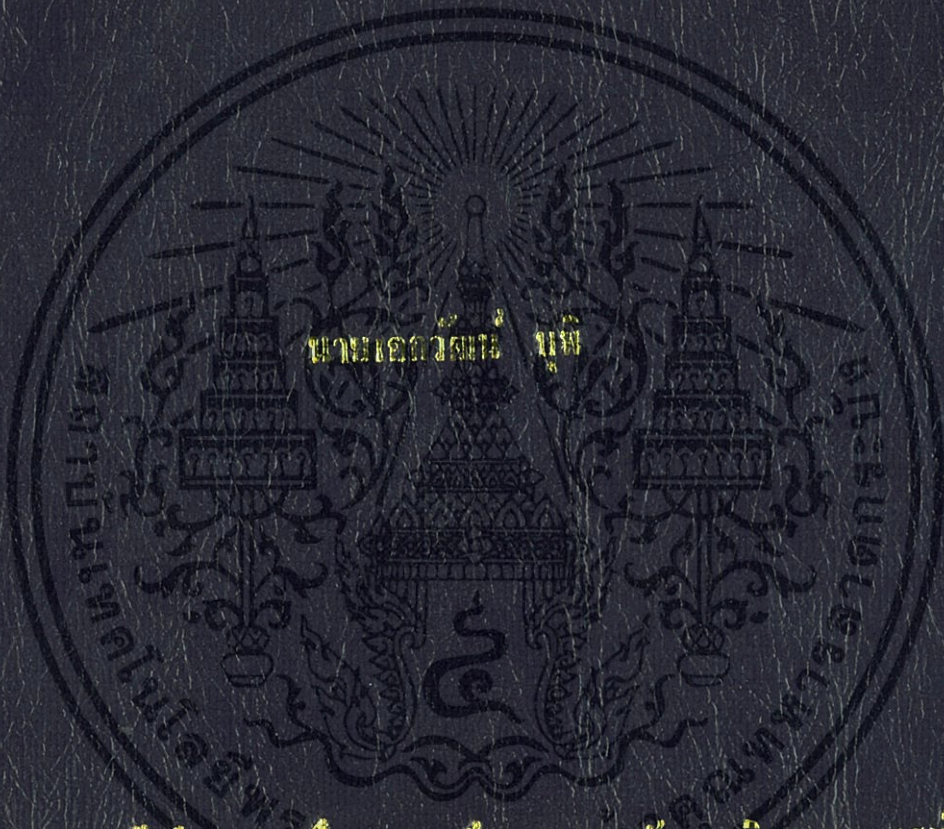


ระบบการวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อประยุกต์ใช้กับ

การติดตามดวงอาทิตย์

A STUDY INTENSITY MEASURING SYSTEM FROM LIGHT
SOURCE APPLIED SOLAR TRACKING SYSTEM



โครงการพัฒนาเป็นงานหนึ่งของภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ระบบการวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อประยุกต์ใช้กับ
การติดตามดวงอาทิตย์

A STUDY INTENSITY MEASURING SYSTEM FROM LIGHT
SOURCE APPLIED SOLAR TRACKING SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A STUDY INTENSITY MEASURING SYSTEM FROM LIGHT
SOURCE APPLIED SOLAR TRACKING SYSTEM**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ระบบการวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อประยุกต์ใช้กับการติดตามดวงอาทิตย์
A STUDY INTENSITY MEASURING SYSTEM FROM LIGHT SOURCE APPLIED SOLAR TRACKING SYSTEM

ชื่อนักศึกษา นายเอกวัฒน์ บุพิ
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สาหรัย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
ดร.ศ.ทิพวรรณ กล้ายบุญมี	ดร.ศ.ทิพวรรณ กล้ายบุญมี
รศ.สาหรัย เล็กชะอุ่ม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ระบบการวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อประยุกต์ใช้กับการติดตามดวงอาทิตย์
ชื่อนักศึกษา	นายเอกวัฒน์ บุญพิ
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

บทคัดย่อ

การศึกษาการออกแบบระบบการวัดระดับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อไปประยุกต์ให้เป็นแนวทางสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ ระบบการวัดความเข้มแสงที่แสดงผลออกมาในรูปแบบของกระแสไฟฟ้าประกอบด้วย ตัวรับแสงคือเซนเซอร์ติดตามแสงขนาดแรงดันไฟฟ้า 3 - 10 V ($V_{\min} = 3 \text{ V}, V_{\max} = 10 \text{ V}$) และกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทมีค่า 0 - 0.1 mA ($I_{\min} = 0 \text{ mA}, I_{\max} = 0.1 \text{ mA}$) มีพื้นที่เซลล์ขนาด $100 \times 100 \text{ Pixel}$ จำนวน 5 เซลล์ คือ Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 และ Q_4 ตามลำดับ จัดวางตำแหน่งเป็นรูปเครื่องหมายบวกและมีการวางฉนวนกันในแต่ละเซลล์ ซึ่งเป็นตัวรับแสงทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปเป็นกระแสไฟฟ้า แล้วส่งไปยังโปรแกรมประมวลผลที่ออกแบบเป็นชุดคำสั่งสำหรับการกำหนดค่าตำแหน่งการติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบและแนวตั้ง การทดสอบการวัดความเข้มแสงด้วยตัวรับแสงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่เซลล์คือ ค่ามุม -60 องศา ถึง 60 องศา กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของค่ามุมที่กำหนดรับแสงที่ตกกระทบจากโปรแกรมประมวลผล และส่วนที่สองเป็นการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่เซลล์ทั้งในแนวระนาบ และแนวตั้ง เพื่อหาค่าความร้อนของแหล่งกำเนิดที่รวมได้ในรูปกระแสไฟฟ้าที่ Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 และ Q_4 ผลการทดสอบพบว่า มุมที่กำหนดรับแสงจากโปรแกรมประมวลผล ที่มุม -60 องศา ถึง 0 องศา มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.79 - 2.5 โวลต์ ส่วนที่มุม 0 องศา ถึง 60 องศา มีค่าความต่างศักย์ 2.5 - 4.21 โวลต์ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมระหว่างมุมที่กำหนดขึ้นและมุมที่ได้จากการคำนวณจากค่าความต่างศักย์ มีค่าประมาณ +/- 1.425 องศา และพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงที่สุดที่ Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 และ Q_4 ตามลำดับ ในแนวตั้งที่มุม 40 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.44, 2.46, 2.09, 2.07 และ 5.09 ตามลำดับ ส่วนในแนวระนาบที่มุม 35 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.68, 1.53, 1.57, 1.58 และ 38.29 ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมในแนวตั้งมีค่าเท่ากับ 40 องศา และในแนวระนาบมีค่าเท่ากับ 35 องศา มีค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุดที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งค่ามุมมีค่าสอดคล้องตามทฤษฎีกฎการสะท้อนของแสง คือ ที่ค่ามุม 45 องศา แสง จะมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบลงบนฉากรับและสะท้อนแสงออกมาได้ดีที่สุด ซึ่งส่งผลให้ในค่ามุม 45 องศา เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงฉายลงบนตัวรับแสง เมื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากตัวรับแสงจะได้ค่าของกระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุด

คำสำคัญ : ระบบการวัดความเข้มจากแหล่งกำเนิดแสง , ตัวรับแสง , กระแสไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A Study Intensity Measuring System From Light Source Applied Solar Tracking System
Students	Mr.Aekkawat Bupi
Degree	Bachelor of Science
Program	Physics
Academic Year	2013
Advisor	Assoc Prof. Sarai Lekchaom

ABSTRACT

Study design to measure the intensity of light from the light source to be applied as a guide for tracking the sun. System to measure the intensity of light output in the form of electricity form. A sensor is a sensor tracking light Voltage Level 3 - 10 V ($V_{\min} = 3 \text{ V}$, $V_{\max} = 10 \text{ V}$) and current output value 0 - 0.1 mA ($I_{\min} = 0 \text{ mA}$, $I_{\max} = 0.1 \text{ mA}$) with a cell size of 5 cells is 100 100 Pixel Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 and Q_4 , respectively, place a plus sign and insulation is placed in each cell. Which is a sensor serves to change the intensity of light from the light source to electricity. Then sent to the processor instruction set designed for positioning to track the sun's movement in the horizontal plane and the vertical. Testing with the photometric aperture is divided into two parts: the first part is the relationship between the angle of light incident on the cell is the angle -60 degrees to 60 degrees with the voltage to determine expected. dislocation of the angle defined by the incident light from a word processor. And the second is a measure of the power of light impinging on the cell both horizontally and vertically to find the heat source is included in the form of electricity Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 , and Q_4 results found Angle given exposure in processing applications at 60 degrees to 0 degrees with the voltage from 0.79 to 2.5 volts, the angle of 0 degrees to 60 degrees with the voltage from 2.5 to 4.21 volts is precious. deviation of the angle between the given angle, and the angle was calculated from the voltage value of about ± 1.425 degrees and found that the current highest Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 and Q_4 , respectively. vertical angle of 40 degrees with an average of 36.44, 2.46, 2.09, 2.07 and 5.09, respectively, in the horizontal plane at an angle of 35 degrees with an average of 3.68, 1.53, 1.57, 1.58 and 38.29, respectively, the angle in the vertical. is equal to 40 degrees and 35 degrees in the horizontal plane is equal to the highest power of the test. Which is consistent with the theoretical law is the

reflection of light at the angle of 45 degrees to the effects of light on the scene and reflect the best. This results in an angle of 45 degrees when the light from the light source projected onto a sensor . When measuring the voltage of the electric light is the highest.

Keywords : System to measure the intensity of the light source, Photosensitive device, electricity



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการที่ติดต่อมา และยังเป็นผู้เสนอแนะข้อสงสัยรวมถึงตรวจและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆตลอดระยะเวลาที่จัดทำโครงการพิเศษ ทำให้คณะผู้จัดทำมีความรู้ ความเข้าใจ และแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ตลอดมา ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับโครงการพิเศษจนสำเร็จ ลุล่วงและขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้คำแนะนำและเป็นแรงผลักดันที่สำคัญให้คณะผู้จัดทำมีกำลังใจในการทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายเอกวัฒน์ มุณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X
คำย่อและสัญลักษณ์	XIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์	3
2.1.1 ระบบพิกัดศูนย์สูตร	3
2.1.2 ระบบพิกัดขอบฟ้า	4
2.2 พลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2.1 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์	5
2.2.2 รังสีที่ตกกระทบบนพื้นโลก	7
2.2.3 เครื่องมือวัดรังสีแสงอาทิตย์	7
2.2.4 การประยุกต์นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์	8
2.2.5 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	9
2.3 เซนเซอร์	10
2.3.1 ชนิดของเซนเซอร์	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 Detector หรือ ตัวตรวจวัดสัญญาณ	12
2.4.1 Variable wavelength detector (VWD)	12
2.4.2 Diode array detector (DAD)	14
2.4.3 Fluorescence Detector (FLD)	15
2.4.4 Refractive index detector (RID)	15
2.5 อุปกรณ์วัดแสง (Lux Meter)	17
2.6 โฟโตไดโอด	18
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	21
3.1 การศึกษาระบบความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อประยุกต์ใช้งานกับงานแสงอาทิตย์	21
3.2 โปรแกรม	22
3.2.1 แผนผังการเขียนโปรแกรมระบบวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์	22
3.2.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในระบบวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์	23
3.3 การออกแบบการสร้างการวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	39
4.1 วิธีการทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง	39
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	39
4.1.2 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดย แหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสง	40
4.2 การทดสอบและวิเคราะห์การวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดย แหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical)	44
4.2.1 การเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบ และกราฟที่ได้จากการเขียนโปรแกรม Matlab ในแกนแนวตั้ง	49
4.3 การทดสอบและวิเคราะห์การวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดย แหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal)	52

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3.1 การเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบ และกราฟที่ได้จากการเขียนโปรแกรม Matlab ในแกนแนวระนาบ	57
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการทดสอบจากการวัดและวิเคราะห์	60
5.2 วิจัยณ์ผลการทดสอบ	61
5.3 ข้อเสนอแนะ	61

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินการ	2
2.1 พลังงานที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	6
2.2 กระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปต่างๆ	8
4.1 แสดงผลการวัดค่าความต่างศักย์ตามมุม (องศา)	41
4.2 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	43
4.3 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4	45
4.4 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6	46
4.5 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 7 และครั้งที่ 8	47
4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical)	48
4.7 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของ ตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2	52
4.8 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4	53
4.9 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6	54
4.10 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 7 และครั้งที่ 8	55
4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลง บนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal)	56

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มุมชั่วโมง Hour angle (ω)	3
2.2 zenith and nadir	4
2.3 มุมสำคัญในระบบพิกัดท้องฟ้า	5
2.4 แสดงสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ	6
2.5 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2542	9
2.6 แสดงรายละเอียด Variable wavelength detector	12
2.7 แสดง Chromophores	13
2.8 แสดงตัวอย่างกราฟโครมาโตรแกรมจาก Variable wavelength detector โดยสารตัวอย่างที่มีหมู่ Chromophore	13
2.9 แสดงรายละเอียดของ Diode array detector	14
2.10 แสดงตัวอย่างกราฟโครมาโตรแกรมจาก Diode array detector	14
2.11 แสดงรายละเอียดของ Fluorescence Detector	15
2.12 แสดงรายละเอียดของ Refractive index detector ชนิด Beam Deflection	16
2.13 แสดงรายละเอียดของ Refractive index detector ชนิด Fresnel Prism	16
2.14 แสดงรายละเอียดของ Refractive index detector ชนิด Laser Interferometer	17
2.15 แสดงกราฟโครมาโตรแกรมของ Refractive index detector	17
2.16 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด	19
2.17 แสดงการต่อวงจรจ่ายไบอัสกลับให้โฟโตไดโอด	19
2.18 แสดงการทำงานและลักษณะสมบัติของโฟโตไดโอด	20
3.1 ใคอะแกรมการวัดความร้อน	21
3.2 แสดงรายละเอียดของ Diode array detector	21
3.3 แสดงแผนผังการเขียนโปรแกรมระบบวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์	22
3.4 เป็นการแสดงผลของตัวรับแสงในตำแหน่ง center ในรูปแบบสามมิติ	27
3.5 เป็นการแสดงผลในส่วนของตัวรับแสงในตำแหน่ง Top Bottom Left และ Right ในรูปแบบสามมิติ	28
3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	29
3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Azimuth และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 รูปแสดงในส่วนของ Top View ของตัว Solar Tracking	31
3.9 รูปแสดงในส่วนของ Side View ของตัว Solar Tracking	31
3.10 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบบวก	32
3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	32
3.12 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบกากบาท	33
3.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	33
3.14 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบบวกโดยขยาย window ออก	34
3.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	34
3.16 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบกากบาทโดยขยาย window ออก	35
3.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	35
3.18 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบบวกโดยขยับตัวเซนเซอร์รอบนอกเข้าสู่ศูนย์กลาง	36
3.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	36
3.20 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบกากบาทโดยขยับตัวเซนเซอร์รอบนอกเข้าสู่ศูนย์กลาง	37
3.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง	37
4.1 องค์ประกอบต่างๆ ของตัวรับแสง	39
4.2 ลักษณะของตัวรับแสง	40
4.3 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ	40
4.4 กราฟค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (vertical) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม (องศา) และค่ากระแสไฟฟ้า (μA)	49
4.5 กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม Matlab มีความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ามุม (องศา) ในแกนแนวตั้ง และเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสงของตัวรับแสง	50
4.6 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ ได้จากการเขียน โปรแกรม Matlab ในแกนแนวตั้ง	51
4.7 กราฟค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกน แนวระนาบ (horizontal) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม (องศา) และค่ากระแสไฟฟ้า (μA)	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม Matlab มีความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ามุม (องศา) ในแกนแนวระนาบ และเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสงของตัวรับแสง	58
4.9 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟ ที่ได้จากการเขียน โปรแกรม Matlab ในแกนแนวระนาบ	59
5.1 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ ได้จากการเขียน โปรแกรม Matlab ในแกนแนวตั้ง	62
5.2 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ ได้จากการเขียน โปรแกรม Matlab ในแกนแนวระนาบ	63

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
ω	มุมหัวโมง
δ	มุมเดคลิเนชัน
α	มุมอัลติจูด
AZ	มุมอะซิมุท
ϕ	ตำแหน่งละติจูดของผู้สังเกต
Si	ซิลิกอน
Ge	เจอร์มันเนียม
Se	ซีลีเนียม
Ss	การแผ่รังสีทั้งหมดจากดวงอาทิตย์ในช่วง ความถี่ทั้งหมด
R	ระยะทางที่วัดจากศูนย์กลางของดวงอาทิตย์
Q(R)	ฟลักซ์ของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ระยะ R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันการศึกษานำพลังงานทางเลือกมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้านับเป็นที่น่าสนใจมาก และในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยม คือพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง ปรากฏมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานที่เทคโนโลยีในปัจจุบันหาคำนำมาใช้ร่วมกับหลักการผลิตกระแสไฟฟ้า นับได้ว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันการสร้างอุปกรณ์เปลี่ยนแปลงรังสีแสงอาทิตย์ไปสู่รูปแบบพลังงานไฟฟ้า มีการศึกษามากมาย เช่น เซลล์แสงอาทิตย์(solar cells) รางพาโรติก เครื่องยนต์สเตอร์ลิง เป็นต้น แต่ solar cells ก็ยังมีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสร้างมาจากสารกึ่งตัวนำ ด้วยเหตุนี้การศึกษาและพัฒนาทางด้านของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงน่าสนใจมากกว่าเนื่องจากไม่มีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ในที่นี้ผู้ศึกษาวิจัยจึงเลือกศึกษาวิจัยในส่วนที่สามารถพัฒนาต่อยอดร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในอนาคตได้ นั่นก็คือ ระบบการวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง เพื่อประยุกต์ใช้กับงานพาโรติก โดยเป็นเครื่องมือวัดความเข้มแสงในรูปแบบกระแสไฟฟ้า โดยที่เป็นการวัดความร้อนของพาโรติกที่รวบรวมแสงได้จากดวงอาทิตย์ จะทำให้เราทราบถึงความร้อนของแต่ละองศาของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่งานพาโรติกได้รวมแสงไว้ และที่สำคัญยังสามารถนำไปต่อยอดร่วมกับรางพาโรติกและเครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาตัวตรวจวัดความเข้มแสงในรูปแบบกระแสไฟฟ้า
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่เปรียบเสมือนดวงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการหลักการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
2. ศึกษาระบบ sensor ตรวจวัดความร้อนของแสงอาทิตย์
3. ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
4. ศึกษาและออกแบบ โครงสร้างของ sensor ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

5. ทดสอบประสิทธิภาพของ sensor ตรวจจับแสงอาทิตย์

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำ รวมทั้งสิ้น 12 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ.2557 ซึ่งมีการดำเนินการดังนี้

จากแนวทางการดำเนินการข้างต้น สามารถแสดงระยะเวลาเวลาดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินการ

แผนการดำเนินการ	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.เสนางานวิจัย												
2.ศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวตรวจจับแสง												
3.ศึกษาและออกแบบโปรแกรมควบคุมตัวตรวจจับแสง												
4.ออกแบบการควบคุมด้วยโปรแกรม MATHLAB												
5.ออกแบบโครงสร้างทั้งหมด												
6.ทดสอบประสิทธิภาพ												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้รับความรู้เรื่องโปรแกรม MATHLAB ในการควบคุมการทำงานของระบบการตรวจจับแสงอาทิตย์

2.สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการทำงานของพาราโบลิคกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้และเป็นแนวทางกับระบบติดตามแสงอาทิตย์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์

การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์สามารถทำได้โดยอาศัยระบบพิกัด 2 แบบคือ ระบบพิกัดศูนย์สูตรและระบบพิกัดของฟ้า

2.1.1 ระบบพิกัดศูนย์สูตร

มุมที่สำคัญในระบบพิกัดศูนย์สูตรมีอยู่ 2 ค่า คือ มุมชั่วโมงและเดคลิเนชัน

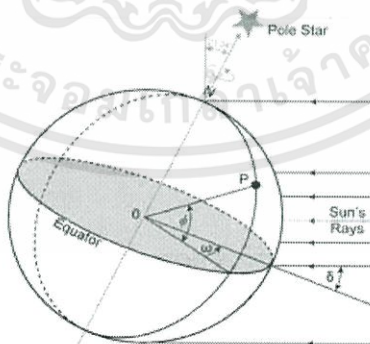
1. มุมชั่วโมงหรือ Hour angle (ω) คือมุมที่ตกกระทำระหว่างเส้นเมริเดียนของผู้สังเกตและเส้นเมริเดียนที่ขนานกับกับทิศทางที่แสงอาทิตย์ตกกระทบโลก (รูปที่ 1) มุมชั่วโมงจะถูกกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ในตอนเที่ยงวัน (12.00 น.) มีค่าเป็นบวกหลังจากเที่ยง เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเองคือ 360 องศา 1 วัน 24 ชั่วโมง ดังนั้นมุมชั่วโมงจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงไป 15 องศา ในทุกๆ 1 ชั่วโมง ตัวอย่างการพิจารณามุมชั่วโมง เช่น ถ้าพิจารณา ณ เวลา 9.00 น. จะมีค่ามุมชั่วโมงเท่ากับ -45 องศา หรือถ้าพิจารณา ณ เวลา 14.00 น. จะมีค่ามุมชั่วโมงเท่ากับ 30 องศา

*เส้นเมริเดียนผู้สังเกตคือเส้นที่ลากจากจุดขั้วเหนือผ่านจุดศีรษะมายังจุดขั้วใต้

$$\omega = +0.25 (x)$$

(1)

X คือผลต่างของเวลา (นาฬิกา) จากตอนเที่ยงตรง เช่น เวลา 14.00 น. ต่างจากเวลาเที่ยงคือ 2 ชั่วโมง หรือ 120 นาที ดังนั้น $\omega = +30$ องศา



รูปที่ 2.1 มุมชั่วโมง Hour angle (ω)

2. มุมเดคลิเนชัน (δ) คือมุมที่ทำระหว่างเส้นศูนย์สูตรและเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างดวงอาทิตย์และโลก มุมนี้จะมีค่าระหว่าง +23.5 องศา ในวันที่ 21/2 มิถุนายน (แกนการหมุนของโลกเอียงเข้าหา

ดวงอาทิตย์) และ -23.5 ในวันที่ 21/22 ธันวาคม (แกนหมุนของโลกเอียงออกจากดวงอาทิตย์) และ
มีค่าเป็นศูนย์ ในวันที่สกันตวิษุวัตและวันสารทวิษุวัต

มุมเดคลิเนชันในหน่วยองศาจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันและสามารถคำนวณหาได้
จากความสัมพันธ์

$$\delta = (0.006918 - 0.399912\cos T + 0.070257\sin T - 0.006758\cos 2T + 0.000907\sin 2T - 0.002697\cos 3T + 0.00148\sin 3T) \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2)$$

สมการข้างต้นถูกเสนอโดย Spencer (ค.ศ. 1971) จะให้ค่ามุมผิดพลาดสูงที่สุดไม่เกิน 0.0006
เรเดียน หรือเราสามารถคำนวณหามุมเดคลิเนชันโดยอาศัยสมการ

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{360}{365} (d + 284) \right] \quad (3)$$

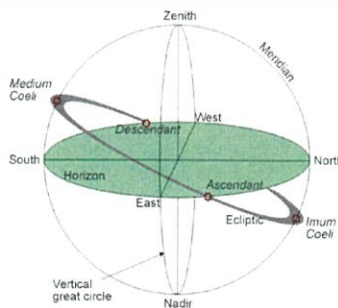
2.1.2 ระบบพิกัดขอบฟ้า

การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยอาศัยระบบพิกัดขอบฟ้าจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรสองค่า
คือ มุมอัลติจูดหรือมุมเงย (Altitude) และมุมอาซิมูท (Azimuth)

1. มุมอัลติจูด (α) คือมุมที่รองรับส่วนโค้งที่เชื่อมระหว่างผู้สังเกตและดวงอาทิตย์ที่มีค่าได้
ตั้งแต่ $0-90$ องศา สำหรับมุมที่อยู่ระหว่างผู้สังเกตและจุดเซนิธ เรียกว่า มุมเซนิธ (Zenith angle
หรือ เซต้าห้องเซท) โดยมุมอัลติจูดและมุมเซนิธมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\alpha = 90^\circ - \theta_z \quad (4)$$

จุดเซนิธ คือ จุดสูงสุดบนส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้า (celestial sphere) ที่ตั้งฉากกับ
ระนาบขอบฟ้า (horizontal plane) จุดต่ำสุดบนส่วนโค้งของทรงกลมท้องฟ้า เรียกว่า nadir



รูปที่ 2.2 zenith and nadir

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มุมอะซิมุท (AZ) คือมุมที่กระทำระหว่างทิศเหนือ (กรณีผู้สังเกตอยู่ใต้เส้นศูนย์สูตร) หรือทิศใต้ (กรณีผู้สังเกตอยู่บนเส้นศูนย์สูตร) กับแนวเส้นตรงที่ฉายจากดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นราบดังรูปที่ 1-17 มุมนี้สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

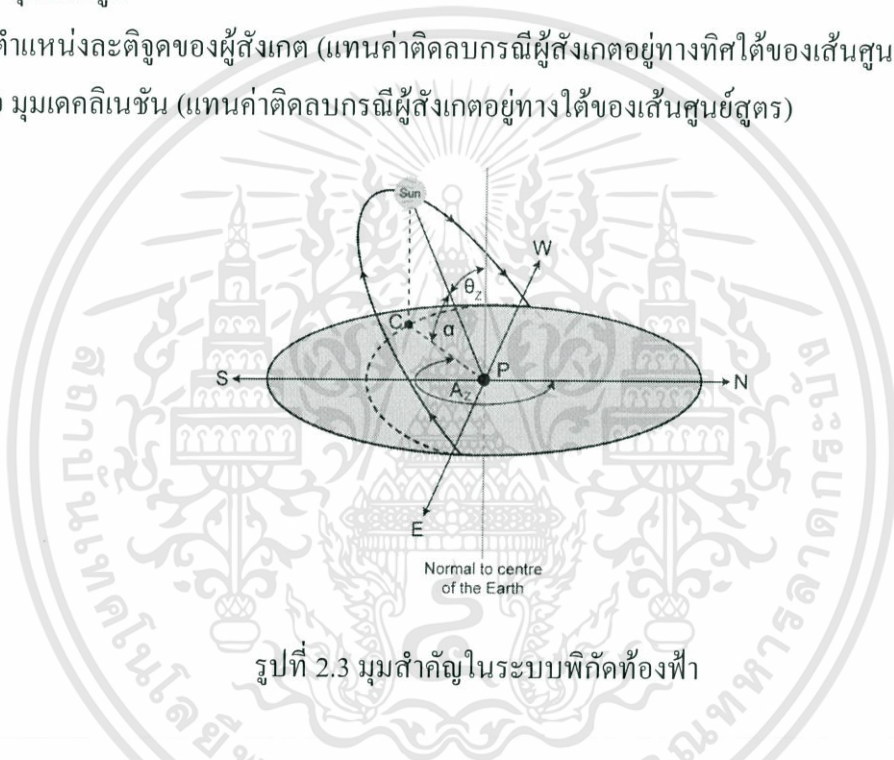
$$\cos(AZ) = \frac{\sin \alpha \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi} \quad (5)$$

โดย AZ คือ มุมอะซิมุท มีค่าเท่ากับ 0 องศา ถ้าแนวเส้นตรงที่ฉายจากดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นราบตรงกับแนวแกนทิศใต้และมีค่าเป็นบวกเมื่อวัดจากทิศใต้มายังทิศตะวันออก

α คือ มุมอัลติจูด

คือ ตำแหน่งละติจูดของผู้สังเกต (แทนค่าติดลบกรณีผู้สังเกตอยู่ทางทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร)

δ คือ มุมเดคลิเนชัน (แทนค่าติดลบกรณีผู้สังเกตอยู่ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร)



รูปที่ 2.3 มุมสำคัญในระบบพิกัดท้องฟ้า

2.2 พลังงานแสงอาทิตย์

2.2.1 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

โครงสร้างของดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นทรงกลม ซึ่งมีกลุ่มของก๊าซต่างๆ อยู่ภายในทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 กิโลเมตร และมีระยะห่างจากโลกเฉลี่ยประมาณ 1.5×10^{11} เมตรอุณหภูมิของดวงอาทิตย์จะแตกต่างกันตามตำแหน่ง เช่น ที่แกนกลางของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีความหนาแน่นประมาณ 105 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร จะมีอุณหภูมิประมาณ $8-40 \times 10^6$ เคลวิน ในขณะที่ผิวจะมีอุณหภูมิประมาณ 5,000 เคลวิน สเปกตรัมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 โดยความยาวคลื่นในแต่ละช่วงจะให้พลังงานที่แตกต่างกัน

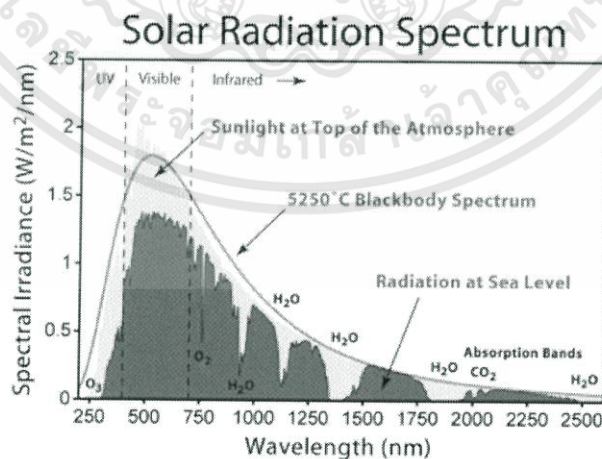
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 พลังงานที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

การแผ่รังสี	ความยาวคลื่น (μm)	สัดส่วนของการแผ่รังสี	พลังงานจากการแผ่รังสี (W/m^2)
อัลตราไวโอเล็ต	0.00-0.38	7.00 %	95
แสงที่มองเห็นได้	0.39-0.78	47.29 %	640
อินฟราเรด	0.79- ∞	45.71 %	618

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาฟิวชันของไฮโดรเจนและฮีเลียมในใจกลางของดวงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะมีอุณหภูมิสูงถึง 40 ล้านองศาเซลเซียส พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกมีค่าอยู่ในช่วง 68,000-23,000 $\text{kJ}/\text{m}^2\text{d}$ ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ สภาพบรรยากาศในแต่ละแห่งก็มีผลกระทบต่อ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังโลกเช่นกัน เช่น มลภาวะ สามารถลดปริมาณพลังงานจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ได้ถึง 10 % นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น เมฆและปริมาณไอน้ำ หรือความชื้นในอากาศ ปริมาณของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มายังผิวโลกจะเรียกว่า Insolation หรือ Incident Solar Radiation

ปฏิกิริยาฟิวชันนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์จะปลดปล่อยพลังงานจำนวนมหาศาลประมาณ $3.47 \times 10^{24} \text{ kJ/s}$ โดยพลังงานที่แผ่มายังโลกนี้เป็นเพียงส่วนเล็กน้อยเท่านั้น อัตราการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มายังโลกที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ประมาณ 1.5×10^{11} เมตร มีค่าเท่ากับ $1.353 \text{ W}/\text{m}^2$ ซึ่งเรียกว่าค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) สเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีความยาวคลื่นต่างๆ แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.4 แสดงสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่โคจร สมมติให้ฟลักซ์ของการแผ่รังสีมีค่าเท่ากันในทุกทิศทาง

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } S_s &= \text{การแผ่รังสีทั้งหมดจากดวงอาทิตย์ในช่วงความถี่ทั้งหมด} \\ R &= \text{ระยะทางที่วัดจากจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์} \\ Q(R) &= \text{ฟลักซ์ของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ระยะ } R \\ \text{ดังนั้น อัตราการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ทั้งหมด (Total Radiation, } S_s) \\ &= 4\pi R^2 Q(R) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{หรือ } Q(R) = S_s / 4\pi R^2 \quad (7)$$

ระยะทางจากโลกไปยังดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 1.5×10^{11} เมตร ดังนั้น จากสมการ (7) จะได้ค่าการแผ่รังสีทั้งหมดเท่ากับ 3.8×10^{11} W ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของโลกที่ได้รับแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ πr^2 โดย r คือรัศมีของโลก

ดังนั้น ปริมาณการแผ่รังสีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เท่ากับ

$$\frac{\pi R^2 Q(R)}{4\pi r^2} = \frac{Q(R)}{4} \quad (8)$$

จากสมการที่ (8) จะพบว่า การแผ่รังสีเฉลี่ยที่ผิวโลกจะมีค่าเท่ากับ $1,360/4 = 340$ W/ m² โดยค่านี้สมมติให้โลกมีทรงกลมอย่างสมบูรณ์ การหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์และการหมุนรอบแกนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลก

2.2.2 รังสีที่ตกกระทบบนพื้นโลก

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลกประกอบด้วย 2 ส่วน คือ รังสีตรง และรังสีกระจาย

รังสีตรง (Direct radiation) เป็นรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง เป็นรังสีขนานมีทิศทางที่แน่นอน สามารถนามารวมแสงเพื่อให้มีความเข้มสูงได้ บางครั้งเรียกรังสีตรงว่า รังสีคลื่นสั้น

รังสีกระจาย (Diffuse radiation) เป็นรังสีที่มีการกระจาย เนื่องจากผ่านตัวกลางอื่นที่แสงอาทิตย์ส่งไปกระทบ เช่น อนุภาคของก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ ฝุ่นละออง และไอน้ำ เป็นต้น รังสีประเภทนี้ไม่อาจนามารวมแสงเพื่อเพิ่มความเข้มได้ บางครั้งเรียกรังสีกระจายเป็นว่า รังสีคลื่นยาว ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม (Global radiation)

2.2.3 เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์

เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีดวงอาทิตย์ประกอบด้วยเครื่องมือหลัก ๆ 3 ประเภท ได้แก่

1. ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่ารังสีรวม ปกติจะวัดบนพื้นราบ แต่อาจประยุกต์วัดรังสีกระจายได้โดยติดตั้งหรือจางบนเงา

2. ไพโรเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีตรง มีหลักการทางานคล้ายกับไพราโนมิเตอร์ แตกต่างกันตรงที่ไพโรเฮลิโอมิเตอร์มีชุดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้ผิวรับแสงตั้งฉากกับลาแสงตลอดเวลา

3. เครื่องวัดความยาวนานแสงแดด (Sunshine recorder) เป็นเครื่องมือที่บันทึกช่วงระยะเวลาที่มีแดดในหนึ่งวัน โดยวัดช่วงเวลาที่รังสีตรงมีความเข้มสูงพอที่จะกระตุ้นเครื่องบันทึก โดยช่วงเวลาที่วัดได้สั้นที่สุดคือ 0.1 ชั่วโมง

2.2.4 การประยุกต์นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์

พลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่สำคัญที่สุด มนุษย์ได้นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมายตั้งแต่ยุคโบราณ ทั้งในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยตรงเป็นพลังงานปฐมภูมิ ในรูปของพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า และพลังงานแสงสว่าง และใช้ทางอ้อมในรูปของพลังงานทุติยภูมิ เช่น พลังงานลม พลังงานชีวภาพมวล พลังงานน้ำ และพลังงานคลื่น เป็นต้น

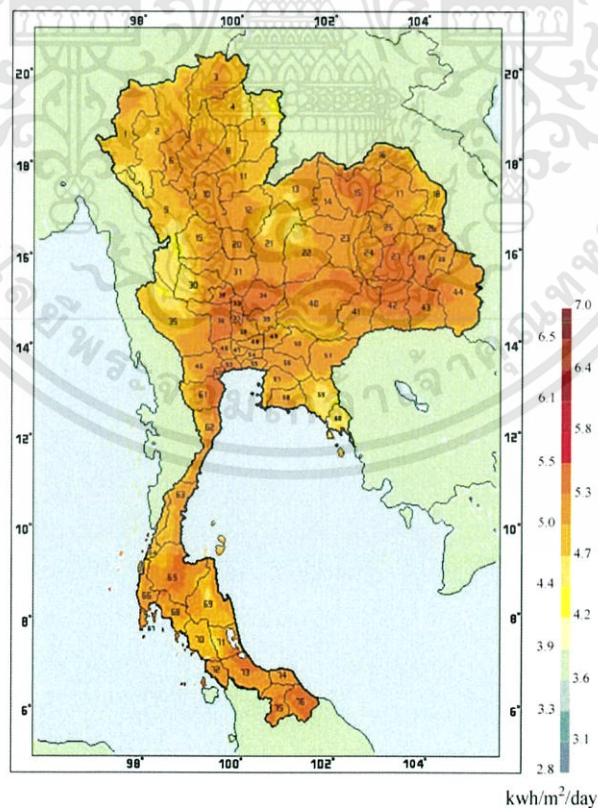
การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยตรง เป็นแหล่งพลังงานปฐมภูมิ (Primary Source) ถ้าพิจารณาจากผลสุดท้ายที่นำไปใช้ประโยชน์ สามารถจำแนกการประยุกต์ได้เป็น 2 แนวทางคือการประยุกต์ในทางความร้อน และการประยุกต์ในทางไฟฟ้า กระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ที่นำไปใช้ประโยชน์นั้นเป็นกระบวนการทางอุณหภูมิจำกัด ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 8 กระบวนการดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2.2 กระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปต่าง

กระบวนการ	พลังงานในรูปแบบต่างๆ
1. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน (Solar thermal conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน
2. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจลน์ (Solar thermomechanical conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน → พลังงานจลน์
3. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar thermal electric conversion; STEC)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน → พลังงานจลน์ → พลังงานไฟฟ้า

4. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี(STEC + electrolysis)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน พลังงานจลน์ → พลังงานไฟฟ้า → พลังงานเคมี
5. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี (Solar thermochemical conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน → พลังงานเคมี
6. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar electric conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานไฟฟ้า
7. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี (Solar chemical conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานเคมี

2.2.5 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย



รูป 2.5 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานสูง

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้ม รังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศไทย ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของ จังหวัด นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อูยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์ เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทย นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง 18-19 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน

จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ 18.2 เมกะจูล/ตารางเมตร-วัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

2.3 เซนเซอร์ (Sensor)

เซนเซอร์ คือ ตัวอุปกรณ์ตรวจวัดตัวแรกในระบบการวัดซึ่งใช้ตรวจจับหรือรับรู้การเปลี่ยนแปลงปริมาณทางกายภาพของตัวแปรต่างๆเช่นความร้อนแสงสีเสียงระยะทางการเคลื่อนที่ ความดันการไหลเป็นต้นแล้วเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณหรือข้อมูลที่สอดคล้องและเหมาะสมกับส่วนของการกำหนดเงื่อนไขทางสัญญาณถ้าใช้เซนเซอร์วัดแบบสัมผัสกับตัวแปรโดยตรงเรียกตัวตรวจวัดแบบปฐม (Primary Sensors) หรือ ตัวตรวจวัดขั้นต้น หากมีการตรวจวัดโดยผ่านส่วนอื่นก่อน เช่น สเตรนเกจตรวจรับแรงกดที่ต้องรับแรงถ่ายทอดจากแท่งโลหะที่รับแรงโดยตรงอีกทอดโดยใช้สเตรนเกจแปะติดกับแท่งโลหะดังกล่าวเพื่อวัดแรงนั้นเราจะเรียก โครงประกอบของไหลดเซลล์ สเตรนเกจบริดจ์แบบเบี่ยงเบนวางจรรยาหน่วยงานแสดงผล Microcomputer A / DmV ความเครียด ความต้านทานน้ำหนักจริง Input ประมวลผลสัญญาณปรับแต่งสัญญาณส่วนแสดงผลส่วนตรวจจับ Output คำนวณน้ำหนักที่วัดได้ Primary Secondary สเตรนเกจ ในกรณีนี้ว่าเป็นตัวตรวจวัดทุติยภูมิ (Secondary Sensor) หรือตัวตรวจจับชั้นรองการตรวจวัดจะอาศัยผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในตัวเซนเซอร์เองที่สามารถตรวจวัดได้ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเช่นแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสความต้านทานความจุและความเหนี่ยวนำเป็นต้นเมื่อค่าตัวแปรทางกายภาพเปลี่ยนแปลงแล้ว พารามิเตอร์ของตัวเซนเซอร์เหล่านี้จะเปลี่ยนตามเมื่อเราทราบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนตาม อาจวัดได้โดยใช้มิเตอร์หรือวงจรบริดจ์ต่างๆซึ่งเป็นการวัดตัวแปรทางอ้อมด้วยวิธีทางไฟฟ้าโดยเราจะทำการเทียบหรือปรับแต่งปริมาณทางไฟฟ้านี้แทนค่าตัวแปรที่ทำการวัดอีกทอดเราจึงอาจเรียกว่าเป็นการวัดโดยวิธีอ้อมได้กระบวนการนี้เรียกว่าการตรวจจับ (Sensing) กรณีนี้คำว่าทรานสดิวเซอร์ จะถูกเรียกว่า เซนเซอร์

จะเห็นว่าทรานสดิวเซอร์และเซนเซอร์แท้จริงคืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เดียวกันต่างตรงที่เรา จะกล่าวถึงหลักการการทำงานหรือกล่าวถึงลักษณะการใช้งานปัจจุบันทรานสดิวเซอร์และเซนเซอร์เป็น คำกลางๆที่ใช้ร่วมกัน โดยทรานสดิวเซอร์อาจจะรวมทั้งตัวเซนเซอร์และวงจรการปรับแต่งสัญญาณ ต่างๆเข้าเป็นหน่วยเดียวกันแล้วนำไปใช้ได้ทันทีเช่นทรานสดิวเซอร์ความดัน (Pressure Transducer) เมื่อมีความดันเข้ามาจะทำให้เป็นแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสที่ด้านทางออก(Output)ที่แปร เป็นสัดส่วนกับความดันที่ต้องการวัดเป็นต้น

2.3.1 ชนิดของเซนเซอร์

การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์แบ่ง โดยอาศัยหลักเกณฑ์ต่างๆดังต่อไปนี้คือ

1. แบ่งตามความต้องการพลังงาน
 - แบบแอคทีฟ (Active Sensors) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่สามารถปล่อยพลังงานเองได้เช่น เทอร์โมคัปเปิลเพียโซเซเชลล์แสงอาทิตย์ออปโตไดโอด เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ไม่ต้องมีแหล่งจ่าย กำลังจากภายนอกให้ก็สามารถให้สัญญาณแรงดันหรือกระแสที่แปรตามตัวแปรได้เอง
 - แบบพาสซีฟ (Passive Sensors) แบบนี้จะต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอกจึงจะทำการตรวจ รู้ได้ เช่น เซนเซอร์ที่ใช้หลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานค่าความจุค่าความเหนี่ยวนำ ฯลฯ เป็นต้น
2. แบ่งตามลักษณะกลไกในการทำงาน
 - การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ (Variable Capacitance Transducer)
 - การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ (Variable Inductance Transducer)
 - การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (Variable Resistance Transducer)
3. แบ่งตามชนิดของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน
 - เปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้า
 - เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล
 - เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า
 - เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า
4. แบ่งตามชนิดของสัญญาณที่ใช้
 - แบบอนาลอกให้สัญญาณเป็นแบบต่อเนื่อง
 - แบบไบนารีให้สัญญาณแบบเปิด - ปิด (ON - OFF)

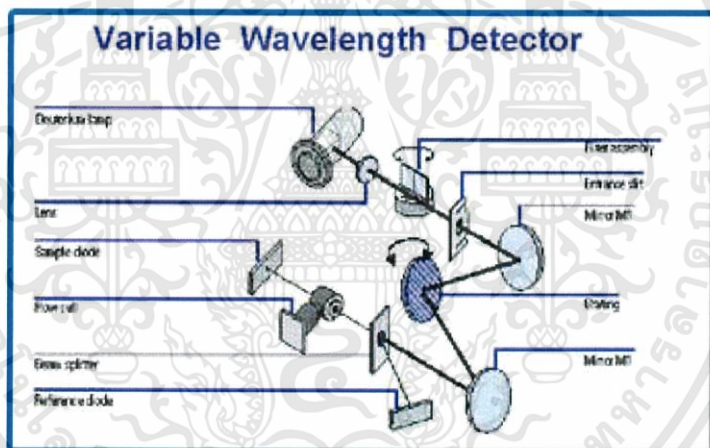
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดิจิตอลให้สัญญาณเป็นแบบดิจิตอล
- 5. แบ่งตามตำแหน่งที่ใช้ในระบบ
 - ทรานสดิวเซอร์ด้านเข้า (Input Transducer) อยู่ทางด้านเข้าของระบบเครื่องมือเช่น ไมโครโฟน เป็นต้น
 - ทรานสดิวเซอร์ด้านออก (Output Transducers) เช่น ลำโพงของระบบเครื่องขยายเสียง เป็นต้น
- 6. แบ่งตามข้อมูลหรือวัตถุประสงค์ในการวัด
 - เช่น ทรานสดิวเซอร์วัดการเคลื่อนที่วัดอุณหภูมิความดันอัตราการไหลตำแหน่ง เป็นต้น

2.4 Detector หรือ ตัวตรวจวัดสัญญาณ

สารที่ได้จากการแยก มีหลายชนิดด้วยกัน

2.4.1 Variable wavelength detector (VWD)



รูปที่ 2.6 แสดงรายละเอียด Variable wavelength detector

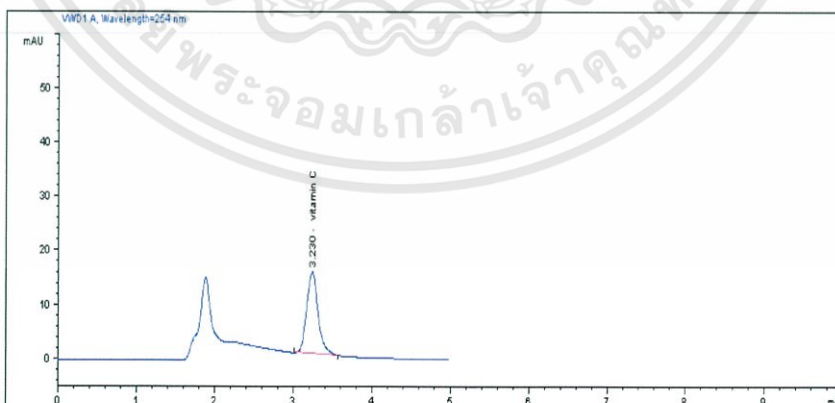
เป็น detector ที่วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารซึ่งสารหรือตัว analyte จะต้องมีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ เรียกว่า Chromophore

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chromophores		
Chromophore	Structure	$\lambda_{max}(nm)$
Amine	$-NH_2$	195
Ethylene	$-C=C-$	190
Ketone	$>C=O$	195
Ester	$-COOR$	205
Aldehyde	$-CHO$	210
Carboxyl	$-COOH$	200-210
Nitro	$-NO_2$	310
Phenyl	$-\text{C}_6\text{H}_5$	202,255
Naphthyl	$-\text{C}_{10}\text{H}_7$	220,275

รูปที่ 2.7 แสดง Chromophores

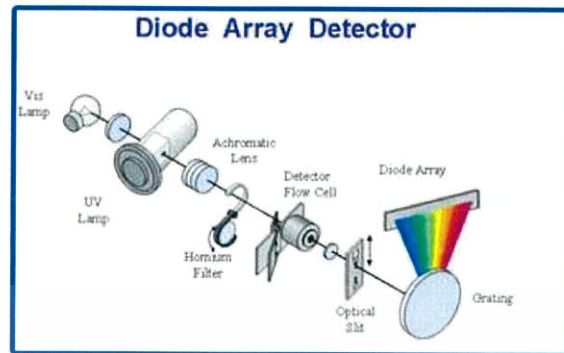
และ detector นี้สามารถเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการที่สารดูดกลืนแสงได้ดีที่สุด โดยเป็น detector ที่อ่านค่าได้ทีละ 1 ความยาวคลื่นมี light source เป็น deuterium lamp อ่านค่าได้ตั้งแต่ 190-600nm เมื่อ light source ปล่อยแสงซึ่งเป็น Polychromatic (คือเป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆกัน) ถูกโฟกัสผ่านไปยัง monochromator คือ entrance slit ผ่านไปยัง mirror (ทำให้แสงเกิดการสะท้อน) ไปยัง grating (ส่วนที่ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆเพื่อให้เหมาะในการเลือกใช้งาน) ไปยัง exit slit แล้วผ่านเข้าสู่ flow cell และมีการดูดกลืนแสงภายใน flow cell และถูกตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง ออกมาเป็นสัญญาณ โครมาโตแกรม ตัวอย่างที่เหมาะสมกับ detector นี้ ต้องเป็นตัวอย่างที่สามารถดูดกลืนแสงได้นั้นคือต้องมีหมู่ Chromophore เช่น วิตามิน ต่างๆ



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างกราฟโครมาโตแกรมจาก Variable wavelength detector โดยสารตัวอย่างที่มีหมู่ Chromophore

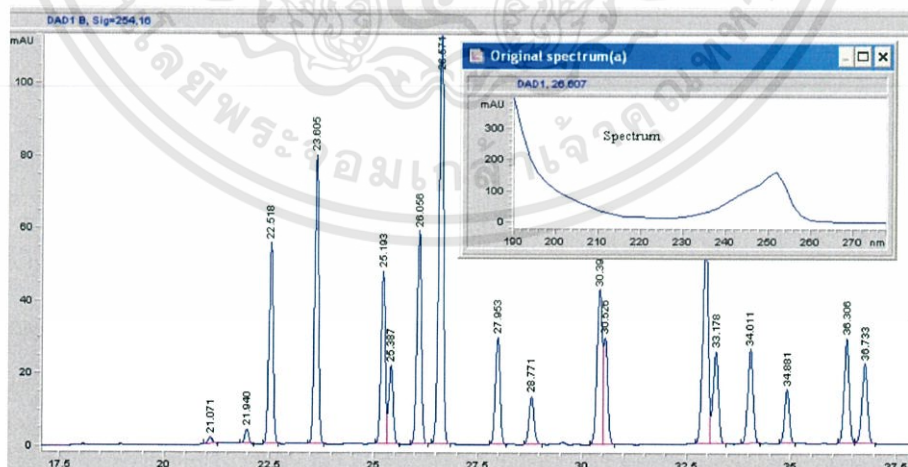
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 Diode array detector (DAD)



รูปที่ 2.9 แสดงรายละเอียดของ Diode array detector

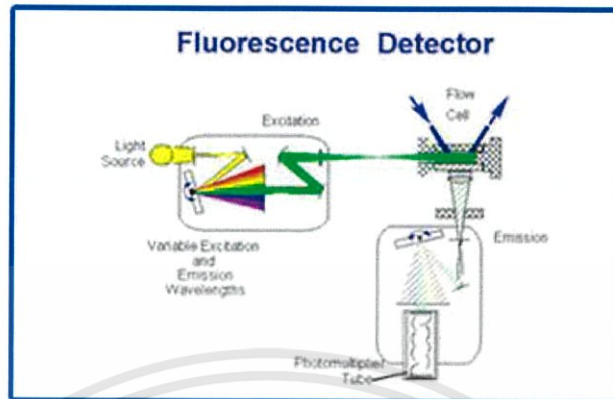
เป็น detector ที่วัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร เช่นเดียวกับ VWD แต่ต่างกันตรงที่สามารถวัดได้ทีละหลายความยาวคลื่นในเวลาเดียวกัน และวัดได้ตั้งแต่ 190-850 nm ระบบการเดินทางของแสงจะเป็นแบบย้อนแสง Reverse optics คือแสงจากแหล่งกำเนิดแสง light source จะผ่านไปยัง flow cell ก่อนที่จะผ่านไปยัง monochromator คือ slit และ grating เมื่อแสงตกกระทบบน grating แสงจะกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ แล้วไปตกกระทบบนแผงของ Diode array ตรวจวัดสัญญาณออกมาเป็นโครมาโตแกรม Diode array detector สามารถเก็บข้อมูล spectrum ของ พีคัดต่างๆ ของโครมาโตแกรมได้ด้วยตัวอย่างที่เหมาะสมกับ detector นี้ ต้องเป็นตัวอย่างที่สามารถดูดกลืนแสงได้เช่นเดียวกับ VWD



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างกราฟโครมาโตแกรมจาก Diode array detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Fluorescence Detector (FLD)



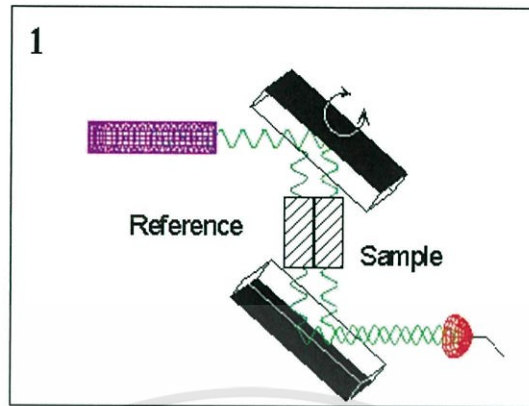
รูปที่ 2.11 แสดงรายละเอียดของ Fluorescence Detector

เป็น detector ที่มีความไวสูงและเฉพาะ (selective) เนื่องจากมีความสามารถในการวัด Fluorescence ที่ได้ออกมาจากตัวอย่าง ที่ถูกกระตุ้น (excited) ด้วยแสงยูวี โดยที่แสงยูวีจากแหล่งกำเนิดแสง light source ผ่านเครื่องกรองแสงคือ monochromator เพื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นตามต้องการผ่านเข้าไปยัง flow cell ที่มีสารตัวอย่างที่ออกมาจากคอลัมน์ เมื่อตัวอย่างถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี จะปล่อย emission ออกมาทุกทิศทางแต่จะมี emission ที่ทำมุม 90 องศาเท่านั้น ซึ่งเป็นความยาวคลื่นเฉพาะสำหรับตัวอย่างแต่ละชนิด ผ่านไปยัง filter ตัดแสงที่ไม่ต้องการออก จากนั้นจึงผ่านเข้าไปยัง photo cell ตรวจวัดสัญญาณออกมาเป็นโครมาโตแกรม ดังนั้นทั้งความยาวคลื่น excitation และ emission จึงเป็นความยาวคลื่นที่เป็นลักษณะจำเพาะกับตัวอย่างนั้นๆ เท่านั้น

2.4.4. Refractive index detector (RID)

เป็นตัวตรวจวัด สัญญาณความแตกต่างของดัชนีหักเห (refractive index, RI) อย่างต่อเนื่องระหว่างเฟสเคลื่อนที่กับเฟสเคลื่อนที่ที่มีสารประกอบของตัวถูกละลายละลายอยู่ (สาร analyte ที่เราสนใจ) ขณะผ่านออกจากคอลัมน์ สามารถให้สัญญาณกับตัวทำละลายได้ทั้งหมด ทรายที่ตัวถูกละลาย (สาร analyte ที่เราสนใจ) มีค่าดัชนีหักเหต่างจากเฟสเคลื่อนที่ นั่นคือจะเกิดความแตกต่างกันระหว่าง reference cell (มีเฟสเคลื่อนที่ไหลผ่าน) และ sample cell (มีสาร analyte ที่เราสนใจ) ภายใน detector จึงทำให้ได้ค่าดัชนีหักเหที่ต่างกัน จึงตรวจวัดสัญญาณได้ ตัวตรวจวัดชนิดนี้ สามารถใช้ได้กับตัวอย่างแทบทุกชนิดแต่มีความไวต่ำไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบสารที่มีปริมาณน้อยๆ เช่น ชนิดของน้ำตาล RID มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน

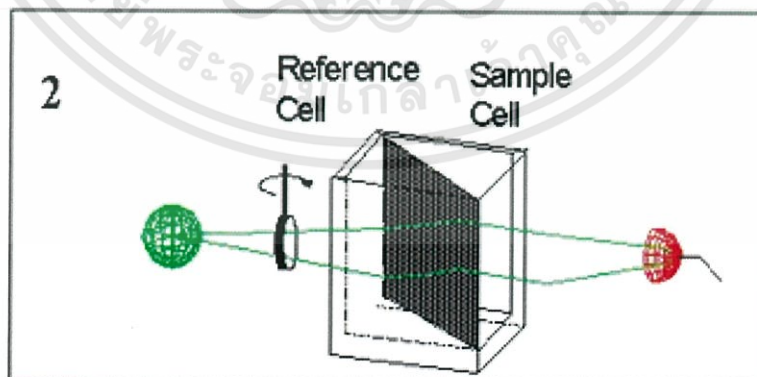
1. ชนิด Beam Deflection



รูปที่ 2.12 แสดงรายละเอียดของ Refractive index detector ชนิด Beam Deflection

แสงจาก light source ผ่าน lens ไปยัง flow cell ซึ่งมีทั้ง reference cell และ sample cell แยกจากกันด้วยแผ่นแก้ว เมื่อส่วนประกอบของ mobile phase ผ่าน sample cell และ reference cell ค่าดัชนีหักเหจะมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อส่วนประกอบของ mobile phase ซึ่งมีสาร analyze ที่สนใจอยู่ ด้วยผ่าน sample cell และ reference cell ค่าดัชนีหักเหก็จะ เปลี่ยนไปด้วยทำให้แสงที่ออกมาตกกระทบกระจกเกิดการเบนไป(deflection) ทำให้แสงที่ไปตกกระทบบน photo detector เกิดการเบนไปด้วยค่าดัชนีหักเหที่แตกต่างจากการที่แสงผ่าน sample cell และ reference cell ถูกวัดออกมาเป็นสัญญาณ โครมาโตแกรม

2. ชนิด Fresnel Prism



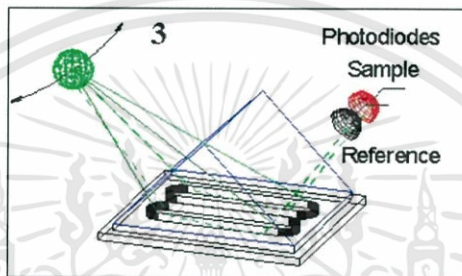
รูปที่ 2.13 แสดงรายละเอียดของ Refractive index detector ชนิด Fresnel Prism

หลักการทำงาน คือ ปริมาณของแสงที่สะท้อน(reflected) ออกมาที่แก้วและของเหลวที่ประกบกันอยู่ จะแปรเปลี่ยนตามมุมของแสงที่ตกกระทบ และค่าดัชนีหักเหของของเหลวและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

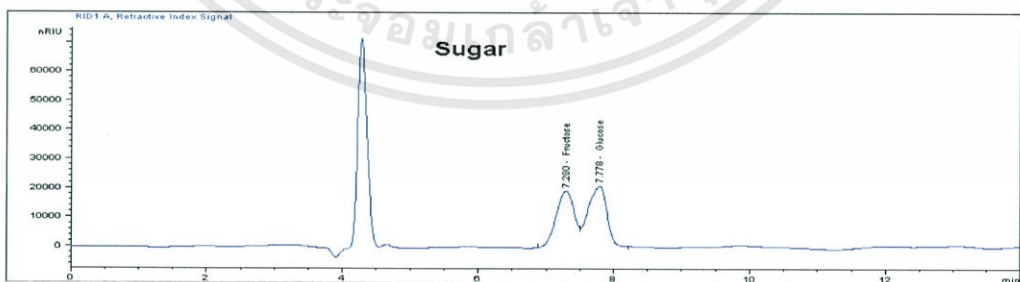
ของแก้วนั้น เพื่อให้ได้สเปกตรัมของเครื่องสูงสุด ต้องให้มุมตกกระทบของแสงบนแก้วที่ประกบอยู่กับของเหลวเป็นมุมน้อยกว่ามุมวิกฤตเล็กน้อย และวัดเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าดัชนีหักเหของ sample cell และ reference cell โดยที่แสงจาก light source จะแยกออกเป็น 2 ลำแสง แสงจะผ่านไปยัง cell prism และตกกระทบบนแก้วที่สัมผัสกับของเหลว โดยที่ sample cell และ reference cell จะประกบอยู่ระหว่างแผ่นเหล็กไร้สนิมและ cell prism เมื่อแสงผ่านแก้วและของเหลวที่อยู่ใน flow cell ก็จะตกกระทบบนผิวของแผ่นเหล็กไร้สนิมแล้วสะท้อนกลับ ให้แสงนั้นไปตกบน photo detector และวัดเป็นสัญญาณ โครมาโตแกรม ออกมา

3. ชนิด Laser Interferometer



รูปที่ 2.14 แสดงรายละเอียดของ Refractive index detector ชนิด Laser Interferometer

แสงจาก light source ถูกแบ่งออกเป็น 2 ลำแสงและถูกโฟกัสด้วยเลนส์ ให้ลำแสงผ่าน sample cell และ reference cell จากนั้นลำแสงถูกนำมารวมกัน เพื่อให้แสงตกกระทบลงบน Interferometer ค่าดัชนีหักเหที่แตกต่างกันของ sample cell และ reference cell ทำให้เกิดความแตกต่างของระยะทางที่แสงผ่านซึ่งวัดด้วย Interferometer และวัดเป็นสัญญาณ โครมาโตแกรม ออกมา



รูปที่ 2.15 แสดงกราฟโครมาโตแกรมของ Refractive index detector

2.5 อุปกรณ์วัดแสง

Lux (ลักซ์) เป็นหน่วยของการวัดความสว่างของภาพหรือมากกว่าถูกต้องสว่าง, ทำยที่สุดมันก็เกิดขึ้นจาก Candela หน่วยมาตรฐานการวัดการใช้พลังงานของแสง Candela เป็นจำนวนคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งใกล้ความสว่างของเทียนหนึ่งในขณะที่ Candela เป็นหน่วยของพลังงาน แต่ก็มีหน่วยเทียบเท่าที่เรียกว่าลูเมนซึ่งมาตรการเบาเหมือนกันในแง่ของการรับรู้ของคนที่ได้ด้วยตามนุษย์ หนึ่งลูเมนเท่ากับแสงที่ผลิตในทิศทางเดียวจากแหล่งกำเนิดแสงการจัดอันดับที่ หนึ่ง Candela ลักซ์คำนึงถึงพื้นที่ผิวมากกว่าที่แสงนี้จะถูกกระจายไปซึ่งมีผลต่อวิธีที่สด ใสก็จะปรากฏขึ้น หนึ่งลักซ์เท่ากับหนึ่งลูเมนของการแพร่กระจายแสงไปทั่วพื้นที่ผิวหนึ่งตาราง เมตร เครื่องวัดแสง ทำงานโดยใช้เซลล์ภาพเพื่อจับแสง แล้วแปลง ค่า แสง เป็น กระแสไฟฟ้า โดยการวัดค่าแสง จากกระแสไฟฟ้า จะทำให้เครื่องมือวัด คำนวณค่าแสงได้แม่นยำยิ่งขึ้น

lux meter เป็นอุปกรณ์สำหรับ วัดความสว่าง มัน โดยเฉพาะมาตรการเข้มที่ปรากฏความสว่างได้ด้วยตามนุษย์ การวัดแสง แบบนี้ จะแตกต่างไปจากการวัดค่าจริง ของพลังงานแสงโดยการสะท้อนของวัตถุ หรือ จากต้นกำเนิดแสง

Lux meter ทำงานโดยใช้เซลล์เพื่อจับแสง จากนั้นจะแปลงแสงนี้ให้ กระแสไฟฟ้า ปัจจุบันเครื่องวัดนี้ช่วยให้อุปกรณ์ในการคำนวณค่าลักซ์ของแสงที่มันวัดได้ การใช้งานโดยทั่วไปของเครื่องวัดแสงสามารถในการถ่ายภาพและวิดีโอที่ถ่ายทำ โดยการวัดแสงในค่า ลักซ์luxes, ช่างภาพสามารถปรับ ความเร็วชัตเตอร์ และความลึกของภาพที่มีคุณภาพดีที่สุด อุปกรณ์ยังสามารถเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการถ่ายภาพกลางแจ้งของรายการ โทรทัศน์ หรือภาพยนตร์เนื่องจากจะช่วยให้การปรับเปลี่ยนเพื่อให้แน่ใจว่าฉาก ถ่ายทำในระดับแสงที่แตกต่างกันมีความสว่างที่สม่ำเสมอบนหน้าจอ เครื่องวัดแสง เป็นการวัดความสว่าง ลักซ์ เพื่อสุขภาพในการใช้แสง ในห้องประชุม ทำงาน การวัดเพื่อตรวจสอบว่าความสว่างของห้องเพียงพอที่จะตอบสนองการใช้งานที่เหมาะสม หรือไม่ วัดความสว่าง จากหลอดไฟที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันคนงานจากความทุกข์ทรมานความเสียหายแก่สาย ตาของพวกเขา การใช้ Light Meter จะพิจารณาขนาดของห้องพักในลักษณะที่เพียงแต่การวัดความเข้มของแหล่งกำเนิดแสงในลูเมน

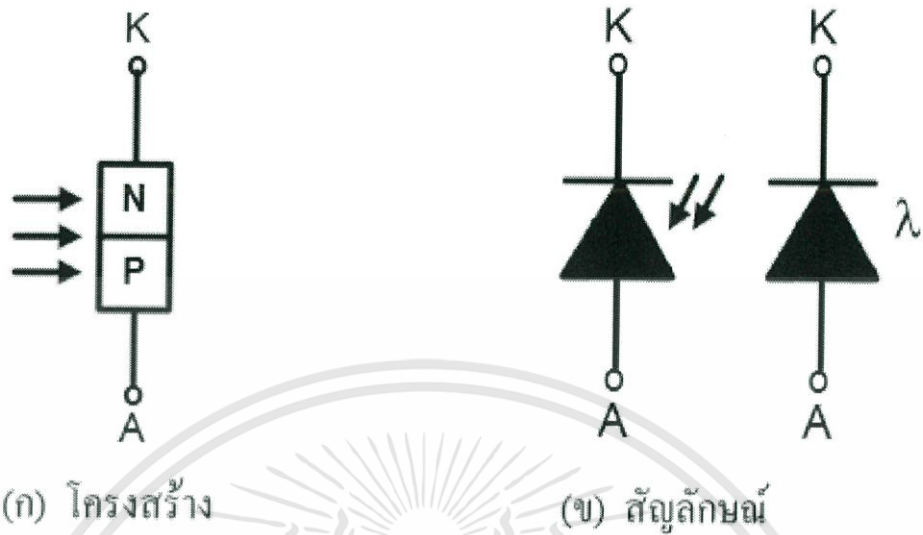
การตรวจวัดระดับแสงสว่าง ใช้ Lux Meter ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดแสงที่อ่านค่าได้โดยตรง (Direct Reading) มีหน่วยการวัดเป็น ลักซ์ ปกติจะวัดที่ตำแหน่งชิ้นงานที่คนทำงานอยู่ เพื่อประเมินระดับความเข้มของแสงสว่างกับลักษณะงานที่ปฏิบัติว่าเพียงพอหรือไม่ โดยอ้างอิงมาตรฐานของแสงสว่างตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ดังนี้ - งานที่ไม่ต้องการความละเอียด ระดับแสงต้องไม่น้อยกว่า 50 ลักซ์ - ต้องการความละเอียดเล็กน้อย ระดับแสงต้องไม่น้อยกว่า 100 ลักซ์ - ต้องการความละเอียดปานกลาง ระดับแสงต้องไม่น้อยกว่า 200 ลักซ์ - ต้องการความละเอียดมาก ระดับแสงต้องไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์ - ต้องการความละเอียดมากเป็นพิเศษ ระดับแสงต้องไม่น้อยกว่า 1,000 ลักซ์

2.6 โฟโตไดโอด (PHOTO DIODE)

โฟโตไดโอด หรือ ไดโอดทำงานด้วยแสง คือ ไดโอดทำงานด้วยแสง เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่ง ที่ค่าความต้านทานในตัวไดโอดเปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือน้อยลง ขึ้นอยู่กับแสงที่

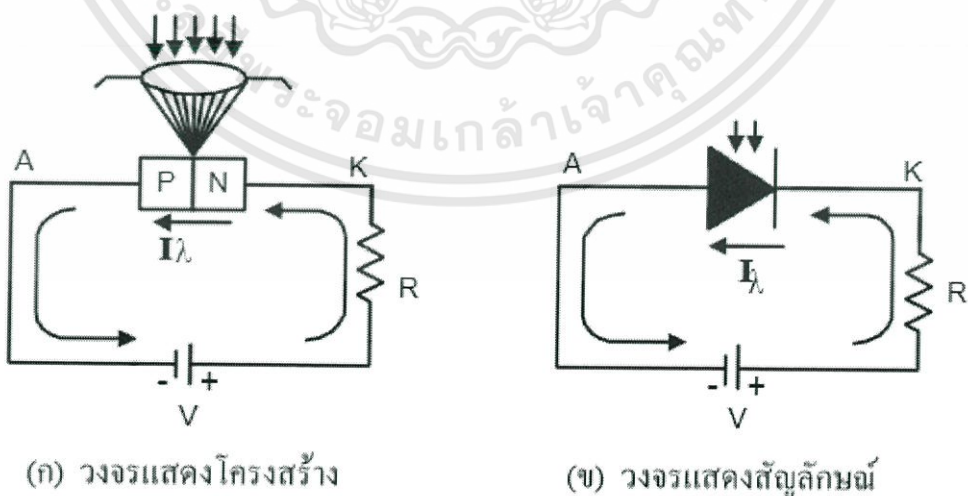
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่องมาตกกระทบกับสารกึ่งตัวนำในตัวไดโอด โฟโตไดโอดมีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด

โครงสร้างของโฟโตไดโอด จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N และชนิด P ต่อชนกัน เหมือนไดโอด ธรรมดา เพียงแต่ผลิตขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน เช่น ซิลิคอน (Si) เจอร์มันเนียม (Ge) หรือซีลีเนียม (Se) โดยขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการนำโฟโตไดโอดไปใช้รับแสงชนิดใด การทำงานของโฟโตไดโอด จะต้องต่อวงจรโดยจ่ายไบอัสกลับให้ตัวโฟโตไดโอด การต่อวงจรแสดงดังรูป



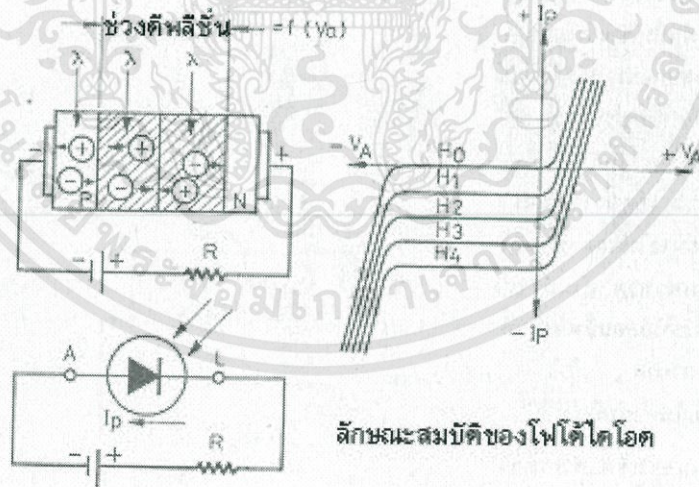
รูปที่ 2.17 แสดงการต่อวงจรจ่ายไบอัสกลับให้โฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการต่อวงจรไบอัสกลับให้โฟโตไดโอด ซึ่งในสภาวะปกติของไดโอด เมื่อจ่ายไบอัสกลับให้จะไม่มีการแส เมื่อมีแสงตกกระทบตรงรอยต่อ PN ของโฟโตไดโอด แสงดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงเป็น พลังงานที่เรียกว่าโฟตอน ไปทำให้ค่าเบตเตอร์สมมติระหว่างรอยต่อ หรือดีพลีชันริจิ้นตรงรอยต่อลดค่าลงอย่างมาก ทำให้เกิดกระแสไบอัสกลับไหลผ่านรอยต่อของโฟโตไดโอดได้กระแสไบอัสกลับดังกล่าว จะไหลได้มาก หรือน้อย ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่มากตกกระทบรอยต่อ PN แสงตกกระทบน้อย กระแสไหลน้อย แสงตกกระทบมากกระแสไหลมาก

การใช้งานตัวโฟโตไดโอดจะให้กระแสไหลผ่านตัวมันที่ขึ้นอยู่กับแสงเมื่อ โฟโตไดโอดชนิดซีลิกอนถูกไบอัสกลับด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงส่องไปที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่ส่องมีความยาวคลื่นที่พอเหมาะจะมีกระแสไหลในวงจรโดยเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงที่ส่องผ่านบนอุปกรณ์นั้น ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรงจะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดา คือให้กระแสผ่านตัวมันเองได้ การทำงานของโฟโตไดโอดพอจะกล่าวได้อย่างสังเขปดังนี้ เมื่อแสงตกกระทบบริเวณรอยต่อจะทำให้เกิดการแตกตัวของโฮลและอิเล็กตรอนอิสระ โฮลและอิเล็กตรอนอิสระจะถูกแรงดันไบอัสกลับเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลข้ามรอยต่อเป็นกระแสเนื่องจากแสงได้ โดยปกติค่ากระแสเนื่องจากแสงนี้มีค่าค่อนข้างต่ำมาก คือ อยู่ในช่วง $1-10 \mu A$ เท่านั้น

เนื่องจากไดโอดนี้ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อแสงต่ำ ดังนั้นการใช้งานของโฟโตไดโอด จึงต้องมีตัวขยายกระแสเพิ่มเติม ผู้ผลิตจึงหันมาผลิตอุปกรณ์อย่างอื่น เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์แทน



รูปที่ 2.18 แสดงการทำงานและลักษณะสมบัติของโฟโตไดโอด

ไดโอดที่ไวต่อแสงชนิดซีลิกอนมีสัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิต่ำและผลตอบสนองต่อแสงไว นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมผลตอบสนองต่อความถี่ของแสงและความเร็วได้โดยรูปร่างลักษณะและการโด๊ปของรอยต่อ

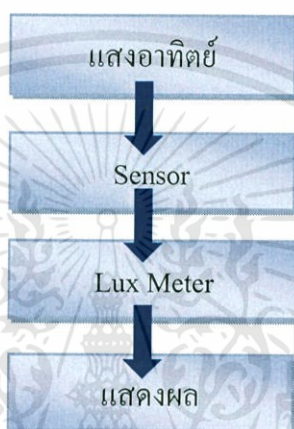
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

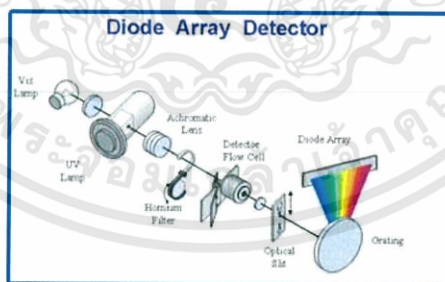
3.1 การศึกษาระบบความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อประยุกต์ใช้กับงานแสงอาทิตย์

จากการศึกษาความร้อนที่ตกกระทบบนงานพาราโบลิก ทำให้เรามีการวัดความร้อนที่เกิดโดยใช้ sensor แล้วนำมาผ่านขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้การวัดนั้นออกมาเป็น output ที่ต้องการ ดังแสดงได้ในรูปแบบของไดอะแกรมดังนี้



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมการวัดความร้อน

Diode array detector (DAD)



รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของ Diode array detector

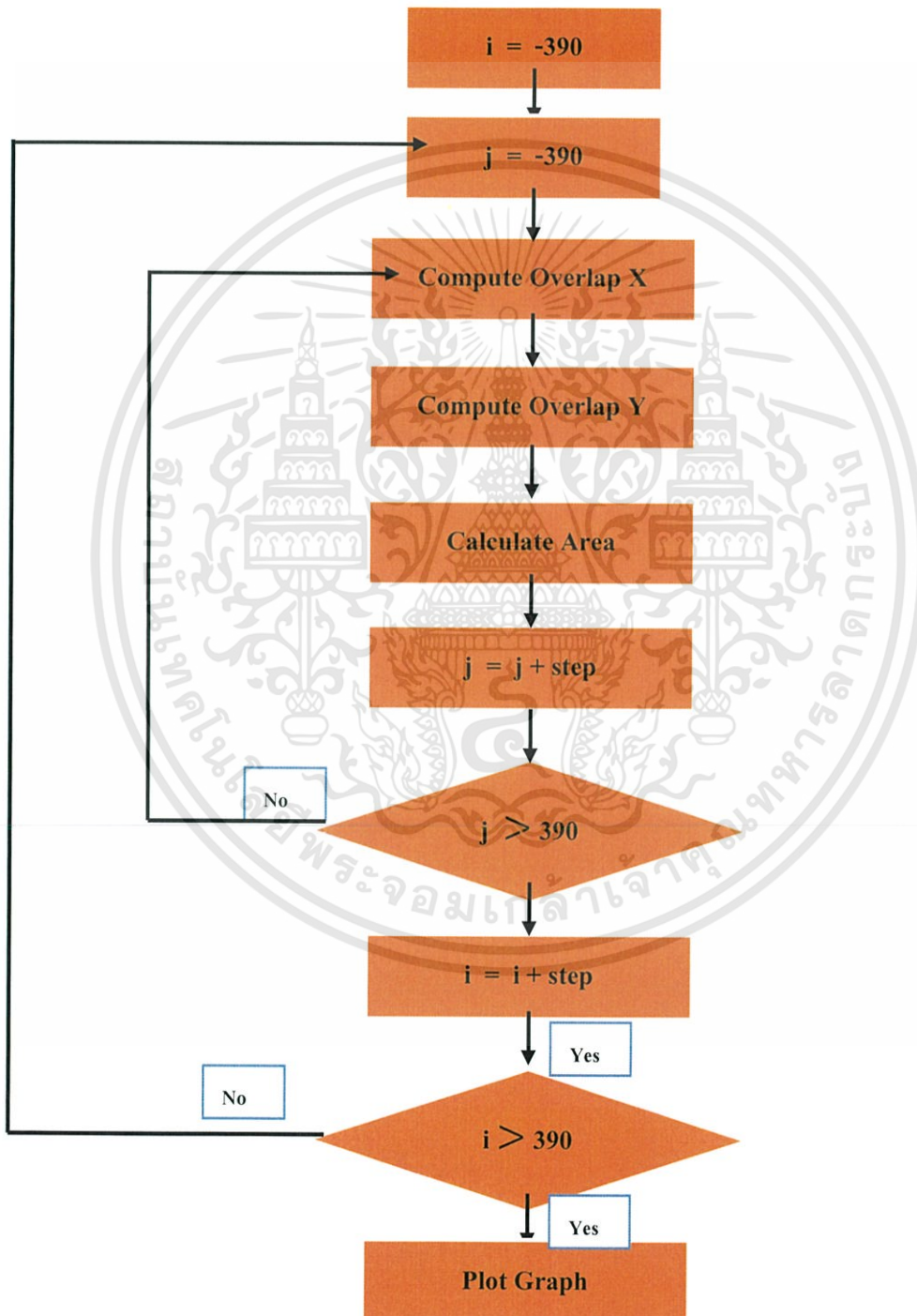
เป็น detector ที่วัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร เช่นเดียวกับ VWD แต่ต่างกันตรงที่สามารถวัดได้ทีละหลายความยาวคลื่นในเวลาเดียวกัน และวัดได้ตั้งแต่ 190-850 nm ระบบการเดินทางของแสงจะเป็นแบบย้อนแสง Reverse optics คือแสงจากแหล่งกำเนิดแสง light source จะผ่านไปยัง flow cell ก่อนที่จะผ่านไปยัง monochromator คือ slit และ grating เมื่อแสงตกกระทบบน grating แสงจะกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ แล้วไปตกกระทบบนแผงของ Diode array

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจวัดสัญญาณออกมาเป็นโครมาโตแกรม Diode array detector สามารถเก็บข้อมูล spectrum ของ พีคต่างๆ ของโครมาโตแกรมได้ด้วยตัวอย่างที่เหมาะสมกับ detector นี้ ต้องเป็นตัวอย่างที่สามารถดูดกลืนแสงได้เช่นเดียวกับ VWD

3.2 โปรแกรม

3.2.1 แผนผังการเขียนโปรแกรมระบบวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.3 แสดงแผนผังการเขียนโปรแกรมระบบวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในระบบวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์

```
%% Program to calculate the ideal 5-cell Solar tracking sensor
response
% without considering the shadowing effect
```

```
clear
CL = -50;
CR = 50;
CT = 50;
CB = -50;

WL = -125;
WR = 125;
WT = 125;
WB = -125;

TL = -50;
TR = 50;
TT = 220;
TB = 120;

BL = -50;
BR = 50;
BT = -120;
BB = -220;

LL = -220;
LR = -120;
LT = 50;
LB = -50;

RL = 120;
RR = 220;
RT = 50;
RB = -50;

x = 1;
y = 1;
n = 1.5;
sta = -390;
sto = 390;
step = 10;
size = 100;

for i = sta:step:sto

    for j = sta:step:sto

        abs_i = abs(i);
        abs_j = abs(j);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% get X overlap for C(enter) cell
if ((CR - WL) < i) || (i < (CL - WR))
    Cx = 0;
elseif ((CL - WR) <= i) && (i <= (CR - WR))
    Cx = -(CL - WR) + i;
elseif ((CR - WR) < i) && (i < (CL - WL))
    Cx = size;
elseif ((CL - WL) <= i) && (i <= (CR - WL))
    Cx = (CR - WL) - i;

end

% get X overlap for T(op) cell
if ((TR - WL) < i) || (i < (TL - WR));
    Tx = 0;
elseif ((TL - WR) <= i) && (i <= (TR - WR))
    Tx = -(TL - WR) + i;
elseif ((TR - WR) < i) && (i < (TL - WL))
    Tx = size;
elseif ((TL - WL) <= i) && (i <= (TR - WL))
    Tx = (TR - WL) - i;

end

% get X overlap for B(ottom) cell
if ((BR - WL) < i) || (i < (BL - WR));
    Bx = 0;
elseif ((BL - WR) <= i) && (i <= (BR - WR))
    Bx = -(BL - WR) + i;
elseif ((BR - WR) < i) && (i < (BL - WL))
    Bx = size;
elseif ((BL - WL) <= i) && (i <= (BR - WL))
    Bx = (BR - WL) - i;

end

% get Y overlap for C(enter) cell
if ((CT - WB) < j) || (j < (CB - WT));
    Cy = 0;
elseif ((CB - WT) <= j) && (j <= (CT - WR))
    Cy = -(CB - WT) + j;
elseif ((CT - WT) < j) && (j < (CB - WB))
    Cy = size;
elseif ((CB - WB) <= j) && (j <= (CT - WB))
    Cy = (CT - WB) - j;

end

% get Y overlap for R(ight) cell
if ((RT - WB) < j) || (j < (RB - WT));
    Ry = 0;
elseif ((RB - WT) <= j) && (j <= (RT - WR))
    Ry = -(RB - WT) + j;
elseif ((RT - WT) < j) && (j < (RB - WB))
    Ry = size;
elseif ((RB - WB) <= j) && (j <= (RT - WB))
    Ry = (RT - WB) - j;

end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% get Y overlap for L(ef) cell
if ((LT - WB) < j) || (j < (LB - WT));
    Ly = 0;
elseif ((LB - WT) <= j) && (j <= (LT - WT))
    Ly = -(LB - WT) + j;
elseif ((LT - WT) < j) && (j < (LB - WB))
    Ly = size;
elseif ((LB - WB) <= j) && (j <= (LT - WB))
    Ly = (LT - WB) - j;

end

% get X overlap for R(igh) cell
if ((RR - WL) < i) || (i < (RL - WR))
    Rx = 0;
elseif ((RL - WR) <= i) && (i <= (RR - WR))
    Rx = -(RL - WR) + i;
elseif ((RR - WR) < i) && (i < (RL - WL))
    Rx = size;
elseif ((RL - WL) <= i) && (i <= (RR - WL))
    Rx = (RR - WL) - i;

end

% get X overlap for L(ef) cell
if ((LL - WR) > i) || (i > (LR - WL))
    Lx = 0;
elseif ((LL - WR) <= i) && (i <= (LR - WR))
    Lx = -(LL - WR) + i;
elseif ((LR - WR) < i) && (i < (LL - WL))
    Lx = size;
elseif ((LL - WL) <= i) && (i <= (LR - WL))
    Lx = (LR - WL) - i;

end

% get Y overlap for T(op) cell
if ((TT - WB) < j) || (j < (TB - WT))
    Ty = 0;
elseif ((TB - WT) <= j) && (j <= (TT - WT))
    Ty = -(TB - WT) + j;
elseif ((TT - WT) < j) && (j < (TB - WB))
    Ty = size;
elseif ((TB - WB) <= j) && (j <= (TT - WB))
    Ty = (TT - WB) - j;

end

% get Y overlap for B(ottom) cell
if ((BB - WT) > j) || (j > (BT - WB))
    By = 0;
elseif ((BB - WT) <= j) && (j <= (BT - WR))
    By = -(BB - WT) + j;
elseif ((BT - WT) < j) && (j < (BB - WB))
    By = size;
elseif ((BB - WB) <= j) && (j <= (BT - WB))
    By = (BT - WB) - j;

end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C(x,y) = Cx*Cy/100;
T(x,y) = Tx*Ty/100;
B(x,y) = Bx*By/100;
R(x,y) = Rx*Ry/100;
L(x,y) = Lx*Ly/100;

    y = y+1;
end
y = 1;
x =x+1;
end

[X,Y] = meshgrid(-390:step:390,-390:step:390);
Xd = asind(sin(atan(X(1,+)/550))*n);
Yd = asind(sin(atan(Y(:,1)/550))*n);
mesh(Xd,Yd,C)
axis([-60 60 -60 60 0 100])
xlabel('Evelation (\alpha)')
ylabel('Azimuth (\gamma)')
zlabel('Illuminated Area (% of total)')

figure
mesh(Xd,Yd,R)
axis([-60 60 -60 60 0 100])
hold on
mesh(Xd,Yd,L)
mesh(Xd,Yd,T)
mesh(Xd,Yd,B)
xlabel('Evelation (\alpha)')
ylabel('Azimuth (\gamma)')
zlabel('Illuminated Area (% of total)')
hold off

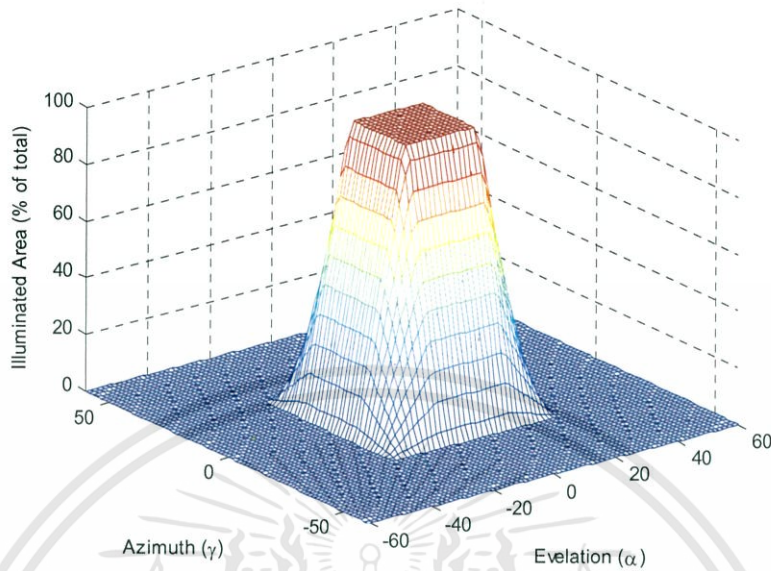
figure
plot(Xd,C(40,:),'-b*')
axis([-60 60 0 100])
xlabel('Evelation (\alpha)')
ylabel('Illuminated Area (% of total)')
hold on
plot(Xd,L(40,:),'-yo')
plot(Xd,R(40,:),'-r+')
plot(Xd,T(40,:),'-kx')
plot(Xd,B(40,:),'-g.')
hold off
grid on
legend('Cell 1','Cell 2','Cell 3','Cell 4','Cell 5')

figure
plot(Yd,C(:,40),'-b*')
axis([-60 60 0 100])
hold on
plot(Yd,L(:,40),'-yo')
plot(Yd,R(:,40),'-r+')
plot(Yd,T(:,40),'-kx')
plot(Yd,B(:,40),'-g.')
xlabel('Azimuth (\gamma)')
ylabel('Illuminated Area (% of total)')
hold off
grid on
legend('Cell 1','Cell 2','Cell 3','Cell 4','Cell 5')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

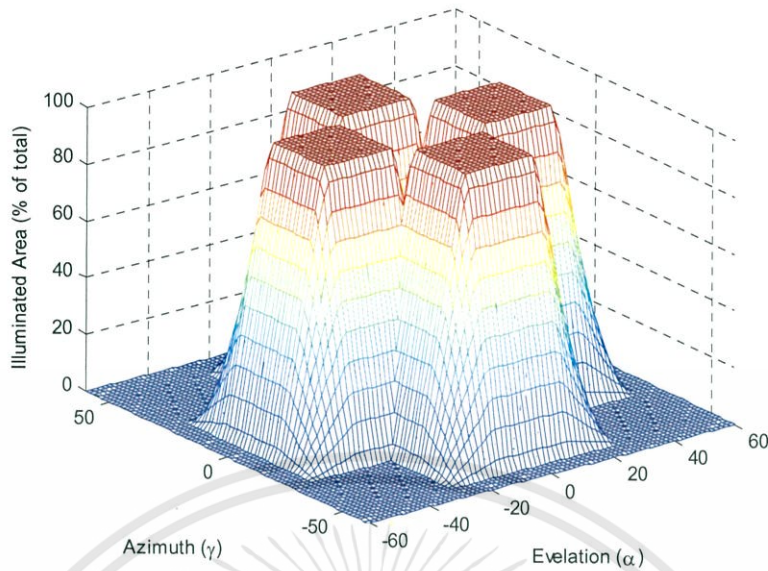
3.3.2.1 การแสดงผลของโปรแกรมที่เขียนออกมา



รูปที่ 3.4 เป็นการแสดงผลของตัวรับแสงในตำแหน่ง center ในรูปแบบสามมิติ

เป็นการแสดงผลในส่วนของตัวรับแสงในตำแหน่ง center ที่แสดงให้เห็นระดับเปอร์เซ็นต์ในการรับความร้อนในแต่ละองศาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ที่แสดงออกมาเป็นรูปแบบสามมิติ code ที่บ่งบอกถึงการแสดงผลกราฟนี้ คือ

```
[X,Y] = meshgrid(-390:step:390,-390:step:390);
Xd = asind(sin(atan(X(1,:)/550))*n);
Yd = asind(sin(atan(Y(:,1)/550))*n);
mesh(Xd,Yd,C)
axis([-60 60 -60 60 0 100])
xlabel('Elevation (\alpha)')
ylabel('Azimuth (\gamma)')
zlabel('Illuminated Area (% of total)')
```

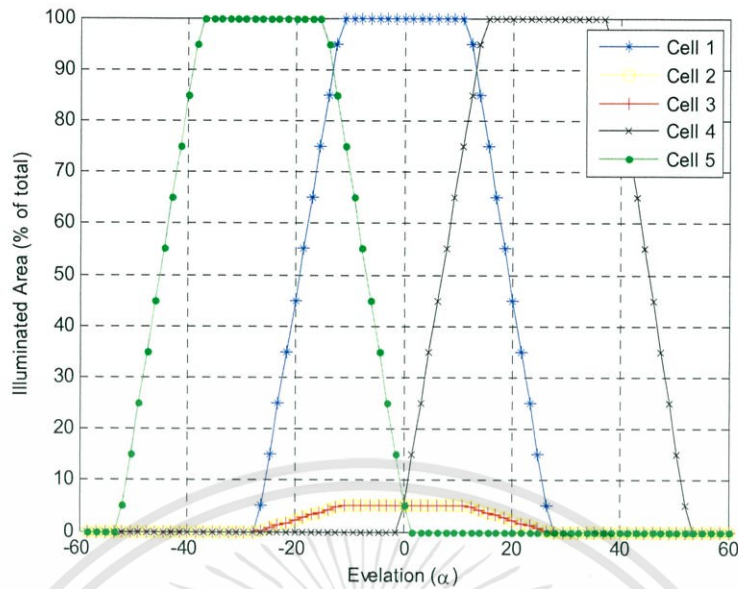


รูปที่ 3.5 เป็นการแสดงผลในส่วนของตัวรับแสงในตำแหน่ง Top Bottom Left และ Right ในรูปแบบสามมิติ

เป็นการแสดงผลในส่วนของตัวรับแสงในตำแหน่ง Top Bottom Left และ Right ที่แสดงให้เห็นระดับเปอร์เซ็นต์ในการรับความร้อนในแต่ละองศาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ที่แสดงออกมาเป็นรูปแบบสามมิติ code ที่บ่งบอกถึงการแสดงผลกราฟนี้ คือ

```
figure
mesh(Xd,Yd,R)
axis([-60 60 -60 60 0 100])
hold on
mesh(Xd,Yd,L)
mesh(Xd,Yd,T)
mesh(Xd,Yd,B)
xlabel('Elevation (\alpha)')
ylabel('Azimuth (\gamma)')
zlabel('Illuminated Area (% of total)')
hold off
```

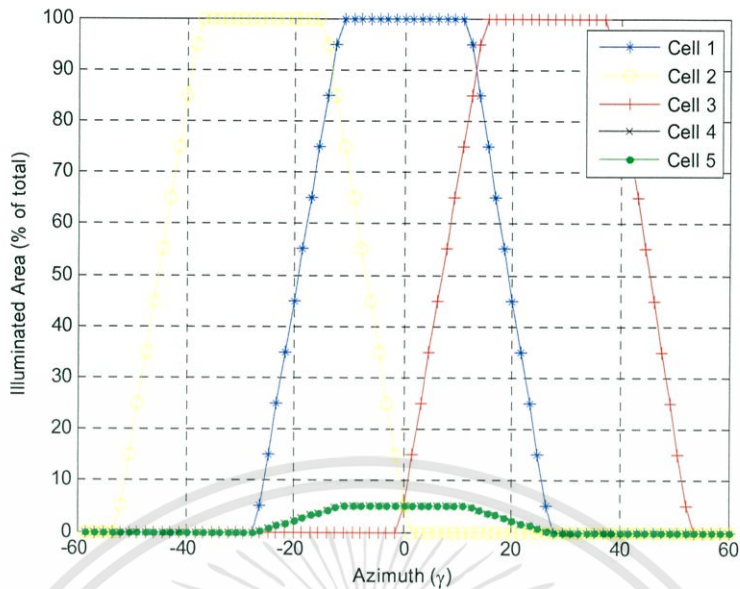
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง

เป็นการแสดงผลการรับแสงอาทิตย์ในแกนที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนในแกน X ค่าที่แสดงได้ออกมานั้นจะแสดงในรูปแบบของ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง code ที่บ่งบอกถึงการแสดงผลกราฟนี้คือ

```
figure
plot(Xd,C(40,:), '-b*')
axis([-60 60 0 100])
xlabel('Evelation (\alpha)')
ylabel('Illuminated Area (% of total)')
hold on
plot(Xd,L(40,:), '-yo')
plot(Xd,R(40,:), '-r+')
plot(Xd,T(40,:), '-kx')
plot(Xd,B(40,:), '-g.')
hold off
grid on
legend('Cell 1', 'Cell 2', 'Cell 3', 'Cell 4', 'Cell 5')
```



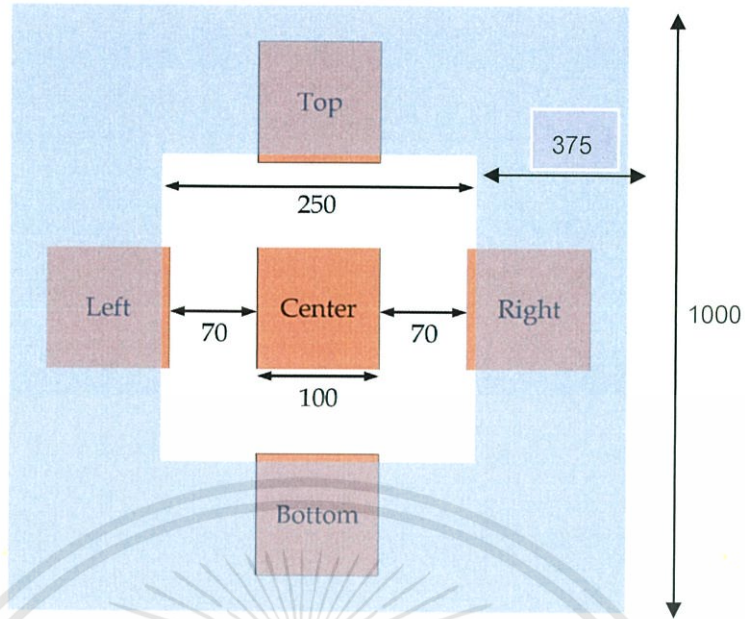
รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนวระนาบและ Illuminated Area ของตัวรับแสง

เป็นการแสดงผลการรับแสงอาทิตย์ในแกนที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนในแกน Y ค่าที่แสดงได้ออกมานั้นจะแสดงในรูปแบบของ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Azimuth และ Illuminated Area ของตัวรับแสง code ที่บ่งบอกถึงการแสดงผลกราฟนี้ คือ

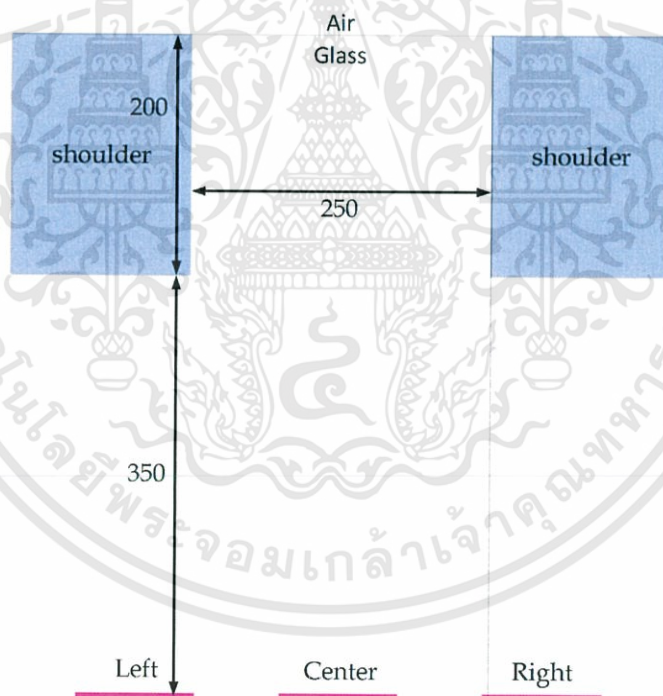
```
figure
plot(Yd,C(:,40),'-b*')
axis([-60 60 0 100])
hold on
plot(Yd,L(:,40),'-yo')
plot(Yd,R(:,40),'-r+')
plot(Yd,T(:,40),'-kx')
plot(Yd,B(:,40),'-g.')
xlabel('Azimuth (\gamma)')
ylabel('Illuminated Area (% of total)')
hold off
grid on
legend('Cell 1','Cell 2','Cell 3','Cell 4','Cell 5')
```

3.3 การออกแบบการสร้างการวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์

ในการออกแบบตัวเซนเซอร์ที่วัดความร้อนจากดวงอาทิตย์นั้น เราจะสามารถออกแบบได้จากโปรแกรมที่เราได้เขียนขึ้นซึ่งในวิธีการออกแบบจะออกแบบให้วางตำแหน่งของตัวเซนเซอร์ 5 ตำแหน่ง โดยจะมีอัตราส่วนดังรูป



รูปที่ 3.8 รูปแสดงในส่วนของ Top View ของตัว Solar Tracking

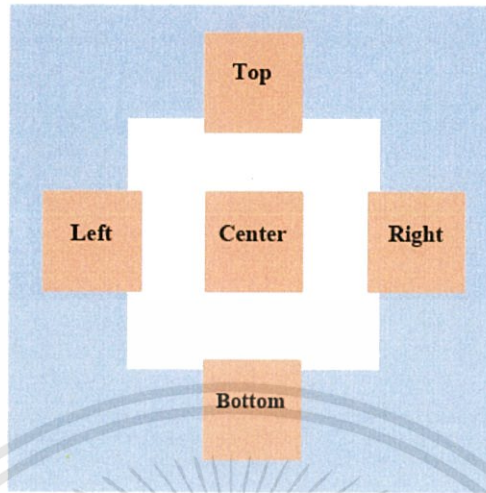


รูปที่ 3.9 รูปแสดงในส่วนของ Side View ของตัว Solar Tracking

แต่ในการจัดเรียงตัวของตัวเซนเซอร์แต่ละตัวนั้น เราสามารถจัดได้ในหลายรูปแบบแต่ต้องคำนึงถึงการแสดงผลของตัวโปรแกรมที่เราเขียนออกมาว่าตัว Solar Tracking นั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ ในที่นี้เราจะออกแบบการจัดวางและสัดส่วนในรูปแบบต่างๆกันไป พร้อมแสดงการแสดงผลที่เราได้ออกแบบมาและทำการเปรียบเทียบกันว่าประสิทธิภาพของการออกแบบรูปแบบไหน มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด ดังจะยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

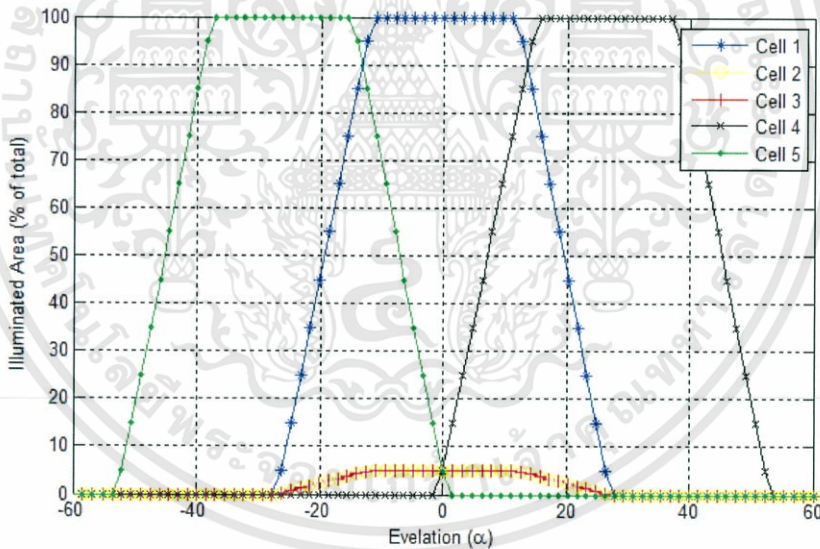
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 1



รูปที่ 3.10 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบบวก

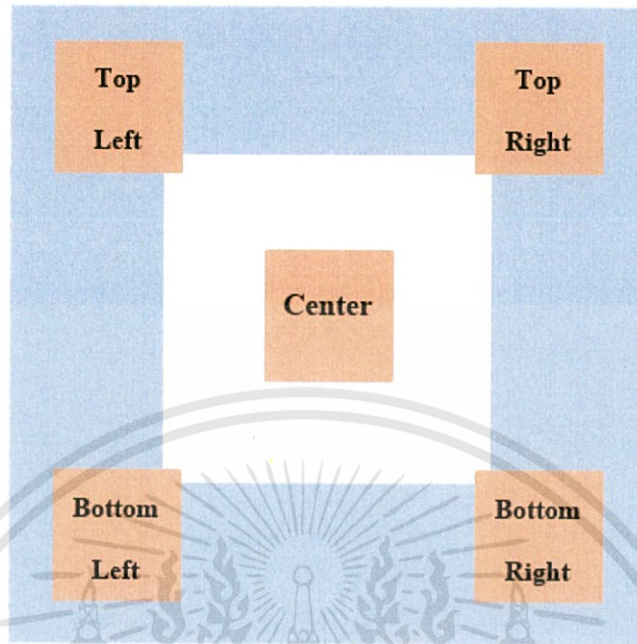
การแสดงผลของรูปแบบที่ 1



รูปที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง

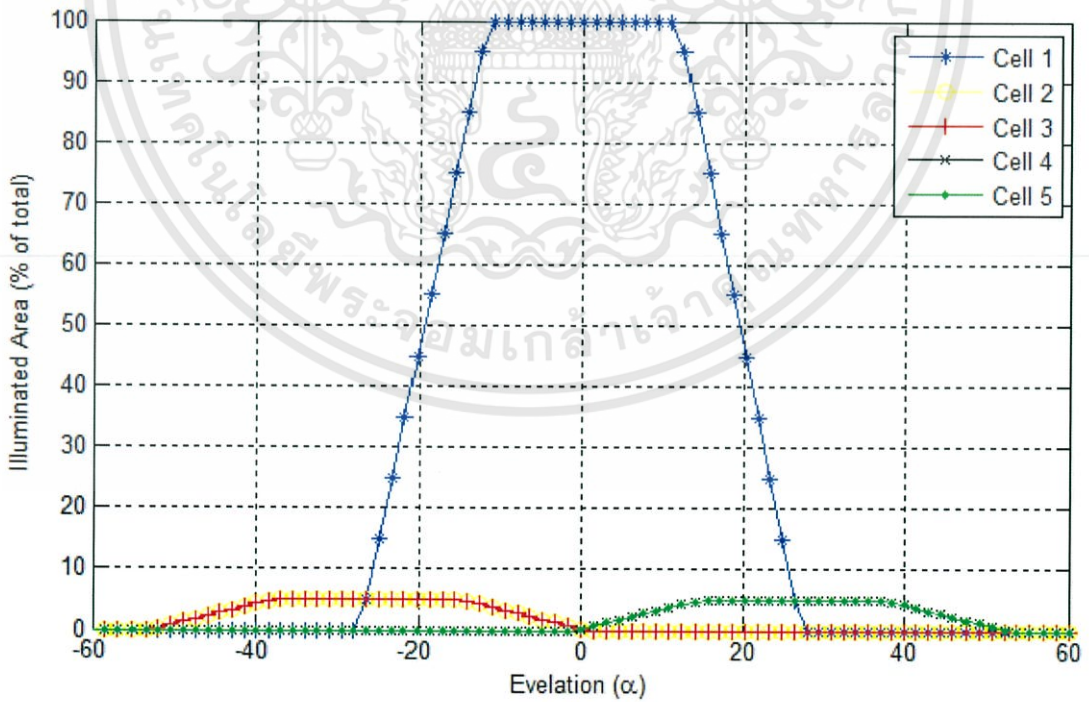
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 2



รูปที่ 3.12 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบกากบาท

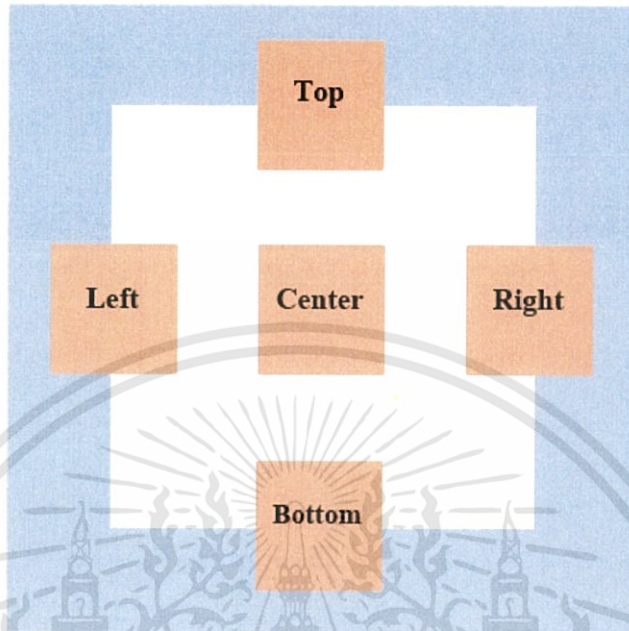
การแสดงผลของรูปแบบที่ 2



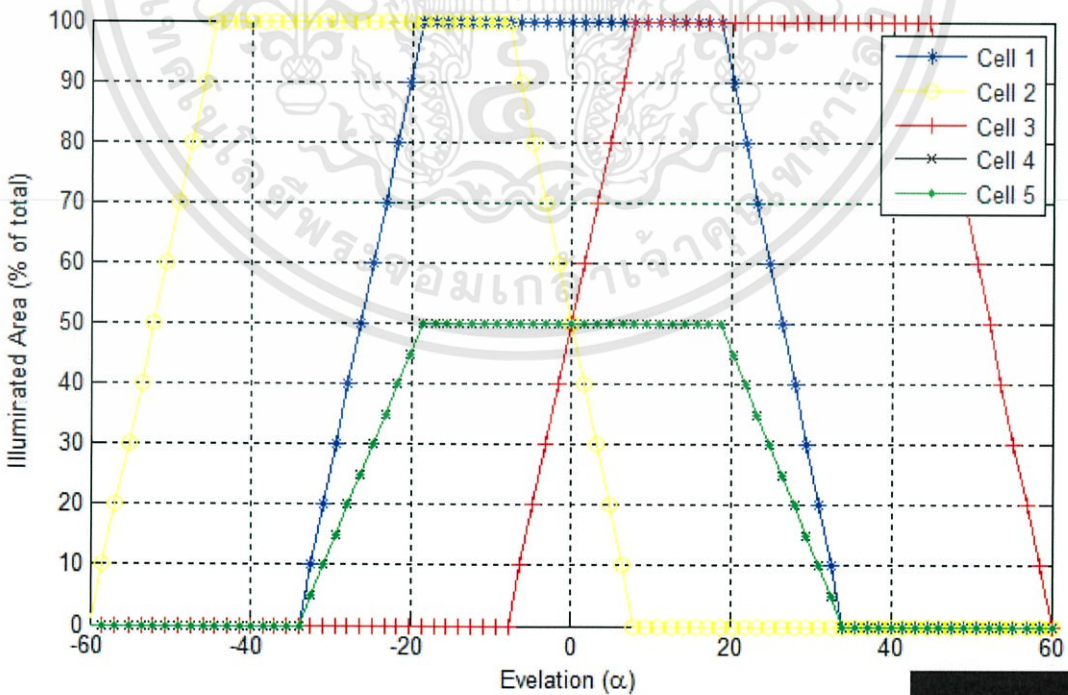
รูปที่ 3.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 3 การวางตัวเซนเซอร์จะคล้ายกับในรูปแบบที่ 1 แต่จะขยายขนาด window ใหญ่ขึ้น



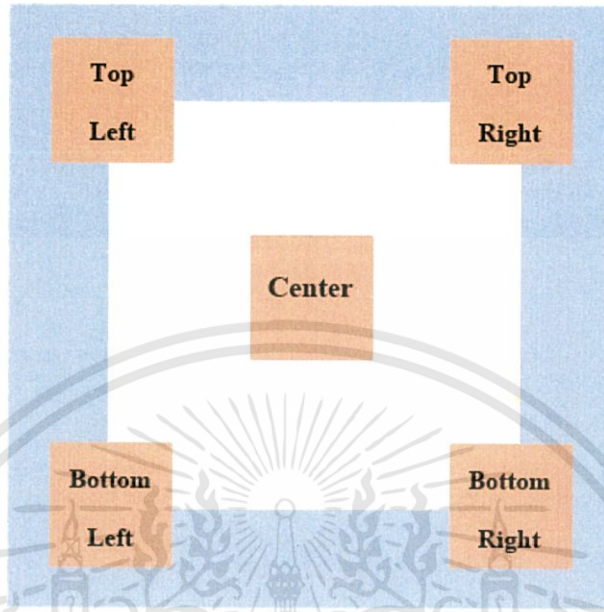
รูปที่ 3.14 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบบวกโดยขยาย window ออก การแสดงผลของรูปแบบที่ 3



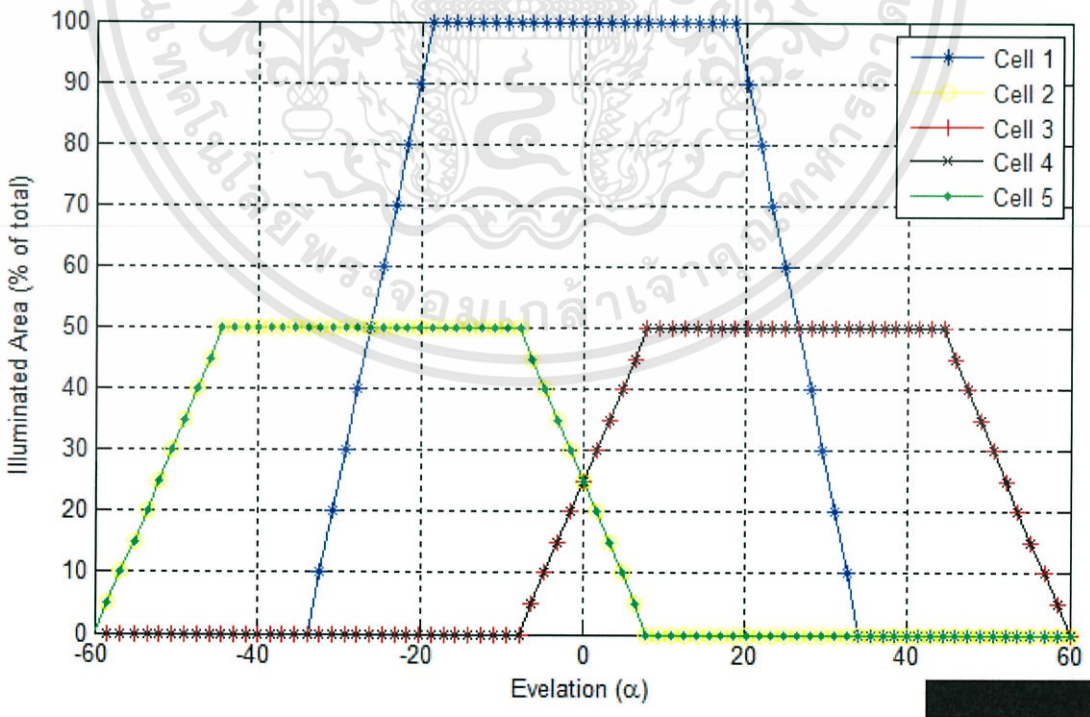
รูปที่ 3.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 4 การวางตัวเซนเซอร์จะคล้ายกับในรูปแบบที่ 2 แต่จะขยายขนาด window ใหญ่ขึ้น



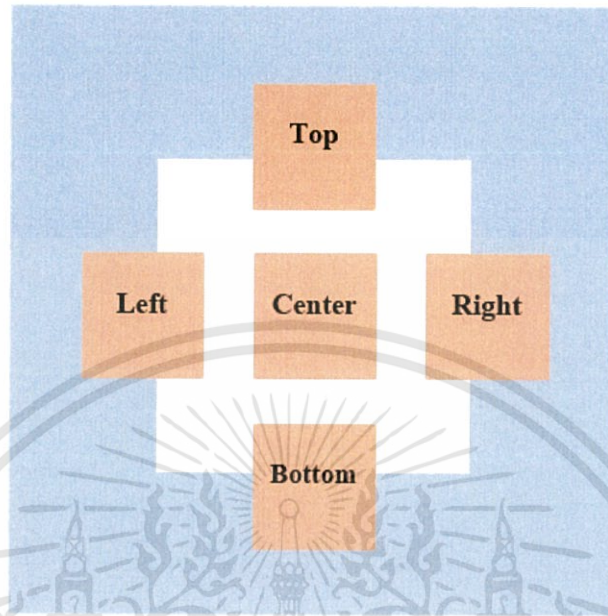
รูปที่ 3.16 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบกากบาทโดยขยาย window ออก การแสดงผลของรูปแบบที่ 4



รูปที่ 3.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง

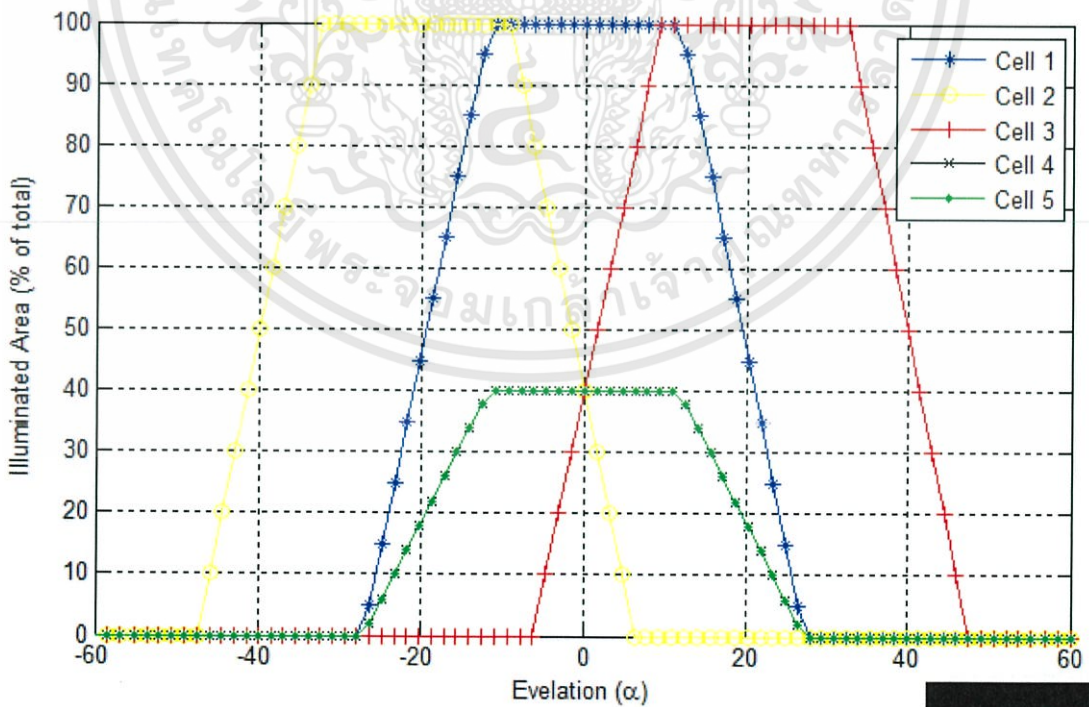
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 5 เป็นการวางตำแหน่งตัวเซนเซอร์ในรูปแบบวงแต่ละขั้วตัวเซนเซอร์ที่อยู่รอบตัวเซนเซอร์ที่อยู่ตรงกลางเข้าหาศูนย์กลางมา 35 หน่วย



รูปที่ 3.18 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบวงโดยขั้วตัวเซนเซอร์รอบนอกเข้าสู่ศูนย์กลาง

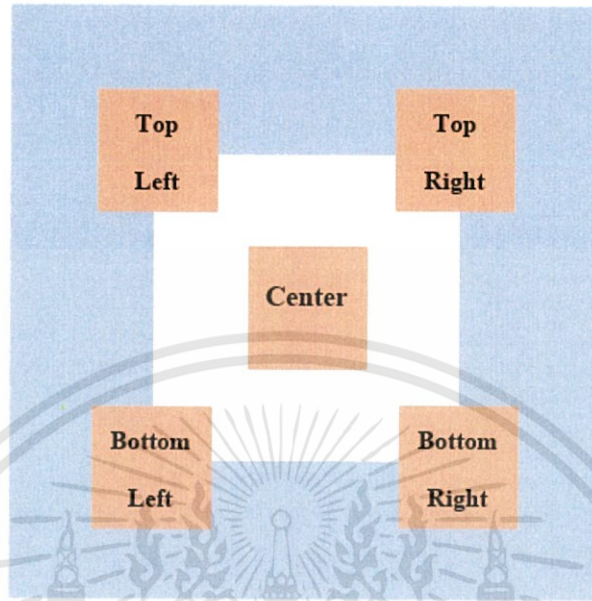
การแสดงผลของรูปแบบที่ 5



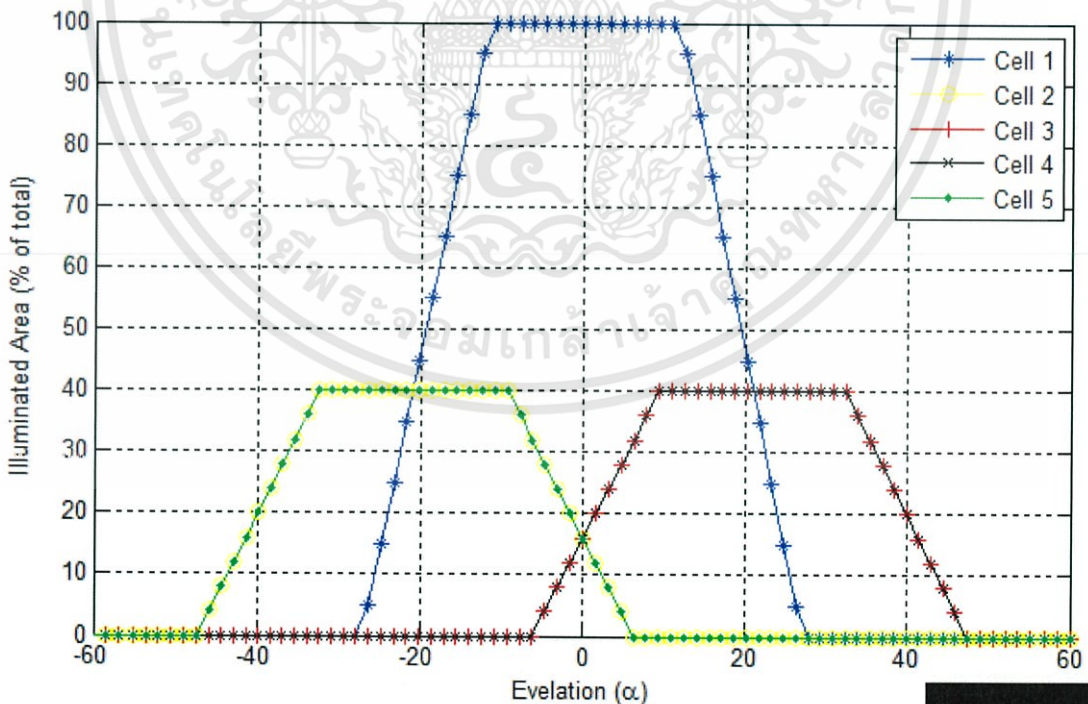
รูปที่ 3.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 6 เป็นการวางตำแหน่งตัวเซนเซอร์ในรูปแบบกากบาทแต่จะขยับตัวเซนเซอร์ที่อยู่รอบตัวเซนเซอร์ที่อยู่ตรงกลางเข้าหาศูนย์กลางมา 35 หน่วย



รูปที่ 3.20 การวางตัวเซนเซอร์ในรูปแบบกากบาทโดยขยับตัวเซนเซอร์รอบนอกเข้าสู่ศูนย์กลาง
การแสดงผลของรูปแบบที่ 6



รูปที่ 3.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนว Elevation และ Illuminated Area ของตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการแสดงผลออกมาทั้ง 6 แบบจะเห็นได้ว่า กราฟที่ออกมาจะแตกต่างกัน ซึ่งกราฟที่มีงบประมาณว่ามีประสิทธิภาพการทำงานได้ดีที่สุดนั้นคือ รูปแบบที่ 1 ซึ่งมีข้อสังเกตได้ดังนี้

1. พื้นที่ใต้กราฟของเส้นกราฟแต่ละเส้นมีการทับกันน้อยที่สุดในรูปแบบทั้ง 6 รูปแบบ เพราะการที่พื้นที่ใต้กราฟทับกันน้อยจะทำให้การที่ตรวจจับแสงอาทิตย์ในองศาต่างๆที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จะมีการตรวจจับแสงได้ดี

2. ความผิดพลาดในการตรวจจับทิศทางเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์นั้นจะมีน้อยกว่าในรูปแบบอื่นๆเพราะเมื่อเทียบเปอร์เซ็นต์การตรวจจับแสงตามกราฟทั้งหมด รูปแบบที่ 1 จะมีค่าที่บานล้นมากกว่ารูปแบบทั้งหมดที่นำมาเปรียบเทียบ



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองของโครงการระบบการวัดความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 การทดสอบและวิเคราะห์การวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical)

ตอนที่ 2 การทดสอบและวิเคราะห์การวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal)

4.1 วิธีการทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) ตัวรับแสง

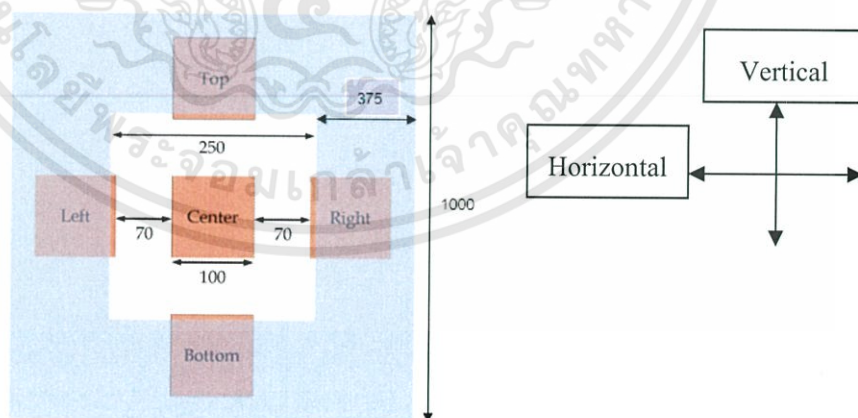
- แรงดันไฟฟ้า 3 - 10 V ($V_{\min} = 3 \text{ V}$, $V_{\max} = 10 \text{ V}$)

- กระแสไฟฟ้าเอาท์พุทมีค่า 0 - 0.1 mA ($I_{\min} = 0 \text{ mA}$, $I_{\max} = 0.1 \text{ mA}$)

2) Power supply

3) Multimeter จำนวน 2 เครื่อง (เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า)

4) แหล่งกำเนิดแสง (กระจบบอกไฟฉายมีลำแสงเป็นทรงกระบอก)

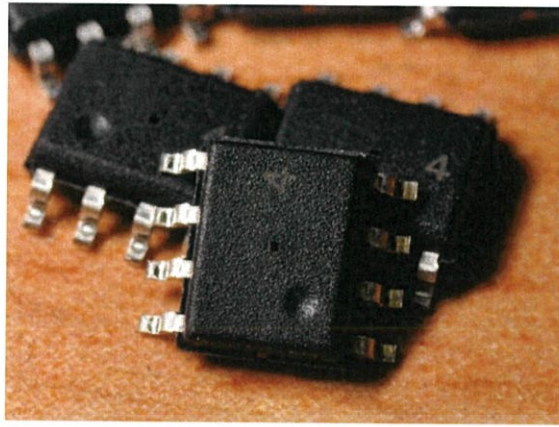


รูปที่ 4.1 องค์ประกอบต่างๆ ของตัวรับแสง

หมายเหตุ กำหนดตัวแปลของแต่ละเซลล์ Q_0 = เซลล์ bottom , Q_1 = เซลล์ top ,

Q_2 = เซลล์ center , Q_3 = เซลล์ left , Q_4 = เซลล์ right

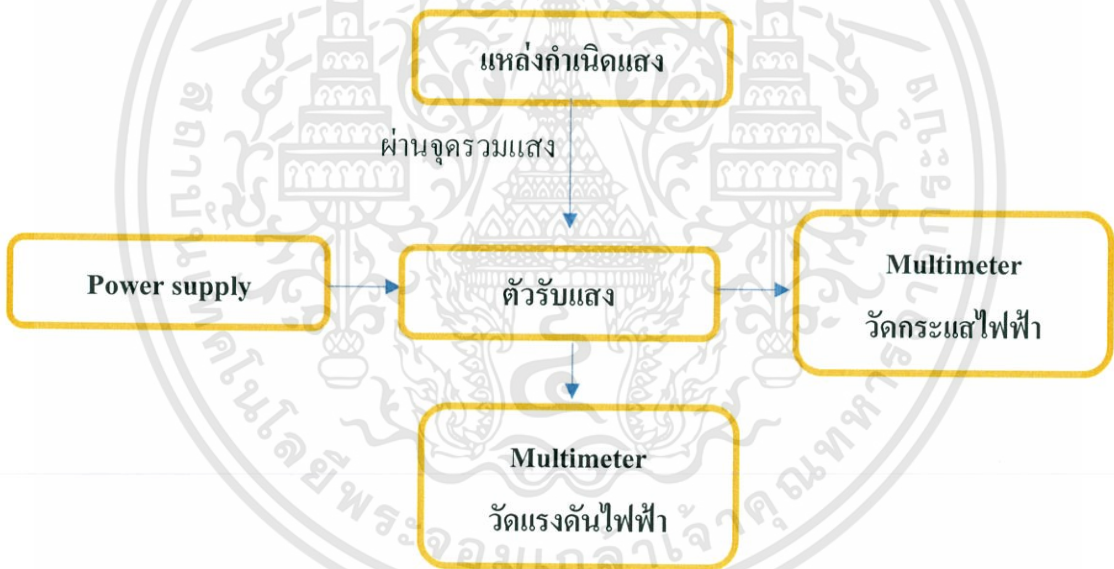
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ลักษณะของตัวรับแสง

4.1.2 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสง

1) จัดอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ

2) กำหนดค่าองศาของแหล่งกำเนิดแสงที่จะฉายลงไปในตัวรับแสง โดยกำหนดค่าจาก -60 , -55 , -50 , \dots , 0 , \dots , 50 , 55 , 60

3) ปรับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงที่ฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสง ตามค่ามุมที่ได้กำหนดขึ้น โดยที่ค่ามุม 0 องศา แหล่งกำเนิดแสงจะมีตำแหน่งตั้งฉากกับตัวรับแสง พร้อมวัดค่าความต่างศักย์ และค่ากระแสไฟฟ้า (ตำแหน่งที่เริ่มการวัดคือแหล่งกำเนิดแสงอยู่ในตำแหน่งที่ค่ามุม 0 องศา แล้วดำเนินการวัดไปยังค่ามุมที่กำหนดขึ้นทั้งค่ามุมบวกและลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การวัดค่าความต่างศักย์นั้นวัดได้จากการปรับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงตั้งข้อที่ 3 นั้น เมื่อวัดค่าความต่างศักย์ออกมาแล้ว นำค่าความต่างศักย์ไปคำนวณกลับเพื่อหาค่า มุมที่มีความคลาดเคลื่อนจากค่ามุมที่กำหนดขึ้นตามข้อ 2 มากน้อยเพียงใด ซึ่งคำนวณดังตารางที่ 4.1

5) การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจะทำการวัดไปที่เซลล์แต่ละเซลล์ของตัวรับแสง คือ Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 โดยแบ่งการวัดออกเป็น 2 ตอน คือ

5.1) แหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical)

5.2) แหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal)

6) บันทึกผลการทดสอบตอนที่ 1 ลงไปยังตารางที่ 4.2 , 4.3 , 4.4 , 4.5 และบันทึกผลการทดสอบตอนที่ 2 ลงไปยังตารางที่ 4.7 , 4.8 , 4.9 , 4.10 และหาค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบตอนที่ 1 บันทึกผลลงตารางที่ 4.6 และหาค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบตอนที่ 2 บันทึกผลลงตารางที่ 4.11 และสร้างกราฟจากความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม (องศา) และค่ากระแสไฟฟ้า (μA)

7) ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของทั้ง 2 ตอน ซ้ำเป็นจำนวน 8 ครั้ง เพื่อความแม่นยำของการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดค่าความต่างศักย์ตามมุม (องศา) ที่ได้กำหนดขึ้น และผลการคำนวณค่ามุมที่ได้จากค่าความต่างศักย์ที่ทำการวัดเพื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างค่ามุมที่กำหนดขึ้นและค่ามุมที่ได้จากการคำนวณ

มุม (องศา)	ค่าความต่างศักย์ (V)	$\sin^{-1} \frac{V-2.5}{2}$	π	มุม (องศา) $\theta = \left\{ \sin^{-1} \left[\frac{(V-2.5)}{2} \right] \right\} \times \frac{180}{\pi}$
-60	0.79	-1.02555	3.141593	-58.7597
-55	0.89	-0.93568	3.141593	-53.6103
-50	1	-0.84806	3.141593	-48.5904
-45	1.1	-0.7754	3.141593	-44.427
-40	1.25	-0.67513	3.141593	-38.6822
-35	1.37	-0.60043	3.141593	-34.4023
-30	1.52	-0.51209	3.141593	-29.3406
-25	1.67	-0.42794	3.141593	-24.5193
-20	1.84	-0.3363	3.141593	-19.2688
-15	2	-0.25268	3.141593	-14.4775

-10	2.16	-0.17083	3.141593	-9.78782
-5	2.32	-0.09012	3.141593	-5.16361
0	2.5	0	3.141593	0
5	2.67	0.085103	3.141593	4.876025
10	2.83	0.165758	3.141593	9.497234
15	2.99	0.24752	3.141593	14.18183
20	3.17	0.341605	3.141593	19.57254
25	3.31	0.416979	3.141593	23.89113
30	3.48	0.51209	3.141593	29.34058
35	3.62	0.594386	3.141593	34.0558
40	3.76	0.681553	3.141593	39.05012
45	3.89	-0.76842	3.141593	44.02722
50	4.01	0.855654	3.141593	49.02537
55	4.12	0.944152	3.141593	54.09593
60	4.21	1.025551	3.141593	58.75973

หมายเหตุ ความคลาดเคลื่อนของมุมจะมีค่าประมาณ +/- 1.425 องศา

การวิเคราะห์ผลการคำนวณจากตารางที่ 4.1

จากสมการ
$$\theta = \left\{ \sin^{-1} \left[\frac{(V-2.5)}{2} \right] \right\} \times \frac{180}{\pi}$$

- แสดงผลการคำนวณค่ามุมในฟังก์ชัน degrees เนื่องจากการคำนวณค่ามุมในโปรแกรม excel จะแสดงค่ามาในรูปแบบของฟังก์ชัน radians ดังนั้นสมการการคำนวณค่ามุม เมื่อไม่ได้คำนวณในโปรแกรม excel รูปแบบของสมการที่จะได้คือ

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{V-2.5}{2} \right)$$

- การเปลี่ยนค่ามุมจาก radians ไปเป็น degrees ทำได้โดยการนำ $\frac{180}{\pi}$ เข้าไปคูณกับค่ามุมที่อยู่ในรูปฟังก์ชัน radians

- การคำนวณค่ามุมจากค่าความต่างศักย์ที่วัดได้นั้น มีเงื่อนไขในการคำนวณ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้มาลบด้วยค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากตำแหน่งกึ่งกลาง คือค่าความต่างศักย์ที่มุม 0 องศา มีค่าเท่ากับ 2.5 V (โดยที่ค่ามุม 0 องศา แหล่งกำเนิดแสงจะมีตำแหน่งตั้งฉากกับตัวรับแสง) และนำผลลัพธ์ที่ได้จากการลบนั้นมาหารสอง เนื่องจากในการวัดแหล่งกำเนิดแสงจะเลื่อนตำแหน่งไปทั้งทางซ้ายและขวาจากจุดกึ่งกลาง ซึ่งในการวัดจะเป็นการวัดในทิศทางเดียว เมื่อวัดทิศทางใดทิศทางหนึ่งเสร็จก็จะกลับมาวัดที่ค่ากลางก่อนแล้วค่อยดำเนินการวัดในทิศทางที่เหลือ

ตัวอย่างการคำนวณ คำนวณค่ามุมอยู่ในรูปฟังก์ชัน degrees กำหนดให้ ค่าความต่างศักย์เท่ากับ 3.89 โวลต์ ที่ตำแหน่งค่ามุม 45 องศา



4.2 การทดสอบและวิเคราะห์การวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (vertical)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 1					การทดสอบครั้งที่ 2				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	0.34	3.76	4.06	4.41	3.56	1.38	5.34	4.92	5.29	4.26
-55	0.35	4.57	5	5.63	3.95	1.31	6.2	5.99	6.56	4.53
-50	0.34	5.58	6.33	7.32	3.58	1.45	9.62	8.81	10.14	4.57
-45	0.34	6.97	8.59	10.4	3.87	1.06	8.92	10.32	12.11	3.13
-40	0.36	7.88	10.43	13.04	4.21	0.92	9.76	12.32	14.94	3.47
-35	0.37	7.47	10.86	13.59	4.79	0.76	10.24	13.16	16.17	3.47
-30	0.37	7.14	11.27	13.91	6.43	0.61	10.74	13.77	16.86	3.12
-25	0.39	6.94	12.12	14.5	6.92	0.53	10.97	14.01	16.78	3.25
-20	0.4	4.93	14.52	16.44	9.48	0.56	11.62	14.78	16.97	3.48
-15	0.45	6.35	15.44	16.72	10.57	0.59	11.54	15.53	17.08	6.2
-10	0.56	7.45	14.86	15.52	10.28	0.73	12.19	15.51	16.48	6.54
-5	0.87	8.44	13.36	13.39	10.16	1.02	11.81	14.62	14.91	6.68
0	3.17	8.85	11.05	10.53	10.48	2.28	10.82	12.74	12.42	7.52
5	7.96	5.53	10.9	9.77	11.61	5.69	9.64	10.97	10.28	8.78
10	14.11	5.46	10.07	8.85	11.02	12.8	9.42	10.13	9.3	7.15
15	20.29	5.18	9.33	8.21	10.8	19.5	8.85	9.42	8.62	7.13
20	26.07	5.05	7.49	6.73	10.31	27.03	7.93	8.12	7.72	6.73
25	29.07	4.37	5.66	5.21	9.73	30.42	6.71	6.86	6.45	6.33
30	32.06	4.18	3.05	2.93	8.33	35.04	4.76	4.78	4.61	5.73
35	35.66	3.82	1.52	1.5	7.63	38.62	3.39	3.27	3.22	5.56
40	36.48	3.44	0.93	0.92	6.31	40.55	2.78	2.74	2.72	4.7
45	33.45	2.93	0.73	0.73	4.48	38.99	2.54	2.05	2.05	4.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50	27.73	2.31	0.66	0.66	3.7	33.34	2.48	2.49	2.44	3.68
55	20.8	1.1	1.07	1.08	3.24	29.94	2.54	2.42	2.42	3.65
60	15.82	1	1.22	1.21	2.87	20.29	2.48	3.37	3.37	3.55

ตารางที่ 4.3 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (vertical)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 3					การทดสอบครั้งที่ 4				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	1.16	4.83	5.06	5.31	4.44	1.17	5.04	5.26	6.1	1.89
-55	1.12	6.06	6.36	6.78	4.7	1.11	5.77	6.08	7.27	1.75
-50	1.04	6.89	7.28	7.88	4.5	1	6.83	7.28	9.12	1.52
-45	0.96	7.47	8.48	9.31	4.52	0.88	7.79	8.41	10.95	1.43
-40	0.82	9.63	10.48	11.72	4.24	0.73	8.82	9.64	13.15	1.31
-35	0.42	12.67	11.31	13.24	4.39	0.61	9.26	10.18	14.12	1.29
-30	0.6	11.13	12.2	13.91	3.8	0.52	9.21	10.09	13.8	2.07
-25	0.51	10.89	12.07	13.63	4.51	0.48	9.89	11.24	14.12	1.97
-20	0.53	11.39	12.48	13.79	4.97	0.51	10.76	11.85	14.83	2.08
-15	0.53	12.05	13.31	14.28	5.15	0.5	11.66	12.92	15.19	2.32
-10	0.56	12.8	14.26	14.96	5.54	0.54	12.19	13.46	14.91	2.51
-5	0.68	13.49	14.78	14.97	4.26	0.67	11.43	12.66	13.04	2.93
0	1.55	11.94	13.2	12.99	5.31	2	10.55	11.45	10.92	3.67
5	4.87	10.5	11.24	10.73	6.22	5.73	9.7	10.3	9.2	3.92
10	10.47	9.71	10.27	9.67	6.65	11.43	9.37	9.89	8.53	4.1
15	18.03	9.11	9.54	8.93	6.83	17.68	8.38	8.89	7.65	3.87
20	26.04	8.21	8.58	8.07	6.01	24.07	7.02	7.31	6.45	3.8
25	30.48	6.87	7.09	6.75	5.88	27.88	5.5	5.6	5.1	3.8
30	34.82	5.06	5.21	5.04	5.33	30.44	3.71	3.71	3.5	3.66
35	37.61	3.57	3.51	3.45	5.05	33.56	3.01	2.66	2.57	3.37
40	39.22	2.84	2.77	2.74	4.69	35.35	2.46	2.22	2.18	3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45	37.6	2.52	2.48	2.47	3.87	30.69	2.05	2	1.97	2.82
50	32.49	2.43	2.39	2.39	3.65	24.97	1.98	1.97	1.95	2.78
55	26.39	2.43	2.4	2.4	3.57	19.2	1.96	1.95	1.94	2.72
60	20.19	2.43	2.41	2.41	3.44	14.73	1.93	1.92	1.92	2.67

ตารางที่ 4.4 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (vertical)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 5					การทดสอบครั้งที่ 6				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	1.24	4.78	5.04	5.48	4.51	1.5	4.89	5.23	5.78	2.92
-55	1.16	5.61	5.96	6.62	4.7	1.41	5.57	6.09	6.88	3.09
-50	1.08	6.62	7.07	8.06	4.92	1.28	6.73	7.46	8.77	2.92
-45	0.97	7.6	8.18	9.56	5.09	1.14	7.64	8.62	10.41	2.99
-40	0.83	8.72	9.55	11.51	5.41	0.96	8.51	9.92	12.37	2.5
-35	0.72	9.06	10.08	12.29	5.78	0.83	8.78	10.17	12.7	3.05
-30	0.6	9.2	10.3	12.47	6.47	0.67	9.09	10.53	12.98	3.53
-25	0.54	9.31	10.56	12.55	6.85	0.61	9.4	11.04	13.39	3.66
-20	0.58	9.85	11.26	12.83	7.86	0.63	10.1	11.99	13.61	4.15
-15	0.57	10.48	12.01	13.16	8.99	0.64	10.83	13	14.15	4.69
-10	0.62	10.83	12.65	13.33	9.09	0.71	10.8	12.83	13.33	5.34
-5	0.89	10.13	11.73	11.86	9.57	1.33	10.02	11.68	11.57	5.78
0	3.09	9.02	8.77	8.17	10.76	4.4	8.84	9.96	9.34	6.71
5	7.06	7.95	8.84	8.17	11.01	9.72	7.96	8.82	8.03	7.14
10	12.99	7.48	8.26	7.51	10.01	16.06	7.46	8.23	7.42	6.99
15	19.14	6.9	7.58	6.9	9.19	22	6.91	7.58	6.87	7.09
20	25.48	6.03	6.48	5.98	9.14	26.87	5.52	5.85	5.42	6.76
25	28.26	4.83	5.01	4.72	8.7	29.93	4.18	4.3	4.08	5.99
30	32	3.2	3.31	3.2	7.23	33.26	2.53	2.55	2.48	5.58
35	33.85	2.23	2.16	2.13	6.27	34.79	1.89	1.88	1.85	5.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40	34.4	1.85	1.84	1.83	6.09	33.8	1.67	1.63	1.62	4.89
45	32.69	1.71	1.69	1.69	5.16	29.44	1.68	1.67	1.66	4.27
50	27.62	1.71	1.74	1.72	4.55	23.22	1.73	1.7	1.7	3.46
55	21.35	1.78	1.75	1.75	4.16	7.11	1.09	1.75	1.75	3.39
60	16.29	1.79	1.82	1.82	4.05	5.13	1.05	1.71	1.71	3.3

ตารางที่ 4.5 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical) ครั้งที่ 7 และครั้งที่ 8

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (vertical)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 7					การทดสอบครั้งที่ 8				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	1.17	5.79	6.23	7.11	3.31	1.33	5.43	5.79	6.51	4.55
-55	1.1	6.72	7.23	8.48	3.5	1.27	6.59	8.05	9.53	3.07
-50	0.95	8.39	9.09	11.17	3.2	1.14	7.82	8.55	10.31	4.45
-45	0.83	9.22	10.34	13.11	3.26	1.03	9.22	10.21	12.08	4.08
-40	0.78	9.78	10.94	14.08	3.32	0.87	10.3	11.49	14.88	4.48
-35	0.67	10.46	11.74	15.49	3.41	0.74	10.6	11.91	15.59	4.73
-30	0.57	10.63	12.16	15.97	3.51	0.61	10.87	12.11	15.68	5.17
-25	0.58	10.76	12.22	15.69	3.91	0.57	10.92	12.36	15.57	5.54
-20	0.65	11.14	12.76	15.62	3.89	0.59	11.43	13.08	15.56	6.05
-15	0.66	11.73	13.49	15.68	4.11	0.62	11.99	13.08	15.65	7.18
-10	0.42	12.42	14.14	15.67	4.71	0.72	11.98	13.85	14.87	7.68
-5	0.85	12.16	13.82	14.5	4.76	1.11	11.19	12.76	12.94	7.88
0	1.58	11.26	12.54	12.4	5.2	3.63	9.21	11.04	10.49	9.51
5	4.61	10.15	10.96	10.29	5.99	8.5	8.79	9.61	8.7	9.92
10	10.34	9.23	9.85	8.96	6.18	15.17	8.31	8.79	7.81	9.87
15	16.62	8.57	9.1	8.22	6.04	21.38	7.48	8.06	7.19	9.88
20	23.6	7.62	8.04	7.33	5.64	27.23	6.18	6.52	5.96	9.3
25	27.71	6.35	6.59	6.12	5.73	29.66	4.9	5.07	4.74	8.87
30	33.37	4.44	4.57	4.37	5.2	33.58	3.35	3.39	3.27	7.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

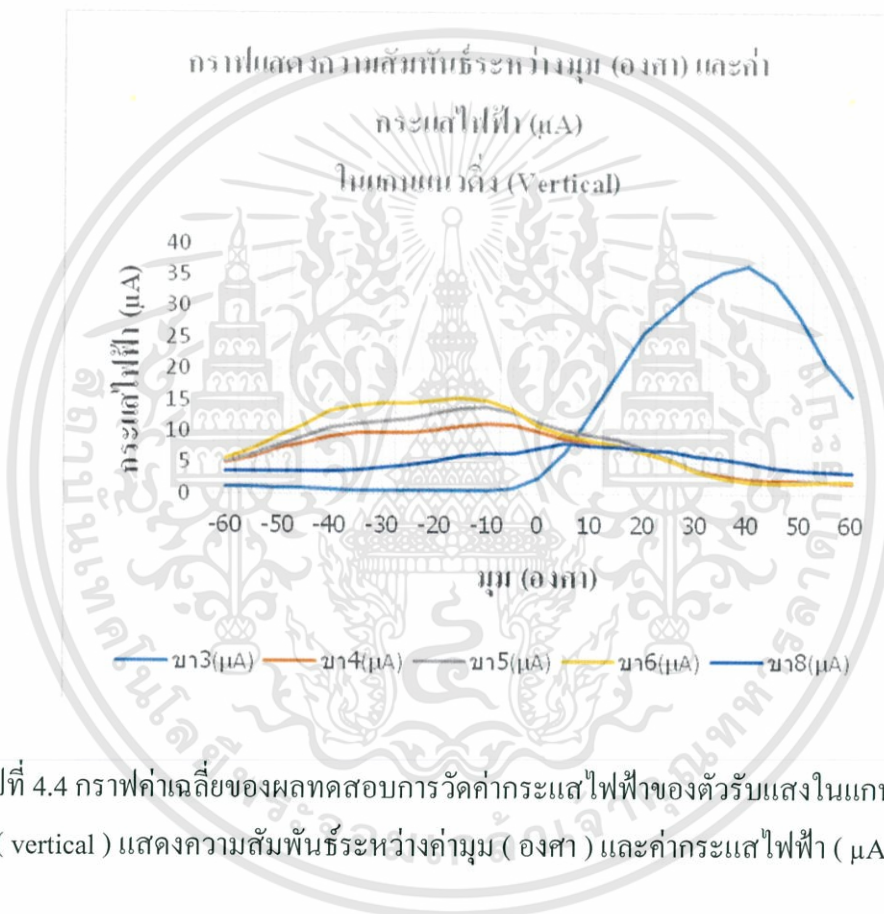
35	34.22	3.21	3.12	3.06	4.73	35.74	2.5	2.46	2.41	7.5
40	35.97	2.58	2.57	2.55	4.28	35.79	2.13	2.09	2.07	6.62
45	34.49	2.32	2.27	2.34	3.85	33.3	2.05	2.03	2.02	5.76
50	29.85	2.25	2.25	2.25	3.65	27.3	2.04	2.04	2.04	5.09
55	23.27	2.3	2.28	2.28	3.49	21.17	2.05	2.05	2.05	4.58
60	18.04	2.26	2.28	2.28	3.2	16.1	2.04	2.03	2.03	4.2

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวตั้ง (Vertical)

ผลเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (vertical)					
มุม (องศา)	Q_0 (μ A)	Q_1 (μ A)	Q_2 (μ A)	Q_3 (μ A)	Q_4 (μ A)
-60	1.16	4.98	5.19	5.74	3.68
-55	1.10	5.88	6.34	7.21	3.66
-50	1.03	7.31	7.73	9.09	3.70
-45	0.90	8.10	9.14	10.99	3.54
-40	0.78	9.17	10.59	13.21	3.61
-35	0.64	9.81	11.17	14.14	3.86
-30	0.56	9.75	11.55	14.44	4.26
-25	0.52	9.88	11.95	14.52	4.57
-20	0.55	10.15	12.84	14.95	5.24
-15	0.57	10.82	13.59	15.23	6.15
-10	0.60	11.33	13.94	14.88	6.46
-5	0.92	11.08	13.17	13.39	6.50
0	2.71	10.06	11.34	10.90	7.39
5	6.76	8.77	10.20	9.39	8.07
10	12.92	8.30	9.43	8.50	7.74
15	19.33	7.67	8.68	7.82	7.60
20	25.79	6.69	7.29	6.70	7.21
25	29.17	5.46	5.77	5.39	6.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30	33.07	3.90	3.82	3.67	6.13
35	35.50	2.95	2.57	2.52	5.64
40	36.44	2.46	2.09	2.07	5.09
45	33.83	2.22	1.86	1.86	4.28
50	28.31	2.11	1.90	1.89	3.82
55	21.15	1.90	1.95	1.95	3.6
60	15.82	1.87	2.09	2.09	3.41



รูปที่ 4.4 กราฟค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (vertical) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม (องศา) และค่ากระแสไฟฟ้า (μA)

4.2.1 การเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ได้จากการเขียนโปรแกรม Matlab ในแกนแนวตั้ง

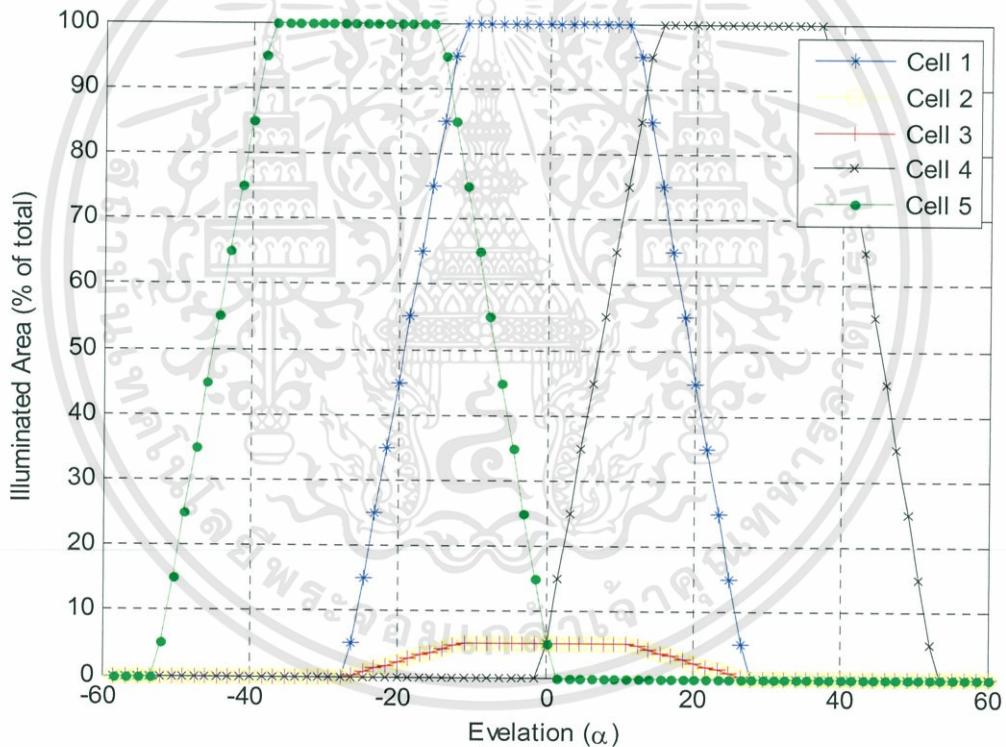
กราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวตั้ง (Vertical) ดังรูปที่ 4.4 นำมาเปรียบเทียบกับกราฟที่แสดงผลใน โปรแกรม Matlab ใน แกนแนวตั้ง ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบได้ คือ

- 1) กราฟทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่มาก แต่จะมีความใกล้เคียงตรงที่เซลล์รับแสงทางฝั่งขวา มีประสิทธิภาพในการรับแสงได้เทียบเท่ากับประสิทธิภาพที่แสดงผลในโปรแกรม Matlab ดังรูปที่ 4.6

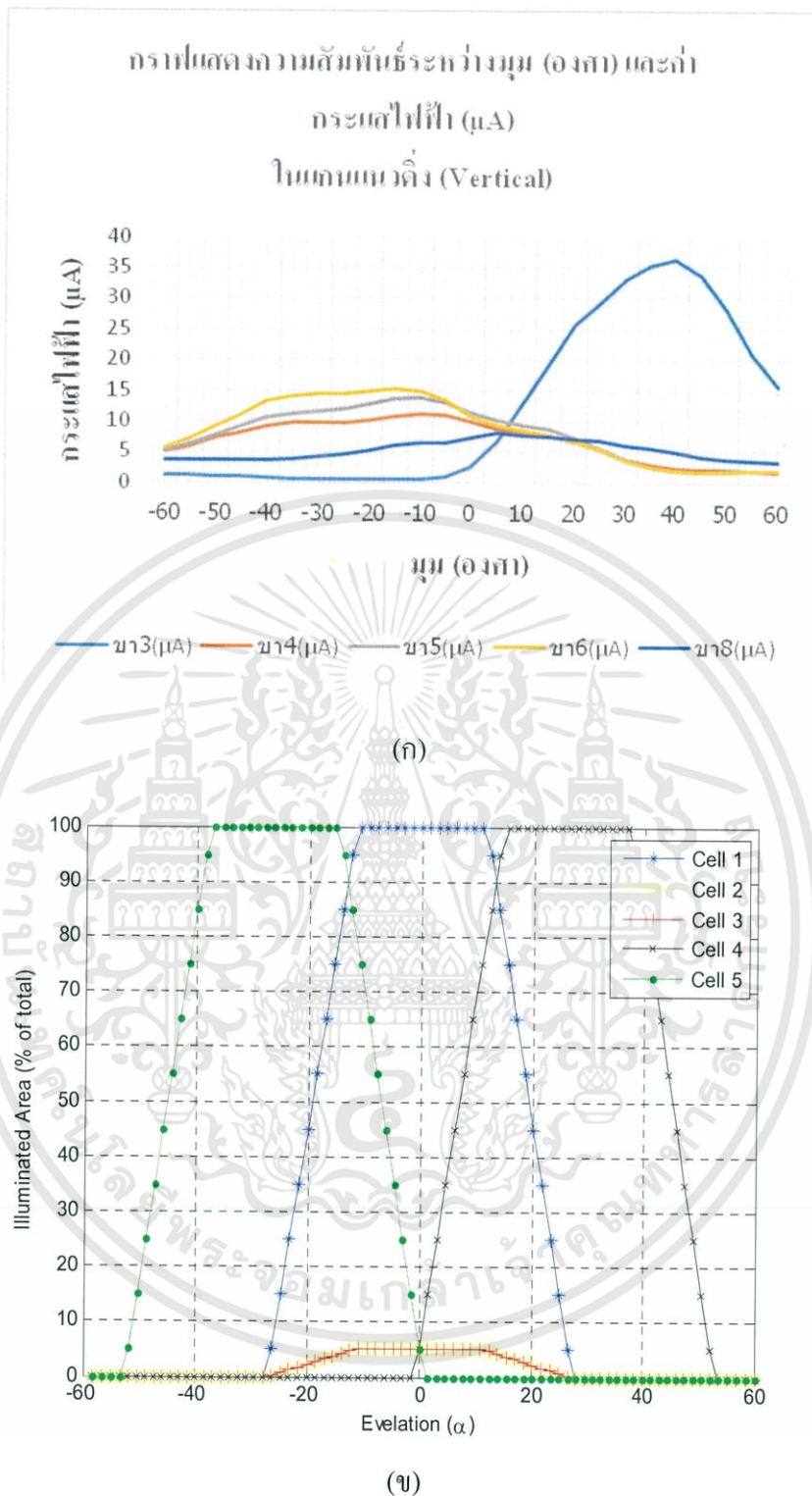
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การที่กราฟที่ได้จากการทดสอบมีผลคลาดเคลื่อนต่างจากกราฟที่แสดงผลในโปรแกรม Matlab อยู่มากนั้น มีสาเหตุที่ทำให้กราฟแสดงผลออกมาไปเช่นนั้น คือ ในการวางตัวรับแสงแต่ละตัวนั้น จะมีการวางฉนวนกันระหว่างเซลล์ เพื่อป้องกันพลังงานที่ตัวรับแสงตัวหนึ่งได้รับไม่แผ่พลังงานไปยังตัวรับแสงที่จัดเรียงอยู่ใกล้ แต่ฉนวนที่วางกันนั้นมีความถี่ไม่มากพอจึงทำให้พลังงานที่ตัวแต่ละตัวได้รับแผ่พลังงานมาหากัน ซึ่งเป็นผลที่ทำให้กราฟที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนไปจากกราฟที่แสดงผลในโปรแกรม Matlab อยู่มาก

3) ค่าของกระแสไฟฟ้าที่วัดออกมาได้ในแต่ละแผ่นเซลล์ ที่นำมาเฉลี่ยแล้วนั้นสามารถบอกได้ว่า ค่ามุมในตำแหน่งใดที่วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ออกมาในปริมาณที่สูงที่สุด ซึ่งค่ามุนั้น จะเท่ากับ 40 องศา ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละแผ่นเซลล์ Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 36.44 , 2.46 , 2.09 , 2.07 และ 5.09 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม Matlab มีความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม (องศา) ในแกนแนวนิ่ง และเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสงของตัวรับแสง



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ได้จากการเขียน โปรแกรม MathLab ในแกนแนวตั้ง

(ก) กราฟที่ได้จากการทดสอบ (ข) กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบและวิเคราะห์การวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวระนาบ (horizontal)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 1					การทดสอบครั้งที่ 2				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	1.18	6.7	5.5	5.24	0.4	1.71	7.33	5.8	5.63	1.51
-55	1.31	9.8	7.14	6.76	0.42	1.64	7.55	5.92	5.73	1.38
-50	1.57	13.3	8.7	8.11	0.43	2.14	8.63	8.86	10.13	1.24
-45	2.31	17.34	9.71	8.96	0.44	2.12	17.62	10.82	10.1	1.12
-40	3.11	20.67	10.25	9.48	0.48	2.82	20.99	12.21	11.33	0.95
-35	2.7	22.27	9.63	8.96	0.5	3.37	21.35	12.61	11.67	0.81
-30	3.46	22.66	10.18	9.42	0.52	4.27	20.27	12.81	11.86	0.69
-25	3.79	22.09	10.66	9.81	0.55	4.75	19.11	13.41	12.31	0.67
-20	4	23.34	11.01	10.05	0.61	5.51	17.75	14.01	12.78	0.67
-15	4.56	19.53	12.62	11.37	0.75	3.78	17.95	15.52	13.55	0.69
-10	6.87	14.02	12.24	10.94	1.42	4.2	16.27	15.32	14.2	0.84
-5	7.03	10.19	11.2	10.14	4.41	4.41	13.47	13.91	13.03	1.65
0	7.76	7.6	9.29	8.52	10.22	4.65	10.61	11.92	11.32	5.51
5	6.67	3.42	10.4	9.41	17.54	4.78	8.84	10.45	9.98	12.96
10	6.29	2.39	9.75	8.81	23.42	5.22	7.66	8.98	8.54	19.54
15	5.71	2.08	8.29	7.62	28.55	5.21	7	8.09	7.72	25.33
20	4.92	1.53	5.57	5.29	33.21	4.69	5.67	6.34	6.12	29.79
25	4.43	1.36	3.87	3.77	37.08	4.43	4.45	4.83	4.73	33.81
30	3.78	1.06	1.94	1.94	40.61	4.23	2.77	2.87	2.86	38.27
35	3.21	0.97	1.19	1.2	41.33	3.59	1.98	2.02	2.02	40.1
40	2.76	0.92	1	1.01	37.95	3.39	1.66	1.67	1.67	39.2
45	2.37	0.9	0.86	0.87	29.3	3.29	1.73	1.7	1.71	34.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50	2.06	0.86	0.81	0.81	21.62	3.19	1.81	1.8	1.8	27.3
55	1.83	0.79	0.8	0.8	15.17	3.19	1.86	1.87	1.9	20.42
60	1.75	0.78	0.79	0.79	10.95	2.75	1.91	1.91	1.91	14.05

ตารางที่ 4.8 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 3 และครั้งที่ 4

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวระนาบ (horizontal)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 3					การทดสอบครั้งที่ 4				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	1.45	6.27	5.87	5.76	1.31	1.85	5.16	4.85	4.58	1.28
-55	1.46	8.36	7.58	7.42	1.27	1.82	6.7	6.11	5.67	1.18
-50	1.53	10.86	9.6	9.26	1.17	1.93	8.87	7.83	7.07	1.05
-45	1.59	13.08	11.53	11.07	1.05	2.21	11.17	9.51	8.41	0.94
-40	1.86	15.63	13.35	12.77	0.87	2.55	13.94	11.43	9.89	0.75
-35	1.69	15.56	13.77	13.2	0.76	2.8	14.64	11.91	10.28	0.61
-30	2.32	16.26	13.87	13.29	0.62	2.5	14.71	12.17	10.6	0.5
-25	2.39	16.17	14.3	13.68	0.6	2.92	14.31	12.91	10.91	0.47
-20	2.45	15.86	14.7	14.04	0.62	3.28	14.61	13.19	11.39	0.47
-15	2.65	15.86	15.32	14.6	0.65	3.61	14.73	13.84	11.91	0.49
-10	2.85	14.8	14.8	14.11	0.77	4.08	13.86	13.63	11.78	0.54
-5	4.65	12.48	13.15	12.54	2.02	4.37	12.13	12.4	10.9	0.88
0	4.49	10.5	11.3	10.86	6.13	4.83	9.99	10.65	9.67	3.07
5	4.27	9.07	10.02	9.65	12.98	4.68	8.66	9.5	8.8	7.86
10	4.2	8.08	8.94	8.59	18.94	4.67	7.68	8.5	7.89	13.43
15	4.1	7.36	8.09	7.79	24.99	4.38	7	7.71	7.18	18.62
20	3.7	5.69	6.1	5.95	29.82	4.09	5.69	6.12	5.68	22.84
25	3.45	4.28	4.5	4.43	34.2	3.81	4.28	4.51	4.42	25.21
30	3.46	2.6	2.65	2.65	38.74	3.68	2.66	2.72	2.73	28.92
35	3.37	1.9	1.92	1.92	41.13	3.7	1.88	1.9	1.92	31.52
40	3.19	1.9	1.67	1.67	40.68	3.49	1.58	1.58	1.59	32.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45	3.09	1.73	1.73	1.73	35.27	3.16	1.64	1.64	1.64	29.45
50	2.87	1.82	1.83	1.83	27.11	3.03	1.75	1.75	1.75	23.33
55	2.77	1.92	1.93	1.93	20.34	2.87	1.83	1.94	1.93	17.7
60	2.56	1.97	1.97	1.97	14.19	2.7	1.86	1.86	1.86	12.78

ตารางที่ 4.9 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 5 และครั้งที่ 6

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวระนาบ (horizontal)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 5					การทดสอบครั้งที่ 6				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	1.92	6.47	5.88	5.69	1.71	2.3	5.86	5.13	4.9	1.49
-55	2.05	9.17	7.94	7.57	1.6	2.38	7.84	6.53	6.16	1.38
-50	2.4	11.77	9.76	9.18	1.48	2.7	10.66	8.29	7.67	1.18
-45	2.79	13.96	11.19	10.43	1.35	3.27	13.13	9.72	8.88	1.04
-40	3.42	15.02	11.94	11.12	1.13	3.99	14.9	10.69	9.68	0.82
-35	3.68	15.11	12.14	11.3	0.98	4.82	15.12	10.93	10.7	0.69
-30	3.96	14.99	12.57	11.6	0.85	5.26	14.83	11.05	9.99	0.61
-25	4.29	14.67	12.93	11.84	0.75	5.98	14.25	11.47	10.29	0.61
-20	4.93	14.73	13.71	12.41	0.02	7.31	13.85	12.1	10.73	0.6
-15	5.74	13.5	13.19	11.91	0.76	8.27	13.28	12.42	10.97	0.66
-10	6.07	11.82	12.13	11.07	1.54	8.62	11.82	11.74	10.46	0.94
-5	6.02	9.755	10.49	9.7	4.26	9.09	9.69	10.27	9.26	2.65
0	6	9.02	10.22	9.82	11.03	9.04	7.64	8.61	7.88	7.25
5	6.26	6.79	7.69	7.19	17.31	8.29	6.77	7.76	7.16	13.29
10	6.13	6.23	6.98	6.56	22.03	7.25	6.2	7.09	6.59	18.88
15	5.75	5.09	5.62	5.36	25.94	6.82	5.32	5.95	5.6	23.64
20	5.2	3.55	3.8	3.7	30.35	5.9	3.88	4.19	4.04	27.5
25	4.8	2.43	2.47	2.46	33.7	5.23	2.69	2.8	2.75	31.17
30	4.55	1.54	1.57	1.58	36.22	4.68	1.6	1.84	1.61	34.59
35	3.96	1.23	1.23	1.24	36.26	4.28	1.33	1.34	1.34	35.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40	3.59	1.25	1.26	1.26	33.13	3.75	1.36	1.43	1.43	35.7
45	3.29	1.34	1.35	1.36	27.3	3.59	1.47	1.53	1.53	29.55
50	3.06	1.39	1.4	1.41	20.71	3.33	1.58	1.6	1.6	20.28
55	2.86	1.46	1.46	1.47	14.76	3.13	1.65	1.66	1.66	14.6
60	2.69	1.48	1.5	1.5	10.71	2.89	1.6	1.6	1.6	10.55

ตารางที่ 4.10 แสดงผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal) ครั้งที่ 7 และครั้งที่ 8

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวระนาบ (horizontal)										
มุม (องศา)	การทดสอบครั้งที่ 7					การทดสอบครั้งที่ 8				
	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)	Q ₀ (μ A)	Q ₁ (μ A)	Q ₂ (μ A)	Q ₃ (μ A)	Q ₄ (μ A)
-60	2	7.41	6.63	6.28	1.84	2.02	7.91	7.13	6.75	1.84
-55	1.99	9.99	8.55	7.93	1.74	2.4	10.81	9.34	8.66	1.71
-50	2.33	14.42	11.49	10.39	1.49	3.14	14.26	11.73	10.64	1.53
-45	2.46	16.52	12.79	11.46	1.31	4.12	16.36	13.09	11.75	1.36
-40	2.61	16.92	13.07	11.71	1.21	5.17	17	13.56	12.14	1.09
-35	2.95	17.01	13.32	11.99	1.07	5.48	16.56	13.44	12.04	0.89
-30	2.91	16.54	13.46	12.15	0.92	6.06	15.96	19.21	12.01	0.72
-25	3.06	16.2	13.94	12.57	0.89	6.81	15.59	13.97	12.32	0.68
-20	3.49	16.03	14.68	13.19	0.9	7.98	15.35	14.5	12.63	0.7
-15	3.81	15.33	14.78	13.34	0.94	8.16	14.08	13.88	12.13	0.87
-10	4.33	13.36	13.54	12.35	1.38	8.48	11.83	17.73	10.79	2.5
-5	4.75	11.14	11.8	10.96	3.36	8.63	9.53	10.27	9.27	6.35
0	4.62	9.13	15.23	9.55	8.37	8.1	7.89	8.78	8.03	13.79
5	4.44	7.85	8.77	8.3	15.65	7.38	7.16	8.04	7.38	20.56
10	4.47	7.1	7.9	7.47	21.82	6.98	6.37	7.08	6.55	26.4
15	4.24	6.11	6.68	6.39	26.27	6.12	5.13	5.57	5.26	31.1
20	4.12	4.48	4.74	4.62	29.56	5.17	3.37	3.54	3.44	36.33
25	4.01	3.21	3.31	3.29	33.42	4.49	2.24	2.24	2.24	40.47
30	4.13	2.09	2.12	2.13	36.69	4.1	1.45	1.46	1.47	43.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

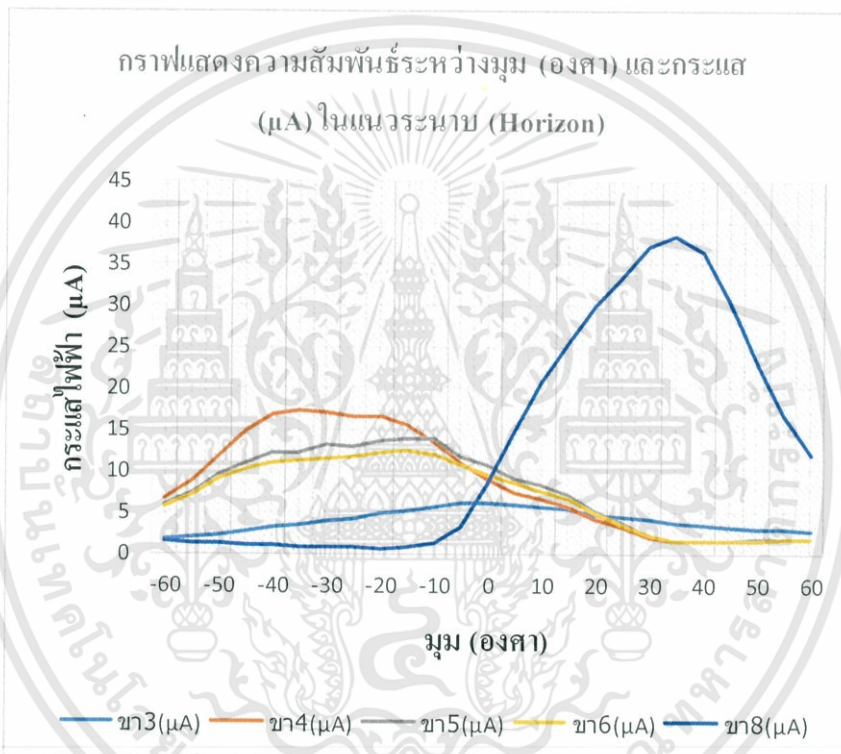
35	3.88	1.71	1.71	1.72	37.84	3.51	1.26	1.26	1.28	42.8
40	3.62	1.69	1.69	1.7	36.09	3.18	1.32	1.32	1.33	37.4
45	3.39	1.75	1.75	1.75	29.89	2.99	1.43	1.43	1.44	29.39
50	3.26	1.82	2.83	1.83	22.57	2.86	1.56	1.56	1.57	21.87
55	3.03	1.92	1.91	1.91	15.56	2.73	1.63	1.64	1.65	15.86
60	3.11	1.91	1.92	1.92	11.31	2.58	1.68	1.69	1.7	11.25

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงโดยแหล่งกำเนิดแสงฉายแสงลงบนแกนของตัวรับแสงในแนวระนาบ (Horizontal)

ผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวระนาบ (horizontal)					
มุม (องศา)	Q_0 (μA)	Q_1 (μA)	Q_2 (μA)	Q_3 (μA)	Q_4 (μA)
-60	1.80	6.63	5.84	5.60	1.42
-55	1.88	8.77	7.38	6.98	1.33
-50	2.21	11.59	9.53	9.05	1.19
-45	2.60	14.89	11.04	10.13	1.07
-40	3.19	16.88	12.06	11.01	0.91
-35	3.43	17.20	12.21	11.26	0.78
-30	3.84	17.02	13.16	11.36	0.67
-25	4.24	16.54	12.94	11.71	0.65
-20	4.86	16.44	13.48	12.15	0.57
-15	5.07	15.53	13.94	12.47	0.72
-10	5.68	13.47	13.89	11.96	1.24
-5	6.11	11.04	11.68	10.72	3.19
0	6.18	9.04	10.75	9.45	8.17
5	5.84	7.32	9.07	8.48	14.76
10	5.65	6.46	8.15	7.62	20.55
15	5.29	5.63	7	6.61	25.55
20	4.72	4.23	5.05	4.85	29.92
25	4.33	3.11	3.56	3.51	33.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30	4.07	1.97	2.14	2.12	37.18
35	3.68	1.53	1.57	1.58	38.29
40	3.37	1.46	1.45	1.45	36.53
45	3.14	1.49	1.49	1.50	30.64
50	2.95	1.57	1.69	1.57	23.09
55	2.80	1.63	1.65	1.65	16.80
60	2.62	1.64	1.65	1.65	11.97



รูปที่ 4.7 กราฟค่าเฉลี่ยของผลทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวระนาบ (horizontal) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม (องศา) และค่ากระแสไฟฟ้า (μA)

4.3.1 การเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ได้จากการเขียนโปรแกรม Matlab ในแกนแนวระนาบ

กราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงในแกนแนวระนาบ (Horizontal) ดังรูปที่ 4.7 นำมาเปรียบเทียบกับกราฟที่แสดงผลใน โปรแกรม Matlab ในแกนแนวระนาบ ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบได้ ดังนี้

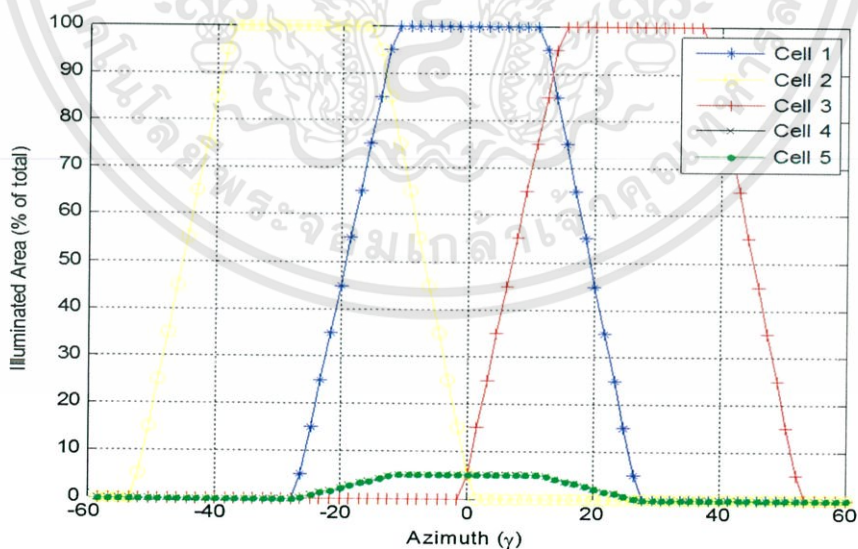
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) กราฟทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่มาก แต่จะมีความใกล้เคียงตรงที่เซลล์รับแสงทางฝั่งขวา มีประสิทธิภาพในการรับแสงได้เทียบเท่ากับประสิทธิภาพที่แสดงผลในโปรแกรม Matlab ดังรูปที่ 4.9

2) การที่กราฟที่ได้จากการทดสอบมีผลคลาดเคลื่อนต่างจากกราฟที่แสดงผลในโปรแกรม Matlab อยู่มากนั้น มีสาเหตุที่ทำให้กราฟแสดงผลออกมาไปเช่นนั้น คือ ในการวางตัวรับแสงแต่ละตัวนั้น จะมีการวางฉนวนกันระหว่างเซลล์เพื่อป้องกันพลังงานที่ตัวรับแสงตัว หนึ่งได้รับไม่แผ่พลังงานไปยังตัวรับแสงที่จัดเรียงอยู่ใกล้ แต่ฉนวนที่วางกันนั้นมี ความลึกไม่มากพอจึงทำให้พลังงานที่ตัวแต่ละตัวได้รับแผ่พลังงานหากัน ซึ่งเป็นผลที่ทำให้กราฟที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน ไปจากกราฟที่แสดงผลในโปรแกรม Matlab อยู่มาก

3) ค่าของกระแสไฟฟ้าที่วัดออกมาได้ในแต่ละแผ่นเซลล์ ที่นำมาเฉลี่ยแล้วนั้น สามารถบอกได้ว่า ค่ามุมในตำแหน่งใดที่วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ออกมาในปริมาณที่สูงที่สุด ซึ่งค่ามุมนั้นจะเท่ากับ 35 องศา ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละแผ่นเซลล์ Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.68 , 1.53 , 1.57 , 1.58 และ 38.29 ตามลำดับ

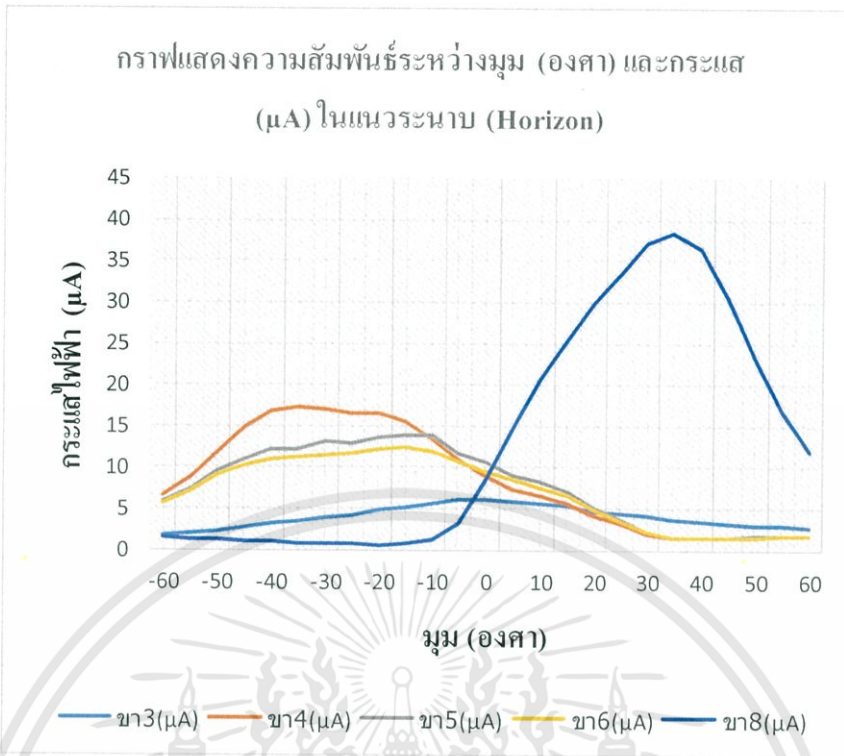
หมายเหตุ การวิเคราะห์การทดสอบของทั้งสองตอน จะมีการวิเคราะห์ออกมาที่ คล้ายคลึงกันเพราะการทดสอบจะเหมือนกันแค่เปลี่ยนแกนในการวัดของ ตัวรับแสงจากแนวตั้งเป็นแนวระนาบ



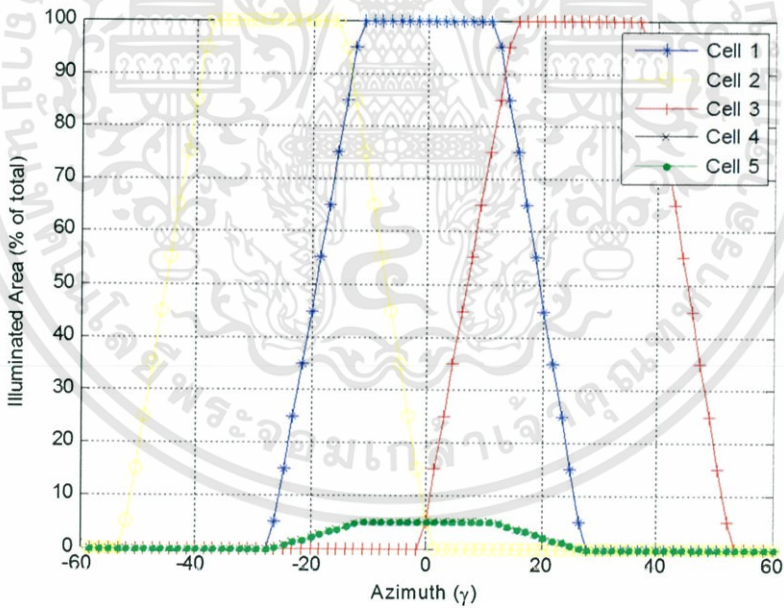
รูปที่ 4.8 กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม Matlab มีความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม (องศา) ในแกนแนวระนาบ และเปอร์เซ็นต์ความเข้มแสงของ

ตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ได้จากการเขียนโปรแกรม Matlab ในแกนแนวระนาบ

(ก) กราฟที่ได้จากการทดสอบ (ข) กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบจากการวัดและวิเคราะห์

การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ตอน ซึ่งวิเคราะห์โดยรวมได้ คือ

กราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของตัวรับแสงของทั้งสองแกน นั้น นำมาเปรียบเทียบกับกราฟที่แสดงผลใน โปรแกรม Matlab ของทั้งสองแกนซึ่งวิเคราะห์จากการเปรียบเทียบได้ ดังนี้

1) กราฟทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่มาก แต่จะมีความใกล้เคียงตรงที่เซลล์รับแสงทางฝั่งขวา มีประสิทธิภาพในการรับแสงได้เทียบเท่ากับประสิทธิภาพที่แสดงผลใน โปรแกรม Matlab ดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 ซึ่งรูปจะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้จากการทดสอบและกราฟที่แสดงผลใน โปรแกรม Matlab ของการทดสอบทั้ง 2 ตอน

2) การที่กราฟที่ได้จากการทดสอบมีผลคลาดเคลื่อนต่างจากกราฟที่แสดงผลใน โปรแกรม Matlab อยู่มากนั้น มีสาเหตุที่ทำให้กราฟแสดงผลออกมาไปเช่นนั้น คือ ในการวางตัวรับแสงแต่ละตัวนั้น จะมีการวางฉนวนกันระหว่างเซลล์เพื่อป้องกันพลังงานที่ตัวรับแสงตัวหนึ่ง ได้รับ ไม่แผ่พลังงาน ไปยังตัวรับแสงที่จัดเรียงอยู่ใกล้ แต่ฉนวนที่วางกันนั้นมีความลึกไม่มากพอจึงทำให้พลังงานที่ตัวแต่ละตัวได้รับแผ่พลังงานหากัน ซึ่งเป็นผลที่ทำให้กราฟที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน ไปจากกราฟที่แสดงผลใน โปรแกรม Matlab อยู่มาก

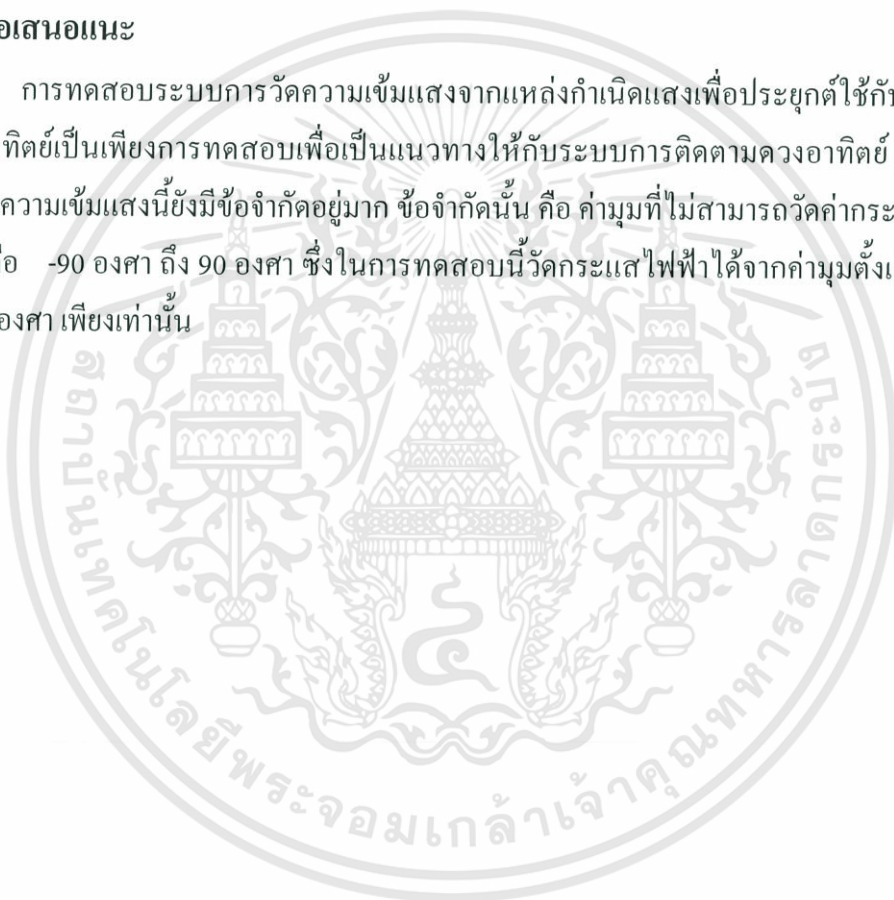
3) ผลการทดสอบพบว่า มุมที่กำหนดรับแสงจากโปรแกรมประมวลผล ที่มุม -60 องศา ถึง 0 องศา มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.79 – 2.5 โวลต์ ส่วนที่มุม 0 องศา ถึง 60 องศา มีค่าความต่างศักย์ 2.5 – 4.21 โวลต์ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมระหว่างมุมที่กำหนดขึ้นและมุมที่ได้จากการคำนวณจากค่าความต่างศักย์ มีค่าประมาณ +/- 1.425 องศา และพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงที่สุดที่ Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 ตามลำดับ ในแนวตั้งที่มุม 40 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.44, 2.46, 2.09, 2.07 และ 5.09 ตามลำดับ ส่วนในแนวระนาบที่มุม 35 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.68, 1.53, 1.57, 1.58 และ 38.29 ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมในแนวตั้งมีค่าเท่ากับ 40 องศา และในแนวระนาบมีค่าเท่ากับ 35 องศา มีค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุดที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งค่ามุมมีค่าสอดคล้องตามทฤษฎีกฎการสะท้อนของแสง คือ ที่ค่ามุม 45 องศา แสง จะมีการกระทบลงบน ฉากรับและสะท้อนแสงออกมาได้ดีที่สุด ซึ่งส่งผลให้ในค่ามุม 45 องศา เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงฉายลงบนตัวรับแสง เมื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากตัวรับแสงจะได้ค่าของกระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุด

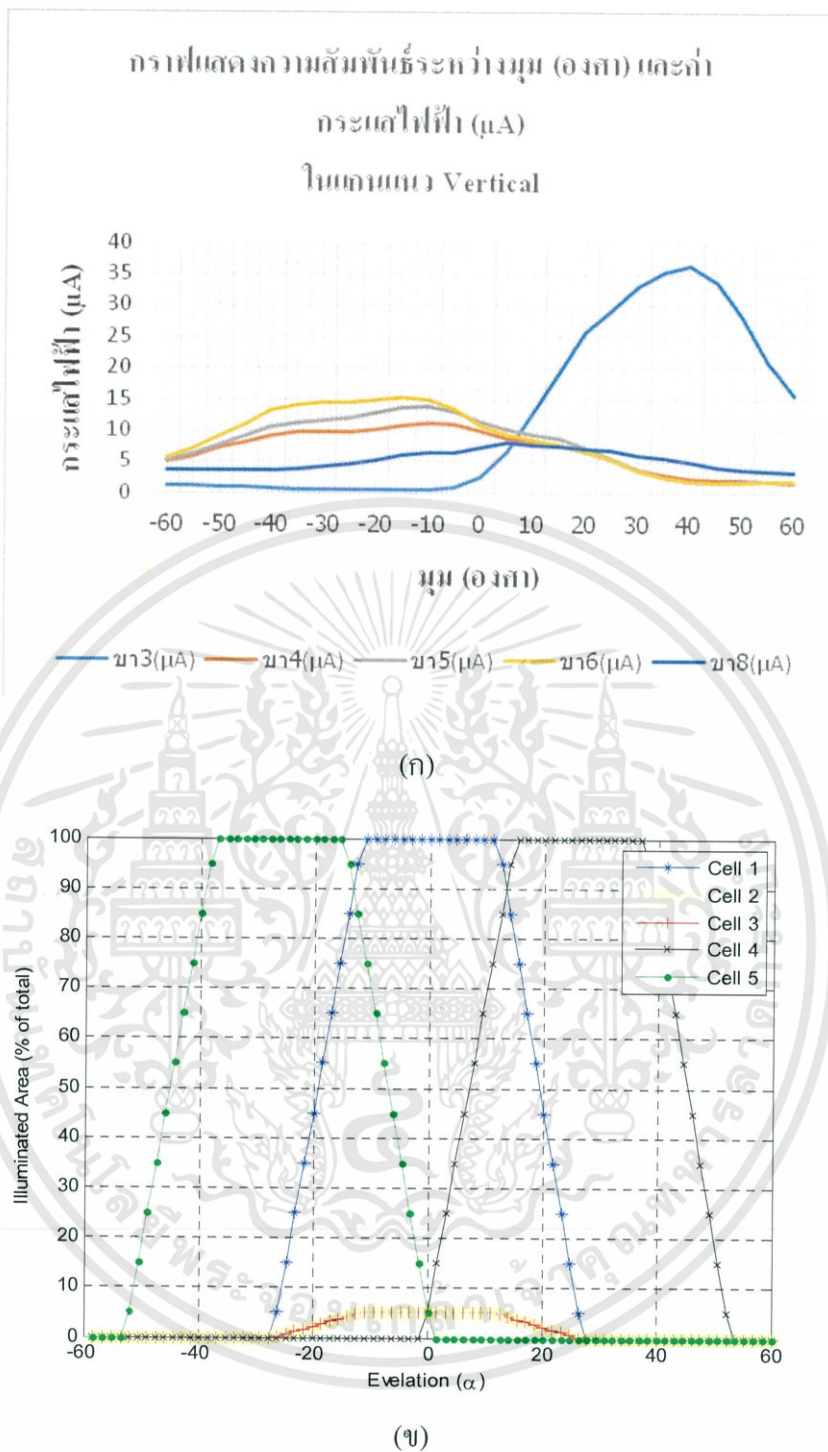
5.2 วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อประยุกต์ใช้กับการติดตามดวงอาทิตย์ พบว่าในการทดสอบนั้นยังมีข้อจำกัดของประสิทธิภาพของตัวรับแสงซึ่งไม่สามารถวัดความเข้มแสงโดยแสดงผลออกมาในรูปของกระแสไฟฟ้า ได้ทุกค่ามุมของตำแหน่งที่แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ทำมุมกับตัวรับแสง ค่ามุมสูงที่สุดที่สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้นั้นจะอยู่ที่ค่ามุมเท่ากับ -60 องศา ถึง 60 องศา แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการทดสอบนี้ ทดสอบขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในระบบการติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการติดตามดวงอาทิตย์ให้ดียิ่งขึ้นไม่มากก็น้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

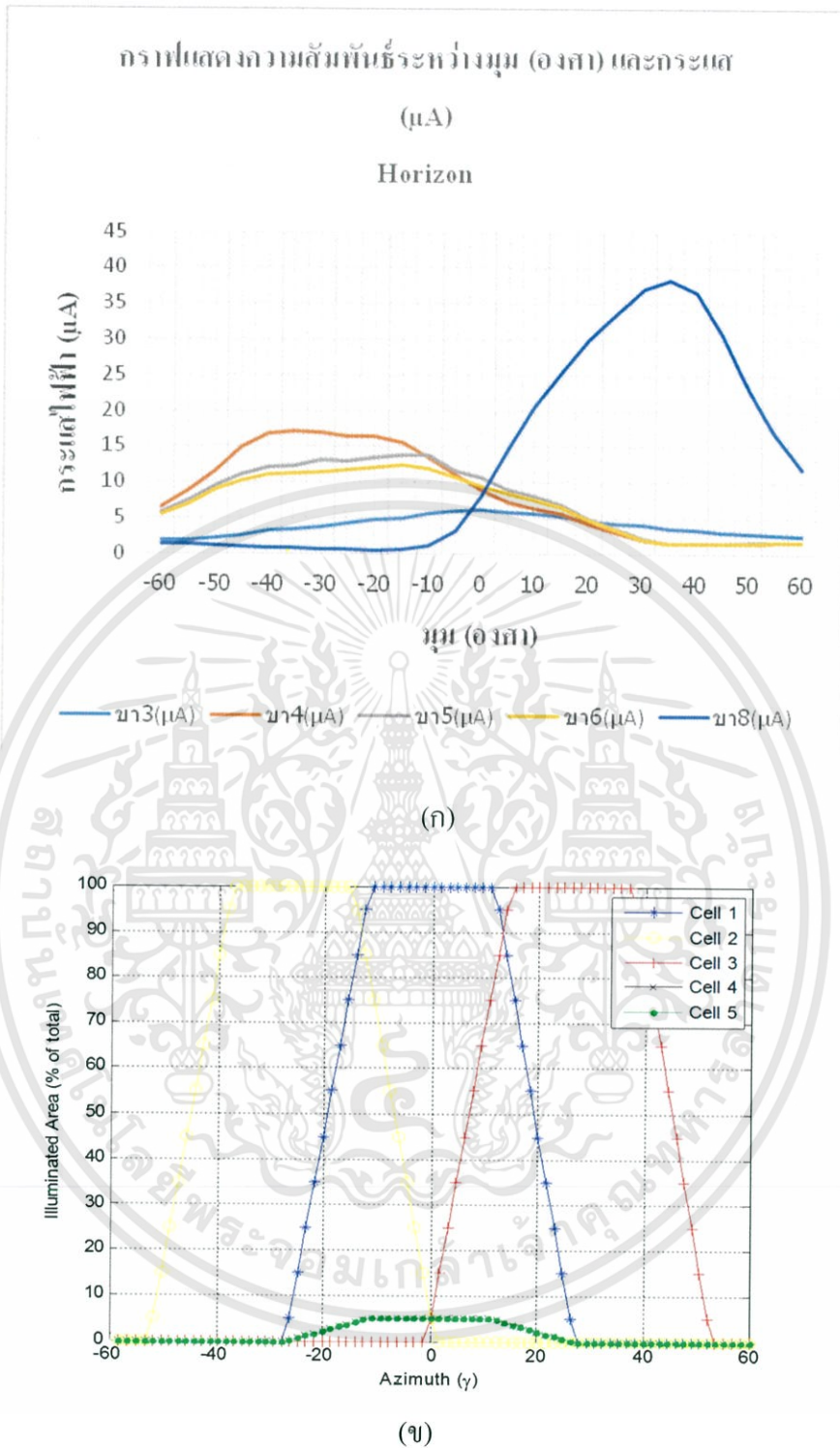
การทดสอบระบบการวัดความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงเพื่อประยุกต์ใช้กับการติดตามดวงอาทิตย์เป็นเพียงการทดสอบเพื่อเป็นแนวทางให้กับระบบการติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งในระบบการวัดความเข้มแสงนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ข้อจำกัดนั้น คือ ค่ามุมที่ไม่สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้หมด คือ -90 องศา ถึง 90 องศา ซึ่งในการทดสอบนี้วัดกระแสไฟฟ้าได้จากค่ามุมตั้งแต่ -60 องศา ถึง 60 องศา เพียงเท่านั้น





รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ได้จากการเขียนโปรแกรม Matlab ในแกนแนวตั้ง
(ก) กราฟที่ได้จากการทดสอบ (ข) กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ใช้ข้อมูลจากการทดสอบและกราฟที่ได้จากการเขียน โปรแกรม Matlab ในแกนแนวระนาบ
(ก) กราฟที่ได้จากการทดสอบ (ข) กราฟที่ได้จากการแสดงผลของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม.2533.อิเล็กทรอนิกส์ พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] [Online].Available:<http://tmec.nectec.or.th/products/detail/id/fc6a1286800416409a2352ab4b6a125d/lang/th>
- [3] [Online].Available: [http://th.wikipedia.org/wiki/การสะท้อน_\(ฟิสิกส์\)](http://th.wikipedia.org/wiki/การสะท้อน_(ฟิสิกส์))
- [4] [Online].Available: <http://th.wikipedia.org/wiki/การสะท้อนกลับทั้งหมด>
- [5] [Online].Available: <http://www.kew-ltd.co.jp/en/products/multimeters/1011.html>



ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Wide range for various test fields!

High-powered Digital Multi Meter Series

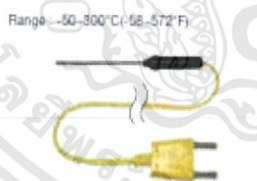
- 6040 counts with Bar Graph display
- MIN/MAX function enables to record min & max value
- REL (relative value) function to indicate the measurement variation
Saving the initial value at the start of measurement as a reference value (= zero)
The difference between the later measured values and the reference value is indicated on the display
- Temperature measurement, selectable for °C and °F (KEW 1011)
supplied with K-type temperature probe (B216): -50~300 °C [-58~572 °F]
- True RMS can measure and indicate distorted waveforms (KEW 1012)
- DUTY function
(It is possible to measure Pulse width / Pulse period)
- Data Hold function, Auto Power Off function
- Continuity with buzzer and Diode Check function
- Capacity measurement of capacitors
- Current ranges are protected by fuses (600V ceramic)
- Designed to meet international safety standards
IEC61010-1 CAT. III 300V / CAT. II 600V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications	KEW 1012	KEW 1011	MODEL 1009
			
	NEW	NEW	
			
			
DC V	500.0mV/6.000/60.000/600.0/600V (Input Impedance: 10M Ω , 100M Ω only 600mV) $\pm 0.5\% \pm 3\text{dg}$ (600.0mV/6.000/60.000/600.0V) $\pm 0.8\% \pm 3\text{dg}$ (600V)		400mV/4.40/400/600V (Input Impedance: 10M Ω) $\pm 0.8\% \pm 3\text{dg}$ (4.40/400/600V) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (400V)
AC V	6.000/60.00/600.0/600V (Input Impedance: 10M Ω) $\pm 1.5\% \pm 3\text{dg}$ (6.000V) $\pm 1.2\% \pm 3\text{dg}$ (60.00/600.0V) $\pm 1.5\% \pm 3\text{dg}$ (600V)	6.000/60.00/600.0/600V (Input Impedance: 10M Ω) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (6.000/60.00/600.0V) $\pm 1.5\% \pm 3\text{dg}$ (600V)	400mV/4.40/400/600V (Input Impedance: 10M Ω) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (4.40/400mV) $\pm 1.2\% \pm 3\text{dg}$ (4.40V) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (400V/600V) 400/4000 μ A/40/400mA/10A $\pm 2.0\% \pm 3\text{dg}$ (400/4000 μ A) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (40/400mA) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (4A/10A)
DC A	600/6000 μ A/60/600mA/6/10A $\pm 1.2\% \pm 3\text{dg}$ (600/6000 μ A/60/600mA) $\pm 2.0\% \pm 3\text{dg}$ (6/10A)		400/4000 μ A/40/400mA/10A $\pm 2.0\% \pm 3\text{dg}$ (400/4000 μ A) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (40/400mA) $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (4A/10A)
AC A	600/6000 μ A/60/600mA/6/10A $\pm 1.5\% \pm 4\text{dg}$ (600/6000 μ A/60/600mA) $\pm 2.2\% \pm 3\text{dg}$ (6/10A)		400/4000 μ A/40/400mA/10A $\pm 2.0\% \pm 3\text{dg}$ (400/4000 μ A) $\pm 2.0\% \pm 3\text{dg}$ (40/400mA/10A)
Ω	600 Ω /6.00/600 Ω /6/60M Ω $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (600 Ω /6.00/600 Ω)/ $\pm 0.5\%$ $\pm 2.0\% \pm 3\text{dg}$ (6/60M Ω)		400 Ω /4.40/400 Ω /4/40M Ω $\pm 1.0\% \pm 3\text{dg}$ (400 Ω)/ $\pm 0.5\%$ (400 Ω)/ $\pm 0.5\%$ $\pm 2.0\% \pm 3\text{dg}$ (4/40M Ω)
Continuity buzzer	0-600 Ω (Buzzer sounds below 100 Ω)		0-400 Ω (Buzzer sounds below 70 Ω)
Diode Check	2.0V Release Voltage : Approx. 0.4mA Test Current		1.5V Release Voltage : Approx. 0.4mA Test Current
Capacitance	40/400nF/4.4/40/400 μ F		40/400nF/4.4/100 μ F
Frequency	35/100/1000Hz/10/100/1000kHz/10MHz		5/10/50/100/500/10/100kHz/5/100MHz
DUTY	0.1-99.9% (Pulse width/Pulse period) $\pm 2.0\% \pm 2\text{dg}$ (-10%)		0.1-99.9% (Pulse width/Pulse period) $\pm 3.3\% \pm 5\text{dg}$
Temperature	-60-300°C / -50-572°F (with the use of Temperature probe 8216)		
Display	2040 Counts		3999 Counts
Withstand Voltage	AC/3750V / 1 min.		
Applicable Standard	IEC61010-1 CAT II 300V Pollution degree 2 / CAT II 600V Pollution degree 2 IEC 61010-031 IEC 61326		IEC61010-1 CAT II 300V IEC61010-031 IEC61326 70P (1.5V) 155(L) x 75(W) x 30(D)mm Approx. 260g
Power Source	9P (1.5V) x 2 (Auto-power OFF within 10 minutes)		9P (1.5V) x 2
Dimensions	161(L) x 82(W) x 50(D)mm		155(L) x 75(W) x 30(D)mm
Weight	Approx. 280g		Approx. 260g
Accessories	KT104 (Test Lead) 0.5A/600V Ceramic Fuse x1, built-in 10A/600V Ceramic Fuse x1, built-in RSP-2 Instruction Manual	KT104 (Test Lead) 8216 (K-type Temperature probe) 0.5A/600V Ceramic Fuse x1, built-in 10A/600V Ceramic Fuse x1, built-in RSP-2 - Instruction Manual	KT104 (Test Lead) 8216 (0.5A/250V Ceramic Fuse) x1, built-in 8216 (10A/250V Ceramic Fuse) x1, built-in RSP-2 Instruction Manual

● Accessories

Test Lead MODEL KT104 Temperature Probe MODEL 8216



Note: KEW1011 can measure max. 700°C
In order to measure over 350°C, please use a K-type
temperature probe available in the market.

True RMS (Root Mean Square) Value Measurement

Due to the use of thyristors, inverters and other energy-saving controllers in recent electric wiring, current waveforms often include harmonic components and are distorted compared to sinusoidal waves (50/60Hz).

Compared to the true RMS value tester, 30-40% measurement values taken by the averaging value type may generate errors in some cases. (When the sinusoidal waves (50/60Hz) is not affected by the distortion, both averaging value type and true RMS value type will show almost the same value.)

Kyoritsu's True RMS type tester is able to measure the true RMS of the distorted waveforms since waveforms are being internally calculated continuously.



Safety Warnings :

Please read the "Safety Warnings" in the instruction manual supplied with the instrument thoroughly and completely for correct use. Failure to follow the safety rules can cause fire, trouble, electrical shock, etc. Therefore, make sure to operate the instrument on a correct power supply and voltage rating marked on each instrument.

■ For inquires or orders :



**KYORITSU ELECTRICAL
INSTRUMENTS
WORKS, LTD.**

No.5-20,Nakane 2-chome, Meguro-ku,
Tokyo, 152-0031 Japan
Phone:81-3-3723-0131
Fax:81-3-3723-0152
E-mail:info@kew-ltd.co.jp
Factories:Uwajima & Ehime

<http://www.kew-ltd.co.jp>



In consideration of the environment, soy ink and recycled paper were used in this publication. ● The contents of this bulletin are subject to change without notice.

KZW1011-12-1E Sep. 06 AD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้