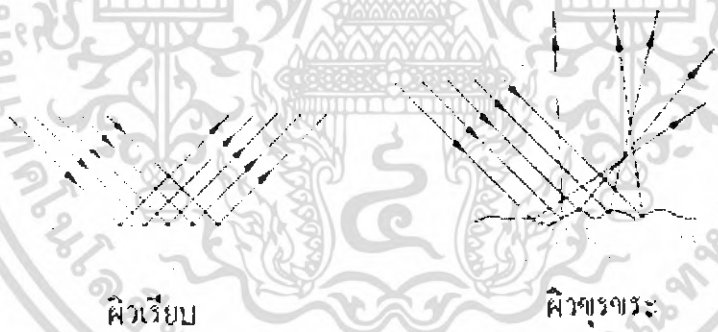
หลักของฮอยเกนส์ กล่าวว่า **"ทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นเดียวกัน อาจถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นชุดใหม่ ที่แผ่ออกไปทุกทิศทางด้วยอัตราเร็วเท่าเดิม"** ดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงหน้าคลื่นโดย ab เป็นหน้าคลื่นเดิม , a'b' เป็นหน้าคลื่นใหม่

2.2.4 การสะท้อนของแสง

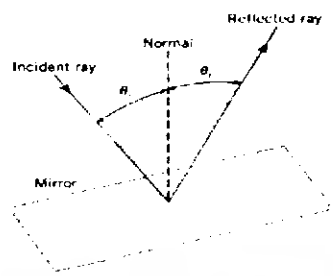
เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งตกกระทบกับผิวของอีกตัวกลางหนึ่ง แสงจะเกิดการสะท้อนขึ้นกลับมาในตัวกลางเดิม โดยแสงที่สะท้อนออกมาจะเปลี่ยนแปลงตามพื้นผิว โดยถ้าพื้นผิวเรียบแสงสะท้อนจะเป็นระเบียบ แต่ถ้าผิวขุรขระ แสงสะท้อนจะกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงการสะท้อนของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎการสะท้อนของแสง (Law of Reflection)



รูปที่ 2.8 แสดงการสะท้อนของแสงบนกระจกราบ

เมื่อฉายแสงลงบนผิวราบเรียบ เช่น กระจกเงา แสงที่สะท้อนออกมาจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง จะได้

มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

$$\theta_i = \theta_r \qquad (2.2)$$

2.2.5 การหักเหและการสะท้อนกลับหมด

2.2.5.1 อัตราเร็วแสงในตัวกลางใด ๆ

แสงเคลื่อนที่ในสุญญากาศด้วยอัตราเร็ว 3×10^8 m/s ส่วนในตัวกลางอื่น ๆ อัตราเร็วของแสงจะเปลี่ยนไป โดยมีค่าขึ้นกับดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางนั้น ๆ ถ้าให้ n แทนดัชนีหักเห (Refractive Index) ของตัวกลางใด ๆ จะได้

$$n = \frac{c}{v} \qquad (2.3)$$

โดย c แทน อัตราเร็วแสงในสุญญากาศหรืออากาศ (m/s)

V แทน อัตราเร็วแสงในตัวกลางใด ๆ (m/s)

ดังนั้นอัตราเร็วแสงในตัวกลางใด ๆ มีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{c}{n} \qquad (2.4)$$

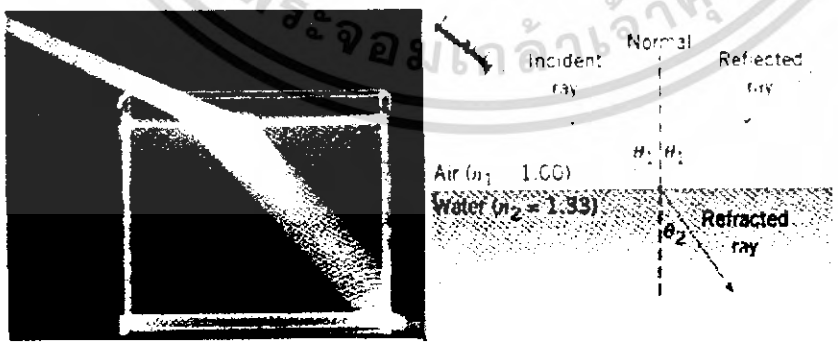
ค่าดัชนีหักเหของวัตถุโดยทั่วไปหาจากแสงสีเหลืองที่อุณหภูมิ 20°C ซึ่งมีค่าต่างๆ ตาม ตารางต่อไปนี้

ตัวกลาง	ดัชนีหักเห
แก้ว	1.5 – 1.9
น้ำ	1.3330
เบนซิน	1.5012
คาร์บอนไดซัลไฟด์	1.6276
เพชร	2.417
น้ำแข็ง	1.309

ตารางที่ 2.2 ค่าดัชนีการหักเหในตัวกลางต่าง ๆ

2.2.5.2 การหักเหของแสง (Refraction)

การหักเหของแสง (Refraction) เกิดจากการที่แสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน เป็นผลทำให้ทิศทางของแสงเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งในขณะที่แสงเกิดการหักเหก็จะเกิดการสะท้อนของแสงขึ้นพร้อมๆ กันด้วย ดังรูป



รูปที่ 2.9 แสดงรังสีตกกระทบ รังสีหักเห และรังสีสะท้อนของแสง เมื่อแสงเดินทางจากอากาศไปยังน้ำ

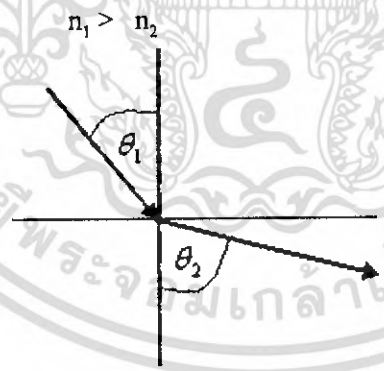
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป เมื่อแสงเดินทางผ่านอากาศ(ตัวกลางที่1) มีค่าดัชนีหักเห n_1 ไปยังน้ำ (ตัวกลางที่2) มีค่าดัชนีหักเห n_2 จะเห็นได้ว่ารังสีของแสงที่เข้าไปในตัวกลางที่ 2 มีแนวทางเปลี่ยนไปจากแนวรังสีตกกระทบเดิม แสงจะเกิดการหักเห โดยถ้าให้ θ_1 คือ มุมที่รังสีตกกระทบทำกับเส้นปกติ และ θ_2 คือมุมที่รังสีหักเหทำกับเส้นปกติ เรียกว่า มุมหักเห (Angle of refraction) จากกฎของสเนลล์จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ (θ_1) และมุมหักเห (θ_2) และค่าดัชนีหักเหในตัวกลางทั้งสอง n_1 และ n_2 ดังนี้

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \qquad (2.5)$$

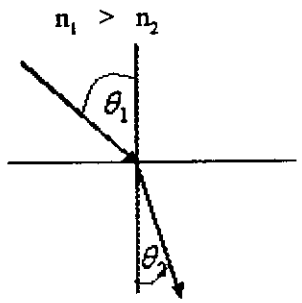
โดย แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหมากไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อย (จากตัวกลางที่ทึบกว่าไปยังตัวกลางที่โปร่งกว่า) จะทำให้มุมหักเหมีค่ามาก ($\theta 1 < \theta 2$) หรืออาจกล่าวได้ว่าแสงหักเหจะเบนออกจากเส้นปกติ

แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหน้อยไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมาก (จากตัวกลางที่โปร่งกว่าไปยังตัวกลางที่ทึบกว่า) จะทำให้มุมหักเหมีค่าน้อย ($\theta 1 > \theta 2$) แสงหักเหจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ดังรูป



รูปที่ 2.10 แสงหักเหเบนออกจากเส้นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสงหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติ

ถ้าให้ ${}_1n_2$ คือ ดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1 เทียบกับตัวกลางที่ 2 โดยที่

$n_1 = \frac{c}{v_1}$ และ $n_2 = \frac{c}{v_2}$ จากสมการที่ (2.4) จะมีค่าดังนี้คือ

$$ {}_1n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \qquad (2.6) $$

2.2.5.3 การสะท้อนกลับหมด (Total Reflection)

รูปที่ 2.12 แสดงการหักเหและการสะท้อนกลับหมดของแสง

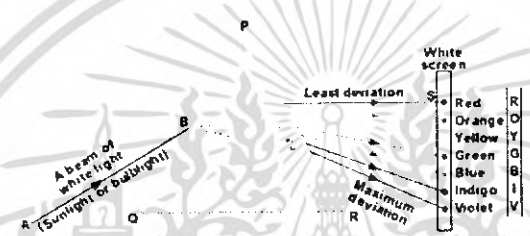
แสงที่เดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหมาก (n_1) ไปสู่ตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหน้อย (n_2) ถ้าให้แสงตกกระทบทำมุมกับเส้นปกติจะทำให้เกิดมุมหักเหของแสงเบนออกจากเส้นปกติ **(ดังรูป 2.12)** แต่ถ้าให้แสงตกกระทบจนทำให้มุมหักเหมีค่าเท่ากับ มุมตกกระทบนี้จะเรียกว่า มุมวิกฤต (Critical Angle, θC) **(ดังรูป 2.12)** และ ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมตก กระทบโตกว่ามุมวิกฤต จะเกิดการสะท้อนเพียงอย่างเดียวเราเรียกว่า การสะท้อนกลับหมด (Total internal reflection) **(ดังรูป 2.12)** โดยการหาค่ามุมวิกฤตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ **(2.5)**

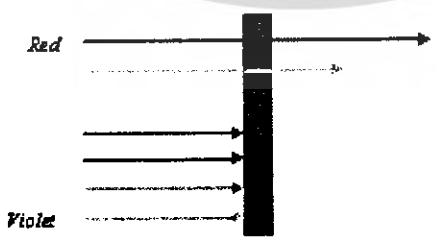
2.2.6 สี

ในชีวิตประจำวันเราจะพบแสงอาทิตย์มากที่สุด ซึ่งเป็นแสงสีขาว แต่ความจริงแล้วถ้านำแสงสีขาวผ่านปริซึมจะแยกแสงออกได้ 7 สีไปปรากฏบนฉากจะมีสีม่วงและค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และ แดง โดยลำดับของสี (Color) จะเรียงตามการกระจายแสงจากมากไปน้อย เรียกแสงสีที่เกิดขึ้นนี้ว่าสเปคตรัมของแสง (Spectrum) ดังรูป



รูปที่ 2.13 เมื่อแสงขาวผ่านปริซึมจะแยกเป็นแสงสีต่าง ๆ

เราสามารถเห็นสีของวัตถุแตกต่างกันก็เพราะ เมื่อให้แสงกระทบผิววัตถุ ปริมาณแสงสะท้อนจากผิววัตถุหรือปริมาณแสงที่ผ่านจากวัตถุเข้าสู่ตามีปริมาณต่างกัน การที่จะเห็นสีที่แท้จริงของวัตถุ วัตถุนั้นจะต้องส่องด้วยแสงสีเดียวกัน หรือมีแสงสีเดียวกันรวมอยู่ด้วย จึงจะมองเห็นวัตถุด้วยสีแท้จริงของมัน และถ้าส่องด้วยแสงแดด จะเห็นสีที่แท้จริงของวัตถุทั้งนี้เพราะแสงแดดประกอบด้วยแสงสีต่างๆ ทุกสี ดังนั้นแสงที่มีสีเดียวกับวัตถุจะสะท้อนเข้าสู่ตา เช่นถ้าฉายแสงขาว ผ่านแผ่นกรองแสงสีแดง แผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้สีแดงและสีแสดผ่านได้ เพราะแผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้แสงที่มีสีเดียวกันหรือสีที่ใกล้เคียงกับสีแดงผ่านเท่านั้น ดังรูป



รูปที่ 2.14 แผ่นกรองแสงสีแดงจะยอมให้สีแดงผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.7 สีของวัตถุ

ก. ฮิว(Hue) คือ แถบแสงสีแต่ละแสงสีในสเปคตรัม เช่น แถบแสงสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีม่วง

ข. ความสว่างของแสงสี (Lightness) คือปริมาณแสงสะท้อนออกจากแถบแสงสีแต่ละแสงสี ทำให้เกิดความรู้สึกว่ามีแสงผ่านเข้าตามากหรือน้อย

ค. ความอิ่มตัวของสี (Color Saturation) คือจำนวนหรือขนาดที่บอกให้ทราบว่าแถบสีนั้น อยู่ห่างจากที่ไม่มีสี (Achromatic Color) สีที่อิ่มตัวคือสีที่ไม่มีสีขาวปนอยู่เลย เช่น สีแดง สีน้ำเงิน เขียว ส่วนสีที่มีสีขาวปนมากเท่าใด ความอิ่มตัวก็ยิ่งน้อยลงเท่านั้น เรียกว่า สีไม่อิ่มตัว เช่น สีชมพู สีฟ้า เทา เป็นต้น

2.2.8 การมองเห็นสี (Color Vision)

สีของวัตถุที่มองเห็นแสดงได้ด้วยสมบัติ 3 อย่าง คือ

ในปี ค.ศ. 1801 Thomas Young ได้กล่าวว่าการผสมสีของแสงจะทำให้เกิดความรู้สึกในการเห็นแสงสีใหม่ โดยสามารถเห็นได้เพราะนัยน์ตามีเซลล์ประสาทรับแสงสี (Cones) 3 ชุด คือชุดที่มีความไวสูงสุดกับแสงสีแดง ชุดที่มีความไวสูงสุดกับแสงสีเขียว และชุดที่มีความไวสูงสุดกับแสงสีน้ำเงิน เซลล์ประสาทรับแสงสีทั้ง 3 ชุดนี้ จะมีความไวต่อแถบแสงสีในสเปคตรัมที่ตามองเห็นได้ แสงสีแดง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีเขียว เรียกว่าเป็น แม่สี หรือ สีปฐมภูม (primary Color) ซึ่งถือว่าเป็นแสงสีบริสุทธิ์ ที่ไม่สามารถจะแยกออกเป็นแสงสีอื่น ๆ ได้

ความรู้สึกในการมองเห็นสีนั้น อยู่ที่ว่าเซลล์ประสาทรับแสงสีชุดใดถูกกระตุ้น เช่น

- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีแดงถูกกระตุ้นเพียงชุดเดียว ก็จะมีความรู้สึกเห็นเป็นสีแดง
- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีน้ำเงินถูกกระตุ้นเพียงชุดเดียว ก็จะมีความรู้สึกเห็นเป็นสีน้ำเงิน
- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีเขียวถูกกระตุ้นเพียงชุดเดียว ก็จะมีความรู้สึกเป็นสีเขียว
- ถ้าหากว่าเซลล์ประสาทรับแสงสีทั้งสามชุดไม่ถูกเร้าหรือกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกเลย จะมีความรู้สึกว่ามองไม่เห็นแสงสีอะไรเลย
- ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีสองชุดหรือทั้งสามชุดถูกกระตุ้นความรู้สึกพร้อม ๆ กัน จะเกิดความรู้สึกมองเห็นเป็น แสงสีประกอบ (Compound Color) ซึ่งเป็นสีที่เกิด จากการผสมของแสงสีปฐมภูมิ เช่น สีแดงม่วง น้ำเงิน-เขียว และเหลือง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62308

• ถ้าเซลล์ประสาทรับแสงสีทั้งสามชุดถูกกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกพร้อม ๆ กัน และเท่า ๆ กัน จะเกิดความรู้สึกเห็นเป็นแสงสีขาว

เมื่อฉายแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นสีปฐมภูมิไปรวมกันบนฉากขาว ความรู้สึกในการมองเห็นสีบนฉากจะผสมกัน ทำให้เห็นเป็นสีต่าง ๆ ดังนี้

2.2.9 การผสมแสงสี

• แสงสีแดง + แสงสีน้ำเงิน = แสงสีม่วงแดง (Magenta)

• แสงสีน้ำเงิน + แสงสีเขียว = แสงสีไซแอนหรือน้ำเงิน-เขียว (Cyan or Blue-Green)

• แสงสีแดง + แสงสีเขียว = แสงสีเหลือง (Yellow or lemon)

• แสงสีแดง + แสงสีน้ำเงิน + แสงสีเขียว = แสงสีขาว (White)

ส่วนสีสองสีที่รวมกันแล้วได้สีขาว สีทั้งสองเป็นสีเติมเต็ม (Complementary colors) ของกันและกัน เช่น สีเหลือง เป็นสีเติมเต็มของสีน้ำเงิน และในขณะเดียวกันสีน้ำเงินก็เป็นสีเติมเต็มของสีเหลืองด้วย

2.3 หลอด LED

LED ย่อจาก Light emitting diodes มีให้เห็นได้ทั่วไปในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ บางครั้งคุณเห็นได้ในนาฬิกาดิจิตอล รีโมทคอนโทล หน้าปัดอุปกรณ์ไฟฟ้า โทรทัศน์จัมโบ้ หรือแม้แต่ไฟจราจรตามสี่แยกเป็นต้น

รูปที่ 2.15 หลอด LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จริงแล้วหลอด LED คือ หลอดไฟขนาดเล็ก แต่มีหลักการทำงานแตกต่างจากหลอดไฟมีไส้ เพราะว่าไม่มีการเผาไส้หลอด ดังนั้น หลอด LED จึงไม่เกิดความร้อน แสงสว่างเกิดขึ้นจากการเคลื่อนของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นวัสดุแบบเดียวกับที่ใช้ในการทำทรานซิสเตอร์

2.3.1 ไดโอดคืออะไร

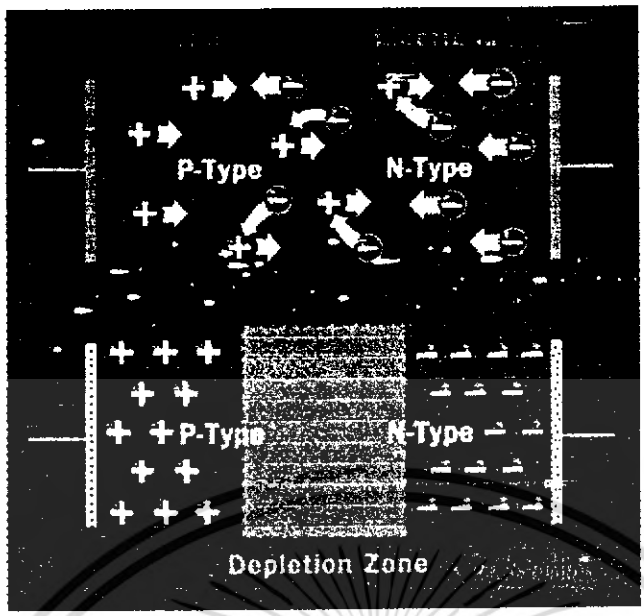
ไดโอดเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำ ที่เราสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าของมันได้ ปกติวัสดุสารกึ่งตัวนำเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เลว ถ้าเราใส่สารเจือปนเข้าไป เราสามารถควบคุมการนำไฟฟ้าให้มากหรือน้อยได้ เราเรียกวิธีนี้ว่า การโดปปิ้ง (Doping)

ส่วนใหญ่หลอด LED ใช้สาร อลูมิเนียมกัลเลียม อาร์เซไนด์(Aluminums-gallium-arsenide) ย่อเป็น AlGaAs เป็นสารกึ่งตัวนำ ถ้ายังไม่ได้ใส่สารเจือปน พันธะในอะตอมจะเกาะกันอย่างแข็งแรง ไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ (ประจุไฟฟ้าลบ) หรือมีอยู่น้อย ดังนั้นมันจึงไม่ค่อยจะนำกระแส แต่เมื่อทำการโดป โดยการเติมสารเจือปน ทำให้ความสมดุลของวัสดุเปลี่ยนไป

เมื่อเราใส่สารเจือปนแล้วทำให้อิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้น เรียกว่าสารประกอบชนิด N ส่วนสารกึ่งตัวนำที่ใส่สารเจือปนแล้ว มีประจุไฟฟ้าบวกหรือมีหลุมและ โฮลเพิ่มขึ้น เรียกว่าสารประกอบชนิด P โฮล (Hole) ในภาษาอังกฤษมีความหมายว่าหลุม โดยเปรียบอิเล็กตรอนอิสระได้กับลูกหิน และปรจุบวกเป็นหลุมหรือโฮล ที่ลูกหินจะไหลมาตกนั่นเอง

ไดโอดเกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำชนิด N ติดเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิด P เชื่อมสายไฟเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อยังไม่มีการให้แรงดันไฟฟ้า อิเล็กตรอนอิสระจาก N จะเคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปที่ P เกิดโซนดีพลีชั่น (Depletion) ขึ้น โซนนี้เปรียบเทียบได้กับกำแพงป้องกันการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ถ้าโซนนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจะยากขึ้น และอาจทำให้อิเล็กตรอนหยุดการเคลื่อนที่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าควบคุมให้โซนนี้เล็กลง การเคลื่อนที่ก็จะง่ายขึ้น

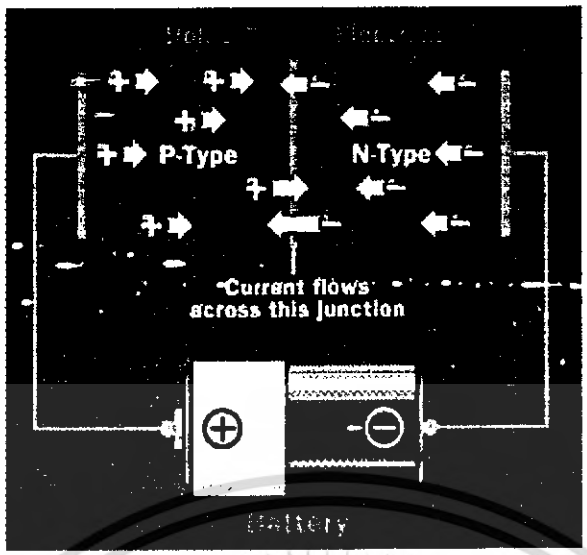
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 อิเล็กตรอนอิสระจาก N เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อไปลงหลุมที่ P ทำให้เกิดโซนดีพลีชั่น เป็นฉนวนกั้นการไหลของอิเล็กตรอน

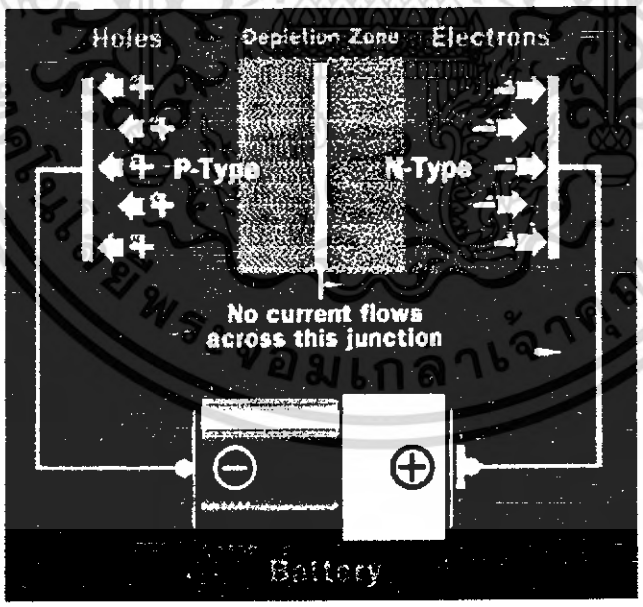
เพื่อจะทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านโซนนี้ได้ง่ายขึ้น เราต้องทำให้โซนนี้แคบลง โดยการต่อขั้ว N ของไดโอดเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ และขั้วบวกเข้ากับขั้ว P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระใน N ถูกดันด้วยแรงดันทางไฟฟ้า ส่วนโฮลขั้ว P จะถูกดันด้วยแรงทางไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ถ้าเราให้แรงดันทางไฟฟ้ามากพอ โซนนี้จะแคบจนหายไป และอิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อได้อย่างง่ายดาย เหมือนกับไม่มีแรงเสียดทานหรือความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 เมื่อต่อขั้วลบของแบตเข้ากับ N และขั้วบวกเข้ากับ P ทำให้อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เหมือนกับไม่มีความต้านทาน

ในทางกลับกัน ถ้าคุณต่อขั้วลบเข้ากับ P และขั้วบวกเข้ากับ N การไหลของอิเล็กตรอนจะเป็นไปได้ยาก เพราะการเคลื่อนที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม โซนดีพลีชั่นจะหนาขึ้น เป็นกำแพงกั้นการไหลของกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.18 เมื่อต่อขั้วบวกของแบตเข้ากับ N และขั้วลบเข้ากับ P โซนดีพลีชั่นมีขนาดกว้างขึ้น อิเล็กตรอนและโฮลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ไดโอดให้แสงได้อย่างไร

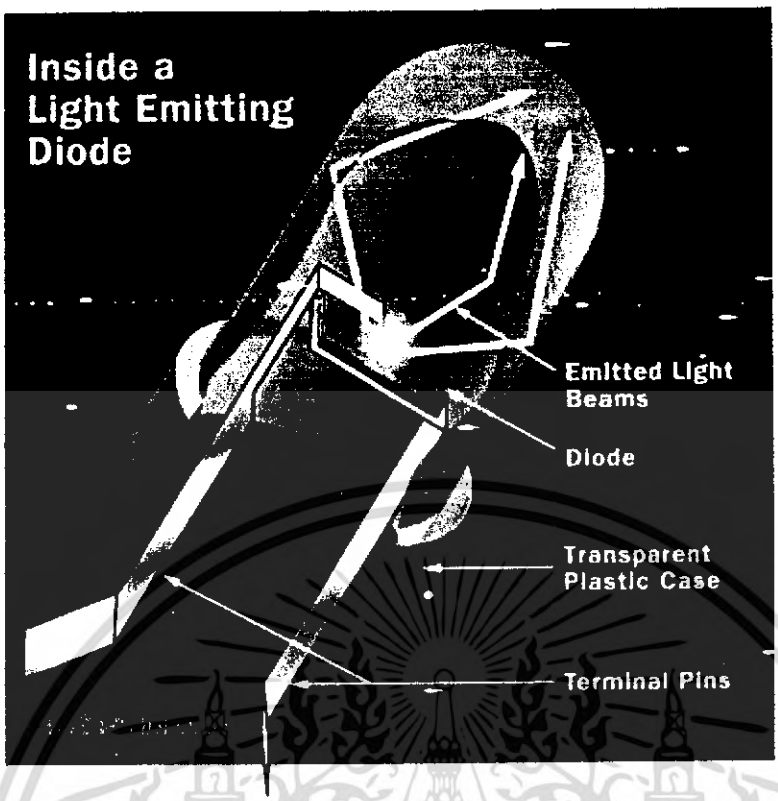
แสงเกิดขึ้นจากพลังงานที่ปลดปล่อยจากอะตอม แสงเป็นโฟตรอนที่มีพลังงานและโมเมนตัม ดังนั้นจึงเป็นอนุภาคชนิดหนึ่ง แต่ว่าน่าแปลกที่นักวิทยาศาสตร์บอกว่าไม่มีมวล

ภายในอะตอม อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียส และมีวงโคจรหลายวง แต่ละวงมีพลังงานแตกต่างกัน วงนอกมีพลังงานมากกว่าวงใน ถ้าอะตอมได้รับพลังงานจากภายนอก อิเล็กตรอนจะกระโดดจากวงโคจรในออกสู่วงโคจรนอก ในทางกลับกัน ถ้าอิเล็กตรอนกระโดดจากวงโคจรนอกเข้าสู่วงโคจรใน มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมา และพลังงานนี้ก็คือแสงนั้นเอง

ขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อไปที่โฮลของสาร P อิเล็กตรอนจะตกจากวงโคจรสูง หรือแถบนำไฟฟ้า ไปสู่วงโคจรต่ำหรือแถบวาเลนซ์ มันจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตรอน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นกับไดโอดทุกชนิด แต่คุณสามารถเห็นแสงได้ก็ต่อเมื่อ ความถี่ของพลังงานอยู่ในช่วงความถี่ที่ตามองเห็นได้ ดังเช่นไดโอดที่ทำจากซิลิคอน ซึ่งมีช่วงของแถบพลังงานแคบ ทำให้ได้โฟตรอนความถี่ต่ำ เป็นความถี่ที่ตามองเห็นได้ อย่างไรก็ตาม ความถี่ที่ตามองไม่เห็นก็มีประโยชน์ไม่น้อย ยกตัวอย่างเช่น ช่วงอินฟาเรดสามารถนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรล เป็นต้น

เมื่อไดโอดให้แสงออกมาแล้ว ถ้าเราไม่ควบคุมทิศทาง แสงจะกระจัดกระจาย และวิ่งออกมาอย่างไม่เป็นระเบียบ ทำให้ความเข้มของแสงน้อยลง ดังนั้นในหลอด LED เราจะใช้พลาสติกหุ้ม และเอียงให้แสงสามารถสะท้อนออกไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ควบคุมทิศทางของแสงในหลอด LED

2.3.3 ข้อได้เปรียบ

หลอด LED ได้เปรียบหลอดมีไส้ อย่างแรกคือ มันไม่ต้องใช้การเผาไหม้ของไส้หลอด จึงมีอายุใช้งานนานกว่า การใช้พลาสติกหุ้มช่วยให้มีความทนทาน และง่ายต่อการประกอบลงในแผ่นวงจรไฟฟ้า

ข้อได้เปรียบสูงสุดคือ ประสิทธิภาพที่สูง ในหลอดมีไส้ แสงที่ได้ออกมาเกิดจากการเผาไส้หลอดให้ร้อนจนแดง แน่นอนพลังงานที่สูญเสียจากการเผาไหม้นั้นมากมาย ส่วนหลอด LED แทบไม่มีความร้อนเกิดขึ้นออกมาเลย พลังงานส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นแสงทั้งหมด

แต่ก่อนหลอด LED มีราคาสูงมาก ปัจจุบันราคาตกลงมาจนเหลือราคาต่ออันไม่กี่บาท ทำให้เราสามารถประยุกต์หลอด LED ไปใช้งานได้อย่างมากมายและหลากหลาย ในอนาคตมันจะเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขาดเสียไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์

ฟลักซ์ต่างๆ ของรังสีที่ส่องถึงและออกจากผิวโลกเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดต่อระบบบรรยากาศ และในแง่เศรษฐศาสตร์ ซึ่งการตรวจวัดรังสีมีจุดมุ่งหมายต่างๆดังต่อไปนี้

ก.เพื่อศึกษาการถ่ายเทพลังงานภายในระบบบรรยากาศโลกและการแปรเปลี่ยนตามเวลาและสถานที่

ข. การวิเคราะห์คุณสมบัติและการกระจายของบรรยากาศเนื่องจากส่วนประกอบต่างๆ เช่น อนุภาค ไอน้ำและโอโซน เป็นต้น

ค. การศึกษาการกระจายและการแปรผันของรังสีตกกระทบ สะท้อนและรังสีสุทธิ

ง. ความจำเป็นทางด้านชีววิทยา การแพทย์ การเกษตร สถาปัตยกรรม และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับรังสีดวงอาทิตย์

จ. เพื่อการหาค่าจากการตรวจวัดรังสีด้วยดาวเทียม

2.5.1 ปริมาณรังสี

ปริมาณรังสี อาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามแหล่งกำเนิด คือ

2.5.1.1รังสีดวงอาทิตย์(Solar Radiation)

เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบขอบบรรยากาศเรียกว่า รังสีที่นอกโลก (Extraterrestrial Solar Radiation) ซึ่ง ประกอบด้วย ช่วงคลื่นสั้น ตั้งแต่ 290-300 นาโนเมตร ถึง 97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของรังสีนอกโลกที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงผิวโลกจะถูกกระจายและดูดกลืนโดยโมเลกุลของกาซต่างๆ อนุภาคฝุ่น และเมฆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ การแบ่งรังสีดวงอาทิตย์ตามคุณสมบัติและช่วงคลื่นได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 รังสีแสงสว่าง (Visible Radiation)

แสงสว่างเป็นรังสีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ช่วงสเปคตรัมของแสงสว่างต่ำสุด เริ่มตั้งแต่ 360 ถึง 400 นาโนเมตร และสูงสุดอยู่ระหว่าง 360-830 นาโนเมตร(ICI 1987a) ทั้งนี้ 99 เปอร์เซ็นต์ของรังสีแสงสว่างจะอยู่ในช่วง 400-730 รังสีที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร เรียกว่ารังสีอัลตราไวโอเลต และยาวกว่า 800 นาโนเมตรเรียกว่า รังสีอินฟราเรด

2.5.2รังสีอัลตราไวโอเลต

มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แบ่งออกเป็น 3 ช่วง (IEC 1987) คือ

UV-A: 315...400 ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมากนัก ความเข้มที่ผิวพื้นไม่ขึ้นกับปริมาณโอโซนในบรรยากาศ

UV-B: 280...315 มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมาก ความเข้มที่ผิวพื้นขึ้นกับปริมาณโอโซนในบรรยากาศ ความเข้มขึ้นกับความยาวคลื่น

UV-C: 100...280 ถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศทั้งหมดไม่พบที่ผิวพื้นโลก

2.5.3 รังสีโลก (Terrestrial radiation)

เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นยาวที่ปลดปล่อยออกที่ผิวโลก และโดยก๊าซต่างๆ ฝุ่นละออง และเมฆในบรรยากาศ โดยบางส่วนถูกดูดกลืนกายในบรรยากาศ โดยที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน (27 องศาเซลเซียส) พลังงาน 99.99 เปอร์เซ็นต์ของรังสีโลกมีช่วงคลื่นยาวระหว่าง 3000 นาโนเมตร และ 99 เปอร์เซ็นต์ยาวกว่า 5000 นาโนเมตร และที่อุณหภูมิต่อกว่านี้สเปคตรัมจะมีช่วงคลื่นที่ยาวกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ปริมาณรังสีในทางอุตุนิยมวิทยา

รังสีตรง (Direct solar radiation) รังสีที่ส่องตรงมาที่ผิวโลก

รังสีกระจาย(Diffuse solar radiation) รังสีที่กระจัดกระจายในท้องฟ้า

รังสีแห่งโลก(Global solar radiation) ผลรวมของรังสีตรงและกระจาย

รังสีรวม (Total Radiation) การรวมกันของรังสีโลกและรังสีดวงอาทิตย์

รังสีสุทธิ (Net Radiation) รังสีสุทธิของรังสีดวงอาทิตย์หรือรังสีสุทธิคลื่นยาวที่มีทิศขึ้นและลงหักล้างกัน

ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) รังสีดวงอาทิตย์ที่ขอบนอกบรรยากาศที่ระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์เฉลี่ย

2.5.5 เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ในทางอุตุนิยมวิทยา

ชนิดเครื่องมือ	พารามิเตอร์ที่วัด	Viewing angle (steradians)
Absolute pyrheliometer	Direct solar radiation (เพื่อเป็นมาตรฐาน)	5x10-3 (approx. 2.5°half angle)
pyrheliometer	Direct solar radiation	5x10-3 to 2.5 x10-2
Spectral pyrheliometer	Direct solar radiation in broad spectral bands	5x10-3 to 2.5 x10-2
Sun photometer	Direct solar radiation in narrow spectral bands (500± 2.5 nm, 368 ± 2.5 nm)	1x10-3 to 1 x10-2 (Approx. 2.3° full angle)
Pyranometer	Global Radiation, Sky radiation, Reflected solar radiation	2π

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spectral Pyranometer	Global Radiation in broadband spectral ranges	2π
Net pyranometer	Net global radiation	4π
Pyrgeometer	Upward long-wave radiation, Downward long-wave radiation	2π
Pyradiometer	Total Radiation	2π
Net Pyrradiometer	Net total radiation	4π

ตารางที่ 2.3 เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ในทางอุตุนิยมวิทยา

2.5.6 การตรวจวัดรังสีชนิดพิเศษ

I luminance meter ใช้ตรวจวัด Daylight (Direct, Diffuse, Global luminance) ช่วงคลื่น 380-780 นาโนเมตรที่ตามนุษย์มองเห็นได้

2.5.7 การตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเลต

โดยเครื่องมือชนิดต่างๆ แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ชนิด Broadband sensors จะอินทิเกรตทั้งสเปคตรัม UV-A และ UV-B ที่กระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ชนิด Narrowband sensors ที่อินทิเกรตเฉพาะส่วนทั้งสเปคตรัม UV-A และ/หรือ UV-B และสเปคโตรมิเตอร์ที่ใช้เกรตติงกระจายพลังงานให้เป็นสเปคตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Visual Basic การเขียนโปรแกรมควบคุมผ่าน Network

ในปัจจุบันการสื่อสารผ่านระบบเครื่อข่าย(Network) รวมทั้งระบบ Internet เป็นที่แพร่หลายมากในแง่ของการใช้งาน, ใช้บริการ, อำนวย ความ สะดวก ในชีวิตประจำวันต่างๆเนื่องจากระบบสื่อสารที่รวดเร็วและสามารถเชื่อมโยง เข้ากับหลายๆระบบได้ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานผ่านระบบเครือ ข่ายได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งในบทความนี้จะพยายามเน้นไปประยุกต์ใช้ ในการควบคุมอุปกรณ์หรือโปรแกรมต่างๆ เรื่องที่ต้องรู้ในการที่จะเขียนโปรแกรมผ่านระบบเครือข่ายมีดังนี้

2.6.1 TCP/IP

ระบบเครือข่ายเอาเป็นว่าใช้คำว่า Internet ก็แล้วกันที่ใช้โปรโตคอลมาตรฐานชื่อ TCP/IP ในการสื่อสารผ่านระบบเพื่อติดต่อกับเครื่องคอมฯอื่นๆโปรโตคอล TCP/IP นั้นประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนก็ คือ

TCP (Transmission Control Protocol)

IP (Internet Protocol)

ในการติดต่อสื่อสารกันจริงๆแล้วเราคงจะไม่สามารถเห็นขั้นตอนการทำงานของระบบ ได้เพราะเป็นการทำงานของ Software& Hardware แต่เราจะอธิบายเพื่อความเข้าใจของ โปโตคอล TCP/IP ให้ดูกันดังมีส่วนประกอบดังนี้

- IP Address: สำหรับการรับส่งข้อมูลในระบบ Internet จะถูกกำหนดและอ้างอิงด้วยหมายเลขประจำเครื่องนั้นก็เครื่อง IP Address ซึ่งในระบบ Internet จะมีเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมากที่อยู่ในระบบ ในการที่จะใช้ IP Address อาจจะไม่สะดวก จึงได้มีการเปลี่ยนมาใช้เป็น ชื่อ ในความเข้ากันก็คือ Domain name โดยทั้งหมดนี้อยู่ในระบบ Name Services ซึ่งเป็นการอ้างอิงชื่อแทนหมายเลขนั้นเอง

- Routing Configuration: ข้อดีของโปโตคอล TCP/IP ก็คือในการกำหนดเส้นทางสำหรับการรับส่ง ที่สามารถเลือกเส้นทางในการรับส่งข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติหากถ้าเกิด

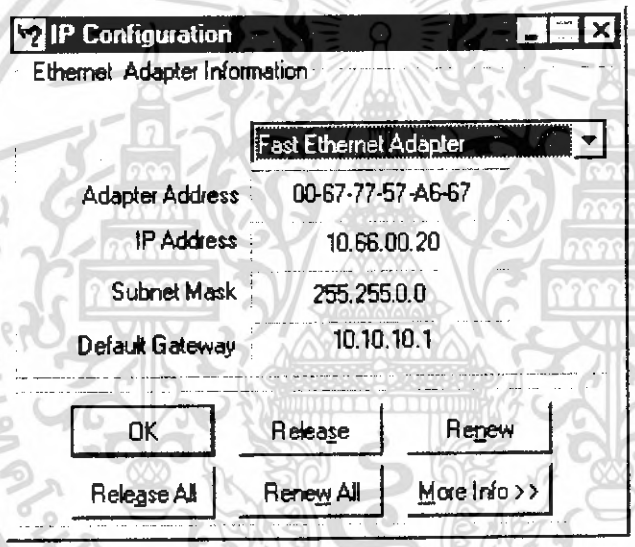
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทาง บ้างเส้นทางเสียหาย ระบบกลไกในการกำหนดเส้นทางสำหรับการรับส่งข้อมูลของโปรโตคอล TCP/IP ก็จะเลือกเส้นทางให้เหมาะสมถูกต้องให้สามารถรับส่งข้อมูลได้

- Protocol, Ports, Sockets: เป็นช่องทางสำหรับกำหนดทิศทางของการรับส่งข้อมูลนอกเหนือจากที่จะต้องกำหนดหลังจาก IP Address

2.6.2 การตรวจหาหมายเลข IP Address ของเครื่องคอมพิวเตอร์

อาจมีข้อสงสัยว่าที่กล่าวทั้งนี้ถ้าเราอยากจะดูและรู้ IP Address ได้อย่างไร ไม่ยากครับ ใน Windows มีโปรแกรมที่ชื่อว่า IP Configuration ไฟล์ EXE จะอยู่ที่ Windows/Winipcfg.exe โดยมีหน้าตาดังรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 2.20 Windows/Winipcfg.exe

ถ้าต้องการดูรายละเอียดอื่นๆนอกเหนือจากนี้ก็กดปุ่ม More Info

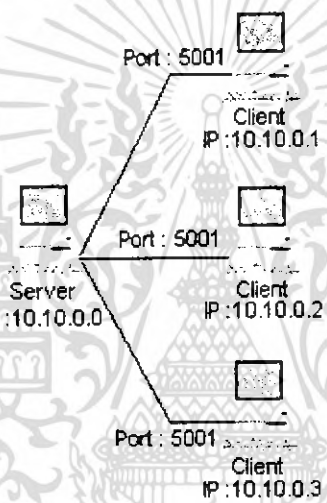
2.6.3 Server & Client

สิ่งที่เราจะพูดถึงในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในระบบเครือข่าย(Network) จุดหลักๆ ของระบบ จะแบ่งฝ่ายที่ต้องติดต่อรับส่งข้อมูลกระหว่างกันออกเป็น 2 ส่วน คือ แม่ข่าย (Server) และลูกข่าย (Client) ซึ่งในการใช้งานจริงอาจมีส่วนประกอบอื่นๆอีก แต่เราจะขอไม่กล่าวถึงเนื่องจากต้องการให้เห็นภาพและเข้าใจง่ายขึ้นจึงยก แค่ 2 ส่วนนี้มากล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Server จะเป็นส่วนทำหน้าที่เสมือนกองอำนวยการ, ประชาสัมพันธ์, เมสเซทเจอร์ ร่วมถึงผู้จัด ให้กับระบบ, ลูกข่าย ที่จะเป็นส่วนร้องขอข้อมูลจาก Server โดย Server ในที่นี้จะเป็นส่วนที่เก็บข้อมูล, จัดการ, บริหารข้อมูลหรือทรัพยากรระบบ เพื่อให้ฝ่ายลูกข่ายสามารถใช้บริการ

Server และ Client ต่างก็จะต้องมีตำแหน่งที่อยู่ (IP Address), ช่องทางการติดต่อ (Port) โดยทั้งสองฝ่าย จะสามารถติดต่อถึงกันได้จะต้องอยู่ในช่องทางเดียวกัน ซึ่งเราสามารถกำหนดหมายเลขของ Port ได้ ทั้งนี้โปรแกรมที่ติดต่อนั้นจะต้องอ้างอิงหมายเลขของ Port ทุกครั้ง เนื่องจากในระบบมีโปรแกรมมากมายที่กำลังติดต่อกันอยู่



รูปที่ 2.21 ServerและClient

2.6.4 MS Winsock Control 6

ทั้งหมดที่กล่าวมาตั้งแต่ต้นนั้นเป็นเพียงความรู้ที่จะต้องเข้าใจก่อนบ้างเล็กน้อย เพื่อสำหรับท่านที่ยังไม่ทราบว่าบทความนี้คือเราจะทำอะไร คราวนี้เราจะมาพูดถึงว่าทำอย่างไรที่เราจะเขียนโปรแกรมบนระบบ Windows ให้สามารถติดต่อสื่อสารบนระบบเครือข่ายได้ ถ้าเป็นเมื่อก่อนบนระบบปฏิบัติการ DOS นั้นคงจะยากทีเดียว แต่เดี๋ยวนี้เครื่องคอมพิวเตอร์อะไรๆก็ Windows กันแล้วเนื่องจากมีเครื่องมือ(Tool)ที่ช่วยให้เราสามารถเขียนโปรแกรมติดต่อผ่านระบบเครือข่าย ที่เราจะกล่าวถึงก็คือMS Winsock Control 6 เป็นเครื่องมือที่อำนวย

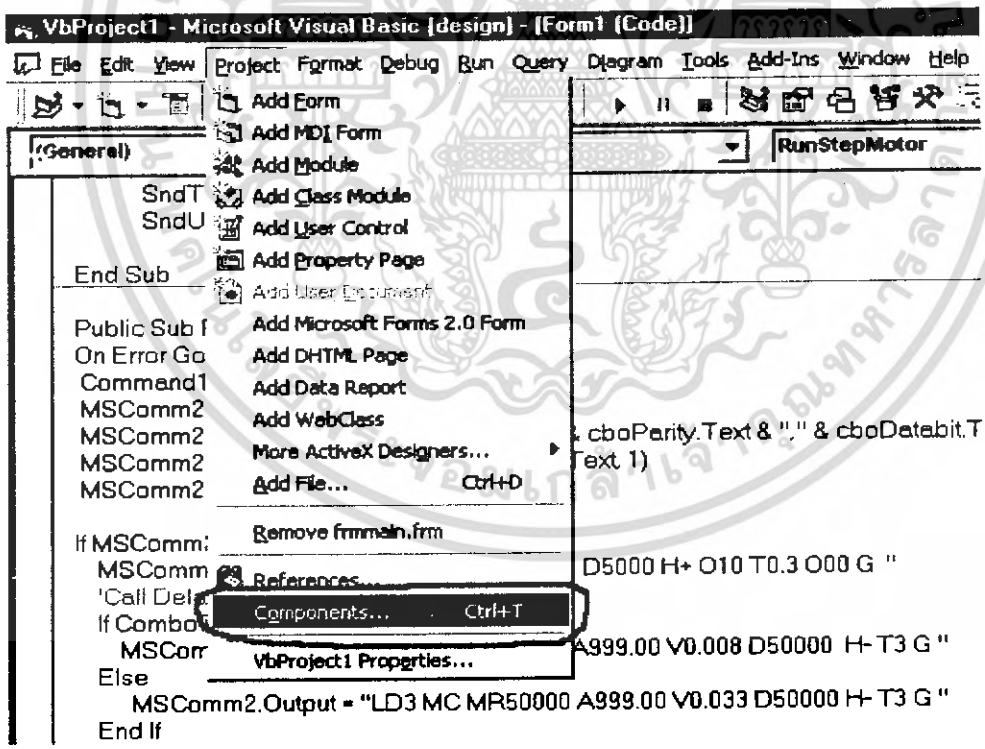
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสะดวกสำหรับการเขียนโปรแกรมติดต่อผ่านระบบเครือข่าย โดยโปโตคอล TCP/IP ซึ่งเราจะทดลองเขียนด้วย Visual Basic หรือถ้าท่านใดถนัด C/C++ ก็ใช้ Visual C++ ท่านใดถนัดปาสคาล ก็ใช้ Delphi ที่เลือก VB เพราะคิดว่าคงจะอธิบายได้ง่ายแล้วเข้าใจเร็วซึ่งก็ไม่ซับซ้อนมากนัก

จากที่ตอนแรกได้กล่าวเนื้อหาเบื้องต้นและโดยรวมเกี่ยวกับการอินเทอร์ Hardware ผ่านระบบเครือข่ายโดยมีโปรโตคอลTCP/IP เป็นตัวช่วยในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกันได้ ทั้งนี้ในทางการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อบนระบบ Windows นั้นก็ได้อำนวยความสะดวกให้เราสามารถที่จะเขียนโปรแกรมติดต่อกับระบบเครือข่ายได้ก็คือ MS Winsock Control ที่มีอยู่ในชุด Visual Studio ในเนื้อหานี้เราจะใช้เขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic เพราะจะเข้าใจง่าย, สะดวก, และรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจ เรามาเริ่มกันเลยครับ

ก่อนอื่นก็เปิดโปรแกรม VB ขึ้นมาแล้วสร้าง Project Standard EXE ขึ้นใหม่ จากนั้นเราจะต้องเพิ่ม Winsock Control ก่อน โดยคลิกที่เมนู

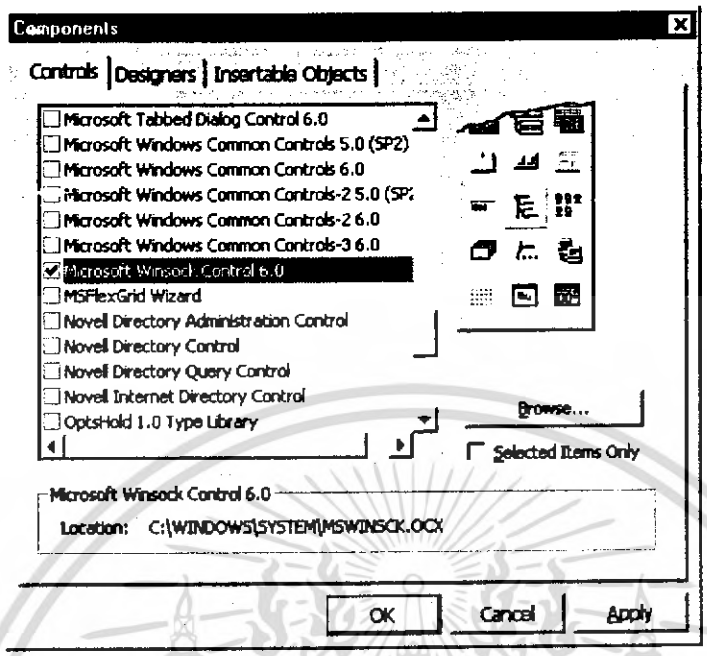
2.6.5 Add Winsock Control



รูปที่ 2.22 Add Winsock Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

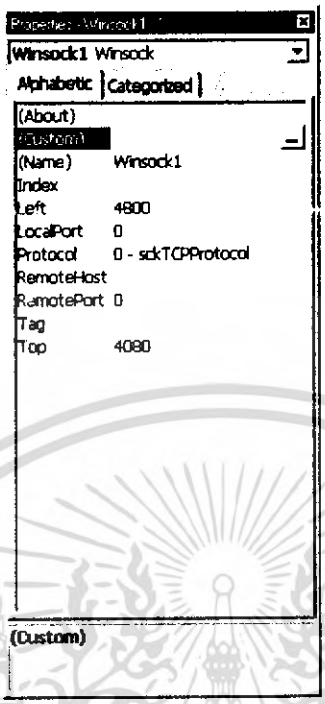
ให้เลือก Control ชื่อ Microsoft Winsock Control 6.0 (สำหรับ VB6)



รูปที่ 2.23 Component of VB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6 Properties Winsock Dialo



รูปที่ 2.24 Properties of VB

Properties	Detail
Name	ชื่อของคอนโทรลที่เราสามารถตั้งได้
LocalPort	Portsที่เราจะกำหนดในการติดต่อ
Protocal	เลือกชนิดของโปรโตคอลปกติเราใช้ 0-TCPProtocal
RemoteHost	IP Address ของเครื่องที่ใช้ ติดต่อ
RemotePort	Port Address ของเครื่องที่ใช้ติดต่อ

ตารางที่ 2.4 ค่าที่ตั้งใน Properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 Winsock Procedure

ในส่วนของ Windows Code Object -->Winsock มีProcedure สำหรับกระทำติดต่อสื่อสารทั้งทางฝ่าย Server และ Client เราขอกล่าวอย่างนี้เพื่อความเข้าใจที่เหมือนกันดังจะกล่าวในที่นี้คือ

- **Close** คือ เหตุการณ์เมื่อมีหยุดหรือยกเลิกการติดต่อสื่อสารของฝ่าย Server หรือClient โดย Function Winsock .Close ซึ่งจะเราสามารถจะใช้ตรวจสอบฝ่ายตรงข้ามว่ามีการติดต่ออยู่หรือ ไม่ โดยอาจจะใส่ Massage เตือนเป็นต้น

- **Connect** เป็นเหตุการณ์ที่ฝ่าย Client มีการส่งสัญญาณติดต่อกับมายัง Sever ส่งผลให้ Procedure นี้ของฝ่าย Server ก็เลยทำงานขึ้นมา เหมือนเดิมครับเราสามารถนำ Code Massage ไปใส่เพื่อตวจสอบได้เช่นกัน

- **Connection Request** เป็นเหตุการณ์เมื่อฝ่าย Client ส่งสัญญาณติดต่อกลับมายัง Server Procedure ส่วนนี้ก็จะทำงานพร้อมกับค่า request ID as Long ซึ่งเป็นหมายที่ Gen ขึ้นมาในระบบค่านั้นจะไม่เหมือนเดิม โดยจะให้ฝ่าย Server รับรู้ว่าใช้ ID จากคอนโทรลตัวใดเพื่อจะได้สื่อสารถึงต้อง

- **Data Arrival** เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลระหว่าง Server และ Client Procedure นี้ก็จะทำงานขึ้นมา พร้อมกับค่าจำนวน bytes Total as Long ที่รับเข้ามา

- **Error** เหตุการณ์ที่เกิดความผิดผลาดระหว่างการติดต่อสื่อสารระหว่าง Server และ Client โดยจะส่งค่า Number as Integer มาให้ว่าเป็นหมายเลขใดพร้อมทั้งรายละเอียดของการผิดผลาดในเหตุการณ์นั้นๆ คือ Description as String

- **Send Progress** จะเกิดขึ้นในขณะที่มาการส่งข้อมูลอยู่เหตุการณ์นี้ก็จะทำงานเมื่อส่งข้อมูล หมดแล้วก็จะส่งผลทำให้เกิด Event Send Complete

- **Send Complete** เหตุการณ์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกไปยังฝ่ายตรงข้ามเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.8 Winsock Properties & Events

Accept (request ID) คือการตกลงกันระหว่าง Server และ Client ในการเลือกหมายเลข ID Control ให้ตรงกันเพื่อสามารถสื่อสารได้ถูกต้อง

Close เป็นการส่งสัญญาณยกเลิกการติดต่อระหว่างกัน จะเป็นฝ่าย Server หรือ Client ก็ได้ ที่จะใช้ Function นี้ จากนี้จะทำให้ Procedure close ในฝ่ายตรงข้ามทำงาน

Connect เป็นการส่งสัญญาณว่าตอนนี้ทำการติดต่อเรียบร้อยแล้ว ซึ่งจะส่งผลให้ Procedure ฝ่ายตรงข้ามทำงาน

Get data เป็นการรับข้อมูลเมื่อฝ่ายตรงข้ามส่งมาโดยประโยคคำสั่งนี้จะอยู่ในส่วนของ Procedure Data Arrival เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ที่การกระทำขณะเมื่อฝ่ายตรงข้ามส่งข้อมูลเข้ามา

Listen การกระทำที่จะคอยตรวจสอบสัญญาณที่ส่งไปว่าฝ่ายตรงข้ามตอบรับการร้องขอการติดต่อ

Local Host Name คำสั่งนี้จะส่งชื่อของ Computer name ของเครื่องนั้นๆ

```
Debug.Print  Winsock1. LocalHostName
```

LocalIP คำสั่งนี้จะทำการส่งหมายเลข IP Address

```
Debug.Print  Winsock1.LocalIP
```

LocalPort คำสั่งที่จะส่งค่าของหมายเลขในการติดต่อ TCP/IP ของเครื่องนั้นๆ

```
Debug.Print  Winsock1.LocalPort
```

RemoteHost กำหนดหรือคืนค่าชื่อ Computer name ของเครื่องที่จะทำการติดต่อ

```
Winsock1.RemoteHost =MyServer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RemoteHostIP กำหนดหมายเลข IP Address ของเครื่องที่จะทำการติดต่อ

```
Winsock1. RemoteHostIP =10.10.0.0
```

RemoteHostPort กำหนดหมายเลข Port ที่จะใช้ในการติดต่อระหว่างกัน

```
Winsock1. RemoteHostIP =5000
```

SocketHandle จะคืนค่าของช่องทางที่ใช้ในการติดต่อระหว่างกันซึ่งสามารถเรียกดูได้ดังนี้

```
Debug.Print Winsock1.SocketHandle
```

State จะคืนค่าของสถานะของ Socket ขณะที่ใช้ติดต่อระหว่างอยู่ โดยอาจจะใช้ตรวจสถานะ โดยค่าคงที่เหล่านี้เช่น sckClosed (มีค่า=0) Socket ปิดการใช้งาน, sckOpen (มีค่า= 1) Socket เปิดใช้งาน หรือ sckError(มีค่า = 9) Socket มีความผิดผลาดเกิดขึ้น เป็นต้น

2.6.9 Basic Winsock Process Connect

จากที่อธิบายรายละเอียดต่างๆของ Winsock control มาแล้วคราวนี้เราจะมาทำการเริ่มการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะติดต่อกับโปรโตคอล TCP/IP กันล่ะซึ่งการติดต่อจะต้องมีทั้ง Server และ Client ซึ่งก็จะมี 2 โปรแกรม แต่ความจริงแล้วก็คือโปรแกรมเดียวกันแต่เปิด 2 หน้าต่าง โดยกำหนดว่าฝั่งไหนเป็น Server หรือ Client ก็ได้

เหตุการณ์แรกที่ต้องทำในฐานะที่เป็น ฝ่าย Server คือการตรวจสอบสัญญาณจากฝั่ง Client ในที่นี้ใช้ Event Click ของปุ่มชื่อ cmdListen

```
Private Sub cmdListen_Click()
        Winsock1.LocalPort = txtPortSvr.Text
        Winsock1.Listen
End Sub
```

เหตุการณ์ที่สองในฐานะClient ก็จะตอบรับโดยส่งสัญญาณไปให้กับ Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdConnect_Click()
        Winsock1.RemoteHost ="10.10.0.25"
        Winsock1.RemotePort = "5000" ' กำหนดหมายเลขอื่นก็ได้ แต่ต้องให้ตรงกันทั้ง 2
ฝ่าย
        Winsock1.Connect
End Sub
```

เมื่อคลิกปุ่ม cmdConnect ตอนนี้ทาง Winsock Control ฝั่ง Sever จะเกิด Event Connect ซึ่งใน Event นี้เราอาจจะใส่ Massage เตือนก็ได้ดังนี้

```
Private Sub Winsock1_Connect()
        MsgBox "ตอบรับการติดต่อกลับมาแล้ว", vbExclamation, "Chat by MS Winsock
Control 6"
End Sub
```

ขั้นก็เป็นอันว่าทั้ง Server กับ Client สามารถติดต่อสื่อสารกันได้แล้ว ลองส่ง Data กัน

```
Private Sub cmdSend_Click()
        Winsock1.SendData "Hi! How are you? "
End Sub
```

เมื่อฝ่าย Server ส่งData ออกไปที่ Winsock control ฝ่าย Client จะเกิด Event DataArrival เราก็จะรับข้อมูลนั้นด้วยคำสั่ง Getdata โดยเขียนโปรแกรมไว้ใน Event นี้

```
Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
        Dim StrValue As String
        Winsock1.GetData StrValue
End Sub
```

ถ้าหากต้องการยกเลิกการติดต่อก็ใช้คำสั่ง Close เมื่อ Server หรือ Client ใช้คำสั่งนี้ จะทำให้เกิด Event Close ขึ้นกับ Winsock control ของฝั่งนั้น ดังเช่นเราสร้างปุ่ม Close ไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdClose_Click()
        Winsock1.SendData "ยกเลิกการติดต่อแล้วครับ"
        Winsock1.Close
End Sub
```

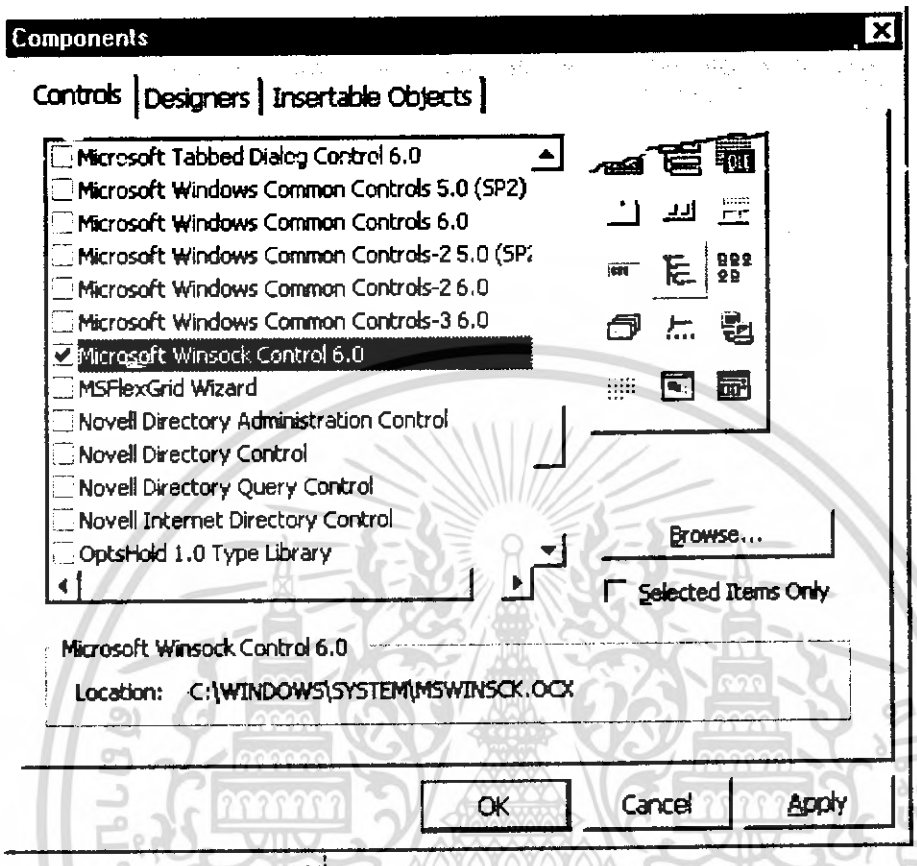
สมมุติว่าเมื่อฝั่ง Server มีการคลิกปุ่มเกิดขึ้นก็จะทำให้ Winsock Control ฝั่ง Client เกิด Event Close โดยอาจจะเขียน code Messageเตือนไว้ดังต่อไปนี้

```
Private Sub Winsock1_Close()
        MsgBox "ยกเลิกการติดต่อแล้วครับ", vbExclamation, "Chat by MS
Winsock    Control 6"
End Sub
```

พื้นฐานการเขียนโปรแกรมด้วย Winsock Control 6 ที่นำเสนอไปแล้วจะต้องถูกนำมาใช้เขียนโปรแกรมรับส่งข้อความหรือที่เรียกกันว่า Chat โดยจุดหลักของโปรแกรมคือสามารถที่จะเป็นได้ทั้ง Server และ Client ในโปรแกรมเดียวกันว่าแล้วก็เปิด VB ขึ้นมาแล้วสร้าง New Project ขึ้นใหม่ และก็จัดการ Add Winsock Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

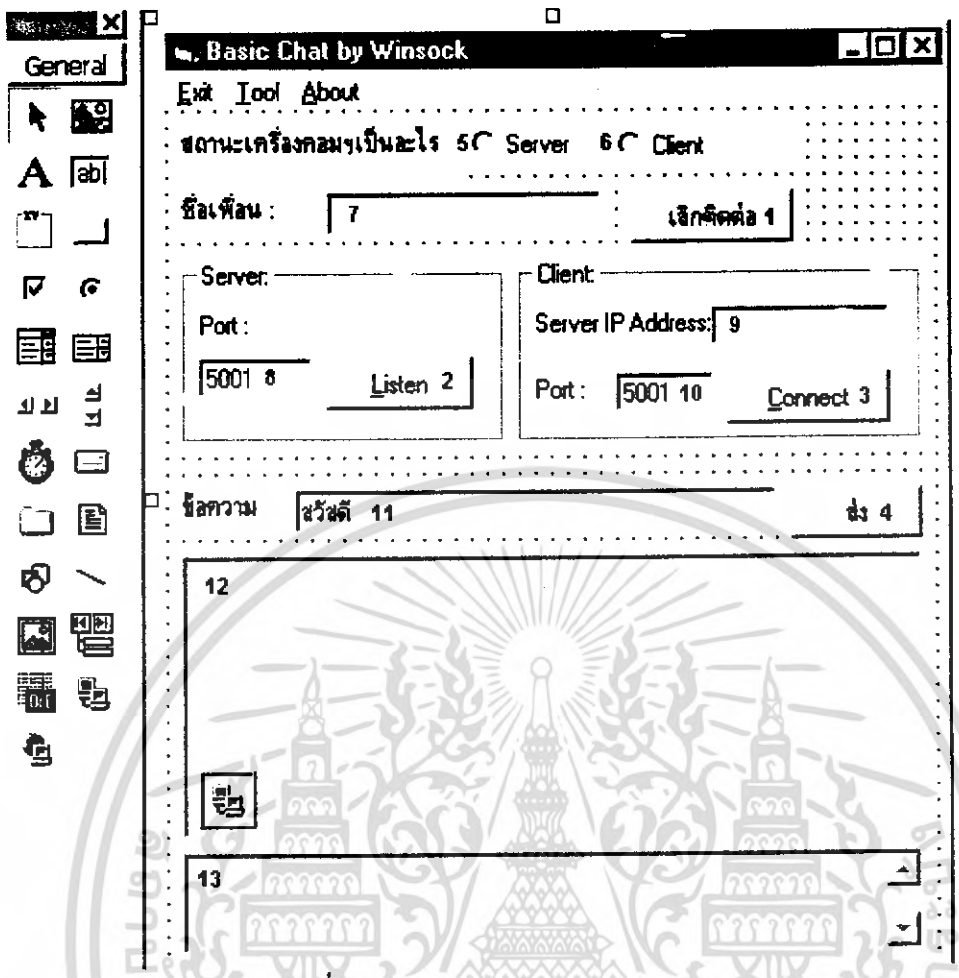
2.6.10 Add Winsock Control



รูปที่ 2.25 Add Winsock Control

จาก Form อันว่างเปล่าของเรา ตอนนี้เราก็ต้อง Add Winsock Control ลง Form โดยการลากจาก Tool Dialog Box มาว่างที่ฟอร์ม เสร็จแล้วตามด้วย Control ตัวอื่นๆตามรูปที่นำมาแสดงไว้ด้านล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การจัดวาง Control ต่าง ๆ

Number	Control	Name	Activity
1	Command Button	cmdDisconnect	ยกเลิกการติดต่อ
2	Command Button	cmdlisten	ส่งสัญญาณไปตรวจสอบเพื่อติดต่อ
3	Command Button	cmdconnect	เชื่อมติดต่อการสื่อสาร
4	Command Button	cmdSend	ส่งข้อความ
5	Option Button	OptServer	เลือกเป็น Server
6	Option Button	OptClient	เลือกเป็น Client
7	TextBox	txtName	แสดงชื่อเครื่องที่ติดต่อด้วย
8	TextBox	txtPortSvr	ใส่ค่าของ Port ของ Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9	TextBox	txtIP	ใส่ค่าของ IP Address
10	TextBox	txtPortClt	ใส่ค่าของ Port ของ Client
11	TextBox	TxtInput	ใส่ข้อความเพื่อส่งไปที่ฝ่ายที่ติดต่อ
12	TextBox	TxtMassage	แสดงข้อความขณะติดต่อกัน
13	TextBox	txtMonitor	แสดงข้อความสถานะของการติดต่อต่างๆ

ตารางที่ 2.5 ค่าสำหรับตั้งใน Control

Command Button Code

เป็นโค๊ดเพื่อยกเลิกการติดต่อเมื่อมีการคลิกปุ่ม

```
Private Sub cmdDisconnect_Click()
If OptServer.Enabled = True Then
  Frmserver.Enabled = True
  FrmClient.Enabled = False
  OptServer.Enabled = True
  OptClient.Enabled = True
  Else
  Frmserver.Enabled = False
  FrmClient.Enabled = True
  OptServer.Enabled = True
  OptClient.Enabled = True
End If
If Winsock1.State <> sckClosed Then ' ตรวจสอบสถานะของ Socket ถ้าหากยังไม่เท่ากับ
ศูนย์
  On Error GoTo ErrLabel: ' ถ้าหากเกิดข้อผิดผลาดให้ไปทำที่ขั้นตอน ErrLabel
  Winsock1.SendData "ยกเลิกการติดต่อแล้วครับ" ' ส่งข้อความกลับไป
  Winsock1.Close ' สั่งให้ Winsock หยุดการติดต่อ
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Exit Sub
ErrLabel:
'จะแสดงข้อความที่เกิดผิดผลาดและหมายเลขของข้อผิดลาดนั้นๆ ซึ่งจะแสดงที่ TextBox ชื่อ
txtMonitor
txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

ปุ่ม Listen จะทำการส่งสัญญาณไปคอยตรวจสอบว่าฝั่ง Client ตอบรับการติดต่อหรือยัง

```
Private Sub cmdlisten_Click()
        On Error GoTo ErrLabel: ' ถ้าหากเกิดข้อผิดผลาดให้ไปทำที่ขั้นตอน
ErrLabel
   Winsock1.LocalPort = txtPortSvr.Text ' กำหนดค่า Port ของ Socket ที่ใช้ติดต่อ
   Winsock1.Listen ' ส่งสัญญาณไปตรวจสอบว่ามีการตอบรับหรือยัง
   TxtInput.SetFocus
   Frmserver.Enabled = False
   FrmClient.Enabled = False
   OptServer.Enabled = False
   OptClient.Enabled = False
   Exit Sub
ErrLabel:
txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

เมื่อฝ่าย Server ส่งสัญญาณ Listen มาทางฝ่าย Client ก็จะตอบโดยการกดปุ่ม Connect เพื่อสามารถที่จะติดต่อส่งข้อความกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdconnect_Click()
        On Error GoTo ErrLabel:
        Winsock1.RemoteHost = txtIP.Text      ' กำหนด IP Address ให้กับ Winsock
   Winsock1.RemotePort = txtPortClt.Text   ' กำหนด Port ให้กับ Winsock
   Winsock1.Connect   ' เชื่อมสัญญาณติดต่อกับฝ่าย Server
   TxtInput.SetFocus
   Frmserver.Enabled = False
   FrmClient.Enabled = False
   OptServer.Enabled = False
   OptClient.Enabled = False
   Exit Sub
ErrLabel:
txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

เป็นอันว่าเสร็จสิ้นการติดต่อเข้ากันทั้ง 2 ฝ่ายแล้ว จากนี้ไปเราสามารถส่งข้อความโดยใส่ข้อความที่ TextBox ชื่อ TxtInput ซึ่งเมื่อกดปุ่ม Send หรือ ส่ง ข้อความนั้นก็จะถูกส่งออกไปยังฝ่ายตรงข้าม

```
Private Sub cmdSend_Click()
If TxtInput.Text <> "" Then   ' ถ้าหากข้อความนั้นไม่ว่างเปล่าหรือมีข้อความก็จะทำเงื่อนไขนี้
   On Error GoTo ErrLabel:
   Winsock1.SendData TxtInput.Text   ' ส่งข้อความด้วยค่าที่อยู่ใน TextBox
   TxtMassage.Text = TxtMassage.Text & "Me: " & TxtInput.Text & vbCrLf
   TxtInput.Text = ""
   TxtMassage.SelStart = Len(TxtMassage.Text)
End If
Exit Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ErrLabel:
txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

2.6.11 Winsock Procedure Code

เมื่อฝ่ายที่ติดต่อด้วยกดปุ่ม Close เพื่อยกเลิกการติดต่อ โพรซีเดอร์นี้ก็จะทำงาน

```
Private Sub Winsock1_Close()
MsgBox "ยกเลิกการติดต่อแล้วครับ", vbExclamation, "Chat by Winsock Control 6"
End Sub
```

เหตุการณ์นี้จะเกิดก็ต่อเมื่อ ฝ่ายServer มีการส่งสัญญาณมาตรวจสอบ เมื่อกดปุ่ม Listen นั้นเอง

```
Private Sub Winsock1_Connect()
On Error GoTo ErrLabel:
MsgBox "ตอบรับการติดต่อแล้วครับ", vbExclamation, "Chat by MS Winsock Control 6"
Winsock1.SendData "สวัสดีครับ สบายดีหรือเปล่า" ' ส่งข้อความกลับไปตอบด้วย
Exit Sub
ErrLabel:
txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

ในระหว่างที่มีการติดต่อสื่อสารนั้นโพรซีเดอร์นี้จะตรวจการร้องขอเพื่อยอมรับ requestID และตกลงใช้ ID เพื่อจะได้สื่อสารกันถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Winsock1_ConnectionRequest(ByVal requestID As Long)
On Error GoTo ErrLabel:
If Winsock1.State <> sckClosed Then Winsock1.Close
  Winsock1.Accept requestID  'ตรวจสอบและยอมรับค่าของคอนโทรล
  Exit Sub
ErrLabel:
txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

เมื่อมีข้อความที่ถูกส่งเข้าเหตุการณ์ DataArrival ก็จะทำงานโดยเราก็นำค่านั้นมาแสดงใน TextBox โดยคำสั่ง GetData

```
Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
If Me.WindowState = 1 Then Me.WindowState = 0
  Dim StrValue As String
  On Error GoTo ErrLabel:
  Winsock1.GetData StrValue ' จากข้อความที่ฝ่ายตรงข้ามส่งมาจะถูกเก็บไว้ในตัวแปร
ชื่อ   StrValue จากนั้นจะนำไปแสดงที่ TxtBox
  TxtMassage.Text = TxtMassage.Text & txtName.Text & ": " & StrValue & vbCrLf
  TxtMassage.SelStart = Len(TxtMassage.Text)
  Exit Sub
ErrLabel:
txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

ระหว่างการสื่อสารนั้นย่อมสิ่งผิดผลาดเกิดขึ้นเพื่อที่เราจะรับรู้ว่าผิดผลาดอะไร ตรงไหนต้องแก้ไขส่วนใด เหตุการณ์นี้ก็จะทำงานขึ้นพร้อมกับค่าที่ผิดลาดนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Winsock1_Error(ByVal Number As Integer, Description As String, ByVal Scode
As Long, ByVal Source As String, ByVal HelpFile As String, ByVal HelpContext As Long,
CancelDisplay As Boolean)

txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " & Err.Number &
vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)

End Sub
```

ที่กล่าวมานั้นจะสังเกตเห็นว่าในส่วนของ การแสดงข้อความสถานะระหว่างการติดต่อนั้นมีเกือบทุกโพรซีเดอร์ ก็เป็นการแสดงข้อความและหมายเลขของการ Error นั้นออกมาเท่านั้นเอง

2.6.12 Option Code

ที่ต้องมีไว้เพื่อเราจะได้เขียนเพียงโปรแกรมเดียวแต่สามารถใช้เป็น Server หรือ ฝ่าย Client ก็ได้ส่วนโค๊ดนั้นก็เพียงแค่ Enabled Frame ในส่วนของ Server หรือ Client เท่านั้นเองครับ

```
Private Sub OptClient_Click()
        FrmClient.Enabled = True
        Frmserver.Enabled = False
        txtIP.SetFocus
End Sub

Private Sub OptServer_Click()
  Frmserver.Enabled = True
  FrmClient.Enabled = False
  txtPortSvr.SetFocus
  txtPortSvr.SelStart = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  txtPortSvr.SelLength = Len(txtPortSvr.Text)
End Sub
```

2.6.13 Menu Code

ส่วนนี้เราขออธิบายแคเมนู Tool ซึ่งก็มีเมนูย่อย คือ

IP Address Local ไว้สำหรับตรวจสอบหมายเลขของ IP ที่เครื่องนั้น

```
Private Sub mnuChkIP_Click()
MsgBox "เครื่องนี้มีหมายเลข IP Address : " & Winsock1.LocalIP, vbInformation, "Local IP
Address"
End Sub
```

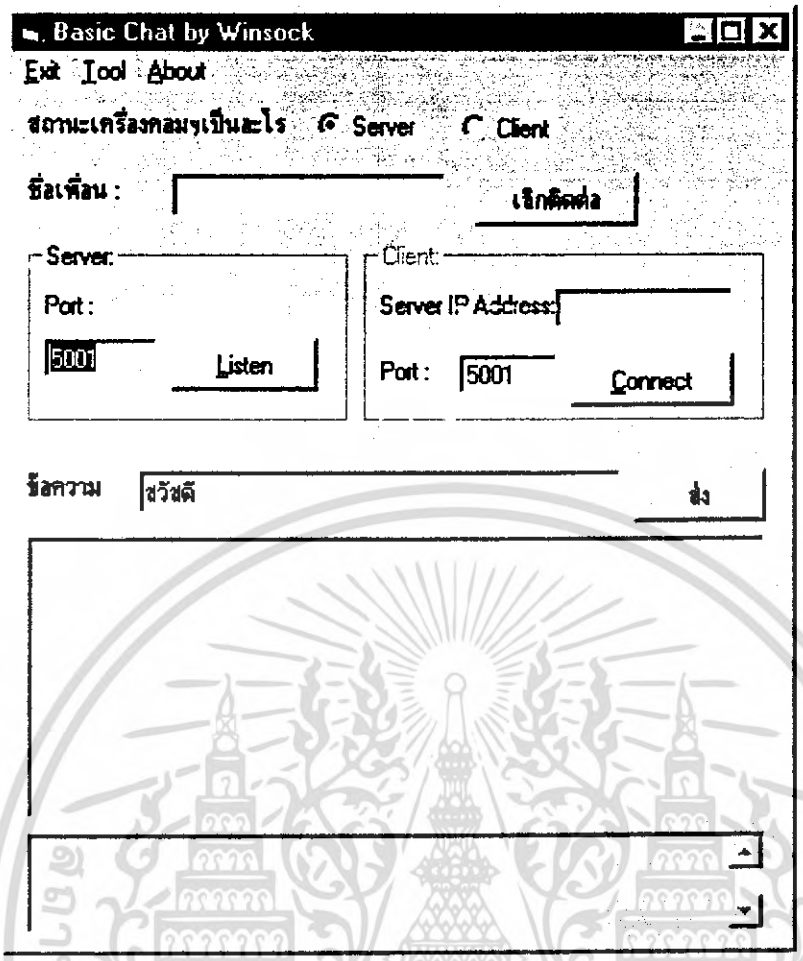
และ Port Local เพื่อดูหมายเลขของ Port ที่ใช้ติดต่อของเครื่องนั้นเช่นกัน

```
Private Sub mnuPort_Click()
MsgBox "เครื่องนี้มีหมายเลข Port : " & Winsock1.LocalPort, vbInformation, "Local IP
Address"
End Sub
```

2.6.14 Using Program Connect

เมื่อเราทำการคอมไพล์เป็นไฟล์ EXE แล้ว ให้เปิดโปรแกรมนี้ขึ้น 2 ครั้ง ก็จะโปรแกรม 2 หน้าต่างดังรูป โดยหน้าต่างแรกเราจะสมมุติให้เป็น Server และ หน้าที่สอง เป็น Client ในหน้าต่าง Server ให้กำหนดหมาย Port ไม่จำเป็นต้องเหมือนดังตัวอย่างก็ได้ แต่จะต้องให้ทั้ง 2 โปรแกรมมีค่าเหมือนกันเท่านั้นเอง จากนั้นกดปุ่ม Listen

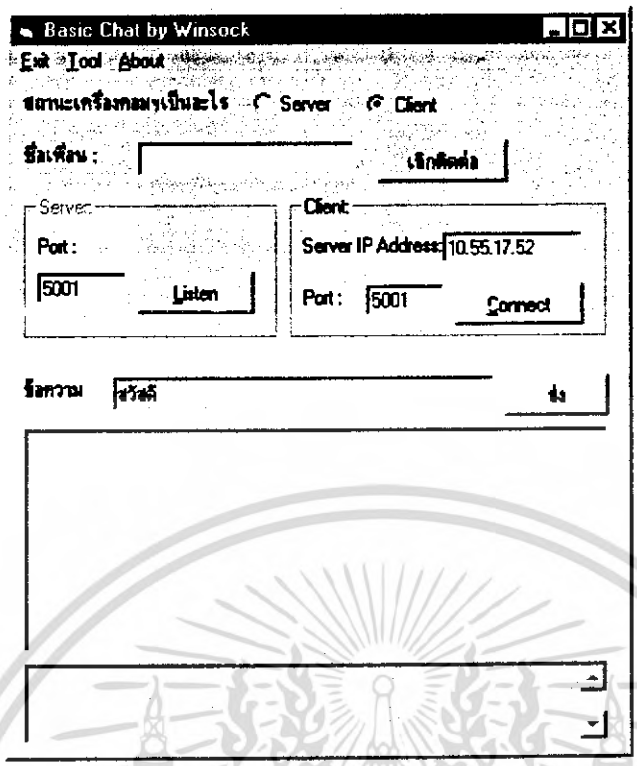
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



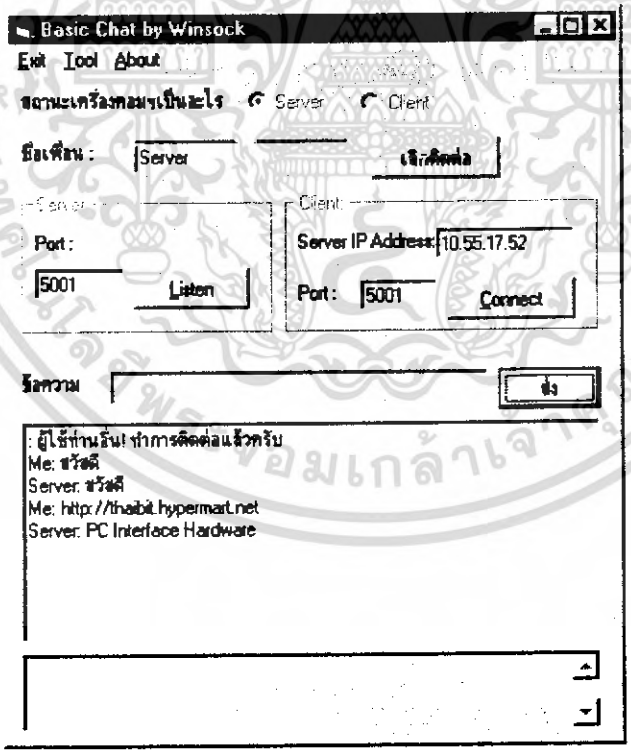
รูปที่ 2.27 Using Program Connect

ส่วนฝ่ายที่เป็น Client ก็เลือก Option Button เป็น Client จากนั้นจึงไปกำหนดหมายเลข IP Address ของ เครื่องฝ่าย Server แต่ถ้าไม่ได้ต่อระบบเครือข่าย คือเครื่อง Standalone ว่าง่าย ให้ใส่หมายเลข IP ของเครื่องเราไปแทนครับ จากนั้นก็กดปุ่ม Connect ทางฝ่าย Server ก็ได้คำตอบรับกลับไปเป็น Message Box ตอนนี้ก็ติดต่อกันเสร็จแล้ว สามารถส่งข้อความโต้ตอบกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 Using Program Connect



รูปที่ 2.29 Using Program Connect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราได้รู้วิธีในเนื้อหา เกี่ยวกับการรับส่งข้อความผ่านทาง TCP/IP ไปแล้วนั้น คงจะทำให้เราเข้าใจวิธีใช้งาน Winsock เพื่อติดต่อผ่าน TCP/IP กันแล้ว มาถึงตอนนี้เราจึงมาเขียนโปรแกรมเพื่อส่งผ่านไฟล์ข้อมูลกันบ้าง ดังนั้นเราจึงต้องมาทำความเข้าใจเกี่ยวกับจัดการไฟล์ข้อมูลกันก่อน โดยมีอาจแบ่งประเภทไฟล์ข้อมูลได้เป็น 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

- Sequential File หรือ ไฟล์แบบเรียงลำดับต่อเนื่อง
- Random File หรือ ไฟล์แบบสุ่ม

ในเนื้อหานี้ขอกล่าวถึงวิธีจัดการเกี่ยวกับไฟล์แบบ Random File ซึ่งมีข้อดีที่แตกต่างกว่าแบบ Sequential File ตรงที่สามารถทำการเปิดไฟล์ได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องมีการเรียงข้อมูลแบบ Sequential File หากที่จะต้องข้อมูลใน Record ใดๆ สามารถเข้าได้ทันที

2.6.15 ขั้นตอนการสร้างไฟล์ข้อมูล แบบ Random ในภาษา Basic

1. เริ่มต้นเปิดไฟล์

Open "R",#<File-number>,"<File description>",<Record lenght>

File-number คือ หมายเลขของไฟล์ที่เราใช้

File-description คือ ชื่อไฟล์ที่จะใช้งานนั้นเอง

Record lenght คือ ความยาวข้อมูลที่เก็บใน 1 เรกคอร์ท ซึ่งกำหนดได้สูงสุด 32467

หากไม่ระบุจะมีค่าเท่ากับ 128 ไบท์/1 เรกคอร์ท

2. กำหนดขนาดเนื้อที่ในตัวแปรต่างๆให้มีค่าตาม

Random Buffer ---> FIELD #

3.รับข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลสุดท้าย --> Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.หากไม่ใช้ข้อมูลสุดท้ายให้นำข้อมูลไปประมวลผล หากแต่ต้องการที่จะประมวลผลก่อนบันทึก

ด้วยเงื่อไข If...Then....Else..

5. โยกย้ายข้อมูลเก็บไว้ที่ Random Buffer ถ้าหากข้อมูลเป็นตัวเลขให้เปลี่ยนเป็นค่าสตริง

ก่อนถึงจะนำไปเก็บไว้ที่ตัวแปร Buffer ได้

6.ทำการบันทึกข้อมูลลงไฟล์ก่อนแล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 ต่อไปอีก

```
Put #<file number>[,<record number>]
```

7.ถ้าถึงข้อมูลสุดท้ายให้ทำการปิดไฟล์

```
Close #<file number>[,<record number>] หรือ Close
```

2.6.16 ขั้นตอนการอ่านไฟล์ข้อมูล แบบ Random ในภาษา Basic

1. เริ่มต้นเปิดไฟล์

```
Open "R",#<file number>,"<file description>",<Record lenght>
```

2. กำหนดขนาดเนื้อที่ในตัวแปรต่างๆให้มีค่าตาม

Random Buffer ---> FIELD #

3.กำหนดข้อมูลที่จะอ่านรับข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลสุดท้าย ด้วยเงื่อไข

If...Then....Else..

4.ทำการอ่านข้อมูลตาม Record ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Get #<file number>,<record number>

5. เปลี่ยนข้อมูลที่เป็นชนิด สตริง ให้เป็นนิมิวนิค(Numeric) ก่อนนำไประมวลผล

6. แสดงค่าที่ได้จากการประมวลผล Print หรือ Debug.Print (กรณีทดสอบ) และกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 ต่อ

7.ถ้าถึงข้อมูลสุดท้ายให้ทำการปิดไฟล์

Close #<file number>[,<record number>] หรือ Close

2.6.17 วิธีการเขียนโปรแกรมสำหรับส่งไฟล์ฝั่ง Server

ในที่นี้อุปมาว่าทุกท่านรู้วิธีการ Listen จาก Server และการ Connect จากฝั่ง Client แล้ว การกระทำเพื่อจะส่งไฟล์ทางด้าน Server นี้ จะทำเขียนเป็น Sub Function ก็ได้หรือจะเขียนใน Events ของ Control ก็ได้เหมือนกัน แต่จะนำเสนอเป็นแบบ Sub Function เพื่อง่ายและสะดวกในการเรียกใช้ ซึ่งจะใช้การส่งค่าของ Control ไปให้กับ Function ในที่นี้มี

SendData(sFile As String, sSaveAs As String, tcpCtl As Winsock)
txtFiletranfer =Text box ตัวนี้ทำหน้าที่รับค่าเป็น Text ของ Path File ที่จะทำการส่งออกไป
txtNewFile = Text box ทำหน้าที่รับค่าเป็น Text ของ Path File ที่จะนำไปเก็บที่ใหม่
Winsock1 =ทำหน้าที่ส่งข้อมูลโดยคำสั่ง SendData ไปยังฝั่ง Client

จากนั้นก็จะทำการเปิดไฟล์ตาม Path ที่กำหนดมาและจัดการอ่านข้อมูลเป็นแบบไบนาลี่เก็บไว้ที่ Buffer แล้วจึงส่งไปด้วยคำสั่ง SendData นี้เป็นหลักการของ Function นี้

```
Public Sub SendData(sFile As String, sSaveAs As String, tcpCtl As Winsock)
On Error GoTo ErrHandler ' เมื่อเกิดข้อผิดผลาดให้ไปกระทำที่ซับ ErrHandler
Dim sSend As String, sBuf As String
Dim ifreefile As Integer
Dim lRead As Long, lLen As Long, lThisRead As Long, lLastRead As Long
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ifreefile = FreeFile
'เปิดไฟล์เป็นแบบไบนาลี่
Open sFile For Binary Access Read As #ifreefile
lLen = LOF(ifreefile)
'วนลูปเพื่อทำให้ไฟล์เป็นแพกขนาด 64k
Do While lRead < lLen
lThisRead = 65536
If lThisRead + lRead > lLen Then
 lThisRead = lLen - lRead
End If
If Not lThisRead = lLastRead Then
 sBuf = Space$(lThisRead) ' เก็บค่า Record ไว้ใน Buffer
End If
Get #ifreefile, , sBuf ' ทำการอ่านข้อมูลจากไฟล์มาเก็บไว้ใน Random Buffer ตามเรคคอท
lRead = lRead + lThisRead
sSend = sSend & sBuf
Loop
valTotal = lLen
Close ifreefile 'ปิดแฟ้มข้อมูล
bSendingFile = True
'ส่งชื่อแฟ้มข้อมูลแจ้งไปล่วงหน้าและคำว่า"File" ไปตรวจสอบเงื่อนไขที่ฝั่ง Client
tcpCtl.SendData "File" & sSaveAs
DoEvents
'ส่งข้อมูลของแฟ้มข้อมูล
tcpCtl.SendData sSend
DoEvents
'เสร็จสิ้น
tcpCtl.SendData "Filecmp" ส่งค่าสตริงคำว่า"Filecmp"เพื่อให้ไปตรวจสอบเงื่อนไขที่ฝั่ง
Client
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
bSendingFile = False
Exit Sub
' กรณีที่เกิดข้อผิดลาดจะวิ่งมาที่ซับนี้พร้อมกับแสดงข้อความแจ้งเตือนข้อผิดผลาด
ErrHandler:
  txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " &
Err.Number & vbCrLf
txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
End Sub
```

2.6.18 วิธีการเขียนโปรแกรมสำหรับส่งไฟล์ฝั่ง Client

ส่วนฝั่ง Client จะทำการรับข้อมูลที่ส่งมาจาก Server มาสร้างเป็นไฟล์ซึ่งจะเป็นชื่อใหม่หรือชื่อเดิมก็ได้ ตามที่ได้กำหนดใน Text Box ชื่อ txtNewFile มาจากฝั่ง Server ทั้งหมดนี้จะทำที่เหตุการณ์(Event) Winsock1_DataArrival ซึ่งมีหลักการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
Private Sub Winsock1_DataArrival(ByVal bytesTotal As Long)
Dim StrValue As String
Dim ifreefile
On Error GoTo ErrLabel:
Winsock1.GetData StrValue   ' จากข้อความที่ฝ่ายตรงข้ามส่งมาจะถูกเก็บไว้ในตัวแปรชื่อ
StrValue จากนั้นจะนำไปแสดงที่ Text Box
DoEvents
If Right$(StrValue, 7) = "Filecmp" Then ' ถ้าหากฝั่ง Server ส่งค่าสตริงคำว่า"Filecmp"
  bFileArriving = False ' ตัวแปรมีค่า=0 เพื่อบอกว่าสิ้นสุดการส่งข้อมูลของไฟล์
  sArriving = sArriving & Left$(StrValue, Len(StrValue) - 7) ' เก็บข้อมูลที่ส่งมา ใช้ฟังก์ชั่น
จัดการอักษรกับตัวแปร StrValue และเชื่อมต่อค่าตัวแปร sArriving โดยจะเก็บไว้ที่ตัวแปร
sArriving อีกที
  ifreefile = FreeFile
  If Dir(sFile) <> "" Then ' ตรวจสอบว่ามีไฟล์เดิมอยู่ว่างหรือไม่
    MsgBox "File Already Exists"
  Else
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'เปิดแฟ้มข้อมูลแบบไบนาลี่เพื่อเขียนข้อมูล
    Open sFile For Binary Access Write As #ifreefile
    Put #ifreefile, 1, sArriving
' บันทึกข้อมูลจากตัวแปร buffer ลงสู่แฟ้มข้อมูลตามเรคคอท
    Close #ifreefile ' ปิดแฟ้มข้อมูล
' เปิดไฟล์อัตโนมัติ
    ShellExecute 0, vbNullString, App.Path & "\" & sFile, vbNullString, vbNullString,
vbNormalFocus
  End If
 ElseIf Left$(StrValue, 4) = "File" Then ' ถ้าหากตัวแปร StrValue มีค่าเท่ากับ File ให้เริ่มต้น
เก็บไว้ในตัวแปร
  bFileArriving = True
  sFile = Right$(StrValue, Len(StrValue) - 4)
 ElseIf bFileArriving Then ' ถ้าหากตัวแปร bFileArriving =1 ให้เชื่อมข้อมูลของตัวแปร
  sArriving = sArriving & StrValue
 End If
 Exit Sub
 ErrLabel:
' กรณีที่เกิดข้อผิดลาดจะวิ่งมาที่ซับนี้พร้อมกับแสดงข้อความแจ้งเตือนข้อผิดผลาด
  txtMonitor.Text = txtMonitor.Text & Err.Description & " - Error number: " &
Err.Number & vbCrLf
  txtMonitor.SelStart = Len(txtMonitor.Text)
 End Sub
```

จากเรื่องการส่งไฟล์ ได้กล่าวถึงวิธีเขียนโค๊ดโปรแกรมไปแล้ว ในตอนนี้จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมโดยจะใช้โปรแกรม Chat เดิมของเรื่อง VB Winsock Chat มาทำการเพิ่มคอนโทรล 3 ตัว คือ Text Box 2 ตัวและ Command Button 1 ตัว เนื่องจากในส่วนของการ Listen จาก Server และ Connect จาก Client

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

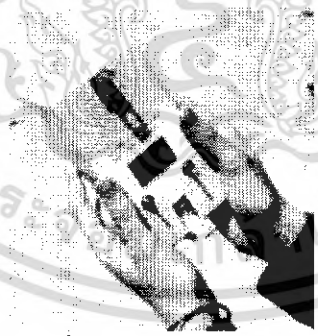
บทที่ 3
ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้เป็นคล้ายกับการนำเอาเครื่องมือที่มีอยู่แล้วมาพัฒนาต่อเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของคนไทยจึงต้องมีการเทียบมาตรฐานกับเครื่องมือที่เป็นตัวมาตรฐานและจะต้องมีการทดลองใช้เครื่องมือจริงเพื่อจะได้ศึกษาถึงผลกระทบ และความเหมาะสมกับผู้ใช้ที่เป็นคนไทย และในโครงงนพิเศษนี้ได้มีการศึกษาในส่วนของการส่งข้อมูลผ่านระบบ Internet ในแบบ Real time ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่าการส่งข้อมูลในรูปแบบนี้อาจที่จะเกิดปัญหาได้ ขึ้นอยู่กับตัวระบบ ดังนั้น โครงงานพิเศษนี้จะทำการผลกระทบในระบบนี้ด้วย ตลอดจนการศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในสถานที่ที่กำหนด ในระยะยาวอีกด้วย

3.1 การศึกษาข้อมูล

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของแสง
2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของ Sun Photometer
3. ศึกษาโปรแกรม Visual Basic V.6
4. ศึกษาการติดต่อสื่อสารในระบบ Internet แบบ Real time และปัญหาสืบเนื่อง

3.2 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย

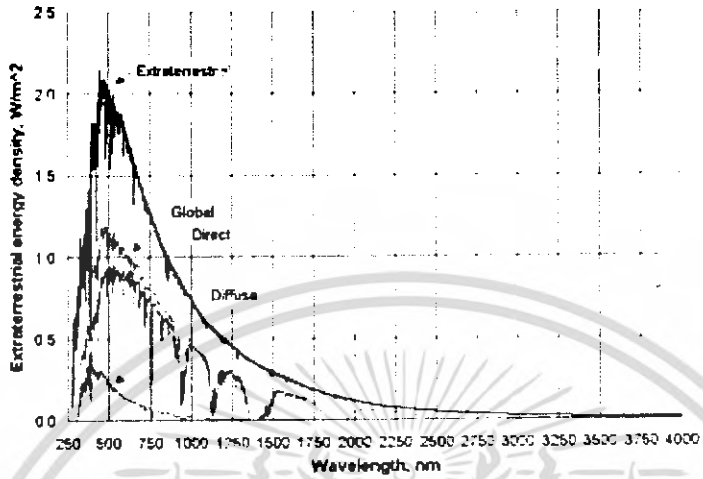


รูปที่ 3.1 Sun photometer

วิธีการวิจัยของโครงงานพิเศษนี้แบ่งออกเป็นหลายขั้นตอนโดยในขั้นแรกจะทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน **(หัวข้อที่ 3.1)** จากนั้นทำการจัดหาอุปกรณ์ที่สามารถที่จะใช้แทนกับเครื่องมาตรฐานได้ โดยที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่ารคาต้องถูกกว่าเครื่องมาตรฐาน จากการศึกษาทฤษฎี ในระยะแรกจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

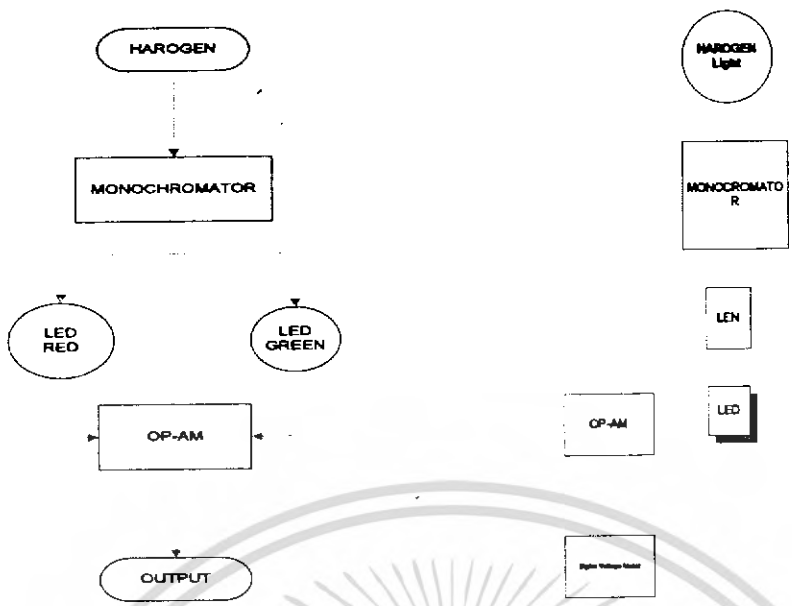
ทำการศึกษาถึงรังสีจากดวงอาทิตย์ ว่าเมื่อแสงเดินทางมายังพื้นโลกนั้นความยาวคลื่นที่สามารถเดินทางมายังพื้นโลกมากที่สุดนั้น คือ ในย่าน 400 – 600 nm



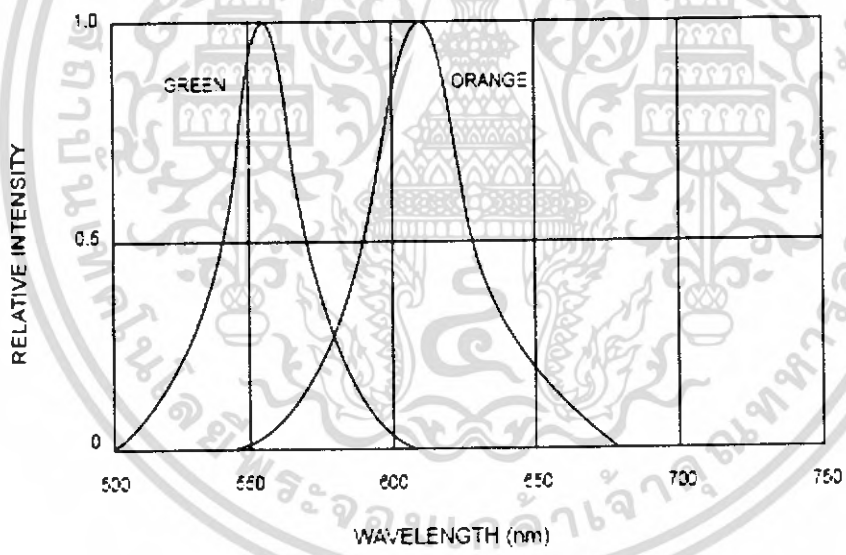
รูปที่ 3.2 Surface spectrum

จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ความยาวคลื่นดังกล่าวมีค่าความเข้มแสงมากที่สุด ดังนั้นที่ความยาวคลื่นนี้ จึงเป็นที่นิยมสำหรับใช้ในการสำรวจ ปริมาณแสงแดด ของเครื่อง Sun photometer และหัวใจหลักของเครื่องมือนี้ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดปริมาณแสงแดดนั้นก็คือ LED ซึ่ง LED ที่ใช้ในเครื่องมาตรฐานเป็น LED ชนิดพิเศษที่มีความเป็น Monochromatic สูง แต่ถึงกระนั้น ราคาของมันก็มีค่าสูงด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการนำเอา LED ธรรมดาที่มีราคาถูกกว่าในการตรวจวัดแทน ซึ่งกระบวนการนี้เองจึงมีการนำเอา LED ธรรมดานี้มาทำการหาค่า ความยาวคลื่นเพื่อที่จะได้ ค่าความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกับตัวเดิมมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบการทดลองการหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม

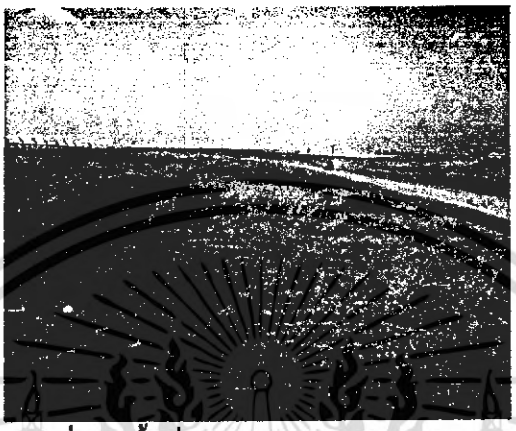


รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความไวของLED LMP-D600

เมื่อได้ LED ที่เหมาะสมกับเครื่อง Sun photometer ที่ใช้ทำการประกอบเครื่องต้นแบบออกเป็น 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งได้ทำการทดลองบริเวณชุมชนใกล้เคียงกับสนามบินสุวรรณภูมิเพื่อที่จะทดลองใช้เครื่องมือก่อนที่จะทำการสร้างเป็นเครือข่าย และไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานก่อนที่สนามบินจะเปิดทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะทำการศึกษาผลกระทบของสนามบินกับชุมชนในอนาคตต่อไป ส่วนเครื่องที่ 2 ส่งไปใช้ที่จังหวัดที่นครราชสีมา เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบกับเครื่องแรกในการทดลองใช้ระบบการส่งข้อมูล เพราะ ระบบที่ใช้ในเครื่องแรกใช้ระบบ network ของ สจล. ส่วนของนครราชสีมานั้น ใช้ระบบของ มทส.

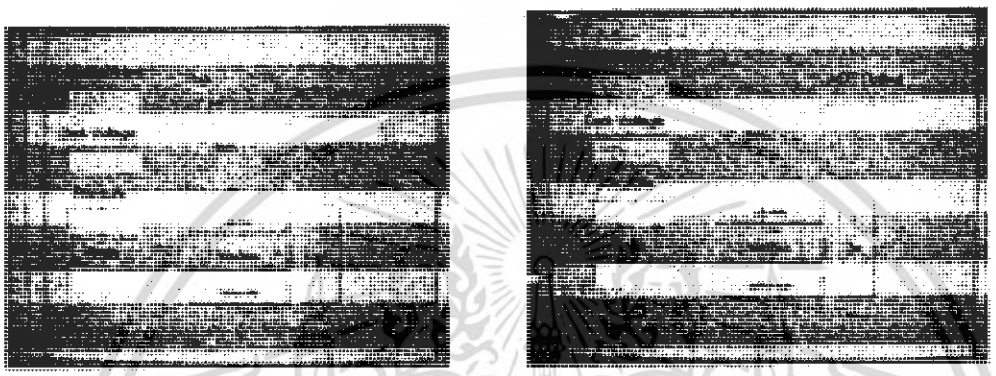


รูปที่ 3.5 พื้นที่บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

รูปที่ 3.6 พื้นที่ชุมชนบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิที่ใช้สำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาโปรแกรมได้ใช้โปรแกรม Visure Basic เพราะนอกจากที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความหนาแน่นของวัตถุในอากาศเชิงแสง (AOT) แล้วยังจะต้องนำค่าที่ได้ส่งผ่านระบบ Network มายังเครื่องแม่เพื่อที่จะนำข้อมูลมาเก็บสะสมและวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



```
function CounterRecordset_ondatasetcomplete(){
fieldsArray = new
Array("Remote_Host","Path_Info","HTTP_User_Agent");
  valuesArray = new Array(Request.ServerVariables("Remote_Addr"),
Request.ServerVariables("Path_Info"),
Request.ServerVariables("HTTP_User_Agent"));
  CounterRecordset.addImmediate(fieldsArray, valuesArray);
}
```

รูปที่ 3.7 โปรแกรม Visure Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

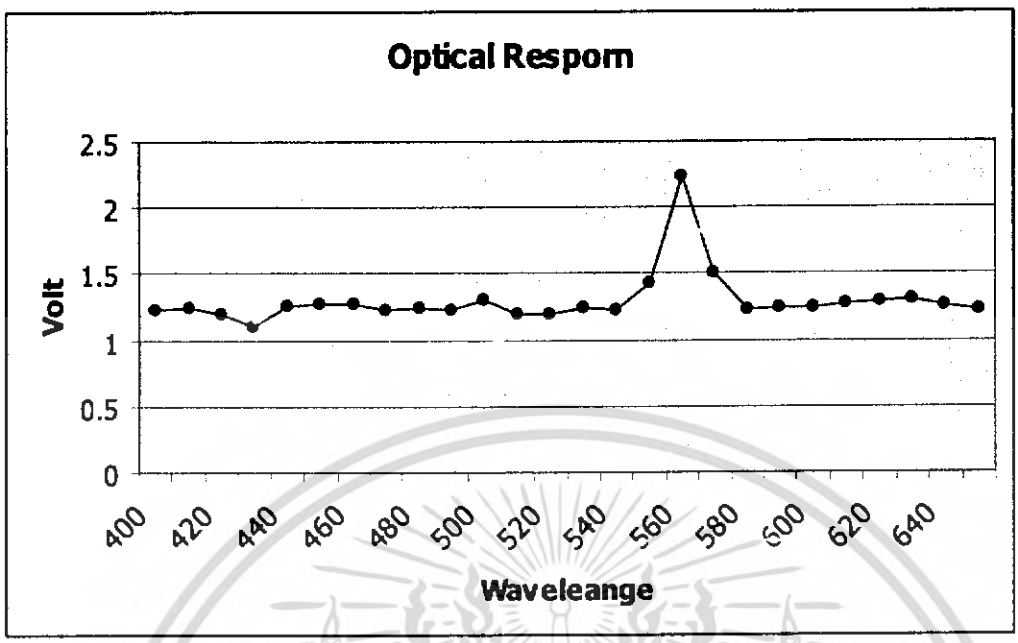
จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 การทดลองในโครงงานพิเศษนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ครั้ง โดยในครั้งแรกจะเป็นการศึกษาหา LED ที่เหมาะสมกับตัวเครื่อง และส่วนต่อมาเป็นการศึกษาการความสามารถของเครื่องมือและโปรแกรมในการส่งค่าแบบ Real Time ผ่านระบบ Network

4.1 การหาค่า optical Respond ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

4.1.1 การหาค่า Optical Resporn โดยใช้ LED สีเขียว

ความยาวคลื่น	โวล์ต
400	1.23
410	1.25
420	1.2
430	1.11
440	1.26
450	1.27
460	1.28
470	1.23
480	1.24
490	1.22
500	1.3
510	1.2
520	1.2
530	1.25
540	1.23
550	1.43
560	2.23
570	1.5
580	1.23
590	1.25
600	1.24
610	1.28
620	1.29
630	1.3
640	1.26
650	1.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า Optial Resporn ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

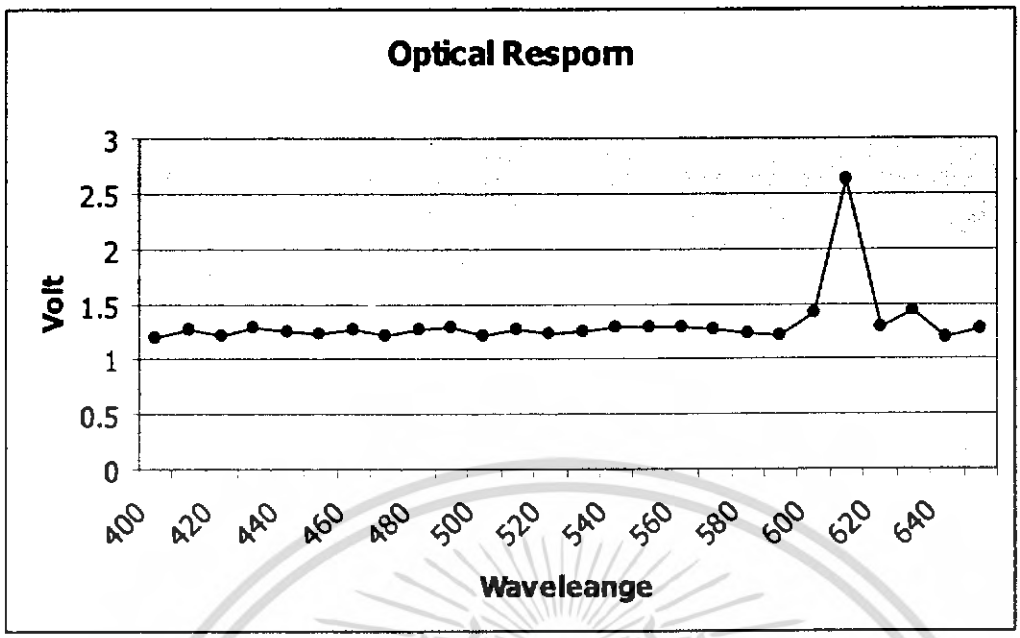
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การหาค่า Optical Resporn โดยใช้ LED สีแดง

ความยาวคลื่น	โวล์ต
400	1.2
410	1.26
420	1.22
430	1.29
440	1.24
450	1.23
460	1.26
470	1.22
480	1.27
490	1.29
500	1.22
510	1.26
520	1.23
530	1.24
540	1.29
550	1.28
560	1.29
570	1.27
580	1.23
590	1.22
600	1.41
610	2.63
620	1.29
630	1.44
640	1.2
650	1.26

ตารางที่ 4.2 ค่าโวล์ตที่ได้จากความยาวคลื่นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า Optial Resporn ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองเมื่อใช้เครื่องมือ

ผลการทดลองบริเวณชุมชนใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิโดยใช้ระยะเวลาในการทดลองใช้เครื่องมือเป็นเวลา 1 เดือน และในปัจจุบันยังมีการใช้เครื่องมืออยู่

วันที่	แรงดัน (แดง)	แรงดัน (เขียว)	อุณหภูมิ	ความดันบรรยากาศ	เวลา	มุม	แรงดันแลบแฝง (แดง)	แรงดันแอบแฝง (เขียว)
1	1.455	1.458	32	1008	11.10	85	0.001	0.003
2	1.443	1.462	30	1008	11.10	85	0.001	0.003
3	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
4	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
5	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
6	1.479	1.501	35	1008	11.00	85	0.001	0.003
7	1.450	1.472	35	1008	11.10	85	0.001	0.003
8	1.435	1.457	36	1008	11.00	85	0.002	0.002
9	1.446	1.454	30	1008	11.05	85	0.002	0.002
10	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
11	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
12	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
13	1.453	1.483	30	1008	11.10	85	0.002	0.002
14	1.476	1.512	34	1008	11.10	85	0.002	0.002
15	1.471	1.506	33	1008	11.05	85	0.002	0.002
16	1.462	1.478	33	1008	11.10	85	0.002	0.002
17	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
18	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
19	1.432	1.453	35	1008	11.10	85	0.001	0.002
20	1.433	1.457	35	1008	11.05	85	0.001	0.002
21	1.472	1.497	37	1008	11.00	85	0.001	0.002
22	1.439	1.447	35	1008	11.10	85	0.001	0.002
23	1.452	1.468	30	1008	11.00	85	0.001	0.002
24	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
25	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
26	1.461	1.507	35	1008	11.10	85	0.001	0.002
27	1.452	1.427	35	1008	11.10	85	0.001	0.002
28	1.455	1.482	30	1008	11.05	85	0.001	0.002
29	1.445	1.438	34	1008	11.05	85	0.001	0.002
30	1.426	1.453	34	1008	11.00	85	0.001	0.002
31	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือบริเวณชุมชนใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	แรงดัน (แดง)	แรงดัน (เขียว)	อุณหภูมิ	ความดันบรรยากาศ	เวลา	มุม	แรงดันแอบแฝง (แดง)	แรงดันแอบแฝง (เขียว)
1	1.455	1.458	32	1008	11.10	85	0.001	0.003
2	1.443	1.462	30	1008	11.10	85	0.001	0.003
3	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
4	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
5	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
6	1.479	1.501	35	1008	11.00	85	0.001	0.003
7	Data Loss							
8	1.435	1.457	36	1008	11.00	85	0.002	0.002
9	1.446	1.454	30	1008	11.05	85	0.002	0.002
10	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
11	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
12	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
13	Data Loss							
14	Data Loss							
15	1.471	1.506	33	1008	11.05	85	0.002	0.002
16	1.462	1.478	33	1008	11.10	85	0.002	0.002
17	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
18	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
19	1.432	1.453	35	1008	11.10	85	0.001	0.002
20	1.433	1.457	35	1008	11.05	85	0.001	0.002
21	1.472	1.497	37	1008	11.00	85	0.001	0.002
22	1.439	1.447	35	1008	11.10	85	0.001	0.002
23	1.452	1.468	30	1008	11.00	85	0.001	0.002
24	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
25	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
26	1.461	1.507	35	1008	11.10	85	0.001	0.002
27	Data Loss							
28	Data Loss							
29	1.445	1.438	34	1008	11.05	85	0.001	0.002
30	1.426	1.453	34	1008	11.00	85	0.001	0.002
31	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์

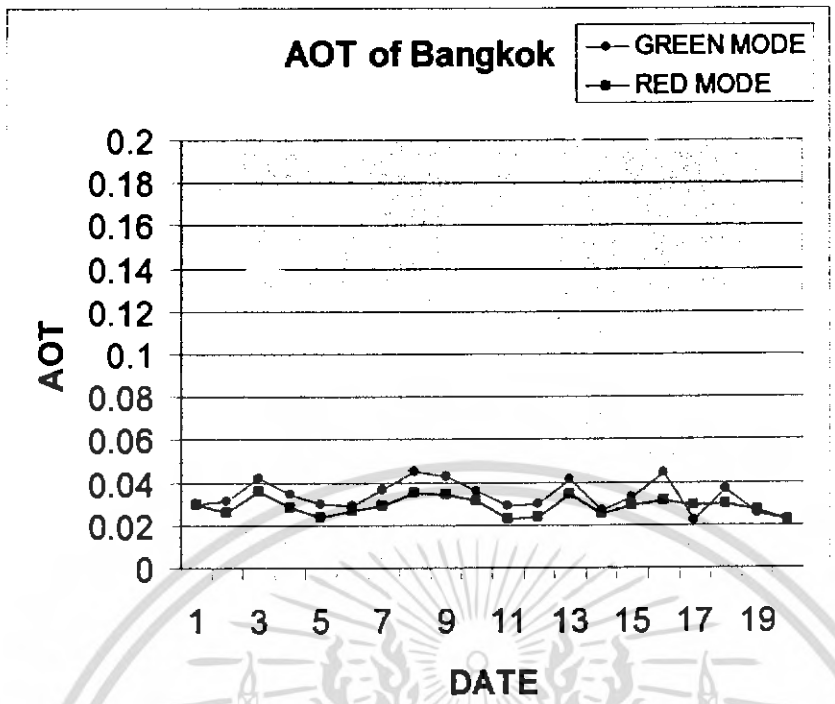
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือและส่งข้อมูลผ่าน Network บริเวณชุมชนใกล้กับสนามบินสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

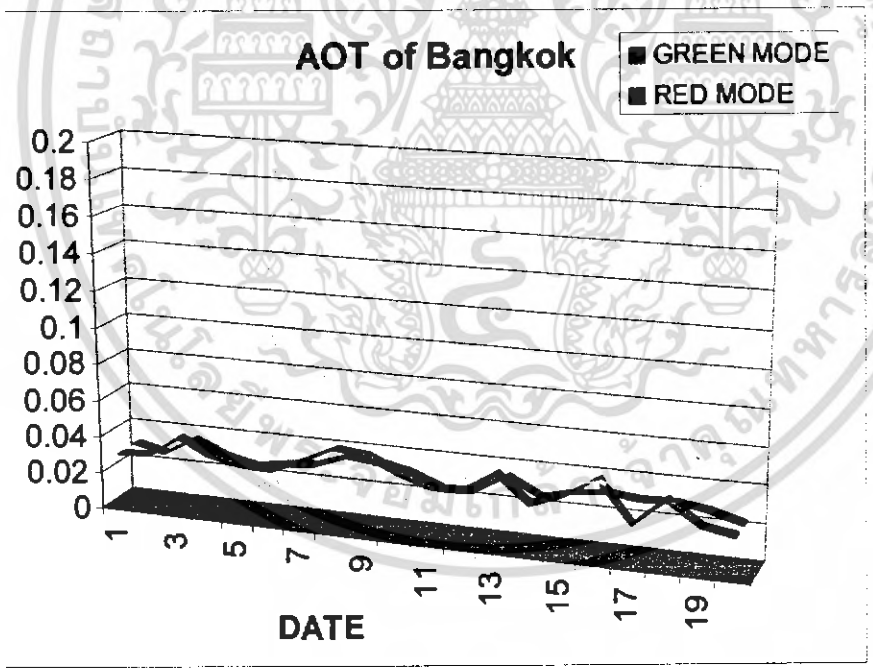
วัน	AOT (RED)	AOT(GREEN)	อุณหภูมิ
1	0.030	0.030	32
2	0.026	0.031	30
6	0.036	0.042	35
7	0.028	0.034	35
8	0.024	0.030	36
9	0.027	0.029	30
13	0.029	0.037	30
14	0.035	0.045	34
15	0.034	0.043	33
16	0.031	0.036	33
19	0.023	0.029	35
20	0.024	0.030	35
21	0.034	0.041	37
22	0.025	0.027	35
23	0.029	0.033	30
26	0.031	0.044	35
27	0.029	0.022	35
28	0.030	0.037	30
29	0.027	0.025	34
30	0.022	0.022	34

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่า AOT ที่ชุมชนใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ AOT



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ AOT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองบริเวณนครราชสีมาโดยใช้ระยะเวลาในการทดลองใช้เครื่องมือเป็นเวลา 1 เดือน และใช้ Network ของ ม.สุรนารี

วันที่	แรงดัน (แดง)	แรงดัน (เขียว)	อุณหภูมิ	ความดันบรรยากาศ	เวลา	มุม	แรงดันแอบแฝง (แดง)	แรงดันแอบแฝง (เขียว)
1	1.487	1.522	35	997	11.15	80	0.002	0.003
2	1.531	1.543	35	997	11.05	85	0.002	0.003
3	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
4	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
5	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
6	1.660	1.677	35	997	11.00	85	0.002	0.003
7	1.640	1.651	37	997	11.10	85	0.002	0.003
8	1.510	1.532	37	997	11.05	85	0.002	0.003
9	1.476	1.519	30	997	11.10	85	0.002	0.003
10	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
11	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
12	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
13	1.577	1.612	30	997	11.15	85	0.002	0.003
14	1.584	1.610	33	997	11.10	85	0.001	0.002
15	1.532	1.577	33	997	11.10	85	0.001	0.002
16	1.497	1.510	34	997	11.10	85	0.001	0.002
17	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
18	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
19	1.489	1.501	35	997	11.10	85	0.001	0.002
20	1.491	1.512	35	997	11.05	85	0.001	0.002
21	1.528	1.549	32	997	11.15	85	0.001	0.002
22	1.574	1.567	32	997	11.10	85	0.001	0.002
23	1.542	1.573	30	997	11.05	85	0.001	0.002
24	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
25	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
26	1.601	1.632	31	997	11.15	85	0.001	0.002
27	1.597	1.622	30	997	11.15	85	0.001	0.002
28	1.539	1.541	31	997	11.10	85	0.001	0.002
29	1.459	1.521	30	997	11.05	85	0.001	0.002
30	1.489	1.519	35	997	11.05	85	0.003	0.005
31	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือบริเวณจังหวัดนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	แรงดัน (แดง)	แรงดัน (เขียว)	อุณหภูมิ	ความดันบรรยากาศ	เวลา	มุม	แรงดันแอบแฝง (แดง)	แรงดันแอบแฝง (เขียว)
1	1.487	1.522	35	997	11.15	80	0.002	0.003
2	1.531	1.543	35	997	11.05	85	0.002	0.003
3	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
4	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
5	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
6	Data Loss							
7	1.640	1.651	37	997	11.10	85	0.002	0.003
8	1.510	1.532	37	997	11.05	85	0.002	0.003
9	1.476	1.519	30	997	11.10	85	0.002	0.003
10	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
11	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
12	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด	วันหยุด
13	1.577	1.612	30	997	11.15	85	0.002	0.003
14	Data Loss							
15	1.532	1.577	33	997	11.10	85	0.001	0.002
16	1.497	1.510	34	997	11.10	85	0.001	0.002
17	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
18	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
19	1.489	1.501	35	997	11.10	85	0.001	0.002
20	1.491	1.512	35	997	11.05	85	0.001	0.002
21	1.528	1.549	32	997	11.15	85	0.001	0.002
22	1.574	1.567	32	997	11.10	85	0.001	0.002
23	1.542	1.573	30	997	11.05	85	0.001	0.002
24	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์
25	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์	อาทิตย์
26	1.601	1.632	31	997	11.15	85	0.001	0.002
27	Data Loss							
28	Data Loss							
29	1.459	1.521	30	997	11.05	85	0.001	0.002
30	1.489	1.519	35	997	11.05	85	0.003	0.005
31	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์	เสาร์

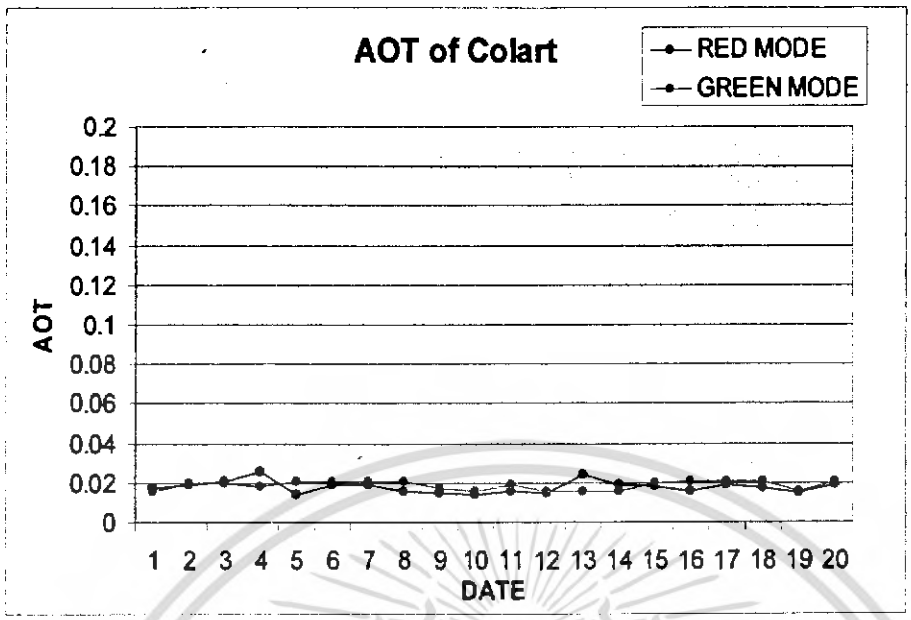
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าที่ได้จากการใช้เครื่องมือและส่งข้อมูลผ่าน Network บริเวณจังหวัดนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

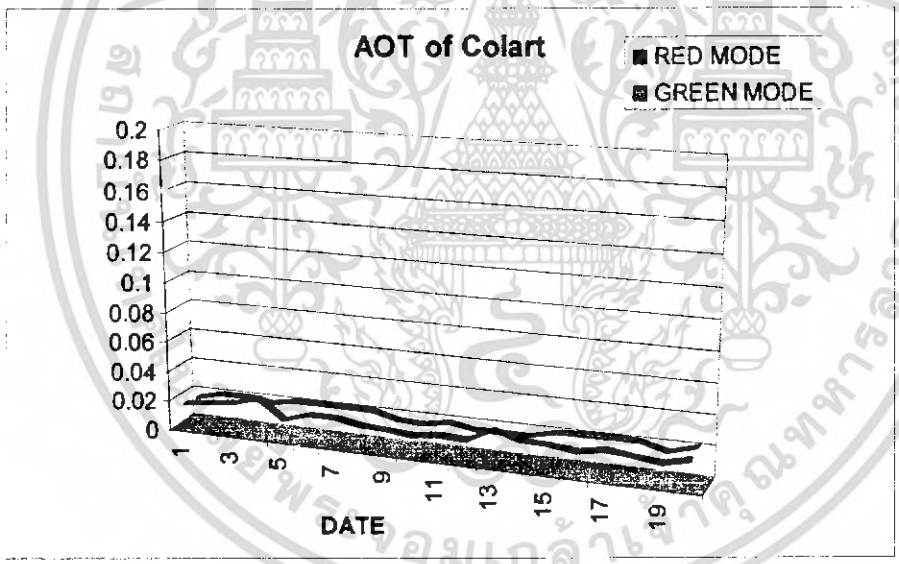
วัน	AOT (RED)	AOT (GREEN)	อุณหภูมิ
1	0.017	0.016	35
2	0.019	0.020	35
6	0.021	0.020	35
7	0.026	0.018	37
8	0.014	0.021	37
9	0.019	0.021	30
13	0.019	0.021	30
14	0.016	0.021	33
15	0.015	0.017	33
16	0.014	0.016	34
19	0.016	0.019	35
20	0.015	0.016	35
21	0.024	0.016	32
22	0.019	0.016	32
23	0.018	0.020	30
26	0.016	0.021	31
27	0.019	0.021	30
28	0.017	0.021	31
29	0.015	0.016	30
30	0.019	0.021	35

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่า AOT ที่ชุมชนใกล้สนามบินสุวรรณภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ AOT



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ AOT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดลองของโครงงานพิเศษนี้ถ้าทำการพิจารณาแล้วจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันนั้นก็คือ โดยที่ส่วนแรกเป็นส่วนของความสามารถและประสิทธิภาพของเครื่องมือโดยสังเกตุได้จากคำแนะนำจากผู้ใช้ว่ามีการใช้งานในระดับใด นั้นเพราะ รูปแบบหลักของเครื่องมือนี้ได้ลอกแบบมาจากเครื่องแม่ที่นำมาจาก GLOBE และข้อมูลที่ส่งมาว่ามีความสอดคล้องตามหลักของสภาพบรรยากาศ โดยใช้เครื่อง Sun photometer เป็นตัวเทียบ ซึ่งผลที่ได้ เห็นได้อย่างชัดเจนว่าเครื่องมือสามารถที่จะใช้ในการสำรวจได้ในระดับหนึ่ง ส่วนที่สองนั้นก็คือ ส่วนของโปรแกรมคำนวณและการส่งข้อมูลผ่านระบบ Network Internet แบบ Real Time ซึ่งผลที่ออกมาไม่ค่อยเป็นที่น่าจะพอใจได้เท่าไหร่ จากการสังเกตุผลในขั้นแรกทำการสันนิฐานว่าน่าจะเกิดจากโปรแกรมที่อาจจะมีการฟ้อง IP ที่ผิดพลาด แต่เมื่อทำการสังเกตุผลที่ได้ต่อมาทำให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้ไม่ได้เกิดการผิดพลาดเนื่องจากตัวโปรแกรม เพราะ ตัวโปรแกรมได้มีการฟ้องสถานะโดยตรงไม่มีการฟ้องสถานะย้อนกลับ ดังนั้นการสันนิฐานในขั้นแรกน่าจะผิดพลาด ทำให้สามารถที่จะพิจารณาและตัดสินได้ว่า น่าจะเกิดจากการส่งข้อมูลแบบ Real Time นั้นเกิดการผิดพลาดสูญหายไปเนื่องจาก ระบบ IP Network ของไทยเกิดการสับสน เพราะ ในการทดลองกับระบบที่ จังหวัดนครราชสีมา ได้ตรวจพบ ข้อมูลที่ทำการส่งสูญหายไปในบางครั้งและระบบที่ใช้ที่ลาดกระบังเช่นกัน และที่ทำให้แน่ใจย่งขึ้นนั้นก็คือ ตรวจพบว่า มีข้อมูลได้ไปปรากฏอยู่ใน IP ข้างเคียงอยู่ 1 ถึง 2 ครั้ง ในแต่ละพื้นที่

และจากนั้นได้ทำการทดลองระบบส่งข้อมูลอีกรูปแบบหนึ่งนั้นก็คือ การทำข้อมูลที่ได้เป็นในรูปแบบ E-mail ก่อนแล้วจึงทำการส่งเพื่อที่จะได้รวบข้อมูลเป็นก้อนเดียวก่อนจึงทำการส่ง จากการทดลองเห็นว่าวิธีนี้มีการพลาดของตัวข้อมูลสูงเพราะนอกจากจะต้องเตรียม ระบบฐานข้อมูลให้มีพื้นที่มาก แล้วยังเกิดการผิดพลาดระหว่างการบันทึกตัวโปรแกรมเป็นก้อนเดียวอีกด้วย ซึ่งวิธีนี้ค่อนข้างที่จะล้มเหลวกว่าวิธีแรกอย่างเห็นได้ชัดเพราะ หลังจากที่ทำการส่งข้อมูลในรูปแบบนี้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ข้อมูลเกิดมีการผิดพลาดและสูญหายกว่า 80% ซึ่งตามหลักของการใช้งานโปรแกรมแล้ว ให้ถือว่าไม่สามารถที่จะทำการใช้งานได้จึงได้ระงับการทดลองไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากโครงงานพิเศษนี้จะเห็นได้ว่าเครื่องมือที่ใช้นั้นสามารถที่จะใช้ได้ดีในการสำรวจสภาพบรรยากาศ แต่ถึงกระนั้นก็เป็นการยากที่จะให้เครื่องมือนั้นเก็บผลเองตลอดเวลาที่สามารถที่จะทำการเก็บข้อมูลได้ และไม่สามารถที่จะทำการวัดข้อมูลในบริเวณที่ยากที่จะสามารถเข้าไปบ่อย ๆ ได้ซึ่งมีอยู่หลายบริเวณที่น่าจะมีการเก็บข้อมูลแต่ก็ไม่สามารถทำได้ ดังนั้นถ้าในอนาคตมีการพัฒนาเครื่องมือนี้ในรูปแบบที่มีการเก็บผลได้เองโดยอัตโนมัติและสามารถที่จะใช้เวลาในการที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้เลยก็น่าจะเป็นการดี

และในส่วนของการส่งข้อมูลที่มีปัญหาการผิดพลาดนั้น เราสามารถที่จะแก้ปัญหาได้อย่างง่าย ๆ นั้นก็คือ อาจจะใช้ระบบ Webbord หรือ การเก็บข้อมูลในระบบ HOST ใน Internet ก่อนแล้วทำการดึงข้อมูลมาจากระบบเพื่อทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่มีความปลอดภัยและสามารถที่จะได้รับข้อมูลได้อย่างแม่นยำ แต่ข้อเสียของมันก็คือ เราจะมีพื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่จำกัดจะต้องหมั่นที่จะทำการตรวจเช็คเนื้อที่อย่างสม่ำเสมอ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aerosols Protocol

Purpose

To measure the aerosol optical thickness of the atmosphere (how much of the sun's light is scattered or absorbed by particles suspended in the air)

Overview

Students point a GLOBE sun photometer at the sun and record the largest voltage reading they obtain on a digital voltmeter connected to the photometer. Students observe sky conditions near the sun, perform the *Cloud*, *Optional Barometric Pressure* (optional) and *Relative Humidity Protocols*, and measure current air temperature.

Student Outcomes

Students understand the concept that the atmosphere prevents all of the sun's light from reaching Earth's surface and they learn what causes hazy skies.

Science Concepts

Earth and Space Science

- The atmosphere is composed of different gases and aerosols.
- The sun is the major source of energy for changes in the atmosphere.
- The diurnal and seasonal motion of the sun across the sky can be observed and described.

Geography

- Human activities can modify the physical environment.

Atmosphere Enrichment

- Aerosols decrease the amount of solar energy reaching Earth's surface.
- Aerosols in the atmosphere increase haze, decrease visibility, and affect air quality.

Scientific Inquiry Abilities

- Use a sun photometer and voltmeter to measure the amount of direct sunlight.
- Identify answerable questions.
- Design and conduct scientific investigations.
- Use appropriate mathematics to analyze data.
- Develop descriptions and explanations using evidence.
- Recognize and analyze alternative explanations.
- Communicate procedures and explanations.

Time

15-30 minutes to collect data

Level

Middle and Secondary

Frequency

Every day, weather permitting

Materials and Tools

- Calibrated and aligned GLOBE sun photometer
- Digital voltmeter
- Watch, preferably digital (or GPS receiver)
- Thermometer
- Hygrometer or Sling psychrometer
- GLOBE Cloud Chart
- Barometer (optional)
- *Aerosols Data Sheet*

Preparation

Practice using a digital voltmeter.

Prerequisites

Cloud, *Relative Humidity*, and *Optional Barometric Pressure* (optional) *Protocols*

Ability to measure current air temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aerosols Protocol – Introduction

Background

The atmosphere is composed of molecules of gas and small solid and liquid particles suspended in the air, called aerosols. Some aerosols are naturally produced from volcanoes, sea spray, sand, or wind-driven erosion of surface soil. Some aerosols are a result of human activity, such as dust from agricultural activities, smoke from burning biomass and fossil fuels and photochemically induced smog due primarily to vehicle emissions. Drops and ice crystals that form when water vapor freezes or condenses are also aerosols.

Most aerosols are in the troposphere, but large volcanic eruptions can inject aerosols and trace gases much higher into the stratosphere. Aerosols in the stratosphere may remain for years while in the troposphere, precipitation and interactions with Earth's surface remove aerosols in ten days or less.

Aerosols are too small to be individually visible, but you can often see their combined effect when the sky is hazy or looks dirty. Brilliant orange skies at sunrise and sunset may also be indicators that aerosols are present.

Aerosols influence our weather and climate because they affect the amount of sunlight reaching Earth's surface. Volcanic aerosols in the stratosphere have changed surface air temperatures around the world for years at a time. Biomass burning causes large local increases in aerosol concentrations that can affect regional weather. Taken together with other atmospheric measurements, aerosol measurements help scientists to better understand and predict climate and to understand atmospheric chemistry.

Aerosol concentrations vary significantly with location and time. There are seasonal and diurnal variations as well as unpredictable changes due to events such as large dust storms and volcanic eruptions. Aerosols are highly mobile; they can cross oceans and mountain ranges. It is generally agreed that, because of higher concentrations of aerosols, skies in many parts of the world are hazier than they were one or two centuries ago, even in rural areas.

Aerosol optical thickness (AOT, also called aerosol optical depth) is a measure of the extent to which aerosols affect the passage of sunlight through the atmosphere. The larger the optical thickness at a particular wavelength, the less light of that wavelength reaches Earth's surface. Measurements of aerosol optical thickness at more than one wavelength can provide important information about the concentration, size distribution, and variability of aerosols in the atmosphere. This information is needed for climate studies, for comparison with satellite data and to understand the global distribution and variability of aerosols.

Investigating Aerosols

Scientists have many questions regarding aerosols. How do aerosol concentrations change with the seasons? How are aerosol concentrations related to the weather and climate? How does smoke from large forest fires affect sunlight reaching Earth's surface? How long do volcanic emissions stay in the atmosphere and where do they go? How is air pollution related to aerosols? How do large industrial facilities and agricultural activities affect aerosols? How do aerosols affect a satellite's view of Earth's surface? Global measurements are needed to monitor the present distribution of aerosols and to track events that alter aerosol concentrations. Their study can lead to a better understanding of Earth's climate and how it is changing.

By reporting measurements regularly, you can provide scientists with the data they need and you can start to answer some questions about aerosols for your own data collection site. You may even observe plumes of aerosols originating thousands of kilometers away as they pass through your area. By building a data record that extends across several seasons and includes data from many locations, GLOBE can help scientists learn more about the global distribution of aerosols.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Teacher Support

Understanding Measurements of Aerosols

Aerosol measurements are best understood in the context of the other GLOBE atmospheric measurements. There may be observable relationships between aerosols and temperature, cloud cover, relative humidity, and precipitation. Certainly, aerosols vary seasonally. Thus, it is helpful to approach this topic as part of a "big picture" of the atmosphere and its properties.

An introduction to the concepts of solar elevation angle and relative air mass is essential to understanding these measurements. The Learning Activities *Making a Sundial* and *Calculating Relative Air Mass* describe activities to measure these values. Advanced-level students with appropriate mathematics backgrounds can calculate their own value for aerosol optical thickness using the *Looking at the Data* section. They can then compare their calculations to the value calculated by the GLOBE Data Server.

The GLOBE Sun Photometer

The GLOBE sun photometer has two channels, each of which is sensitive to a particular wavelength of light — green light at about 505 nanometers (nm) and red light at about 625 nm. Green light is near the peak sensitivity of the human eye; hence, a visibly hazy sky is likely to have a large aerosol optical thickness at this wavelength. Red light is more sensitive to larger aerosols. Data from a single channel enables the calculation of AOT in a particular wavelength range but it does not provide information about the size distribution of aerosols. Combining data from more than one channel provides information on size distribution. Knowing the size distribution helps identify the source of the aerosols.

Measurements taken with the GLOBE sun photometer are in units of volts. These values must be converted to aerosol optical thickness. Since the calculations require mathematics (logarithmic and exponential functions) that are appropriate only for high school students taking a pre-calculus mathematics course, the GLOBE Data Server will perform the calculations based on the voltage readings submitted by students and return a value of optical thickness for students to use. There is a *Looking at the Data* section for advanced students that includes the equation for converting sun photometer measurements into aerosol optical thickness. A typical aerosol optical thickness value for visible light in clear air is roughly 0.1. A very clear sky may have an AOT at green-light wavelengths of 0.05 or less. Very hazy skies can have AOTs of 0.5 or greater.

It may be easier to understand the concept of optical thickness when it is expressed in terms of the percentage of light that is transmitted through the atmosphere, according to this formula:

$$\text{percent transmission} = 100 \times e^{-a}$$

where a is optical thickness at a particular wavelength. This calculation gives the percentage of light at a particular wavelength that would be transmitted through the atmosphere if the sun were directly overhead. For an optical thickness of 0.10, the percent transmission is about 90.5%.

For students who are not yet comfortable with exponential functions, Table AT-AE-1 gives percent transmission as a function of optical thickness.

Table AT-AE-1

Optical Thickness	Percent Transmission
0.10	90.5%
0.20	81.9%
0.30	74.1%
0.40	67.0%
0.50	60.7%
0.60	54.9%
0.75	47.2%
1.00	36.8%
1.25	28.7%
1.50	22.3%
2.00	13.5%
2.50	8.2%
3.00	5.0%
3.50	3.0%
4.00	1.8%
5.00	0.7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Where and When to Take Sun Photometer Measurements

The logical place to take sun photometer measurements is the same place where you do your cloud observations and other atmosphere protocols. If you take measurements at some other place, you need to define it as an additional Atmosphere Study Site.

Ideally, aerosol measurements should be made in the morning when the solar elevation angle is at least 30 degrees. This is because, generally, the air in the morning is less turbulent than air near noon when the sun is high in the sky, or in the afternoon, especially in the heat of summer. The less turbulent the air, the easier it is to obtain reliable measurements. During the winter in temperate and higher latitudes, the relative air mass at your location may always be greater than 2. You can still take measurements, but you should take them as close to solar noon as possible. Although you should try to take measurements during optimum conditions, it is OK to take and report measurements whenever it is convenient and you have an unobstructed view of the sun.

If you wish to collect sun photometer data that support ground validation efforts for Earth-observing spacecraft, you may need to take measurements at specific times, corresponding to spacecraft overflights of your observing site. For more information about this activity, please contact the GLOBE Science Team.

Instrument Care and Maintenance

Your GLOBE sun photometer is a simple and rugged device with no easily breakable parts. However, you must take care of it in order to take accurate measurements. Here are some things you should do (and not do) to make sure your sun photometer performs reliably over long periods of time.

1. Do *not* drop your photometer.
2. *Protect* your sun photometer from dirt and dust by storing it in a sealed plastic bag (such as a plastic sandwich bag) when you are not using it.
3. *Do not* expose your sun photometer to extremely hot or cold temperatures by leaving it in the sun or on a radiator or by leaving it outside.
4. *Keep* your sun photometer turned off when it is not in use.
5. *Check* the battery voltage every few months. See *Checking and Changing Your GLOBE Sun Photometer Battery*. Your sun photometer uses very little power when you take measurements, so the battery should last for many months of normal use. If you accidentally leave the photometer turned on for hours or days when you are not using it, check the battery before taking additional measurements and replace it if necessary.
6. *Do not* modify the electronics inside your sun photometer in any way. The calibration of your instrument depends critically on retaining the original components on the circuit board.
7. *Do not* enlarge the hole(s) in the case through which sunlight enters your sun photometer. The calibration of your sun photometer and the interpretation of its measurements are based on the size of this hole. If you change it, your measurements will no longer be valid.

With a little care, your sun photometer will work reliably for many years. Although the GLOBE Science Team might ask you to return your sun photometer for recalibration, under normal conditions no periodic recalibration is necessary. If your instrument appears not to be working correctly, consult with GLOBE before doing anything else.

Checking and Changing Your GLOBE Sun Photometer Battery

At least every three months, check the voltage of the battery in your sun photometer and replace the battery if necessary. If your sun photometer has a built-in digital voltmeter and a "low battery" indicator appears, or if the voltages from your instrument appear erratic, replace the battery at once. (See the *Checking and Changing Your GLOBE Sun Photometer Battery Lab Guide* for Instructions.) Replacing the battery will not change the calibration of your instrument and measurements made with the old battery will be OK as long as you replace the old battery before its voltage falls below 7.5 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Checking and Changing Your GLOBE Sun Photometer Battery

Lab Guide

Task

Check the battery in the sun photometer and replace it if necessary.

What You Need

- ❑ Small Phillips-head screwdriver
- ❑ Voltmeter
- ❑ Any standard, new 9 V battery if the old battery needs replacing (rechargeable batteries are not recommended for this instrument)

In the Lab

1. Open the case by removing the four screws in the cover.

   Do not remove the printed circuit board or disturb the electronics in any way.

   Do not touch the front surface of the LED detectors (the round green and red devices on the front of the printed circuit board).

2. With the instrument turned on, use a voltmeter to measure the voltage across the two connectors on the battery holder.

   Note that new 9-volt batteries typically produce voltages greater than 9 V, and can even produce voltages in excess of 10 V.

3. If the voltage is less than 7.5 V, replace the battery. Any standard 9 V battery is OK. Alkaline batteries are more expensive than other types and are not required. Note that the connectors on the + and -terminals are different, so the battery will fit in its holder only one way. Rechargeable batteries are not recommended for this instrument.

4. When you are done, check the operation of your sun photometer by letting sunlight shine on the LED detectors. You do not have to replace the cover while you are performing this test. Whenever an LED is not shadowed, you should see a voltage substantially larger than the "dark" voltage.

5. When you are sure the photometer is working, replace the cover. If your sun photometer has a foam strip on the lid, make sure the cover is oriented so this strip pushes against the top of the printed circuit board. Tighten the screws until they are snug, but do not force them.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

If you want to convince yourself that replacing the battery has not changed the calibration of your instrument, wait for a clear day. Make a few measurements right before and right after you change the battery. These measurements should be consistent as long as the old battery voltage was not significantly less than 7.5 V.

Student Preparation

1. Prior to implementing this protocol, it will be helpful to spend a few minutes in your classroom or lab practicing how to use a digital voltmeter. When the voltmeter is connected to a circuit that is not producing a voltage signal, the digital display may indicate the presence of a small voltage (perhaps a few millivolts). This is normal operation, but it may be confusing to students who are expecting to see a voltage of 0.0 V. (**Note:** If your sun photometer has a built-in voltmeter, you do not need a separate digital voltmeter to take measurements. However, if you have a separate digital voltmeter, this is still a useful activity.)
2. In order to calculate aerosol optical thickness from your measurements, GLOBE must know the true barometric pressure (the station pressure) at your site when you took your measurements. The preferred source for local barometric pressure is an online or broadcast weather source for your area (such as the National Weather Service in the U.S.). See the *Optional Barometric Pressure Protocol*. Locating such a source should be part of student preparation for this protocol. If an online source is not available, there are other options discussed in *Getting Ready to Take Measurements*, below. Almost always, barometric pressure is reported adjusted to what it would be at sea level. This enables meteorologists to draw weather maps over terrain with varying elevation. GLOBE uses the elevation data from your site definition to adjust the sea level pressure you report to the station pressure needed to calculate AOT.
3. Current air temperature and relative humidity are also helpful supporting information for this protocol. Have students practice these measurements as well. See the *Digital Multi-Day Max/Min Current Temperature Protocol Field Guide*, steps 1-5 of the *Maximum, Minimum and Current Temperature Protocol Field Guide*, steps 1-4 of the *Digital Single-Day Maximum and Minimum Temperature Protocol Field Guide* or the *Current Air Temperature Protocol Field Guide* and the *Relative Humidity Protocol*.
4. The presence of thin, high (cirrus) clouds in front of the sun will affect sun photometer readings. This is why it is important that students gain some experience in identifying clouds, especially cirrus clouds, as described in the *Cloud Protocols*.
5. It is especially important to take sun photometer measurements in the prescribed way and under acceptable sky conditions. A *Classroom Preparation Guide* is provided to help you prepare. It describes in detail the steps required to take and record a measurement, along with the reasons for each step. It parallels the *Field Guide* that simply lists the steps in order without explanation. As part of their preparation for this protocol, students should study the *Classroom Preparation Guide* to make sure they understand the critical parts of each step.

Questions for Further Investigation

To what extent is AOT related to other atmospheric variables — temperature, cloud type and cover, precipitation, relative humidity, barometric pressure, and ozone concentration?

How does AOT relate to the appearance of a distant landmark or to the color of the sky?

Does AOT vary with site elevation? If so, how?

How does AOT vary as surroundings change from urban to rural?

How does AOT vary with the seasons?

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aerosols Protocol
Classroom Preparation Guide

Task

Record the maximum voltage reading that can be obtained by pointing your photometer at the sun.

Record the precise time of your measurement.

Observe and record cloud conditions, current air temperature, and relative humidity.

What You Need

- ❑ Calibrated and aligned GLOBE sun photometer
- ❑ Digital voltmeter (if your sun photometer does not have a built-in voltmeter)
- ❑ Watch, preferably digital or GPS receiver
- ❑ *Aerosols Data Sheet*
- ❑ GLOBE Cloud Chart
- ❑ Barometer (optional)
- ❑ Thermometer
- ❑ Hygrometer or sling psychrometer
- ❑ *Field Guides* for cloud, relative humidity and one air temperature protocol
- ❑ Pencil or pen

Getting Ready To Take Measurements

In order for the Science Team to interpret measurements made with your sun photometer, you must provide the longitude, latitude, and elevation of your observing site, as required for other GLOBE measurements. You do this once, when you define an Atmosphere Study Site. Other values and observations must be provided along with each measurement, as shown on the data entry form. The purpose of this section is to give you the information you need to complete the data entry.

Time

It is important to report accurately the time at which you take a measurement because the Science Team needs to calculate solar position at your site and that calculation depends on time. The GLOBE standard for reporting time is UT, which can be calculated from local clock time based on your time zone and the time of year. For this protocol, it is absolutely essential to convert local time to UT correctly; be especially careful when your local time is summer ("daylight savings") time. For example, you must add 5 hours to convert Eastern Standard Time to UT, but only 4 hours to convert Eastern Daylight Time to UT.

Time should be reported at least to the nearest 30 seconds. A digital watch or clock is easier to use than an analog one, but in either case you must set your timepiece against a reliable standard. The time accuracy requirements for this protocol are stricter than for the other GLOBE protocols. However, it is not difficult to set your clock or watch to meet this standard. You can get time online at www.time.gov. In many places, you can get an automated local time report by phone from a local radio or TV station. Your GPS receiver will report UT. In some places, you can buy a clock that sets itself automatically by detecting radio signals from a government-sponsored official time source. (In the U.S., for example, this so-called "atomic clock" signal is broadcast over station WWBV.)

It might be tempting to use the time stored in your computer as a standard. However, this is not a good idea, as (perhaps surprisingly) computer clocks are often not very accurate, and they must be

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

set periodically according to a reliable standard. Note that some computer operating systems will automatically switch your computer clock back and forth between standard and summer ("daylight savings") time. You should be aware of when this change occurs if you need to manually convert time from your local clock time to UT.

The preferred time of day for reporting sun photometer measurements at most latitudes, during most of the year, is mid-morning. However, it is acceptable to take these measurements any time during the day between mid-morning and mid-afternoon. No matter what time you take measurements, be sure to report UT as accurately as possible, as noted above. The Science Team understands that it may be most convenient to take these measurements at the same time you collect your other atmospheric data. Measurements should be made at a relative air mass of no more than 2 whenever possible. (Refer to the Learning Activity that discusses relative air mass. A relative air mass of 2 corresponds to a solar elevation angle of 30 degrees.) During the winter in temperate and higher latitudes, the relative air mass at your location may always be greater than 2. You can still take measurements, but you should take them as close to solar noon as possible.

If you are taking sun photometer measurements in support of ground validation activities for Earth-observing spacecraft, then the measurement times will be based on the times of spacecraft overflights of your observing site.

Sky Conditions

When you record sun photometer measurements, you should also record other information about the sky, including cloud cover and cloud type, sky color, and your own assessment of how clear or hazy the sky is.

Sky color and clarity are subjective measurements but, with practice, you can learn to be consistent in your own observations. For example, you can easily learn to recognize the bright blue clear sky associated with low aerosol optical thickness. As the aerosol concentration increases, the sky color changes to a lighter blue color. It may appear milky rather than clear. In some places, especially in and near urban areas, the sky can have a brownish or yellowish tint due to air pollution (primarily particulates and NO_2).

When there are obvious reasons for high values of aerosol optical thickness, the Science Team needs to know about them. This is why you are also asked to comment about why you think the sky is hazy. It could be due to urban air pollution, a volcanic eruption, or dust from agricultural activity, for example.

Sun photometer measurements can be interpreted properly only when the sun is not obscured by clouds. This does not mean that the sky must by completely clear, but only that there must be no clouds in the vicinity of the sun. This is not necessarily a simple decision. It is easy to determine whether low- and mid-altitude clouds are near the sun, but cirrus clouds pose a more difficult problem. These clouds are often thin and may not appear to block a significant amount of sunlight. However, even very thin cirrus clouds can affect sun photometer measurements. For this reason, if you observe cirrus clouds earlier or later in the day relative to when you report measurements, you should note this fact on your data entry form.

Another difficult situation occurs in typical summer weather, especially near large urban areas. In this environment, very hazy skies and hot humid weather often make it difficult to distinguish cloud boundaries. Such conditions can produce relatively large values of aerosol optical thickness (any value greater than about 0.3-0.5) that may not represent the actual state of the atmosphere. It is important to describe such conditions whenever you report measurements.

To get a better idea of where cloud boundaries are, you can observe the sky through orange or red sunglasses, or through a sheet of translucent orange or red plastic. These colors filter out blue skylight and make clouds more distinct.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Never look directly at the sun, even through colored sunglasses or plastic sheets! This can damage your eyes.

Fog is another potential problem. It can make things look hazy. But fog (a stratus cloud at ground level) is not the same as atmospheric haze from aerosols. Conditions where the sun is shining through even light fog are unsuitable for taking sun photometer measurements. In many locations fog dissipates before mid-morning, so it will not affect your measurements.

Whenever you try to determine sky conditions before taking sun photometer measurements, you must block the sun itself with a book, a sheet of paper, a building or tree, or some other object. A sensible rule is that if you can see any shadows at all on the ground, you should not try to look at the sun. If in doubt, or if you believe you cannot determine sky conditions near the sun, do not take a measurement!

Temperature

The electronics in your GLOBE sun photometer, and especially its LED detectors, are temperature-sensitive. This means that the output will change under the same sunlight conditions as the sun photometer warms and cools. Therefore, it is important to maintain your sun photometer at approximately room temperature. To alert the Science Team to potential problems with temperature, we ask that you report air temperature along with your sun photometer measurements.

If you are taking sun photometer measurements at the same time you record temperature data from your weather station, you can use that current temperature. Otherwise, you must measure the air temperature separately. The preferred way to obtain air temperature values is to take them following the GLOBE *Temperature Protocols* using a thermometer that meets GLOBE standards mounted in an appropriate weather shelter. Alternatively, a value can be obtained from an online source or from a thermometer that does not necessarily meet GLOBE standards. Non-GLOBE temperature values should be reported as metadata on the *Data Sheet*, and not in the air temperature field.

In terms of instrument performance, the relevant temperature is not necessarily the outside temperature, but air temperature inside your sun photometer's case. Newer GLOBE sun photometers include a built-in sensor that monitors air temperature inside the instrument, near the LED detectors. These instruments have a rotary switch on the top of the case rather than a green/red channel toggle switch. If your sun photometer includes this feature, there is a place to report case temperature on the *Data Sheet*. The temperature, in degrees Celsius, is 100 times the voltage displayed on the voltmeter when the "T" channel is selected. For example, a voltage reading of 0.225 V corresponds to a temperature of 22.5° C. Ideally, this temperature should be in the low 20's.

There are some steps you should take to minimize temperature sensitivity problems. Keep your sun photometer inside, at room temperature, and bring it outside only when you are ready to take a measurement. In the winter, transport it to your observing site under your coat, for example, to keep it warm. In very hot or very cold weather, you can wrap the instrument in an insulating material such as an insulated sandwich bag, a towel, or pieces of plastic foam. In the summer, keep your instrument shielded from direct sunlight whenever you are not actually taking a measurement. You should practice taking and recording measurements so that an entire set of voltage measurements should take no more than two or three minutes.

Relative Humidity

Relative humidity is a useful addition to the *Aerosols Protocol* metadata because high (or low) values of relative humidity are often associated with high (or low) aerosol optical thickness values. There is a *Relative Humidity Protocol* available for this measurement, which requires a digital hygrometer or sling psychrometer, but it is also OK to use an online or broadcast value from within an hour of your sun photometer measurements. Online values should only be reported as comments while values you obtain following the *Relative Humidity Protocol* are valid GLOBE data and may be reported as such.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Barometric Pressure

Unlike the previous values described in this section, the station pressure at your observing site is *required* in order to calculate aerosol optical thickness. Unless your site is very close to sea level, the barometric pressure reported on weather broadcasts, in your local newspaper, and on the Web is not station pressure. Why? Because in such reports, the true barometric pressure has been adjusted to what it would be at sea level. This enables meteorologists to construct pressure maps that show the movement of air masses over large areas, independent of the varying elevation of the ground. Barometric pressure decreases roughly 1 mbar for every 10 meters of increased elevation. (See Figure AT-I-1 and the *Optional Barometric Pressure Protocol*.)

As noted above, the preferred source of barometric pressure is an online or broadcast value for your area. A second option is to leave the barometric pressure field blank. In this case, GLOBE will fill in the barometric pressure using a computer-generated model value. If you have calibrated your classroom barometer on a regular basis so that it gives sea level pressure and have confidence in that calibration, you may report a reading from your barometer. However, typical classroom aneroid barometers must be calibrated regularly as described in the *Optional Barometric Pressure Protocol*. At higher elevations, it may not be possible to calibrate your classroom barometer to give an equivalent sea level value.

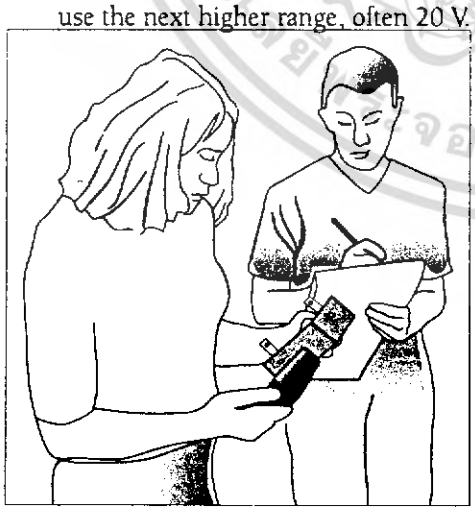
In the Field

It is much easier for two people to take and record measurements than for one person working alone. If you can work as a team, divide up the tasks and go through several practice runs before you start recording real measurements.

1. Connect a digital voltmeter to the output jacks of your sun photometer.
   If your sun photometer has a built-in digital voltmeter, you can skip this step. If you need a separate voltmeter, do not use an analog voltmeter, which cannot be read accurately enough to be suitable for this task. Be sure to put the red lead in the red jack and the black lead in the black jack.
2. Turn the digital voltmeter and sun photometer on.

   If your sun photometer has a built-in digital voltmeter, the same switch turns on both the meter and the sun photometer and you do not need to worry about selecting an appropriate voltage range.

   If you are using an external voltmeter, select an appropriate DC volts range. Be careful not to use an AC volts setting. The appropriate range setting depends on your voltmeter. If it has a 2 V (volts) or 2000 mV (millivolts) setting, try that first. If your photometer produces more than 2 V, use the next higher range, often 20 V. Some voltmeters have auto-ranging capability, which means that there is only one DC volts setting and the voltmeter automatically selects an appropriate voltage range. If you are using an auto-ranging voltmeter, make sure you understand how to read voltages in this range.



   Note that if a digital voltmeter is connected to your sun photometer when the photometer is turned off, you will get unpredictable readings on the voltmeter, rather than the value of 0 V you might expect. This is normal behavior for digital voltmeters. Erratic voltage readings will also occur if the battery in your sun photometer is too low to power the electronics. When you turn your sun photometer on, and it is working properly, the voltmeter should produce a stable reading of no more than a few

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

millivolts indoors or if the sun is not shining on a detector, or a value in the range of roughly 0.5-2 V when sunlight is shining on the detector.

3. If your sun photometer has a rotary switch on the top of the case, select the "T" setting and record the voltage.

   Multiply the voltage reading times 100 and record this value.

4. Select the green channel on your sun photometer (because the GLOBE data entry page asks for the green channel first).

5. Hold the instrument in front of you about chest-high or, if possible, sit down and brace the instrument against your knees, a chair back, railing, or some other fixed object. Find the spot made by the sun as it shines through the front alignment bracket.

   Here is an important safety rule:
   Under no circumstances should you hold the sun photometer at eye level and try to "sight" along the alignment brackets!

   Adjust the pointing of your instrument until the spot of sunlight shining through the front alignment bracket shines on the rear alignment bracket.

6. Adjust the pointing until the sunlight spot is centered over the appropriate colored dot on the rear alignment bracket. Record this value on your *Data Sheet*.

   Your sun photometer case will have either one or two round holes on the front of the case. If it has one hole, the rear alignment bracket will have two colored alignment dots - one green and one red. The sunlight spot must be centered around the green dot when you are taking green-channel measurements and around the red dot if you are taking red-channel measurements. If your sun photometer has two holes, the rear alignment bracket will have one blue alignment dot. The sunlight spot must be centered around this dot regardless of whether you are taking green- or red-channel measurements.

   When you adjust the pointing of your photometer so that the sunlight spot is centered around the alignment dot, the sunlight shining through the aperture hole(s) on the front of the case is centered over the LED detector(s) inside the case. It takes a little practice to learn how to center the sunlight spot over the alignment dot. Be sure the pointing is stable before you record voltages. It may help to steady your instrument against a chair, post, or other stationary object. The entire measurement process should not take more than 15 or 20 seconds for each reading of each channel. Be sure to record all the digits displayed on your voltmeter.

   Unless the sky is very hazy, or unless you are taking measurements late in the afternoon or early in the morning, the voltage should increase to more than 0.5 V. If you are using an auto-ranging voltmeter, the range will change automatically when you point your photometer directly at the sun (from a range appropriate for displaying the dark voltage to a range appropriate for displaying the sunlight voltage).

   Small movements of the sun photometer will cause the voltage to vary by a few millivolts. Even when your sun photometer is completely still and properly aligned with the sun, the voltage will still vary a little. This is due to fluctuations in the atmosphere itself. The hazier the atmosphere, the larger these fluctuations. Do not try to average the voltmeter readings. It is important to record only the maximum voltage you obtain during a few seconds of measurement time, starting only after the pointing of your instrument has been stabilized. There is a slight time delay between the time when the voltage output from your instrument changes and when that change is reflected in the digital reading. With a little practice, you can learn to compensate for this time delay.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Record the time at which you observed the maximum voltage as accurately and precisely as possible. An accuracy of 15-30 seconds is required.

8. While still pointing your sun photometer at the sun, cover the aperture with your finger to block all light from entering the case. Take a voltage reading and record this dark voltage reading on your *Data Sheet*.

   Note that the dark voltage **must** be reported as volts rather than millivolts, regardless of the range setting of your digital voltmeter. It is critical to report both the dark voltage and sunlight voltage in units of volts. It is important to record the dark voltage accurately, reporting all the digits displayed on your voltmeter. The dark voltage should be less than .020 V (20 mV). Depending on the characteristics of your instrument and the range setting of your voltmeter, the dark voltage may display as 0 V If so, report 0.000 V for the dark voltage.

9. Select the other channel (the red one, assuming you have started with the green channel) and repeat steps 6-8.

   After you gain experience with your sun photometer, it will be unnecessary to repeat step 8 after every sunlight voltage measurement. Indeed, the dark voltages should not change during a set of measurements. If this value changes by more than a millivolt or so, it means that your instrument is getting too hot or cold during the measurement and you need to develop a measurement strategy that prevents this from happening.

10. Repeat steps 4-9 at least twice and no more than four times.

    This will give you between three and five pairs of green/red measurements in all. It is a good idea to be consistent about the order in which you record measurements; you should record green, red, green, red, green, red, green, red, green, red.

    The time between measurements is not critical as long as you record the time accurately. However, as noted above, you should try to minimize the total time required to collect a set of measurements. Remember that your measurements will not be accurate if your sun photometer is significantly colder or warmer than room temperature.

11. If your sun photometer has a rotary switch on the top of the case, select the "T" setting and record the voltage.

    Multiply the voltage reading times 100 and record this value.

12. Turn off both the sun photometer and the voltmeter (if your instrument does not have a built-in digital voltmeter).

    You can disconnect a separate voltmeter or leave it plugged into the output jacks, depending on whether your class uses the voltmeter for other purposes.

13. Note any clouds in the vicinity of the sun in the *Comments* section of the *Aerosols Data Sheet*. Be sure to note the type of clouds by using the GLOBE Cloud Chart.

14. Do the *Cloud Protocols* and record your observations on the *Aerosols Data Sheet*.

15. Do the *Relative Humidity Protocol* and record your observations on the *Aerosols Data Sheet*.

16. Read and record the current temperature to the nearest 0.5° C following one of the air temperature protocols.

    There are four *Field Guides* from which to choose listed in the *Student Preparation Guide*. Be careful not to touch or breathe on the thermometer.

17. Complete the rest of the *Aerosols Data Sheet*. This may be done back in the classroom.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aerosols Protocol
Field Guide

Task

Record the maximum voltage reading that can be obtained by pointing your photometer at the sun.

Record the precise time of your measurement.

Observe and record cloud conditions, current air temperature, and relative humidity

What You Need

- ❑ Calibrated and aligned GLOBE sun photometer
- ❑ Digital voltmeter
- ❑ Watch, preferably digital or GPS receiver
- ❑ *Aerosols Data Sheet*
- ❑ GLOBE Cloud Chart
- ❑ Barometer (optional)
- ❑ Thermometer
- ❑ Hygrometer or sling psychrometer
- ❑ *Field Guides* for cloud, relative humidity and one air temperature protocol
- ❑ Pencil or pen

In the Field

1. Connect a digital voltmeter to the output jacks of your sun photometer. (Skip this step if your sun photometer has a built-in digital voltmeter.)
2. Turn the digital voltmeter and sun photometer on.
3. If your sun photometer has a rotary switch on the top of the case, select the "T" setting and record 100 times this voltage.
4. Select the green channel.
5. Face the sun and point the sun photometer at the sun. (Do not look directly at the sun!)
6. Adjust the pointing until you see the maximum voltage in your digital voltmeter. Record this value on your *Data Sheet*.
7. Record the time at which you observed the maximum voltage as accurately as possible, to the nearest 15 seconds.
8. While still pointing your sun photometer at the sun, cover the aperture with your finger to block all light from entering the case. Take a voltage reading and record this dark voltage reading on your *Data Sheet*.
9. Select the red channel (assuming you have started with the green channel) and repeat steps 6-8.
10. Repeat steps 3-9 at least twice and not more than four times.
11. If your sun photometer has a rotary switch on the top of the case, select the "T" setting and record 100 times this voltage.
12. Turn off both the sun photometer and the voltmeter.
13. Note any clouds in the vicinity of the sun in the comments (metadata) section. Be sure to note the types of clouds by using the GLOBE Cloud Chart.
14. Do the *Cloud Protocols* and record your observations on the *Aerosols Data Sheet*.
15. Do the *Relative Humidity Protocol* and record your observations on the *Aerosols Data Sheet*.
16. Read and record the current temperature to the nearest 0.5° C following one of the air temperature protocols.
17. Complete the rest of the *Aerosols Data Sheet*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequently Asked Questions

1. What is a sun photometer and what does it measure?

A sun photometer is a type of light meter that measures the amount of sunlight. Most sun photometers measure the amount of sunlight for a narrow range of colors or wavelengths. All sun photometers should measure only the sunlight arriving directly from the sun and not the sunlight scattered from air molecules and aerosols. Therefore a sun photometer is pointed directly at the sun and the light is collected through a small aperture (hole or opening) that greatly restricts the amount of scattered sunlight that reaches the instrument's detector(s).

2. The GLOBE sun photometer uses a light-emitting diode (LED) as a sunlight detector. What is an LED?

A light-emitting diode is a semiconductor device that emits light when an electrical current flows through it. The actual device is a tiny chip only a fraction of a millimeter in diameter. In the GLOBE sun photometer, this chip is housed in an epoxy housing about 5 mm in diameter. You can find these devices in a wide range of electronic instruments and consumer products. The physical process that causes LEDs to emit light also works the other way around: if light shines on an LED, it produces a very small current. The electronics in your sun photometer amplifies this current and converts it to a voltage.

Generally, the wavelength of light detected by an LED is shorter than the wavelength of light emitted by the same LED. For example, certain red LEDs are relatively good detectors of orange light. The LED in the GLOBE sun photometer emits green light with a peak value at about 565 nm. It detects light with a peak at about 525 nm, which is a little farther toward the blue part of the light spectrum.

3. What is the field of view of a sun photometer, and why is it important?

The equation that describes theoretically how to interpret sun photometer measurements requires that the instrument should see only direct light from the sun – that is, light that follows a straight line path from the sun to the light detector. This requirement can be met only approximately in practice because all sun photometers will see some scattered light from the sky around the sun.

The cone of light a sun photometer's detector sees is called its field of view, and it is desirable to have this cone as narrow as possible. The GLOBE sun photometer's field of view is about 2.5 degrees, which GLOBE scientists have concluded is a reasonable compromise between the theoretical ideal and practical considerations in building a handheld instrument. The basic trade-off is that the smaller the field of view, the harder the instrument is to point accurately at the sun. Very expensive sun photometers, with motors and electronics to align the detector with the sun, typically have fields of view of 1 degree or less. Studies have shown that the error introduced by somewhat larger fields of view is negligible for the conditions under which a GLOBE sun photometer should be used.

4. How important is it to keep the sun photometer from getting hot or cold while I'm taking measurements?

The LED detector in your sun photometer is temperature-sensitive, so its output is slightly influenced by its temperature. Therefore, it is very important to protect your instrument from getting too hot in the summer or too cold in the winter. In the summer, it is essential to keep the instrument case out of direct sunlight when you are not actually taking a measurement. In the winter, it is essential to keep the instrument warm – you can tuck it under your coat between measurements.

Never leave your sun photometer outside for extended periods of time. The sun photometer case itself provides some protection from temperature changes that can affect the electronics inside. (This is why newer GLOBE sun photometers have a built-in temperature sensor to monitor the air temperature inside the case, near the detectors.) If you follow these precautions and take your measurements as quickly as possible, then your measurements will be acceptable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In extreme conditions (winter or summer), you should consider making an insulating housing for your sun photometer. You can use styrofoam or other foam plastic. Cut holes for the on/off switch and the sunlight aperture(s), and a channel for sunlight to get from the front alignment bracket to the target on the back bracket. The hole for a sunlight aperture should be no smaller in diameter than the thickness of the insulating material itself, and in no case should it be smaller than about 1 cm.

5. I dropped my sun photometer. What should I do now?

Fortunately, the components inside your sun photometer are virtually indestructible, so they should have survived being dropped. Check the case for cracks. Even if the case is cracked, you should still be OK. Just tape over the cracks — use something opaque, such as duct tape. Open the case and make sure that everything looks OK. In particular, make sure that the battery is still firmly attached to the terminals on the battery holder.

If the alignment brackets have moved or are loose as a result of the fall, then your sun photometer should be returned to the GLOBE Science Team for realignment and recalibration.

6. How do I know if my sun photometer is working properly?

When you turn your sun photometer on without pointing it at the sun, you should measure a voltage in the range of no more than 20 mV. On some instruments, dark voltages are less than 1 mV. When you point your instrument directly at the sun, the voltage should increase to a value in the range of about 0.5-2.0 V. Only in very hazy conditions, late in the afternoon, or early in the morning, should you see a sunlight voltage less than 0.5 V. If you do not see the expected voltages, then your sun photometer is not working.

The most likely reason for a sun photometer not to work is that the battery is too weak to power the electronics. If you suspect this is the case, then test the battery voltage and replace it according to the instructions given in *Checking Your GLOBE Sun Photometer Battery.* Remember that a dead or very low battery will not produce a sunlight voltage of 0 V, but will instead cause your voltmeter to display erratic values. If you still believe you have a problem, contact GLOBE for help.

7. What does it mean to calibrate a sun photometer?

A sun photometer is considered to be calibrated if its extraterrestrial constant is known. This is the voltage you would measure with your sun photometer if there were no atmosphere between you and the sun. As an exercise, you could think about pointing your sun photometer at the sun from the open cargo bay of the Space Shuttle as it orbits Earth above the atmosphere. The voltage you measure would be your instrument's extraterrestrial constant. This value depends primarily on the wavelength at which your sun photometer detects light and also on the distance between Earth and the sun. (This distance varies slightly because Earth follows a slightly elliptical, rather than a circular, path around the sun.)

Note that if you really could use a sun photometer outside Earth's atmosphere, you would not have to worry about limiting the field of view. Why? Because outside the atmosphere there are no air molecules or aerosols to scatter sunlight. Hence, your sun photometer will see only direct sunlight.

As a practical matter, sun photometers must be calibrated by inferring the extraterrestrial constant from measurements made at Earth's surface. This is called the "Langley plot" method. These measurements are difficult to take at low elevation sites with variable weather. GLOBE sun photometers are calibrated against reference instruments that have been calibrated using measurements taken at Mauna Loa Observatory, which is widely accepted as one of the best locations for such work.

It is an interesting project to make your own Langley plot calibrations and compare the results with the calibration assigned to your sun photometer. If you would like to do this, contact GLOBE for additional help.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Can I make my own sun photometer?
You can purchase a sun photometer kit. Constructing a sun photometer involves soldering some electronic components, which is a skill students need to learn under supervision by someone who has done it before. You can start taking measurements as soon as you have assembled your instrument. However, at some point, you must send your sun photometer to the GLOBE Science Team for calibration before your data can be accepted into the GLOBE Data Archive.

9. How often must I take sun photometer measurements?
The protocol asks that you take measurements every day, weather permitting. In some parts of the world, it is possible to go many days without having weather suitable for taking these measurements. It is highly desirable to have a plan for taking measurements on weekends and during holiday breaks (especially during extended summer holidays).

10. How can I tell whether the sky is clear enough to take sun photometer measurements?
The basic rule is that the sun must not be blocked by clouds during a measurement. It is OK to have clouds near the sun. This can be a difficult decision, because you are never supposed to look directly at the sun. You can look at the sky near the sun by blocking the sun with a book or notebook. An even better idea is to use the corner of a building to block the sun. It is very helpful to wear sunglasses when you make these decisions because they protect your eyes from UV radiation. Orange-tinted sunglasses will help you see faint clouds that might otherwise be invisible.

If you have concerns about a measurement, note them in the *Comments* section of the *Aerosols Data Sheet* when you report the measurement. Thin cirrus clouds are notoriously difficult to detect, but they can dramatically affect sun photometer measurements. If you see cirrus clouds in the hours before or after a measurement, be sure to include that in your sky description.

11. What are aerosols?
Aerosols are liquid or solid particles suspended in air. They range in size from a fraction of a micrometer to a few hundred micrometers. They include smoke, bacteria, salt, pollen, dust, various pollutants, ice, and tiny droplets of water. These particles interact with and scatter sunlight. The degree to which they affect sunlight depends on the wavelength of the light and the size of the aerosols. This kind of particle-light interaction is called Mie scattering, named after the German physicist Gustav Mie, who published the first detailed mathematical description of this phenomenon in the early part of the twentieth century.

12. What is optical thickness?
Optical thickness (or optical depth) describes how much light passes through a material. The amount of light transmitted can be quite small (less than a fraction of 1%) or very large (nearly 100%). The greater the optical thickness, the less light passes through the material. As applied to the atmosphere, aerosol optical thickness (AOT) describes the extent to which aerosols impede the direct transmission of sunlight of a certain wavelength through the atmosphere. In a very clear sky, AOT can have values of 0.05 (about 95% transmission) or less. Very hazy or smoky skies can have AOT values in excess of 1.0 (about 39% transmission).

Percent transmission through the atmosphere is an alternate way to describe the same phenomenon. There is a simple relationship between AOT and transmission expressed as a percentage:

$$\text{transmission (\%)} = 100 \times e^{(-AOT)}$$

Refer to Table AT-AH-1 to see the percent transmission for several values of AOT. Any scientific calculator should have an e^x function key. Try to reproduce one or more of the examples in this table to check if you understand how to use a calculator to convert AOT to percent transmission.

13. What is Beer's Law?
August Beer was a nineteenth-century German physicist who worked in the field of optics. He developed the principle known as Beer's

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Law, which explains how the intensity of a beam of light is reduced as it passes through different media. Other nineteenth-century physicists also examined this law and applied it to the transmission of sunlight through the atmosphere. Hence, the equation used to describe how sun photometers work is usually referred to as the Beer/Lambert/Bouguer law. As applied to a sun photometer, Beer's Law is

$$V_o = V(r/r_o)^2 \exp\{-m[AOT + Rayleigh(p/p_o)]\}$$

Where r/r_o is Earth-sun distance in astronomical units, m is the relative air mass, AOT is the aerosol optical thickness, Rayleigh is the optical thickness due to Rayleigh scattering, and p/p_o is the ratio of current atmospheric pressure to standard atmospheric pressure (1013.25 mbar). You need to be comfortable with exponential and logarithmic functions before you use this formula to make your own calculations of aerosol optical thickness. Also, you need to know your sun photometer's calibration constants – one value of V_o for each of the two channels – and the Rayleigh coefficients corresponding to each wavelength. If you would like to do this calculation on your own, you will need to obtain the calibration constants and Rayleigh coefficients from GLOBE.

14. What is relative air mass (m)?

Relative air mass (m) is a measure of the amount of atmosphere through which a beam of sunlight travels. At any location or elevation, the relative air mass is 1 when the Sun is directly overhead at solar noon. (Note: At any latitude greater than about 23.5 degrees, north or south, the sun is never directly overhead, so the sun can never be observed through a relative air mass of 1.

A simplified formula for relative air mass is

$$m = \frac{1}{\sin(\text{elevation})}$$

where "elevation" is the angle of the sun above the horizon. This calculation is sufficiently accurate for relative air masses up to about 2. Larger values require a more complicated formula that corrects for the curvature of Earth's surface.

15. What is Rayleigh scattering?

Molecules of air scatter sunlight. Air molecules scatter ultraviolet and blue wavelengths much more efficiently than red and infrared wavelengths. (This is why the sky is blue.) This process was first described in the nineteenth century by the Nobel-prize-winning British physicist John William Strutt, the third Baron Rayleigh.

16. How accurate are aerosol measurements made with the GLOBE sun photometer?

The accuracy of sun photometer measurements has been studied for decades by atmospheric scientists, and it remains a topic of some debate. There are some inherent limitations to measuring atmospheric aerosols from Earth's surface, and there are also some limitations imposed by the design of the GLOBE sun photometer.

Measurements made carefully according to the protocols should be accurate to within less than about 0.02 AOT units. For very clear skies, with AOT values of perhaps less than 0.05, this is a significant percentage error. However, even operational "professional" sun photometers claim accuracies of no better than 0.01 AOT units. Thus, the accuracy of measurements made carefully with a GLOBE sun photometer are comparable to measurements made with other sun photometers.

Unlike some other GLOBE measurements, there is no easily accessible standard against which to check the accuracy of AOT calculations. GLOBE aerosol measurements will be subjected to scrutiny by the GLOBE Science Team and others for the foreseeable future. Nevertheless, it is fair to say that GLOBE aerosol measurements can achieve a level of accuracy that can be extremely useful to the atmospheric science community.

17. Will scientists really be interested in my aerosol measurements?

The answer to this question is an only slightly qualified "Yes." Comparatively few sun photometers are in use around the world. Since recent studies have shown that aerosols can block considerable sunlight, thus causing a cooling effect on Earth's climate, there is renewed interest in sun photometer measurements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Upcoming Earth-monitoring satellite missions will focus on global characteristics of the atmosphere and its constituents. It is essential that reliable ground- based data measurements be available to calibrate satellite instruments and validate their measurements.

GLOBE schools provide the potential to establish a global aerosol monitoring network that is otherwise unattainable. On a regional scale, there is essentially no comprehensive monitoring of aerosols produced naturally by water vapor, naturally occurring forest and brush fires, dust, pollen, gases emitted by plants and trees, sea salt, and volcanic eruptions. The same is true for monitoring aerosols produced by automobile emissions, coal-burning power plants, intentional burning of forests and rangelands, certain industrial and mining operations, and dust from unpaved roads and agricultural fields. Again, GLOBE schools provide the potential for addressing these topics.

Here's the qualification to the "Yes." In most situations, aerosol measurements must be taken in the same place for many months, and even for years, in order to have lasting scientific interest. It is sometimes difficult to keep in mind the long-term value of taking the same measurements day after day. (This is not just a problem for aerosol measurements, of course.) In the case of aerosols, persistence is especially important due to the long time scales required to observe and analyze significant changes in the atmosphere.

What about ground validation measurements for space-based measurements? In this case, even a few accurate ground-based measurements can be valuable. However, it is still important to establish as long a data collection record as possible. This will give scientists confidence in your work, and will establish an aerosol "baseline" for your observing site, against which to evaluate unusual conditions when they occur.

So, the conclusion is: If you follow the protocols and provide careful measurements (especially during the summer), then there is no doubt that scientists will value your contribution now and in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aerosols Protocol – Looking At the Data

Are the data reasonable?

Perhaps your first thought about determining whether your data are reasonable would be to consider the voltages measured using your sun photometer. This is not as easy as it might seem! A sun photometer converts light from the sun to a voltage; this is what you measure and report to GLOBE. The relationship between the intensity of the light and the voltage produced is determined by the sensitivity of the detectors in your sun photometer (a green or red light emitting diode) and the gain provided by your sun photometer's battery-powered amplifier. This relationship is different for every GLOBE sun photometer, so each instrument has its own calibration constants (one for each of the two channels) that allow aerosol optical thickness to be calculated from the voltages you report.

The GLOBE sun photometer produces a small output voltage even when the sun is not shining on the detector. This "dark voltage," should be small, but how small? GLOBE performs some range checks on both the sunlight and dark voltages. However, reasonable voltages fall within a wide range of values. In some cases, your sun photometer's dark voltage may be only a few tenths of a millivolt. If so, it may display as 0 when you are using a 2 V (or 2000 mV) range setting on your digital voltmeter.

So, it is not easy to predict what "reasonable" voltages are for your sun photometer. However, after you have done the Aerosol Protocol a few times, you will get a good sense of what dark voltages your instrument produces and what sunlight voltages to expect under certain sky conditions. Remember that, generally, these ranges will be different for the green and red channels because of the differences in the detector responses and electronics.

It is much easier to determine whether the aerosol optical thicknesses calculated from your measurements at green and red wavelengths are reasonable. Table AT-AE-2 gives some typical ranges for aerosol optical thickness (AOT).

Table AT-AE-2

Sky condition	Green channel	Red channel
Extremely clear	0.03-0.05	0.02-0.03
Clear	0.05-0.10	0.03-0.07
Somewhat hazy	0.10-0.25	0.07-0.20
Hazy	0.25-0.5	0.02-0.40
Extremely hazy	>0.5	>0.4

The relationship between these numerical values and the sky clarity description (required as part of your data reporting) are only approximate, and may vary depending on local conditions.

Note that red AOT values are typically less than green AOT values. This is due to the fact that typical aerosols scatter green light more efficiently than red light. (The larger the AOT, the more light is being scattered away from the direct beam of sunlight that reaches your sun photometer's detector.) If the red AOT is larger than the green, it is not necessarily wrong, but it is an unusual enough occurrence that it should trigger a closer examination of the conditions under which the measurements were taken.

What do scientists look for in these data?

As noted above, green AOT values are usually higher than red AOT values. When the Science Team looks at your data, they will check that the relationship between the two channels appears reasonable.

The *Aerosols Protocol* requires that you report at least three sets of sun photometer measurements taken within the span of a few minutes. Assuming that you are pointing your sun photometer carefully and consistently toward the sun, differences among the three voltages for each channel are a measure only of the variations in the atmosphere at the time you are taking your measurements. If the differences are large, it may mean that clouds are drifting across the sun while you are taking measurements.

Scientists will also look carefully at cloud cover and type reports and will compare the AOT values calculated from the voltage measurements with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reports of sky color and clarity. Cirrus clouds are of particular concern, as they can greatly reduce the transmission of sunlight even when they are almost invisible.

AOT tends to vary seasonally. Warm and humid days in temperate and equatorial climates can produce photochemical smog, especially in urban areas. Consequently, AOT tends to be higher in the summer than in the winter. This seasonal cycle can be difficult to find in GLOBE data, as many GLOBE schools do not report data during summer vacations. Figure AT-AE-1 shows some aerosol data from East Lincoln High School, Denver, NC, USA. Students made some measurements through the spring of 2000 and another class restarted the measurement program in the fall of 2000. Some of the values (especially the very low values) appear to be in error. Although it appears to be the case that warm weather produces higher AOT values, the lack of summertime measurements means that this conclusion cannot really be supported by these limited data.

Note also in Figure AT-AE-1 that there are some very high AOT values recorded in 1999. There are several possible explanations for these values. One possibility is, of course, that these data represent actual very hazy conditions. Another possibility is that students were initially unfamiliar with the sun photometer and recorded sunlight voltages that were too low (which will lead to AOT values that are too high). A third possibility is that there were some clouds between the observer and the sun. The AOT values themselves do not help us choose among these possibilities. The additional information scientists need to make decisions about the quality of sun photometer measurements can be obtained only by looking at all the measurements and their accompanying metadata.

One of the most exciting opportunities for students working with the *Aerosols Protocol* is to compare their measurements with other ground- and satellite-based measurements. Such comparisons can serve both as a check on GLOBE measurements and on the performance of other sun photometers. One source of aerosol data is the Aerosol Robotic Network (AERONET), managed by NASA's Goddard Space Flight Center. This ground-based network has about 100 sun photometers in operation at various locations around the world. The AERONET sun photometers are automated, solar-powered instruments. Their advantage is that they can operate unattended even in remote locations, broadcasting the results of their pre-programmed measurements to satellites, which then beam data to a central ground station for processing. The primary disadvantage of these automated devices is that there is no human observer to make decisions about whether a sun photometer measurement should be made at a particular time. Algorithms are applied to "screen" the measurements for cloud contamination. However, these algorithms are not perfect. They may, for example, suffer from the same lack of ability to distinguish thin cirrus clouds as ground-based observers. Thus, comparisons of automated and manual measurements provide a fascinating and extremely important check on the performance of both systems.

Figure AT-AE-2 shows a comparison of GLOBE sun photometer data with data from AERONET sun photometers. (AERONET data are publicly available online.) AERONET makes measurements every few minutes throughout the day. The GLOBE data sometimes fall near the lower range of AERONET values within a day. A more detailed examination of these data with an expanded time scale (to look at individual days) would clarify the relationship between these two datasets; this would make an excellent student project.

Figure AT-AE-3 shows comparisons between AOT values derived from the MODIS satellite and measurements made by students at East Lincoln High School, Denver, North Carolina, USA. (The MODIS data points are connected with solid lines, but this is only to make the data easier to follow; there is no reason to expect that missing MODIS data would fall along the lines.) Note that the GLOBE data again tend to cluster near the lower MODIS AOT values.

Some of the MODIS values in Figure AT-AE-3 seem very high. Figure AT-AE-4 offers some insight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure AT-AE-1: Sun Photometer Data (minimum AOT from a set of three) from East Lincoln High School, Denver, NC,

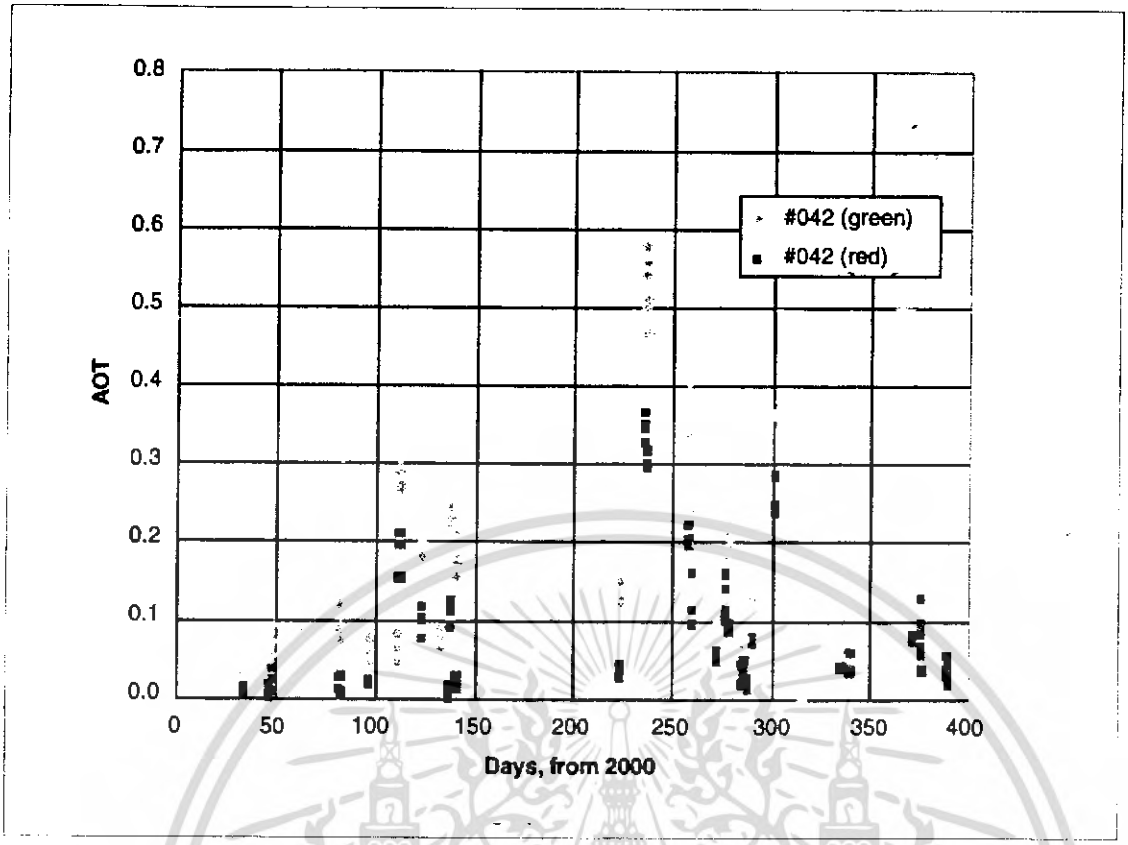
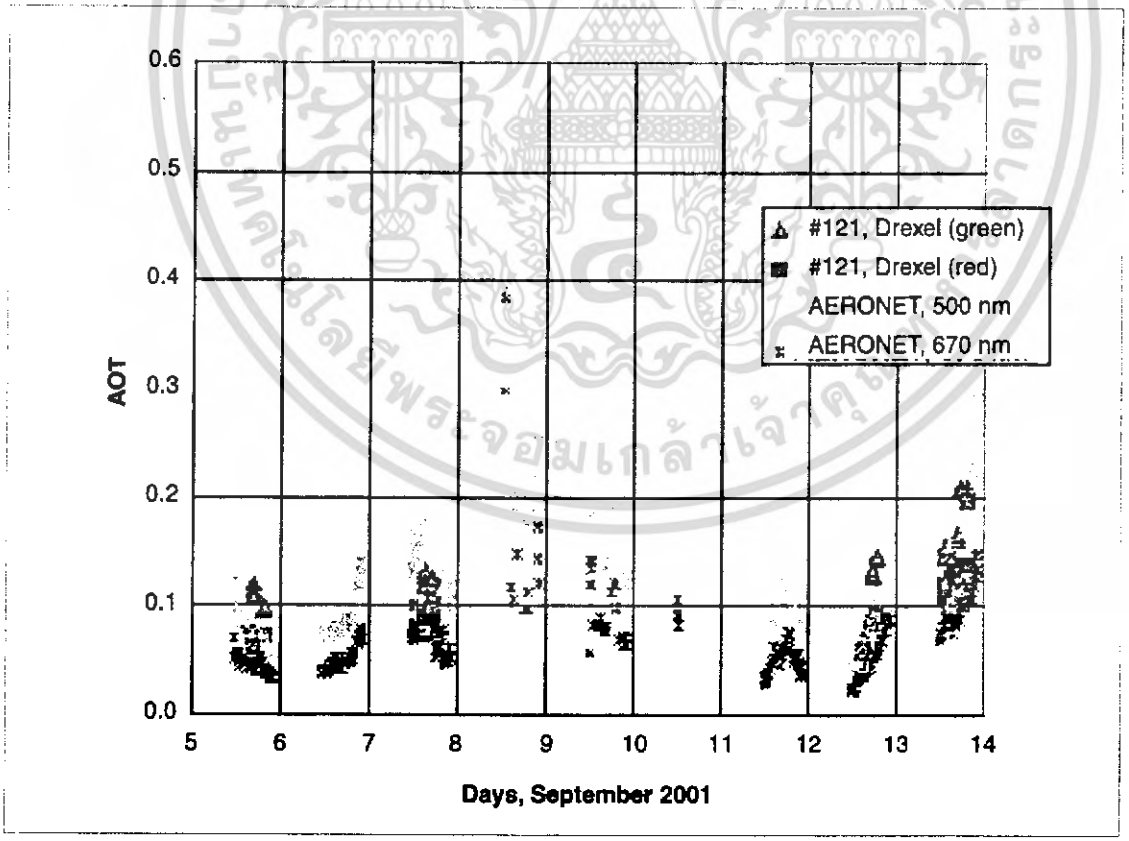


Figure AT-AE-2: Comparison of GLOBE Sun Photometer Measurements Made at Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, USA, with a Nearby AERONET Sun Photometer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure AT-AE-3: Comparison of MODIS Data and GLOBE Sun Photometer Measurements Made at East Lincoln High School, Denver, NC, USA.

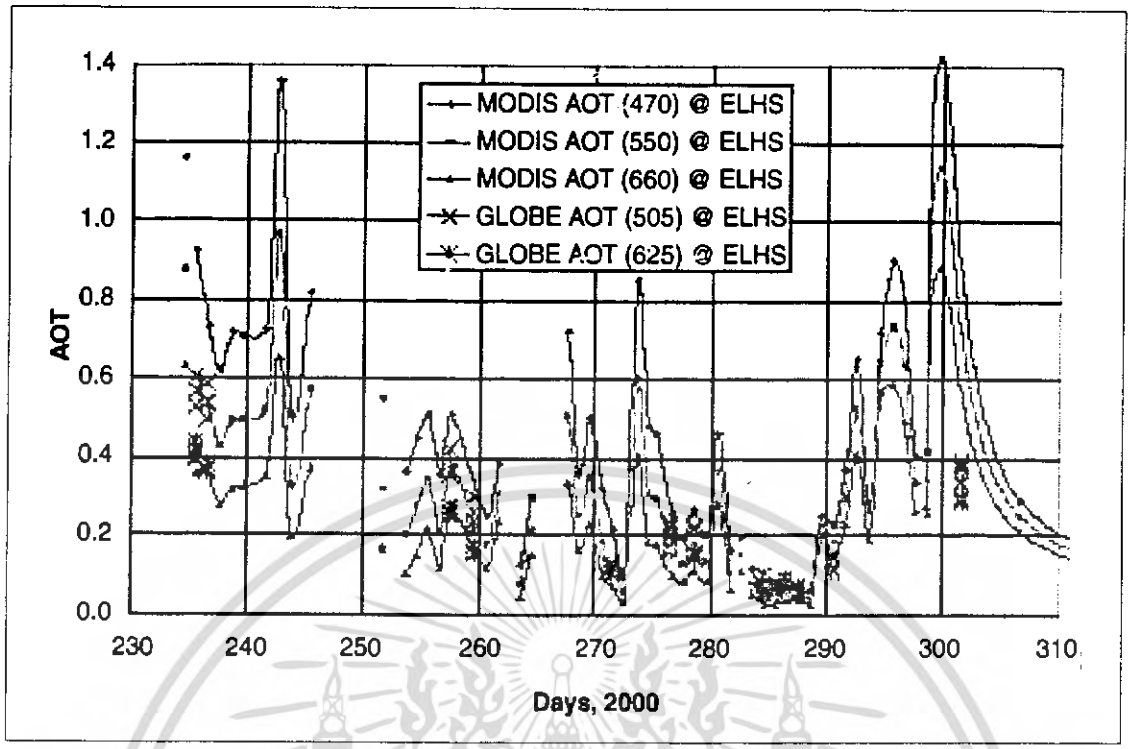
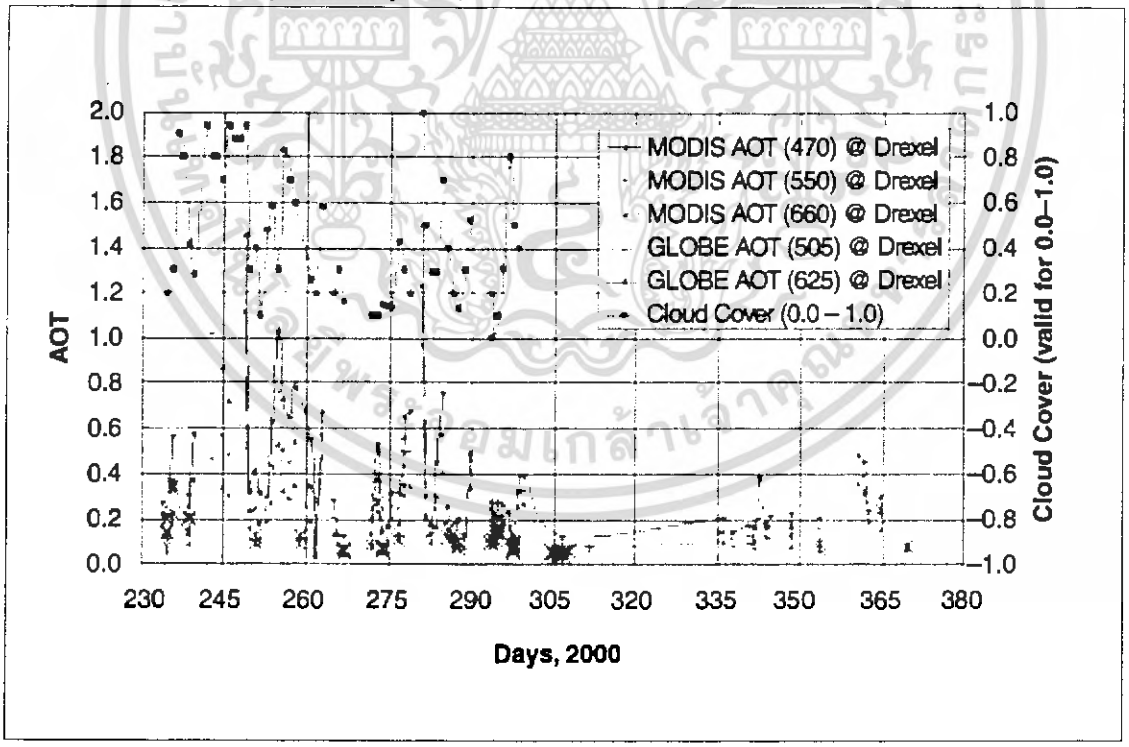


Figure AT-AE-4: Comparison of MODIS Data, GLOBE Sun Photometer Measurements, and Cloud Cover at Drexel University, Philadelphia, Pennsylvania, USA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

into why this might be so. These measurements from Drexel University include the percentage of daytime cloud cover. Clearly, some of the very high MODIS AOT values are associated with cloudy days. Drexel University is located in an urban area with a mixture of water (two rivers flow through Philadelphia), residential and commercial urban development, and green space (a large park). This kind of complicated surface is the most difficult for data reduction algorithms to analyze and the results shown in Figure AT-AE-4 may indicate problems with cloud discrimination over complicated surfaces. Whatever the explanation, Figures AT-AE-3 and AT-AE-4 show clearly the importance of carefully reporting metadata that define the conditions under which sun photometer measurements are taken.

When GLOBE student sun photometer measurements are taken carefully, data such as shown in Figures AT-AE-2, AT-AE-3 and AT-AE-4 can provide valuable information for scientists who are involved in understanding the global distribution of aerosols. The ability of human observers to characterize the circumstances and quality of their measurements provides an opportunity that unattended and satellite-based instruments can never match.

Locally, aerosol optical thickness can be influenced by air quality, season, relative humidity, natural and human-caused events such as volcanoes, forest fires and biomass burning, agricultural activity, windblown dust, and sea spray. All these connections provide many possible sources for student research projects.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calculating Aerosol Optical Thickness (Advanced Students Only)

When you report voltage measurements from your sun photometer to GLOBE, the aerosol optical thickness (AOT) is calculated and reported. This calculation is too complicated for most GLOBE students to do on their own. However, if you are familiar with logarithmic and exponential equations, you can calculate AOT yourself using the following formula:

$$AOT = \frac{[\ln(V_o/R^2) - \ln(V - V_{dark}) - a_R(p/p_o)m]}{m}$$

Where:

ln is the natural (base *e*) logarithm

V_o is the calibration constant for your sun photometer. Each channel (red and green) has its own constant, which you can obtain from the GLOBE Web site.

R is the Earth-sun distance expressed in astronomical units (AU). The average Earth-sun distance is 1 AU. This value varies over the course of a year because the Earth's orbit around the sun is not circular. An approximate formula for R is:

$$R = \frac{(1 - \varepsilon^2)}{[1 + \varepsilon \cos(360^\circ \cdot d/365)]}$$

Where ε is the eccentricity of the Earth's orbit, approximately equal to 0.0167, and d is the day of the year. (Eccentricity is a measure of the amount by which the Earth's orbit differs from a circle.) Note that this equation predicts that the minimum value for R occurs at the beginning of the year. The actual minimum Earth-sun distance occurs, in fact, in early January but not on January 1.

V and V_{dark} are the sunlight and dark voltage from your sun photometer.

a_R is the contribution to optical thickness of molecular (Rayleigh) scattering of light in the atmosphere. For the red channel a_R is about 0.05793 and for the green channel it is about 0.13813.

p is the station pressure (the actual barometric pressure) at the time of the measurement.

p_o is standard sea level atmospheric pressure (1013.25 millibars).

m is the relative air mass. Its approximate value is:

m= 1/sin(solar elevation angle)

where solar elevation angle can be obtained from the *Making a Sundial Learning Activity* or by using a clinometer.

When GLOBE calculates AOT, it uses a series of equations to more accurately calculate the Earth-sun distance. For relative air mass, it uses those same astronomical equations to calculate solar position from your longitude and latitude and the time at which you took your measurement. Then it uses the calculated solar elevation angle to calculate relative air mass, using an equation that takes into account the curvature of Earth's atmosphere and the refraction (bending) of light rays as they pass through the atmosphere.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

As a consequence of using these more complicated equations, GLOBE's AOT values will not agree exactly with the calculation described here. The smaller the AOT, the greater the difference is likely to be. Consider this example:

Date: July 7, 1999

Sun photometer calibration constant (V_o): 2.073 V

Solar elevation angle: 41°

Station pressure: 1016.0 millibars

Dark voltage: 0.003 V

Sunlight voltage: 1.389 V

Sun photometer channel: green

July 7, 2001, is the 188th day of the year, so:

$R = (1 - 0.0167^2)/[1 + 0.0167 \bullet \cos(360° \bullet 188/365)] = 1.0166$

The relative air mass is:

$m = 1/\sin(41°) = 1.5243$

Then, aerosol optical thickness is:

$AOT = [\ln(V_o/R^2) - \ln(V - V_{dark}) - a_R(p/p_o)m]/m$

$\ln(V_o) = \ln(2.073/1.0166^2) = \ln(2.00585) = 0.6960$

$\ln(1.389-0.003) = \ln(1.386) = 0.3264$

$a_R(p/p_o)m = (0.1381)(1016/1013.25)(1.5243) = 0.2111$

$AOT = (0.6960 - 0.3264 - 0.2111)/1.5243 = 0.1040$

GLOBE's calculated AOT value for these data is 0.1039, a difference small enough to ignore for these measurements.

In some situations, your AOT value may not agree this well with GLOBE's value. For example, if the solar elevation angle you observe with your solar gnomon is different from the value calculated by GLOBE – then the relative air mass calculated from your observed solar elevation angle will not be accurate. This will cause the AOT calculation to be in error.

AOT can be expressed as the percent of sunlight at a particular wavelength that reaches the Earth's surface after passing through a relative air mass of 1. For this example with the green channel,

% transmission = $100 \bullet e^{-AOT} = 100 \bullet e^{-0.1040} = 90.1\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้