การศึกษาเซ็นเซอร์แสงสำหรับใช้เป็นไพรานอมิเตอร์

A STUDY OF PYRANOMETER USING PHOTODIODE SENSORS

พินิจนันท์ ขาวอ้น

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาเซ็นเซอร์แสงสำหรับใช้เป็นไพรานอมิเตอร์
A STUDY OF PYRANOMETER USING PHOTODIODE SENSORS

พินิจนันท์ ขาวอ้น

b.00265475
i.
TB00134

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF PYRANOMETER USING PHOTODIODE SENSORS

PINITNUN KHAO-OUN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN
PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาเซ็นเซอร์แสงสำหรับใช้เป็นไพรานอมิเตอร์ A STUDY OF PYRANOMETER USING PHOTODIODE SENSORS
ชื่อนักศึกษา	นายพินิจนันท์ ขาวอ้น รหัสนักศึกษา 55051567
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
อ.ธนภรณ์ ลีลาวัฒนานนท์ กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาเซ็นเซอร์แสงสำหรับใช้เป็นไพรานอมิเตอร์
ชื่อนักศึกษา นายพินิจนันท์ ขาวอ้น รหัสนักศึกษา 55051567
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาต่อยอดงานโครงงานพิเศษเรื่องโซลิดสเตตไพรานอมิเตอร์ต้นทุนต่ำที่ได้ทำมาก่อนหน้านี้ โดยใช้ซิลิคอนโฟโต้ไดโอดทั้งหมด 5 ชนิดมาเป็นตัวตรวจวัดแสง แทนเทอร์โมไพล์ บรรจุอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ที่มีแผ่นเทฟลอน(Teflon)ทำหน้าที่กระจายแสง โดยจะทำการเก็บข้อมูลเป็นแรงดันไฟฟ้าตลอดทั้งวันผ่านเครื่องเก็บข้อมูลกึ่งอัตโนมัติ(Data Logger)เป็นเวลา 17 วัน และจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับเทียบผ่านโปรแกรมคณิตศาสตร์(MATLAB) จากการทดลองข้างต้นทำให้เห็นว่าโฟโต้ไดโอดรุ่น S5973 มีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับไพรานอมิเตอร์มาตราฐานมากกว่าชนิดอื่นๆ ดังนั้นเราสามารถประดิษฐ์ไพรานอมิเตอร์เองได้ โดยต้นทุนที่เราประดิษฐ์เองนั้นถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับไพรานอมิเตอร์มาตราฐานลำดับที่สองที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

คำสำคัญ : การปรับเทียบเครื่องมือ ซิลิคอนโฟโต้ไดโอด ไพรานอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A STUDY OF PYRANOMETER USING PHOTODIODE SENSORS
Students	Mr.Pinitnun Khao-oun Student ID 55051567
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr.Kajpanya Suwansukho

Abstract

The special project deals with the development of the previous project (a low cost solid state pyranometer).This work use 5 types of the siliconphotodiode as thermopile. Contained in a package with Teflon plate acting as light. The collected data is the voltage throughout the day by automatic storage (Data Logger) for 17 days and calibration data by the mathematical program (MATLAB). From the experiment that the photodiode model S5973, the change coincided with the standard than other types. So we can create pyranometer itself. The cost of our invention, it is considered very low compared to the pyranometer standard second class is imported from overseas.

Keywords : The calibration tool, Siliconphotodiode, Pyranometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความเมตตาและกรุณายิ่งจาก อ.กาจปัญญา สุวรรณสุโข ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการทำวิจัยรวมถึงการอนุเคราะห์จัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย ผู้จัดทำซาบซึ้งในความเมตตากรุณาอย่างยิ่งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำขอขอบคุณนายจำนงค์ ขาวอ้น และนางอุษาพร ขาวอ้น ที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำในการทำการวิจัยอย่างดี สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงบุคคลผู้ให้ความปรารถนาดีช่วยเหลือจัดทำในการทำการวิจัยและโครงงานพิเศษทุกๆ ท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

พินิจนันท์ ขาวอ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 แนงทางการดำเนินการวิจัย	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 ดวงอาทิตย์	2
2.2 ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant)	3
2.3 มุมซีนิท (Zenith Angle)	4
2.4 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)	5
2.4.1 คุณสมบัติของไพรานอมิเตอร์	6
2.4.2 การใช้ทรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย	6
2.5 รังสีประเภทต่างๆ	7
2.5.1 รังสีตรง (Beam or Direct radiation)	8
2.5.2 รังสีกระจาย (Diffuse radiation)	8
2.5.3 รังสีรวม (Total or Global radiation)	8
2.6 เทอร์โมไพล์ (Thermopile)	8
2.7 โฟโต้ไดโอด (Photodiode)	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	11
3.1 การคำนวณหาประสิทธิภาพของไดโอด	11
3.1.1 Signal	11
3.1.2 Noise	11
3.1.3 Signal to Noise Ratio	12
3.2 การเก็บข้อมูล	12
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	13
3.4 วิธีการทดลอง	15
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1 ผลการทดลอง	17
4.2 ขยายผลการทดลอง	60
4.3 ข้อสันนิษฐาน	62
4.4 ข้อสรุปผลการทดลอง	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	69
5.1 สรุปผลการวิจัย	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.4 แสดงแนวทางการดำเนินการวิจัย	1
3.1 แสดงค่าข้อมูลของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิด	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ดวงอาทิตย์	2
2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังโลก	3
2.3 ความยาวคลื่นของรังสีต่างๆที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์	3
2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สุริยะตลอดปี	4
2.5 แสดงแนวของมุมซีนิท (Zenith Angle)	4
2.6 ไพรานอมิเตอร์	5
2.7 ไพรานอมิเตอร์แบบ Eppley precision	6
2.8 ไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้งวงแหวนบังแสง	7
2.9 รังสีในลักษณะต่างๆ	7
2.10 เทอร์โมไพล์ (Thermopile)	8
2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมไพล์	8
2.12 โฟโต้ไดโอด	9
2.13 สัญลักษณ์โฟโต้ไดโอด	9
2.14 หลักการทำงานของโฟโต้ไดโอด	10
3.2.1 หน้าจอแสดงผลการตรวจสอบการเชื่อมต่อ	12
3.2.2 หน้าจอแสดงผลขณะทำการบันทึกค่า	13
3.3.1 DATA LOGGER	13
3.3.2 Computer	14
3.3.3 PYRANOMETER (ตัวมาตราฐาน)	14
3.3.4.1 โฟโต้ไดโอดชนิด S1223	14
3.3.4.2 โฟโต้ไดโอดชนิด BPW21R	14
3.3.4.3 โฟโต้ไดโอดชนิด VTB8440BH	15
3.3.4.4 โฟโต้ไดโอดชนิด VTB5041BH	15
3.3.4.5 โฟโต้ไดโอดชนิด S5973	15
3.4.1 ติดตั้งไพรานอมิเตอร์เข้ากับฐาน	15
3.4.2 ต่อไพรานอมิเตอร์เข้ากับตัวบันทึกผล(DATA LOGGER)	16
3.4.3 หน้าจอแสดงผลขณะทำการบันทึกค่า	16
4.1.1 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 1	17
4.1.2 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 1	17
4.1.3 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 1	18
4.1.4 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 1	18
4.1.5 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 1	19
4.1.6 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 2	19
4.1.7 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973 วันที่ 2	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1.8	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 2	20
4.1.9	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 2	21
4.1.10	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 2	21
4.1.11	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 3	22
4.1.12	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973 วันที่ 3	22
4.1.13	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 3	23
4.1.14	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 3	23
4.1.15	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 3	24
4.1.16	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 4	24
4.1.17	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 4	25
4.1.18	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 4	25
4.1.19	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 4	26
4.1.20	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 4	26
4.1.21	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 5	27
4.1.22	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 5	27
4.1.23	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 5	28
4.1.24	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 5	28
4.1.25	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 5	29
4.1.26	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 6	29
4.1.27	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 6	30
4.1.28	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 6	30
4.1.29	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 6	31
4.1.30	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 6	31
4.1.31	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 7	32
4.1.32	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 7	32
4.1.33	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 7	33
4.1.34	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 7	33
4.1.35	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 7	34
4.1.36	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 8	34
4.1.37	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 8	35
4.1.38	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 8	35
4.1.39	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 8	36
4.1.40	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 8	36
4.1.41	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 9	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1.42	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 9	37
4.1.43	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 9	38
4.1.44	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 9	38
4.1.45	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 9	39
4.1.45	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 9	39
4.1.46	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 10	40
4.1.47	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 10	40
4.1.48	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 10	41
4.1.49	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 10	41
4.1.50	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 10	42
4.1.51	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 11	42
4.1.52	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 11	43
4.1.53	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 11	43
4.1.54	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 11	44
4.1.55	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 11	44
4.1.56	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 12	45
4.1.57	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 12	45
4.1.58	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 12	46
4.1.59	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 12	46
4.1.60	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 12	47
4.1.61	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 13	47
4.1.62	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 13	48
4.1.63	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 13	48
4.1.64	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 13	49
4.1.65	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 13	49
4.1.66	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 14	50
4.1.67	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 14	50
4.1.68	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 14	51
4.1.69	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 14	51
4.1.70	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 14	52
4.1.71	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 15	52
4.1.72	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 15	53
4.1.73	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 15	53
4.1.74	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 15	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1.75	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 15	54
4.1.76	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 16	55
4.1.77	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 16	55
4.1.78	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 16	56
4.1.79	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 16	56
4.1.80	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 16	57
4.1.81	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 17	57
4.1.82	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 17	58
4.1.83	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 17	58
4.1.84	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 17	59
4.1.85	กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 17	59
4.2.1	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 1	60
4.2.2	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973 วันที่ 1	60
4.2.3	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 1	61
4.2.4	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 1	61
4.2.5	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 1	62
4.3.1	ถอด case ออกให้เซ็นเซอร์รับแสงโดยตรง	63
4.3.2	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด หลังจากถอด case ออกให้เซ็นเซอร์รับแสงโดยตรง	63
4.3.3	เปลี่ยนสายสัญญาณ	64
4.3.4	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด หลังจากเปลี่ยนสายสัญญาณ	64
4.3.5	เพิ่มความหนาของฟิล์มเพื่อกรองแสงที่มาตกกระทบเซ็นเซอร์	65
4.3.6	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด หลังจากเพิ่มความหนาของฟิล์มเพื่อกรองแสงที่มาตกกระทบเซ็นเซอร์	65
4.4.1	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH	66
4.4.2	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973	66
4.4.3	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R	67
4.4.4	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH	67
4.4.5	ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงงานชิ้นนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาต่อยอดงานโครงงานพิเศษเรื่องโซลิดสเตตไพรานอมิเตอร์ต้นทุนต่ำที่ได้ทำมาก่อนหน้านี้ โดยจะทำการตรวจสอบอุปกรณ์และปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนเพื่อให้ได้เครื่องวัดความเข้มแสงที่มีค่าความผิดพลาดน้อยลง รวมถึงทำการทดลองและบักทึกผลเพิ่มมากขึ้น เพื่อพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจนใกล้เคียงกับเครื่องวัดความเข้มแสงที่มีราคาสูง ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากเจตนารมณ์ของโครงงานก่อนหน้านี้ที่ต้องการสร้างเครื่องวัดความเข้มแสงต้นทุนต่ำ ดังนั้นเราจะต้องควบคุมราคาอุปกรณ์และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้นักเรียน นักศึกษาและบุคคลที่สนใจสามารถหาซื้อหรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับเครื่องวัดความเข้มแสง
2. มีความรู้ความเข้าใจในการทำงาน ออกแบบ และพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสง
3. สร้างเครื่องวัดความเข้มแสงที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องวัดความเข้มแสงราคาสูง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสงจากโฟโต้ไดโอด รวมถึงออกแบบวงจรและผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย

โครงงานนี้มีระยะเวลาการศึกษาและจัดทำรวมทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มต้นตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2559 แสดงดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แสดงแนวทางการดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลา
เสนอหัวข้อ	สิงหาคม - ตุลาคม
ศึกษาข้อมูล	กันยายน - มกราคม
ทดลองและออกแบบอุปกรณ์	ธันวาคม - มีนาคม
ทดลองและเก็บข้อมูล	มีนาคม - พฤษภาคม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. รู้และเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มแสง
2. เข้าใจขั้นตอนการทำงาน และการออกแบบพัฒนาเครื่องวัดความเข้มแสง
3. ได้เครื่องวัดความเข้มแสงที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องวัดความเข้มแสงที่มีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดวงอาทิตย์ (Sun)

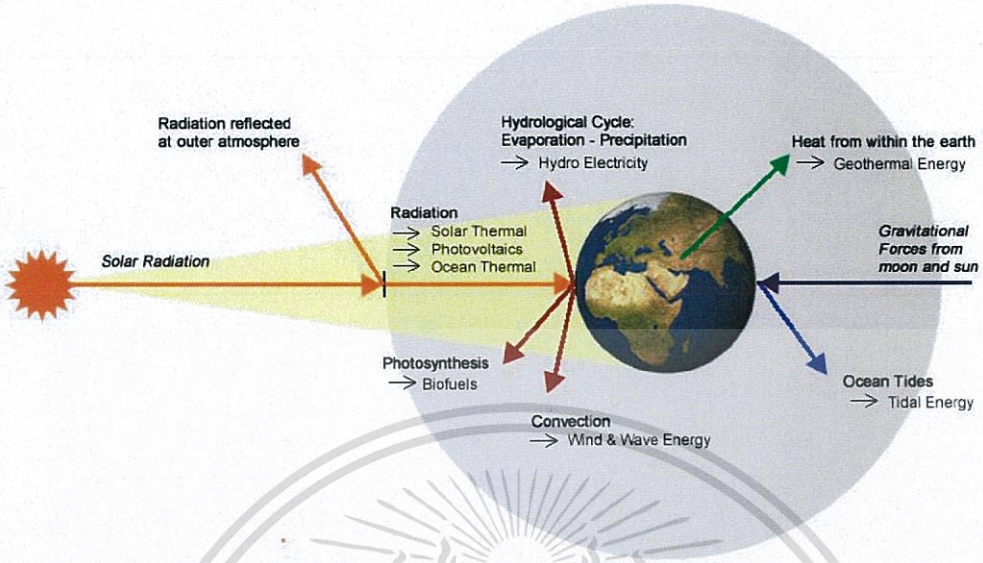
รูปที่ 2.1 ดวงอาทิตย์

รูปที่ 2.1 แสดงถึงกลุ่มก้อนพลังงานขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นดาวฤกษ์ที่เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดวงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยไฮโดรเจนอยู่ร้อยละ 74 โดยมวล ฮีเลียมร้อยละ 25 โดยมวล และธาตุอื่นๆในปริมาณเล็กน้อย ดวงอาทิตย์จัดอยู่ในสเปกตรัม G2V ซึ่ง G2 หมายความว่าดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 5,780 เคลวิน (ประมาณ 5,515 องศาเซลเซียสหรือ 9,940 องศาฟาเรนไฮต์) ดวงอาทิตย์จึงมีสีขาว แต่เห็นบนโลกเป็นสีเหลือง เนื่องจากการกระเจิงของแสง ส่วน v (เลข 5) บ่งบอกว่าดวงอาทิตย์อยู่ในลำดับหลัก ผลิตพลังงานโดยการหลอมไฮโดรเจนให้เป็นฮีเลียม และอยู่ในสภาพสมดุล ไม่ยุบตัวหรือขยายตัว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39×10^9 เมตร และมีระยะห่างเฉลี่ยจากโลกประมาณ 1.5×10^{11} เมตร ใช้เวลาในการหมุนรอบแกนตัวเองประมาณ 4 สัปดาห์

ดวงอาทิตย์มีความหนาแน่นมากที่สุดบริเวณแกน ซึ่งเป็นแหล่งผลิตพลังงาน และมีค่าน้อยลงเกือบเป็นรูปเอ็กโพเนนเชียลตามระยะทางที่ห่างออกมาจากแกน ทุกๆวินาทีจะมีนิวเคลียสของไฮโดรเจน3.4×10^{38} ตัว ถูกแปรรูปเป็นฮีเลียมผลิตพลังงานได้ 3.83×10^{26} จูล

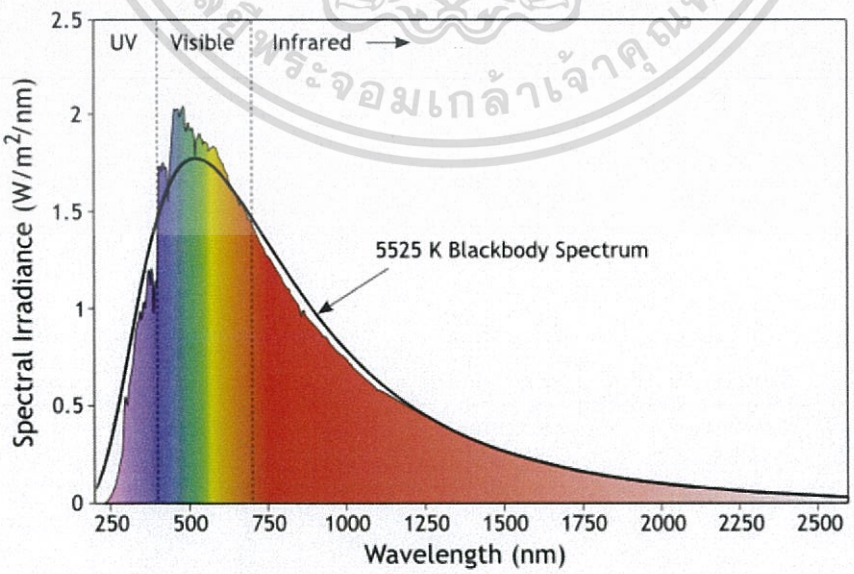
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant)



รูปที่ 2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังโลก

ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งพื้นที่ที่รับรังสีนั้นต้องตั้งฉากกับแนวรังสีและอยู่นอกขอบเขตของบรรยากาศโดยมีระยะห่างเท่ากับระยะทางเฉลี่ยจากโลกถึงดวงอาทิตย์ ค่าคงที่สุริยะของสถาบันสมิธโซเนียนมีค่าเท่ากับ 1.94 หรือ 1.95 กรัม-แคลลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที หรือวัดจากดาวเทียมได้ประมาณ 1,366 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วงของรังสียูวี แสงที่ตามองเห็นไปจนถึงรังสีอินฟราเรดดังรูปที่ 2.3 เราสามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นของรังสีจากดวงอาทิตย์ได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ยูวี แสงขาว และอินฟราเรด



รูปที่ 2.3 ความยาวคลื่นของรังสีต่างๆที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

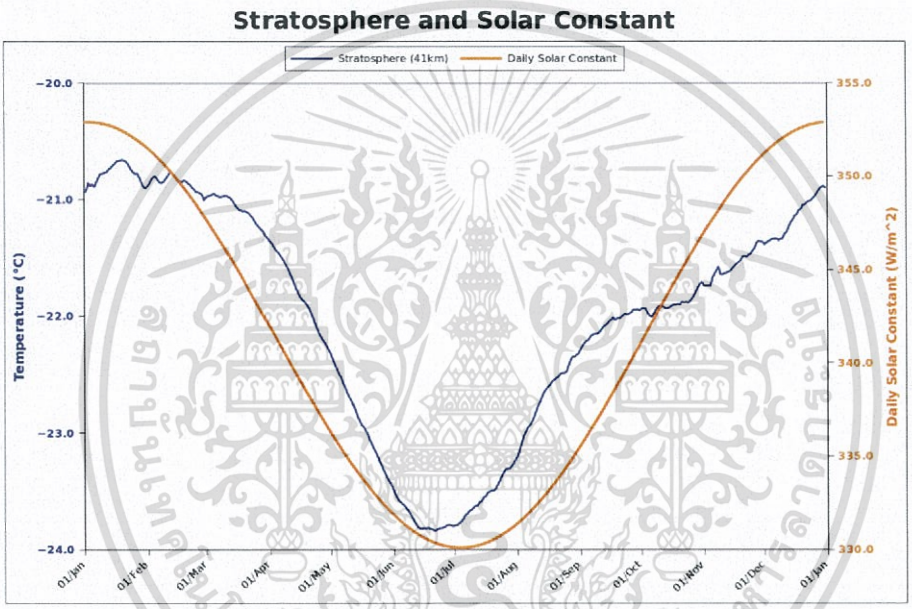
การเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์เหนือบรรยากาศโลกจะอยู่ในช่วง ±3 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือบรรยากาศโลก ลำดับวันที่ของปีและค่าคงที่รังสีอาทิตย์ได้เป็นสมการ

$$G_{on} = G_{sc}\,[1+0.033\cos(\frac{360\times d}{365})]$$

G_{on} คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบนอกชั้นบรรยากาศของโลก

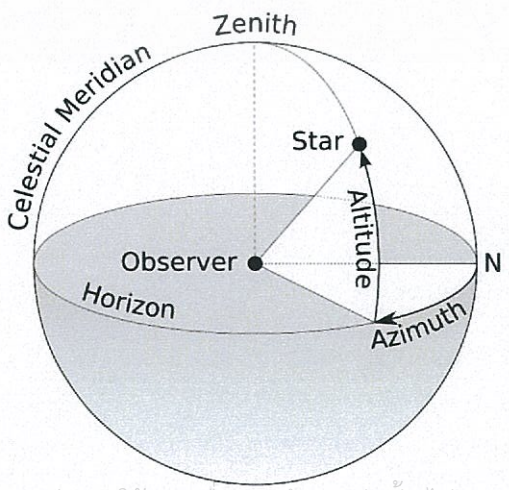
G_{sc} คือ ค่าคงที่สุริยะมีค่าเท่ากับ 1,353 วัตต์ต่อตารางเมตร

D คือ ลำดับวันในรอบปีเช่น d=1 คือวันที่ 1 ม.ค. หรือ d=365 คือวันที่ 31 ธ.ค.



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สุริยะตลอดปี

2.3 มุมซีนิท (Zenith Angle)



รูปที่ 2.5 แสดงแนวของมุมซีนิท (Zenith Angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมซีนิท (Zenith Angle) คือ มุมระหว่างแนวตั้งฉากกับระนาบและแนวลำแสงของดวงอาทิตย์หรือเป็นตำแหน่งบนทรงกลมท้องฟ้าที่อยู่ในแนวตรงเหนือศีรษะของผู้สังเกตพอดี

ระยะทางจากซีนิท (Zenith distance) คือ ระยะทางตามลมที่วัดจากจุดซีนิทตามวงกลมดิ่งจนถึงดาว มีค่าตั้งแต่ 0-90 องศา ในบางกรณีแทนที่เราจะบอกเป็นอัลติจูด เราอาจจะบอกเป็นระยะทางจากซีนิทแทนก็ได้

มุมอัลติจูด (Altitude Angle) คือ มุมเงยหรือมุมสูงเป็นระยะทางตามที่วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไปตามวงกลมดิ่งที่ผ่านดาวจนถึงดาวดวงนั้นมีค่าตั้งแต่ 0-90 องศา และมีเฉพาะค่าบวกเท่านั้น (นิยมบอกตำแหน่งดาวที่อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าเท่านั้น)

มุมอะซิมุท (Azimuth Angle) คือ เป็นค่าของมุมที่วัดจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออกตามแนวเส้นขอบฟ้าถึงวงกลมดิ่งที่ลากผ่านดาว การวัดค่าอะซิมุทจะมีค่าตั้งแต่ 0-360 องศา ปัจจุบันนิยมวัดได้ทั้งสองทิศ คือ ถ้าตำแหน่งดาวอยู่ทางซีกท้องฟ้าตะวันออกให้วัดมุมจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออกถึงวงกลมดิ่งที่ผ่านดาว เช่น ค่าอะซิมุทของดาว A เท่ากับ 160° E แต่ในกรณีที่ตำแหน่งของดาวอยู่ทางซีกท้องฟ้าตะวันตก ให้วัดมุมจากทิศเหนือไปทางตะวันตกถึงวงกลมดิ่งที่ผ่านดาว เป็นค่าอะซิมุทของดาว B เท่ากับ 130° w

2.4 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)

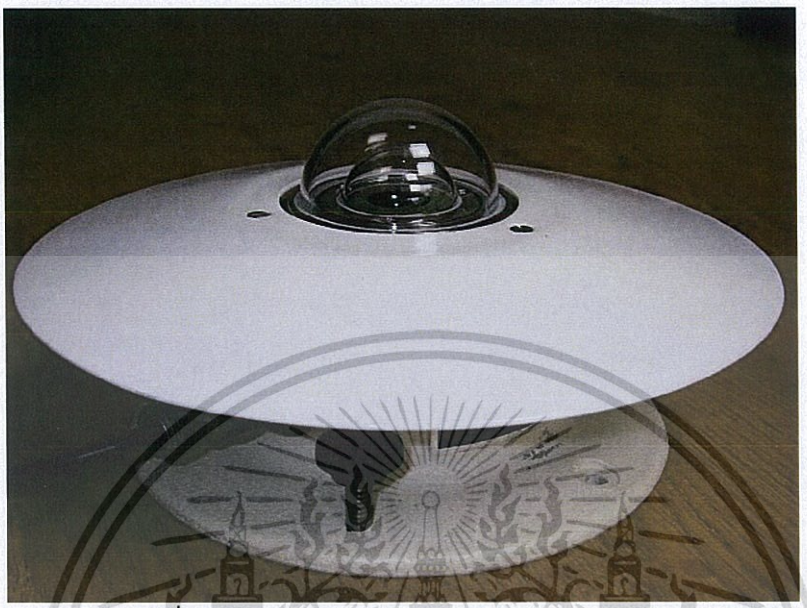
รูปที่ 2.6 ไพรานอมิเตอร์

ไพรานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดความเข้มแสงชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวรับแสง (light detector or receiver) ที่เป็นเทอร์โมไพล์(thermopile)หลายชุดต่ออนุกรมกัน ตัวรับแสงจะบรรจุอยู่ใต้โดมแก้วหรือควอทซ์ดังรูปที่ 2.6

โดมครึ่งทรงกลมปรกติมี 2 ชั้น ทำด้วยควอทซ์หรือแก้วพิเศษที่โปร่งใสต่อช่วงสเปคตรัมแสงอาทิตย์(ประมาณ 0.4-3 ไมครอน) โดมทำหน้าที่ป้องกันตัวรับแสงจากฝน ความชื้น ฝุ่น และลม (ซึ่งจะพาความร้อนไปจากตัวรับแสง ทำให้อุณหภูมิลดลงและแรงดันไฟฟ้าลดลง) และไม่ให้ตัวรับแสงเสียความร้อนไปเนื่องจากการพาและการแผ่รังสีความร้อน(ควอทซ์และแก้วทึบต่ออินฟราเรดแต่ทึบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกัน) เนื่องจากตัวรับแสงต้องวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าเท่านั้น จึงต้องป้องกันรังสีที่สะท้อนจากพื้นดินและสิ่งรอบด้าน โดยมีจาน(guard)สวมอยู่โดยรอบโดมกันรังสีที่สะท้อน ตัวไพรานอมิเตอร์จะมี สกรูปรับระดับโดยปรกติจะปรับให้ตัวรับแสงอยู่ในแนวราบ



รูปที่ 2.7 ไพรานอมิเตอร์แบบ Eppley precision

รูปที่ 2.7 เป็นไพรานอมิเตอร์ชนิดดีเช่น Eppley precision กลุ่มของ hot junction และ cold junction จะอยู่ใต้ผิวและสัมผัสกับผิวรับแสงที่ดูดแสงได้ต่างกันทำให้ผิวมีอุณหภูมิต่างกัน อุณหภูมิที่ต่างกันจะแปรตามความเข้มแสงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะอยู่ประมาณ 5-10 mV/cal.cm^2.min ดังนั้นการต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลอย่างอนุกรมเป็นทอร์โมไพล์ จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นและง่ายต่อการวัดเทอร์โมไพล์จะอยู่ใน housing โลหะซึ่งอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ และปิดกันความชื้นรวมทั้งมีสารดูดความชื้นใน housing โลหะ

2.4.1 คุณสมบัติของไพรานอมิเตอร์

ในการเลือกใช้ไพรานอมิเตอร์เราต้องสนใจคุณสมบัติต่อไปนี้

1. การตอบสนองโคไซน์
2. การเปลี่ยนแปลงของค่าปรับเทียบ
3. การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์
4. เวลาการตอบสนอง
5. ค่า zero point depression

2.4.2 การใช้ไพรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย

การวัดรังสีกระจายจะใช้ไพรานอมิเตอร์ที่วัดรังสีรวมแต่มีเครื่องบังรังสีตรงที่กันไม่ให้รังสีตรงไปตกกระทบผิวรับแสง เครื่องบังรังสีตรงมี 2 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

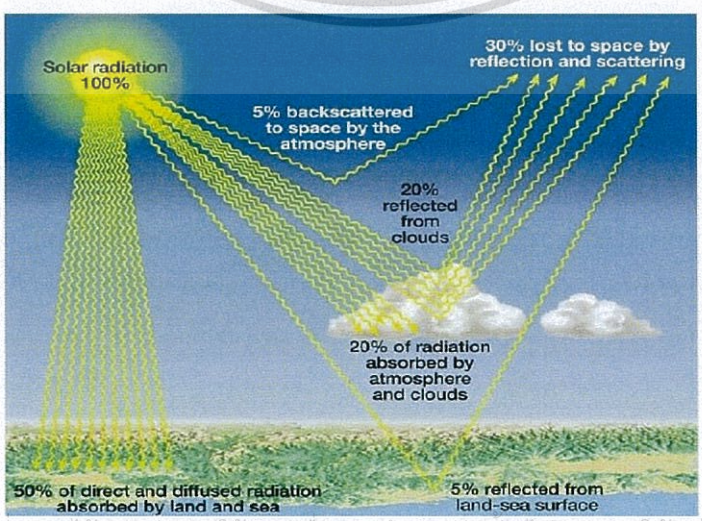
รูปที่ 2.8 ไพรานอมิเตอร์ที่ติดตั้งวงแหวนบังแสง

1. แผ่นวงกลมบังแสง (shading disc) เป็นแผ่นวงกลมเล็กที่กั้นไม่ให้รังสีตรงตกกระทบผิวรับแสงขนาดของชิ้นวงกลมต้องทำให้เกิดเงาพอดีกับขนาดผิวรับแสง เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของรังสีตลอดวัน ชิ้นวงกลมจะต้องต่อกับเครื่องมือตามแสงอาทิตย์ เงาของแผ่นวงกลมจะตกบนผิวรับแสงตลอดวัน รังสีที่ตกบนผิวรับแสงจึงเป็นรังสีกระจาย

2. วงแหวนบังแสง (Shading ring) เป็นแถบโลหะโค้ง ซึ่งวางให้เงาตกบนผิวรับแสง วงแหวนจะวางเอียงให้ระนาบของวงแหวนเท่ากับเส้นรุ้งของที่ตั้งและขยับตามฤดูกาลให้เงาของวงแหวนตกบนผิวรับแสงเสมอดังรูปที่ 2.8 นอกจากบังรังสีตรงแล้วยังบังรังสีกระจายบางส่วนไม่ให้ตกบนผิวรับแสงด้วยจึงต้องมีค่าชดเชย (correction factor) ปรับค่าที่อ่านได้จากไพรานอมิเตอร์ค่าชดเชยนี้ขึ้นกับขนาดของวงแหวนเส้นรุ้งที่ตั้งและฤดูกาล

2.5 รังสีประเภทต่างๆ

เนื่องจากการวัดรังสีของไพรานอมิเตอร์นั้นเกี่ยวข้องกับรังสีของแสงอาทิตย์โดยตรง และรังสีแต่ละชนิดจะส่งผลกับไพรานอมิเตอร์ต่างกัน ซึ่งรังสีนั้นจะแบ่งออกได้หลายลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รังสีในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 รังสีตรง (Beam or Direct radiation)

รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์มีทิศทางที่แน่นอนมาตกกระทบยังผิวรับแสง

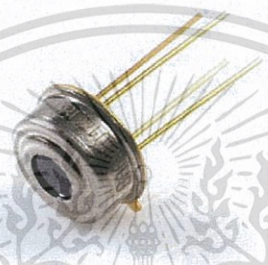
2.5.2 รังสีกระจาย (Diffuse radiation)

รังสีของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากเมฆหรือฝุ่นละอองในอากาศแล้วมาตกกระทบที่ผิวรับแสง

2.5.3 รังสีรวม (Total or Global radiation)

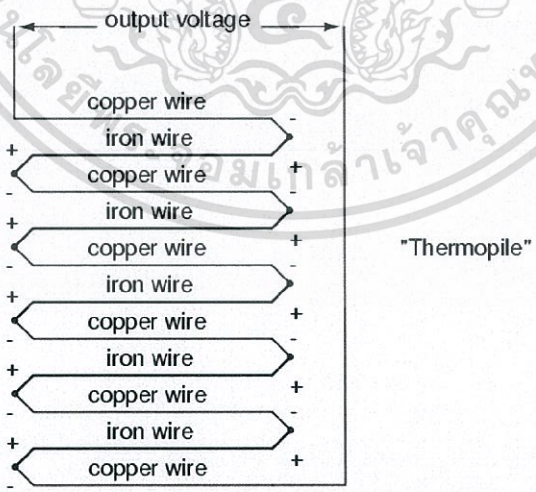
ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบบนผิวรับแสง

2.6 เทอร์โมไพล์ (Thermopile)



รูปที่ 2.10 เทอร์โมไพล์ (Thermopile)

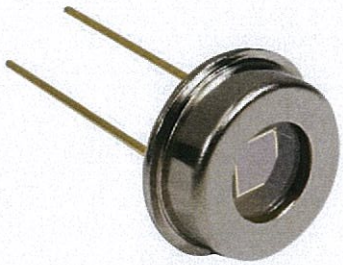
เทอร์โมไพล์เป็นอุปกรณ์วัดความเข้มแสงชนิดหนึ่งดังรูปที่ 2.10 ที่เปลี่ยนความร้อนมาเป็นไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลหลายชนิดต่ออนุกรมกันดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมไพล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โฟโต้ไดโอด (Photodiode)



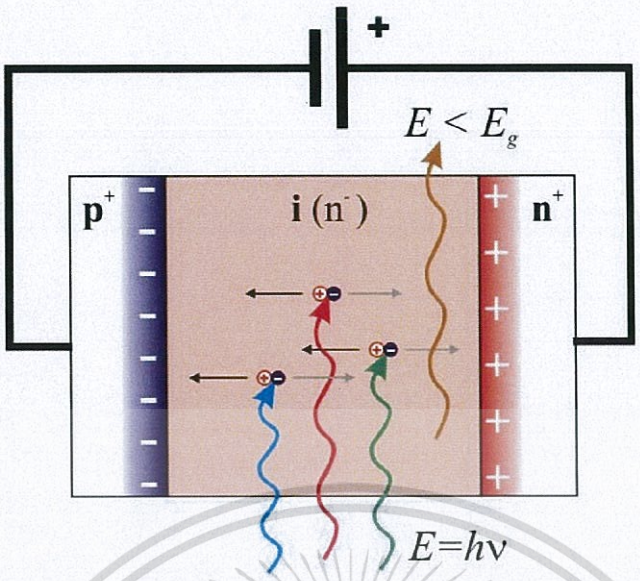
รูปที่ 2.12 โฟโต้ไดโอด

โฟโต้ไดโอดเป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่งดังรูปที่ 2.12 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโต้ไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่ตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรดในการใช้งานจะต้องต่อโฟโต้ไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ

รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์โฟโต้ไดโอด

ตัวลูกศรเป็นสัญลักษณ์แทนสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งเป็นขั้วอาโนด(ขั้วบวก)ของไดโอด ลูกศรจะชี้ในทิศทางที่โฮลเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.13 ส่วนขีดคั่นเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N ซึ่งเป็นขั้วแคโทด(ขั้วลบ) ดังนั้นเราจะสามารถพิจารณาว่าไดโอดถูกไบอัสตรงหรือไบอัสกลับได้ง่ายๆ โดยดูว่าถ้าขั้วอาโนดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่าแคโทดแล้วไดโอดจะถูกไบอัสตรง แต่ถ้าขั้วอาโนดมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกน้อยกว่าขั้วแคโทดไดโอดจะถูกไบอัสกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของโฟโต้ไดโอด

รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของโฟโต้ไดโอดนั้นต้องต่อในลักษณะไบอัสกลับ จะมีความต้านทานในตัวโฟโต้ไดโอดสูงมาก ตัวโฟโต้ไดโอดจึงไม่นำกระแสอาจมีเพียงกระแสรั่วไหลที่เรียกว่ากระแสมืด ไหลผ่านเล็กน้อย เมื่อมีแสงมาตกกระทบตรงรอยต่อ แสงที่ตกกระทบถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานโฟตอน ทำให้ค่าดีพลีชั่นรีจิน (Depletion Region) ตรงรอยต่อพีเอ็นแคบลง หรือค่าความต้านทานในตัวโฟโต้ไดโอดต่ำลงมาก เกิดกระแสไบอัสกลับไหลผ่านตัวโฟโต้ไดโอดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การคำนวณหาประสิทธิภาพของไดโอด

ในโครงงานนี้เราได้เลือกใช้โฟโต้ไดโอด 4 ชนิดและโฟโต้ไดโอดที่ใช้ในโครงงานพิเศษที่แล้วมาร่วมพิจารณาด้วยรวมเป็น 5 ชนิด คือ BPW21R, S1223, VTB8440BH, VTB5041BH, S5973 โดยเราจะคำนวณค่า Signal to noise ratio (SNR) ถ้า SNR มีค่ามากแสดงว่าค่าสัญญาณรบกวนจะน้อยโดยมีการคำนวณดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าข้อมูลของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิด

Type	Sensitive Area (mm^2)	Responsivity (A/W)	NEP ($W/Hz^{1/2}$)	Price (BTH)
BPW21R	7.5	0.32	$7.5x10^{-14}$	350
S1223	6.6	0.6	$9.4x10^{-15}$	840
VTB8440BH	5.16	0.2	$1.1x10^{-13}$	95.70
VTB5041BH	5.16	0.23	$1.3x10^{-14}$	812
S5973	0.12	0.52	$1.5x10^{-15}$	1151

3.1.1 Signal

$I_{BPW21R} = (1000\ W/m^2) \times (7.5 \times 10^{-6}\ m^2) \times (0.32\ A/W) = 2.4 \times 10^{-3}$ A

$I_{S1223} = (1000\ W/m^2) \times (6.6 \times 10^{-6}\ m^2) \times (0.6\ A/W) = 3.96 \times 10^{-3}$ A

$I_{VTB8440BH} = (1000\ W/m^2) \times (5.16 \times 10^{-6}\ m^2) \times (0.2\ A/W) = 1.032 \times 10^{-3}$ A

$I_{VTB5041BH} = (1000\ W/m^2) \times (5.16 \times 10^{-6}\ m^2) \times (0.23\ A/W) = 1.1868 \times 10^{-3}$ A

$I_{S5973} = (1000\ W/m^2) \times (0.12 \times 10^{-6}\ m^2) \times (0.52\ A/W) = 6.24 \times 10^{-3}$ A

3.1.2 Noise

$I_{BPW21R} = (0.32\ A/W) \times (7.5 \times 10^{-14}\ A/Hz^{1/2}) = 2.4 \times 10^{-14}$ A

$I_{S1223} = (0.6\ A/W) \times (9.4 \times 10^{-15}\ A/Hz^{1/2}) = 5.64 \times 10^{-15}$ A

$I_{VTB8440BH} = (0.2\ A/W) \times (1.1 \times 10^{-13}\ A/Hz^{1/2}) = 2.2 \times 10^{-14}$ A

$I_{VTB5041BH} = (0.23\ A/W) \times (1.3 \times 10^{-14}\ A/Hz^{1/2}) = 2.99 \times 10^{-15}$ A

$I_{S5973} = (0.52\ A/W) \times (1.5 \times 10^{-15}\ A/Hz^{1/2}) = 7.8 \times 10^{-16}$ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 Signal to Noise Ratio

SNR (I_{BPW21R}) = $(2.4 \times 10^{-3}) / (2.4 \times 10^{-14})$ = 1×10^{11}

SNR (I_{S1223}) = $(3.96 \times 10^{-3}) / (5.64 \times 10^{-15})$ = 7.02×10^{11}

SNR ($I_{VTB8440BH}$) = $(1.032 \times 10^{-3}) / (2.2 \times 10^{-14})$ = 4.69×10^{10}

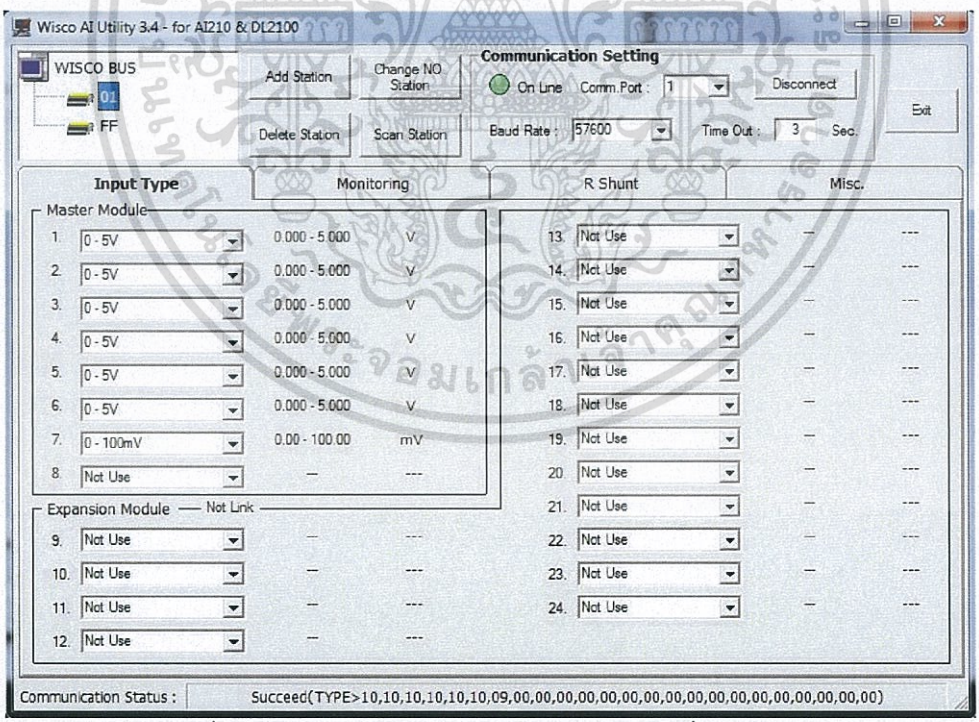
SNR ($I_{VTB5041BH}$) = $(1.1868 \times 10^{-3}) / (2.99 \times 10^{-15})$ = 3.97×10^{11}

SNR (I_{S5973}) = $(6.24 \times 10^{-3}) / (7.8 \times 10^{-16})$ = 8×10^{10}

จากการคำนวณค่า SNR เราจะเห็นได้ว่าโฟโต้ไดโอดรุ่น S1223, VTB5041BH และ OSD15-5T จะมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างต่ำมาก ซึ่งค่า SNR ที่เราคำนวณนี้เป็นค่าทางทฤษฎีเพื่อพิจารณาความไวในการตอบสนองต่อแสงของไดโอดเท่านั้น เพื่อใช้เป็นปัจจัยในการพิจารณาเลือกตัวตรวจรับแสงที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจรับแสงของไพรานอมิเตอร์

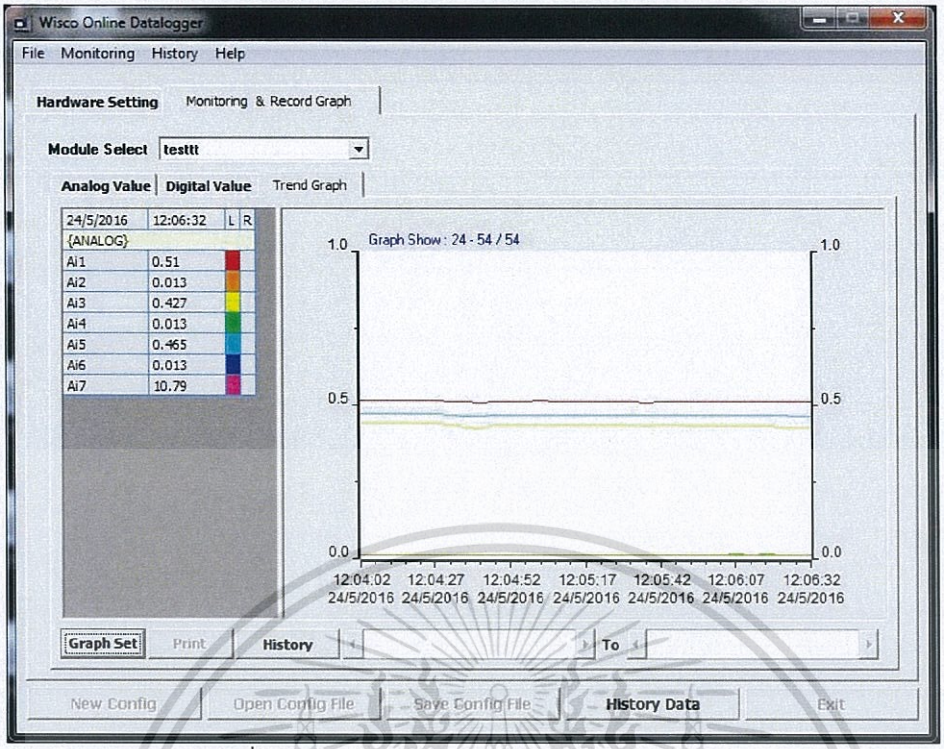
3.2 การเก็บข้อมูล

การทดลองนี้ใช้เครื่องเก็บข้อมูลเป็น DATALOGGER ซึ่งจะทำการต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม AI Utility 3.4 ในการตรวจสอบการเชื่อมต่อของสายสัญญาณจากไพรานอมิเตอร์กับ DATALOGGER เมื่อมีการเชื่อมต่อครบทุกตัวจะใช้โปรแกรม Wisco Online Datalogger ในการบันทึกค่าทุก 5 วินาที ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น.



รูปที่ 3.2.1 หน้าจอแสดงผลการตรวจสอบการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

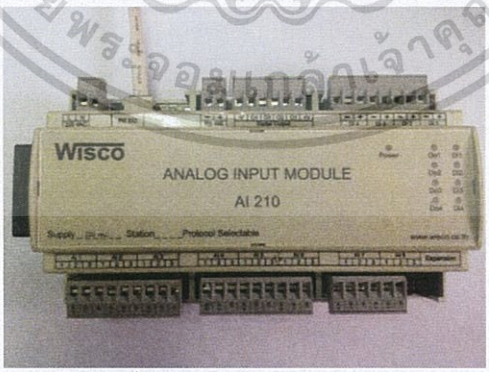


รูปที่ 3.2.2 หน้าจอแสดงผลขณะทำการบันทึกค่า

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

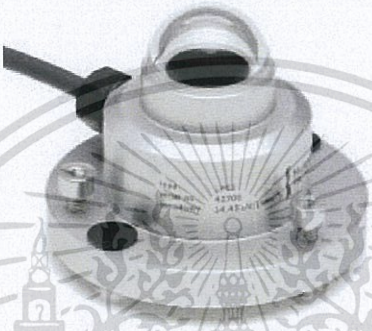
1. DATA LOGGER
2. Computer
3. PYRANOMETER(ตัวมาตราฐาน)
4. SOLID STATE PYRANOMETER ทั้ง 5 ชนิด



รูปที่ 3.3.1 DATA LOGGER

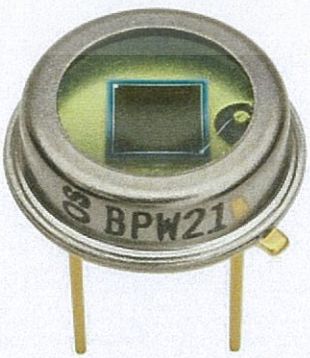
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3.2 Computer



รูปที่ 3.3.3 PYRANOMETER (ตัวมาตราฐาน)

รูปที่ 3.3.4.1 โฟโต้ไดโอดชนิด S1223



รูปที่ 3.3.4.2 โฟโต้ไดโอดชนิด BPW21R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3.4.3 โฟโต้ไดโอดชนิด VTB8440BH

รูปที่ 3.3.4.4 โฟโต้ไดโอดชนิด VTB5041BH

รูปที่ 3.3.4.5 โฟโต้ไดโอดชนิด S5973

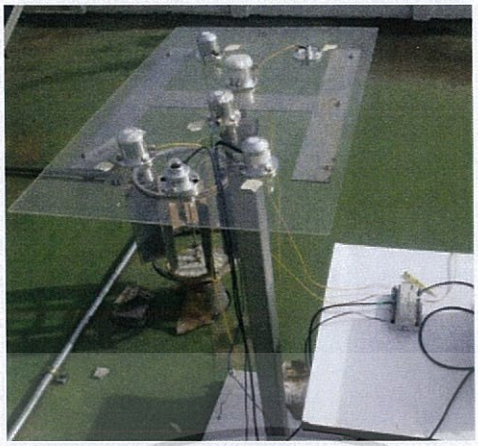
3.4 วิธีการทดลอง

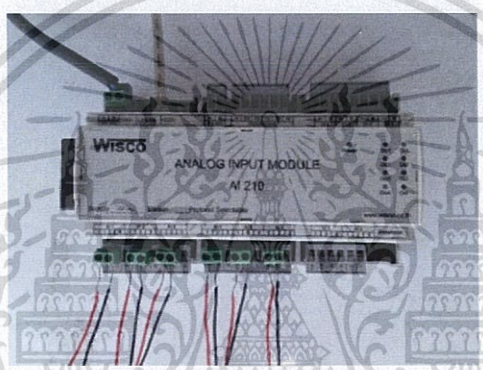
การทดลองจะเริ่มจากการนำตัวไพรานอมิเตอร์ที่ทำจากโฟโต้ไดโอดทั้ง 5 ชนิด และไพรานอมิเตอร์ตัวมาตราฐานไปติดตั้งเข้ากับฐาน โดยจะทำมุมขนานกับแนวระดับ

รูปที่ 3.4.1 ติดตั้งไพรานอมิเตอร์เข้ากับฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

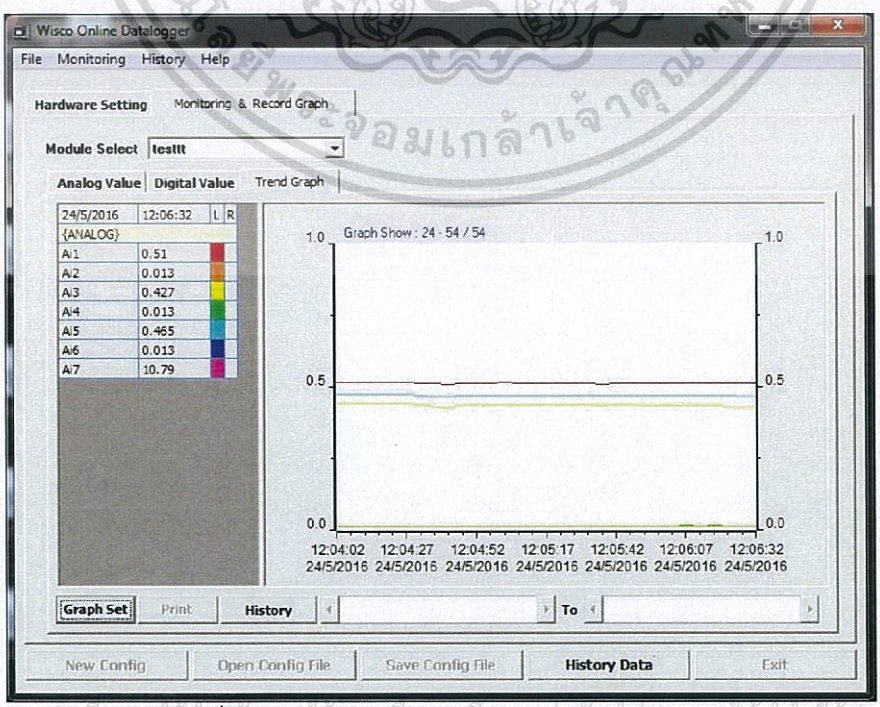
จากนั้นจะทำการต่อไพรานอมิเตอร์เข้ากับตัวบันทึกผล(DATA LOGGER)





รูปที่ 3.4.2 ต่อไพรานอมิเตอร์เข้ากับตัวบันทึกผล(DATA LOGGER)

โดยตัวบันทึกผล(DATA LOGGER)จะต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์และเปิดโปรแกรมเพื่อทำการบันทึกค่า



รูปที่ 3.4.3 หน้าจอแสดงผลขณะทำการบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลอง

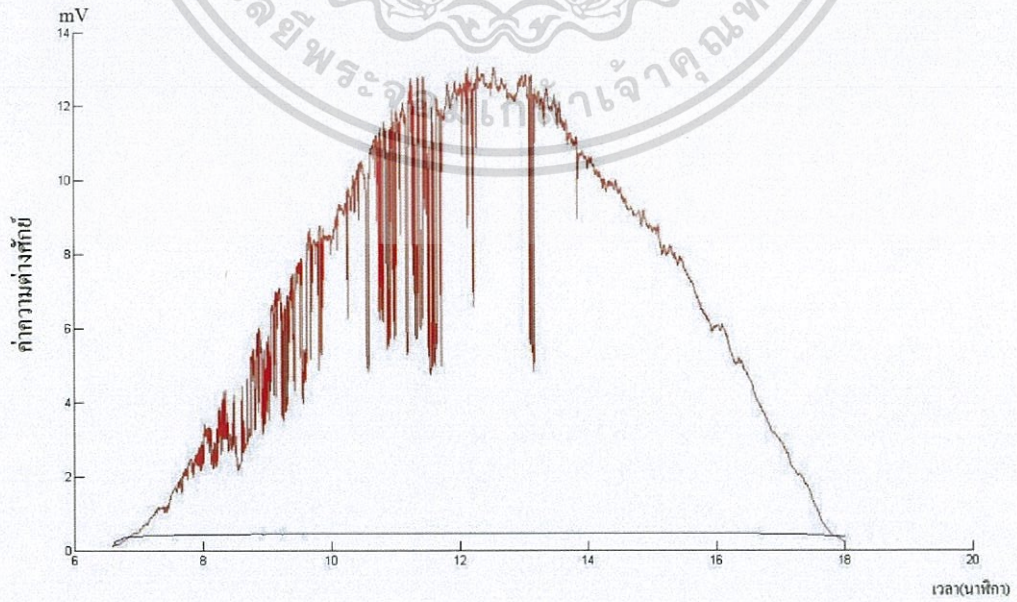
ผลการทดลองที่ได้นี้เป็นการนำผลของโฟโต้ไดโอดแต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกันกับค่าตัวมาตราฐานผ่านกราฟ โดยโฟโต้ไดโอดทั้ง 5 ชนิดได้แก่

1. โฟโต้ไดโอดชนิด VTB8440BH
2. โฟโต้ไดโอดชนิด S5973
3. โฟโต้ไดโอดชนิด BPW21R
4. โฟโต้ไดโอดชนิด VTB5041BH
5. โฟโต้ไดโอดชนิด S1223

โดยเวลาที่ทำการบันทึกค่าจะเริ่มตั้งแต่ 6.00 น.-18.00 น. บันทึกค่าทุก 5 วินาที ซึ่งผลการทดลองที่ได้ในช่วง 17 วัน ทำให้รู้ว่าเกิดปัญหาขึ้นกับการทดลองโดยดูการเปรียบเทียบในกราฟ โฟโต้ไดโอดแต่ละชนิดเมื่อถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่งผลที่ได้ในเวลาต่อมาจะค่อนข้างคงที่ แม้ว่าแสงอาทิตย์จะมีความเข้มลดลง ผลที่ได้ก็จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากเท่ากับตัวมาตราฐาน ถ้าดูจากกราฟจะเห็นความแตกต่างชัดเจน

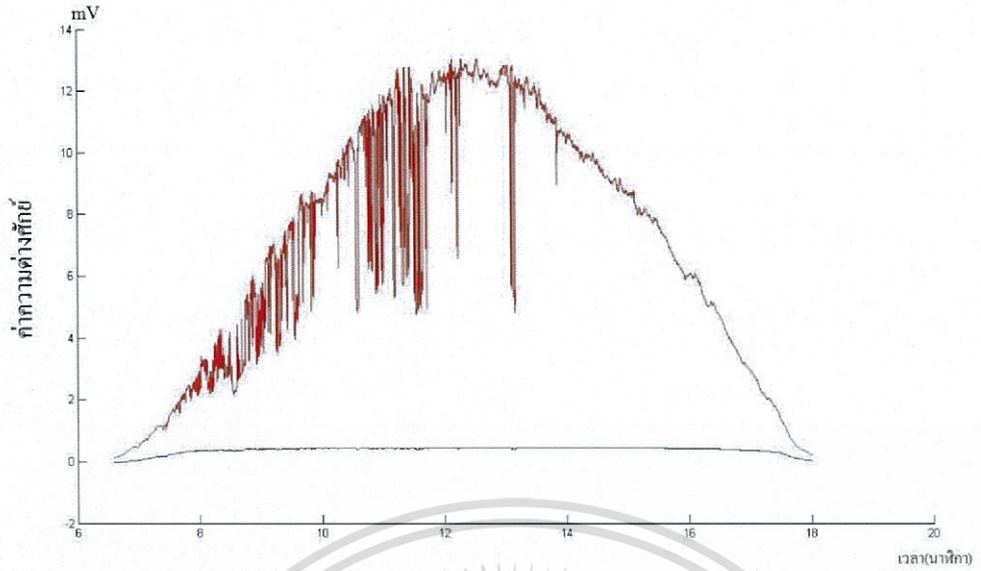
รายละเอียดของกราฟมีดังนี้

1. แกน Y แสดงค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ หน่วย mV
2. แกน X แสดงช่วงเวลาที่ทำการบันทึกค่าตั้งแต่ 6.00 น. - 18.00 น.
3. กราฟเส้นสีแดงแสดงค่าของไพรานอมิเตอร์ตัวมาตราฐาน
4. กราฟเส้นสีน้ำเงินแสดงค่าของไพรานอมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

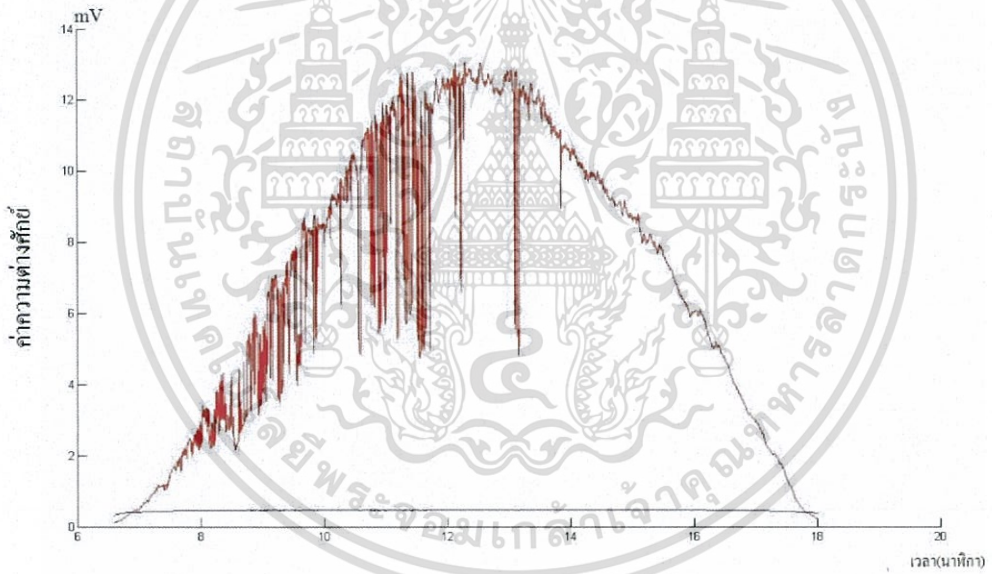


รูปที่ 4.1.1 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

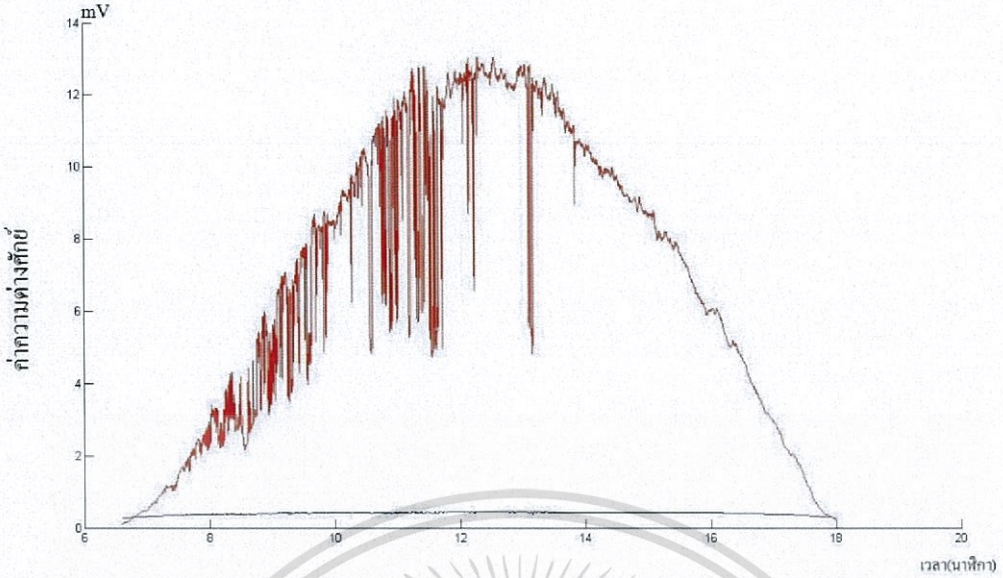


รูปที่ 4.1.2 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 1

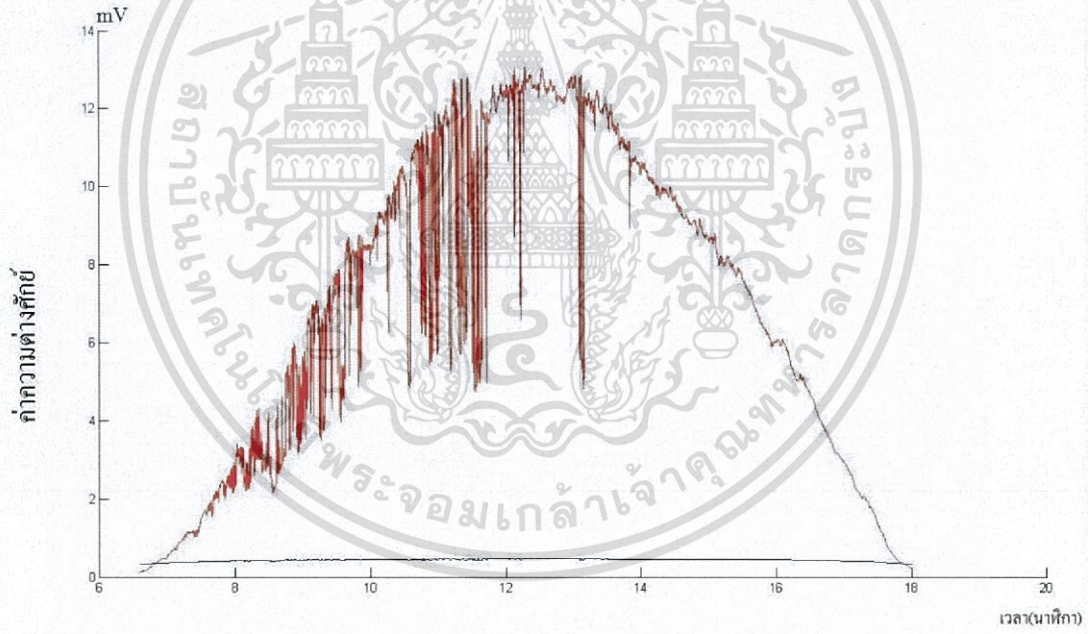


รูปที่ 4.1.3 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

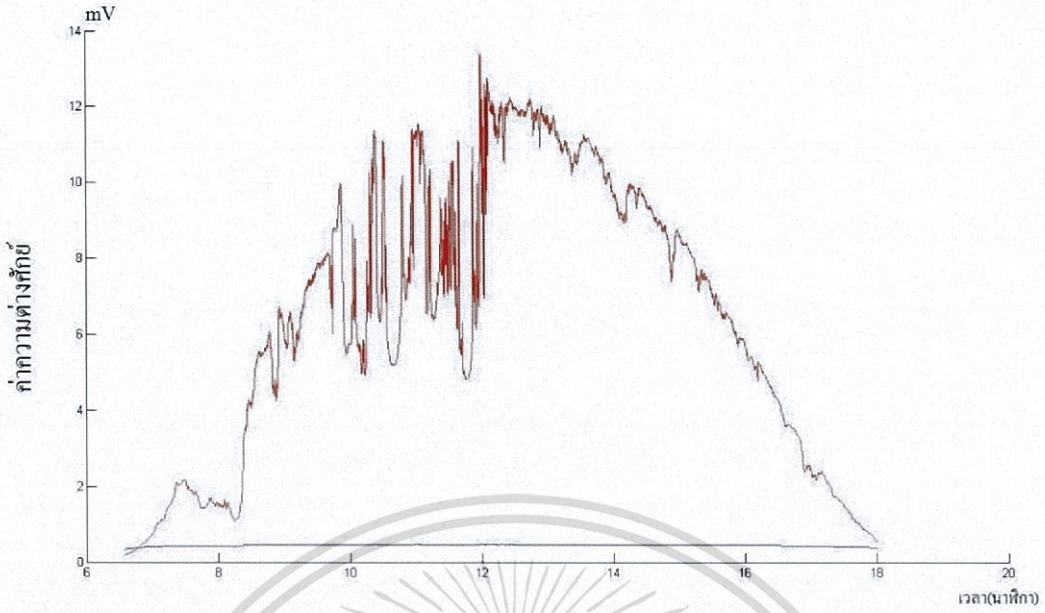


รูปที่ 4.1.4 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 1

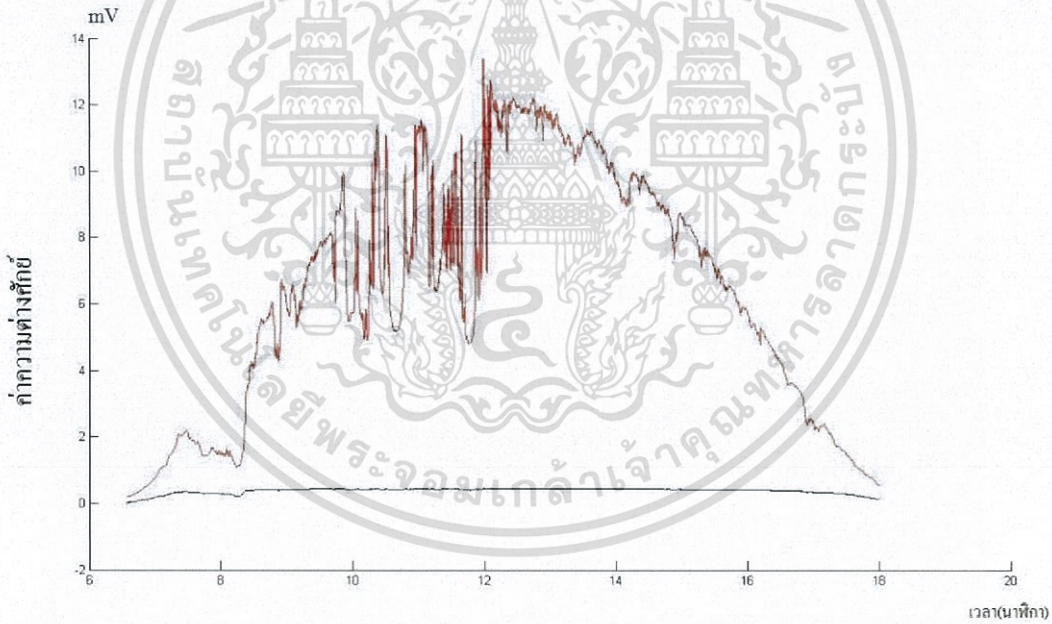


รูปที่ 4.1.5 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

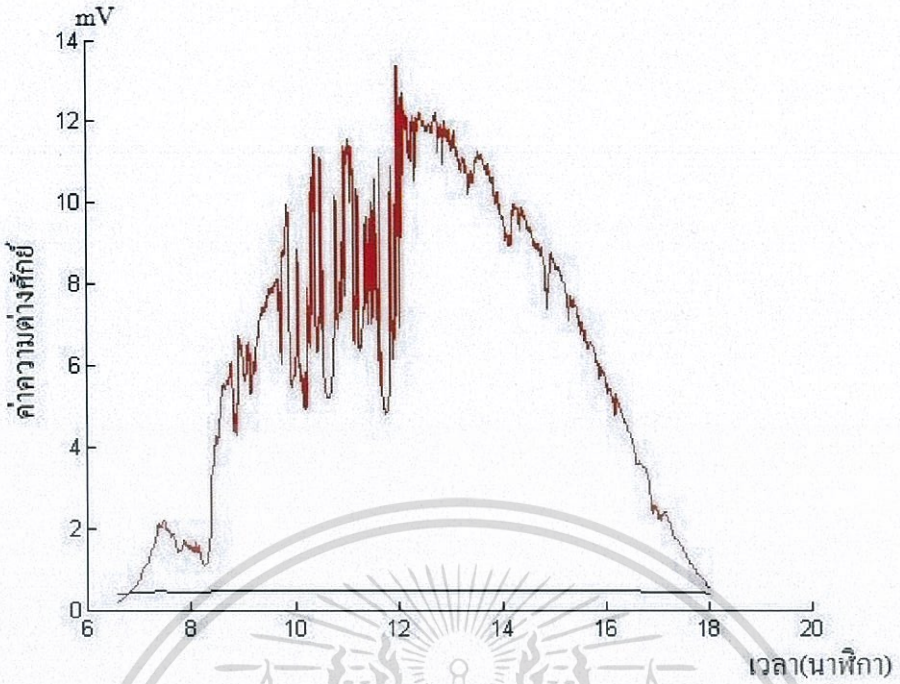


รูปที่ 4.1.6 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 2

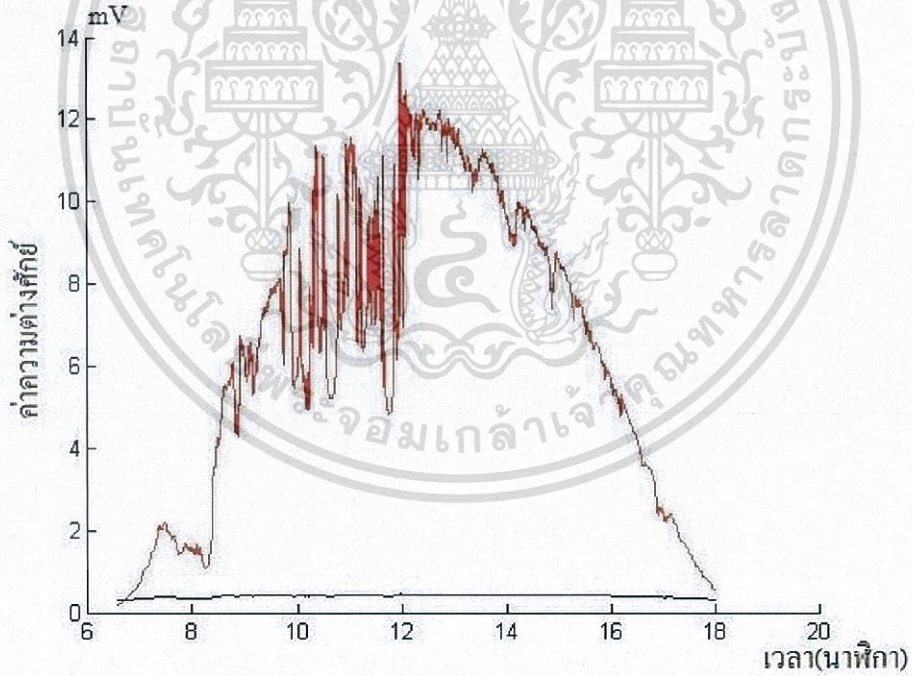


รูปที่ 4.1.7 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973 วันที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

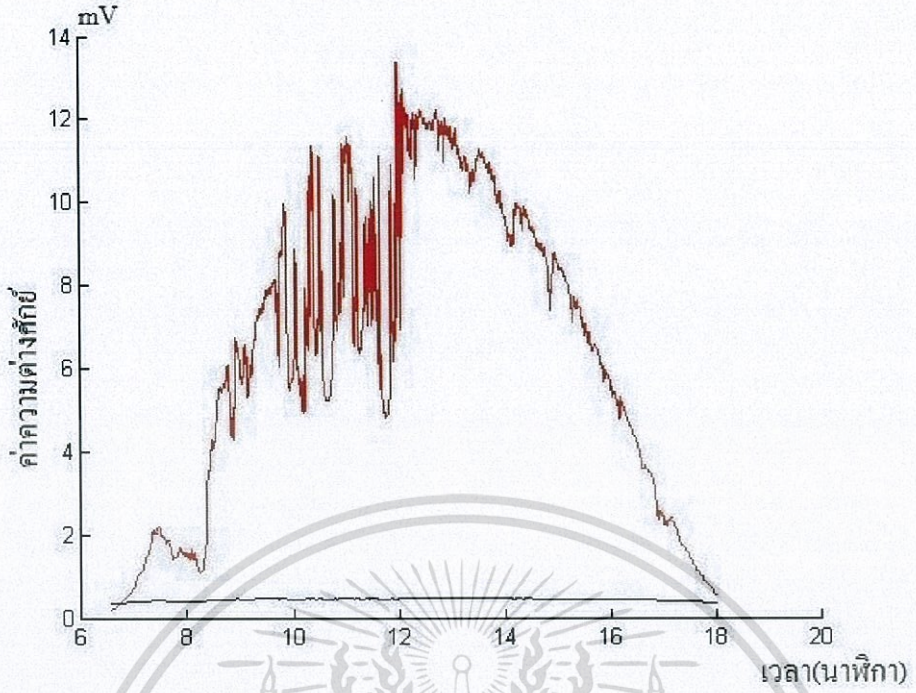


รูปที่ 4.1.8 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 2

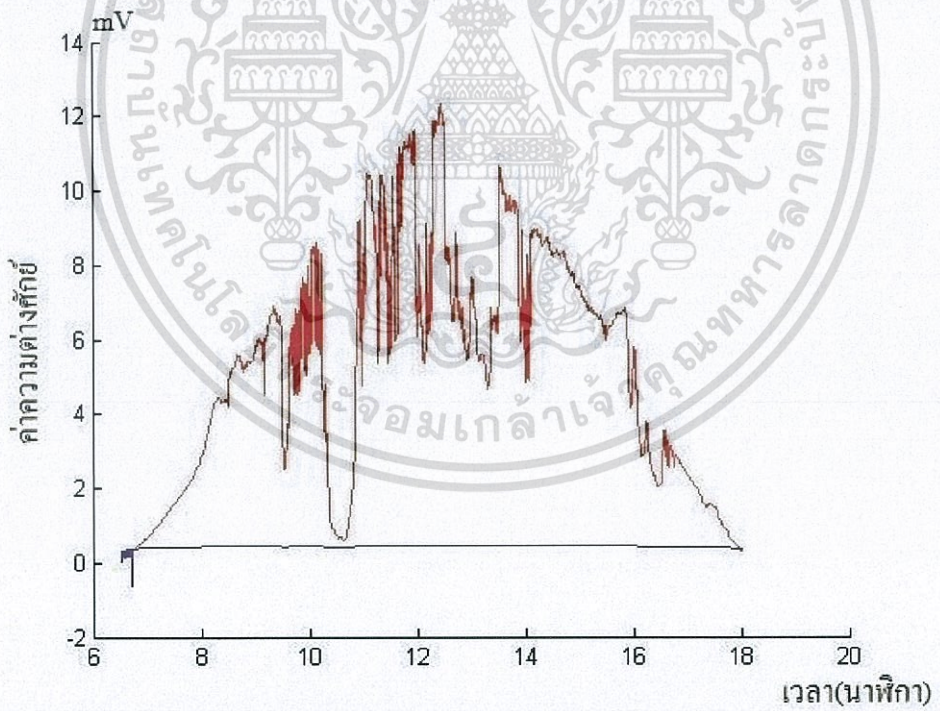


รูปที่ 4.1.9 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

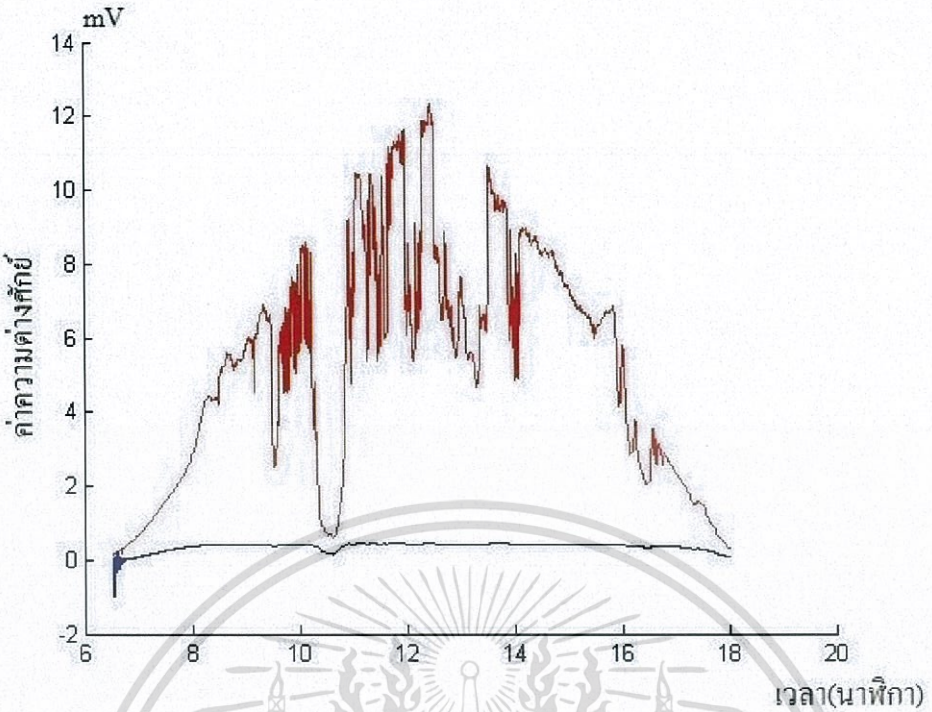


รูปที่ 4.1.10 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 2

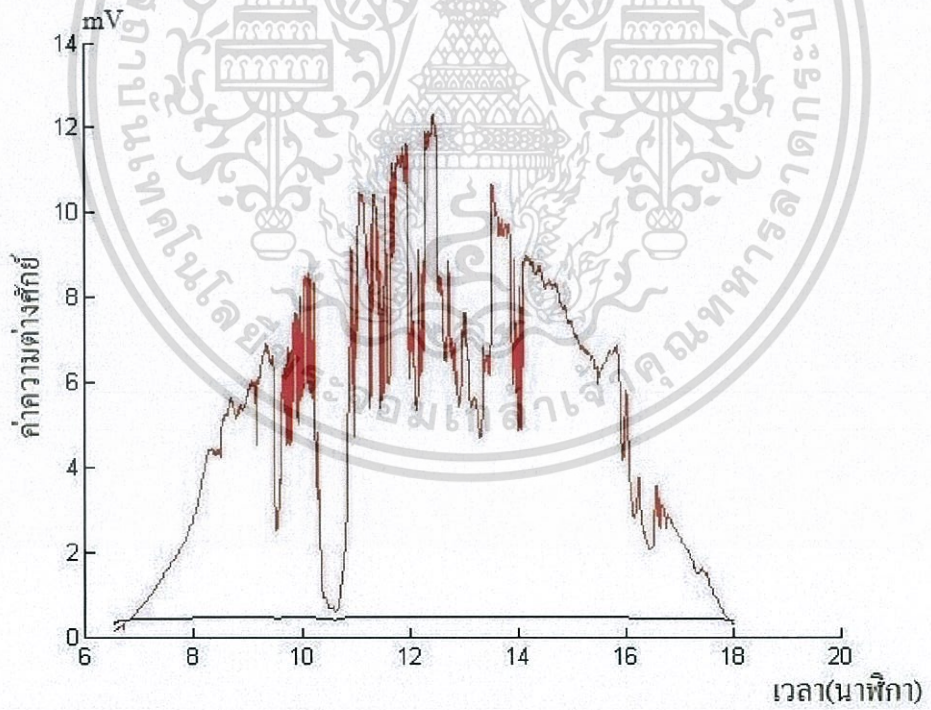


รูปที่ 4.1.11 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

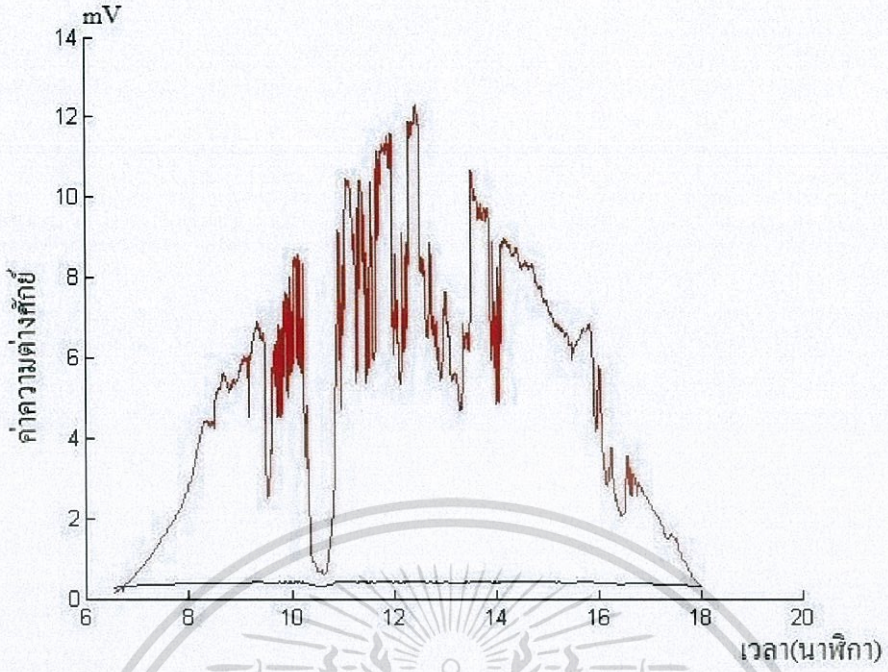


รูปที่ 4.1.12 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973 วันที่ 3

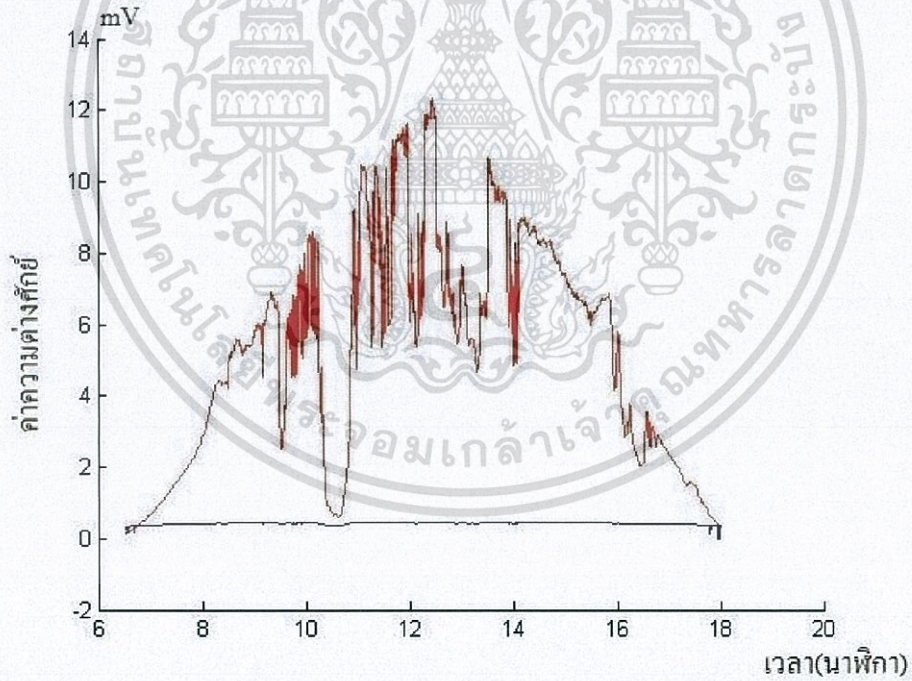


รูปที่ 4.1.13 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

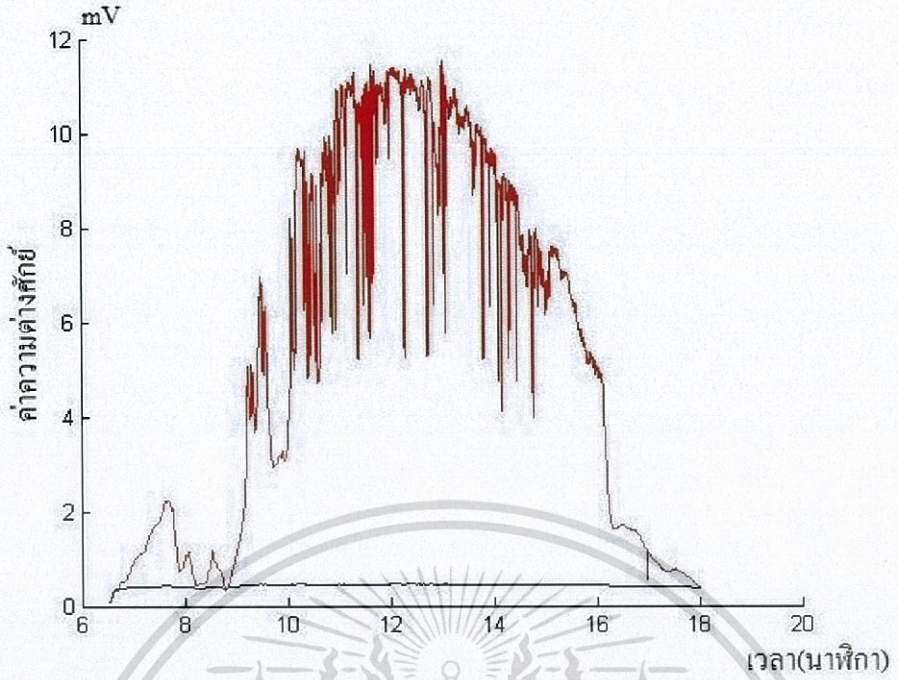


รูปที่ 4.1.14 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 3

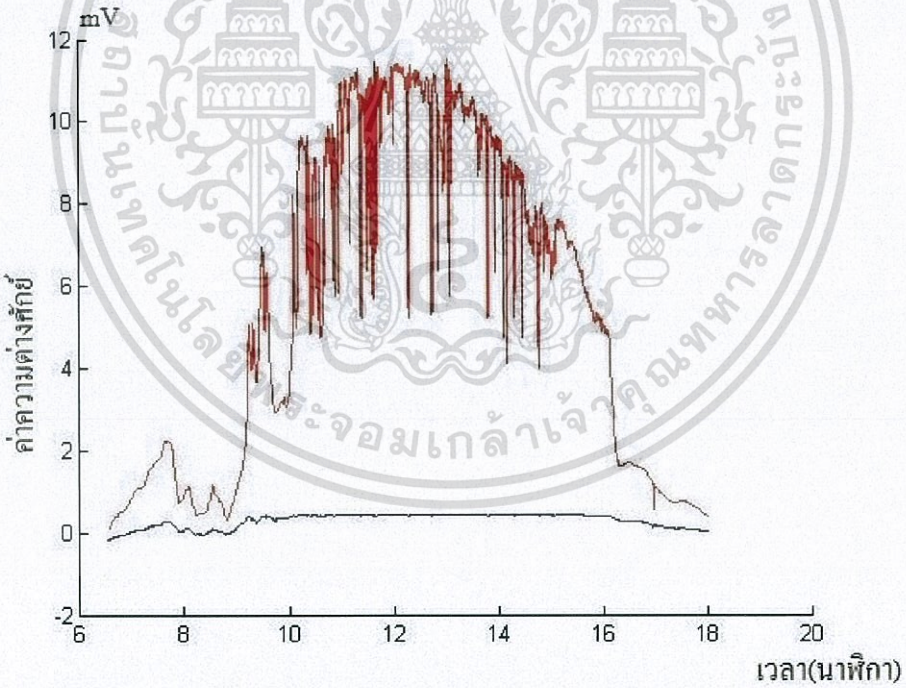


รูปที่ 4.1.15 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

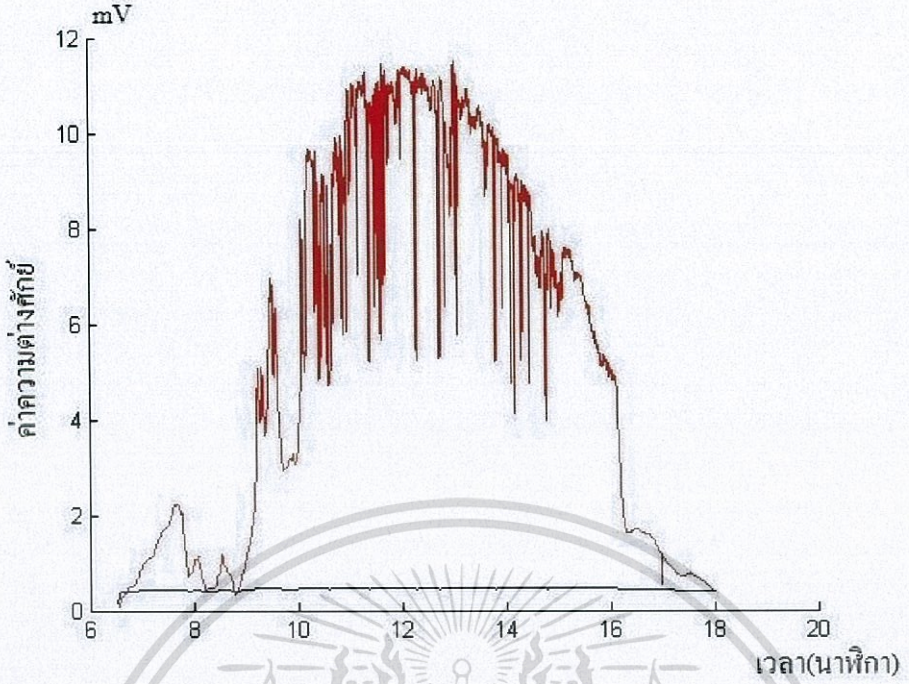


4.1.16 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 4

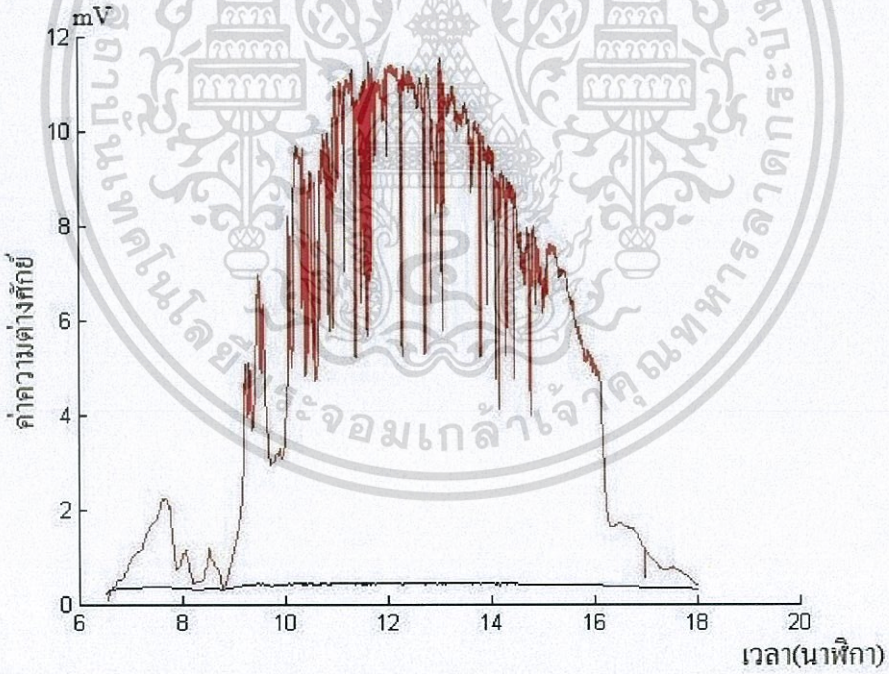


4.1.17 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

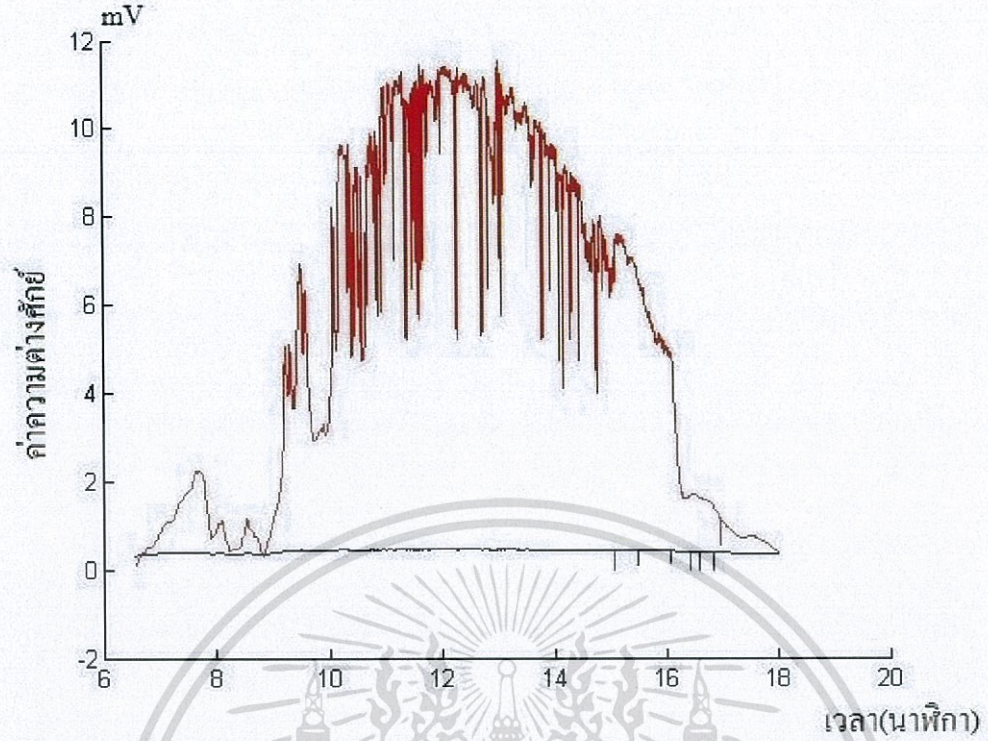


4.1.18 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 4

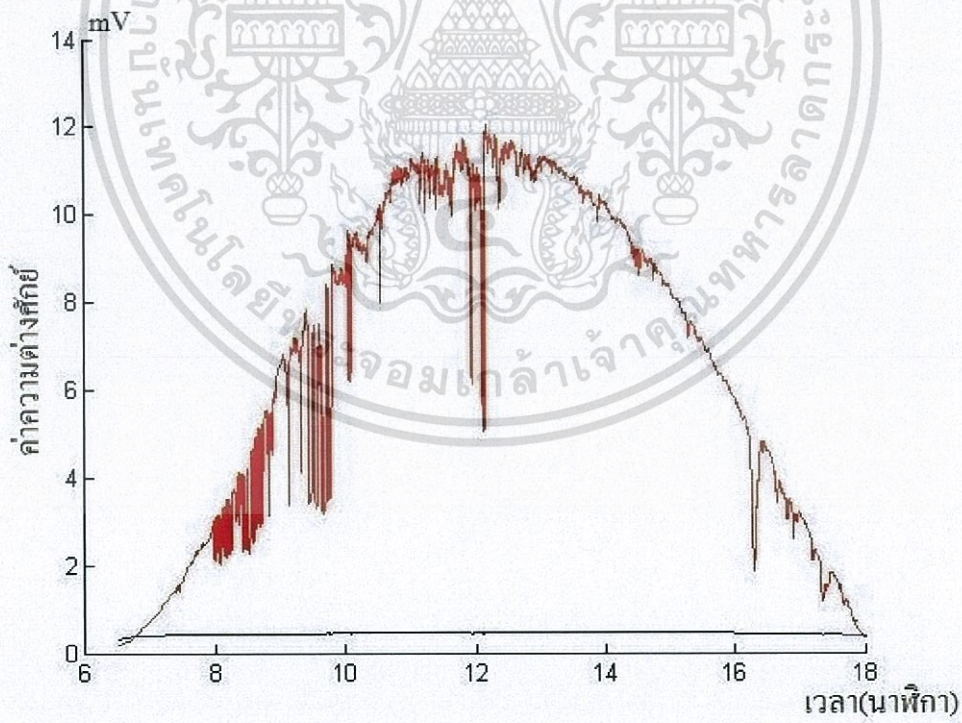


4.1.19 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

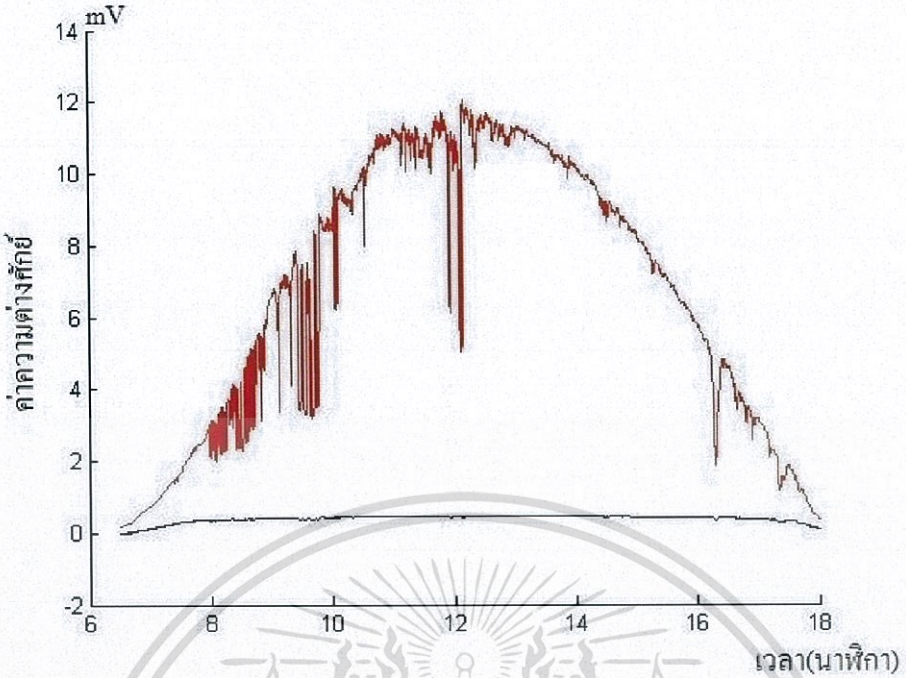


4.1.20 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 4

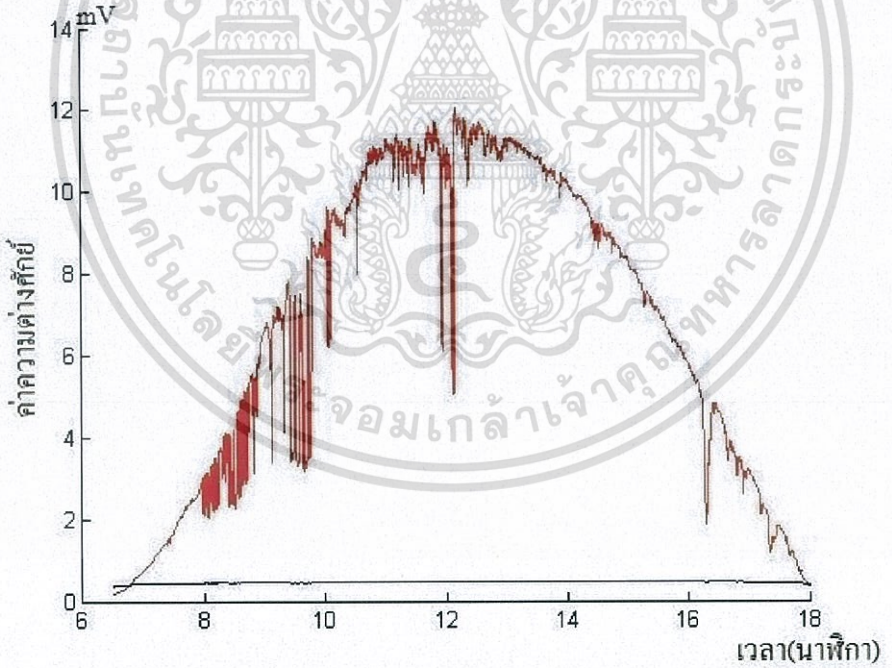


4.1.21 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

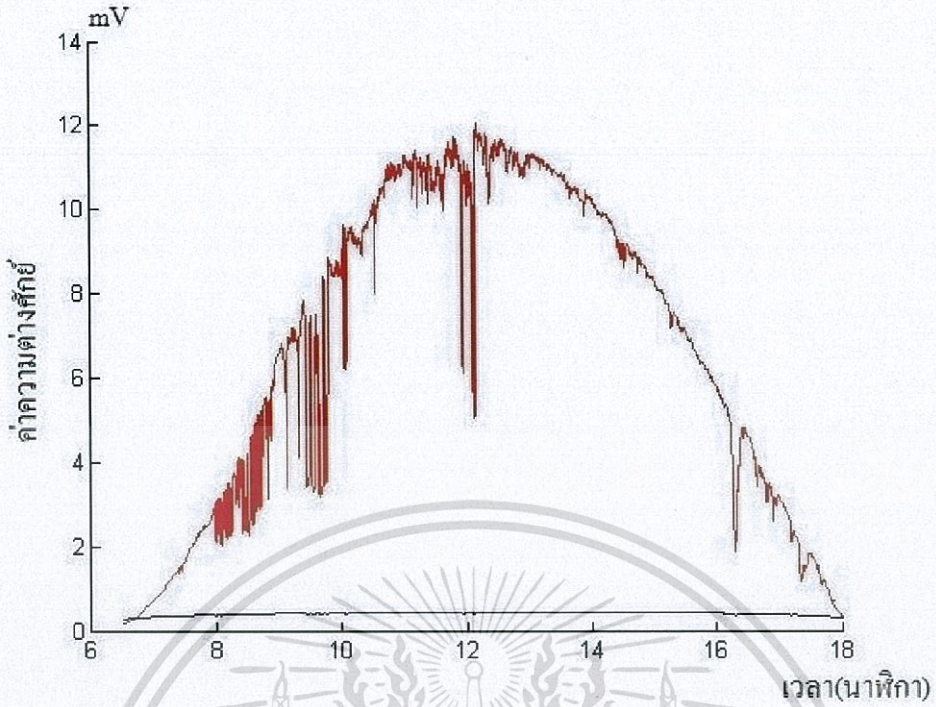


4.1.22 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 5

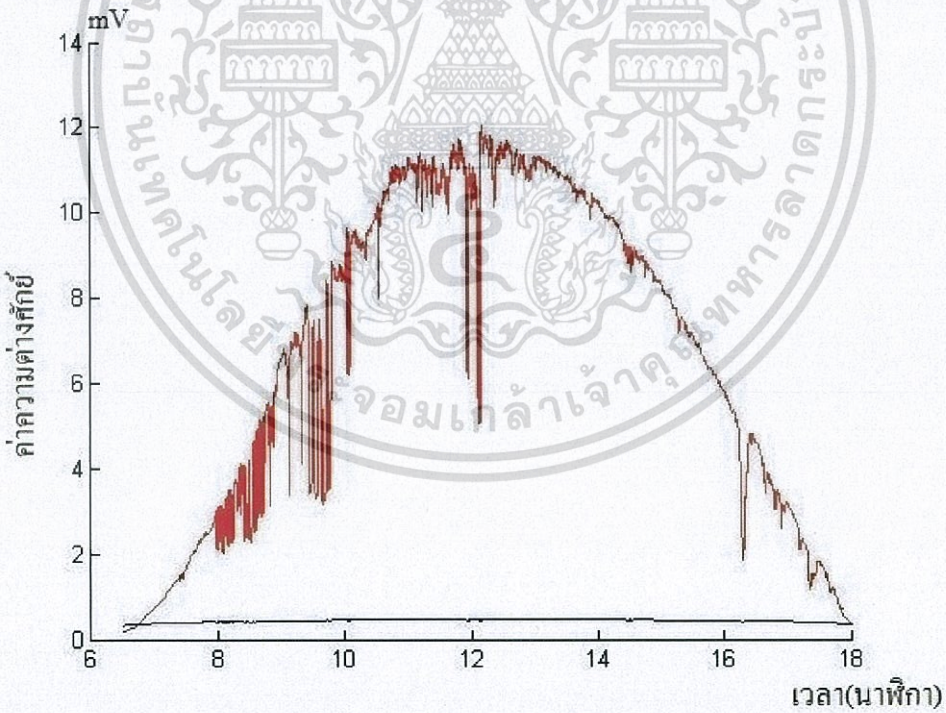


4.1.23 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

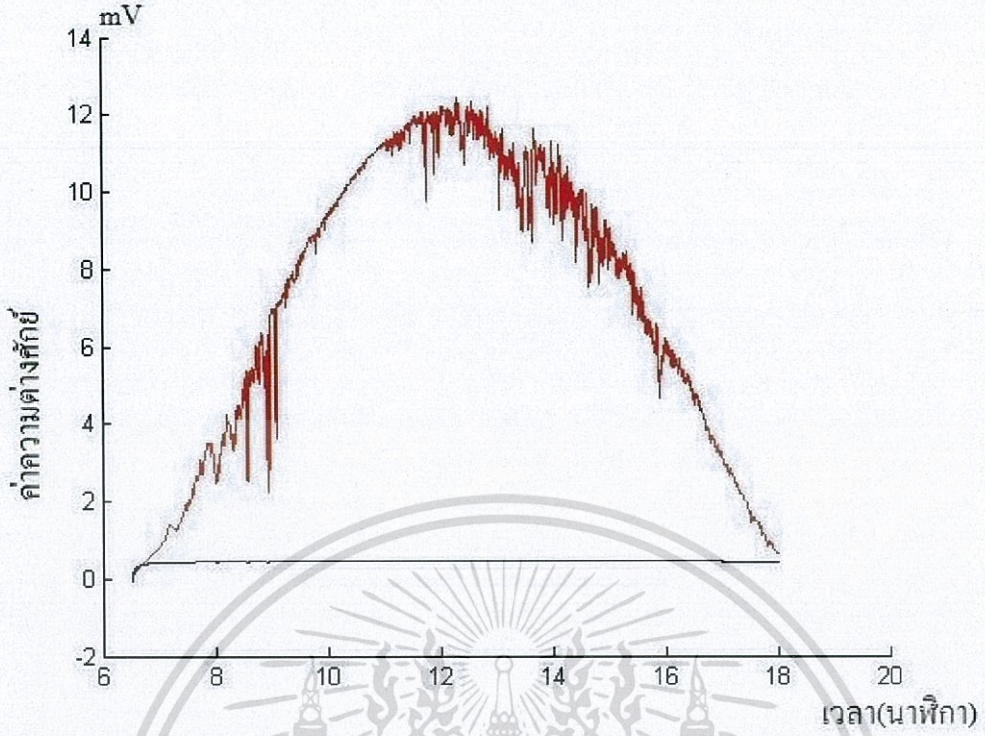


4.1.24 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 5

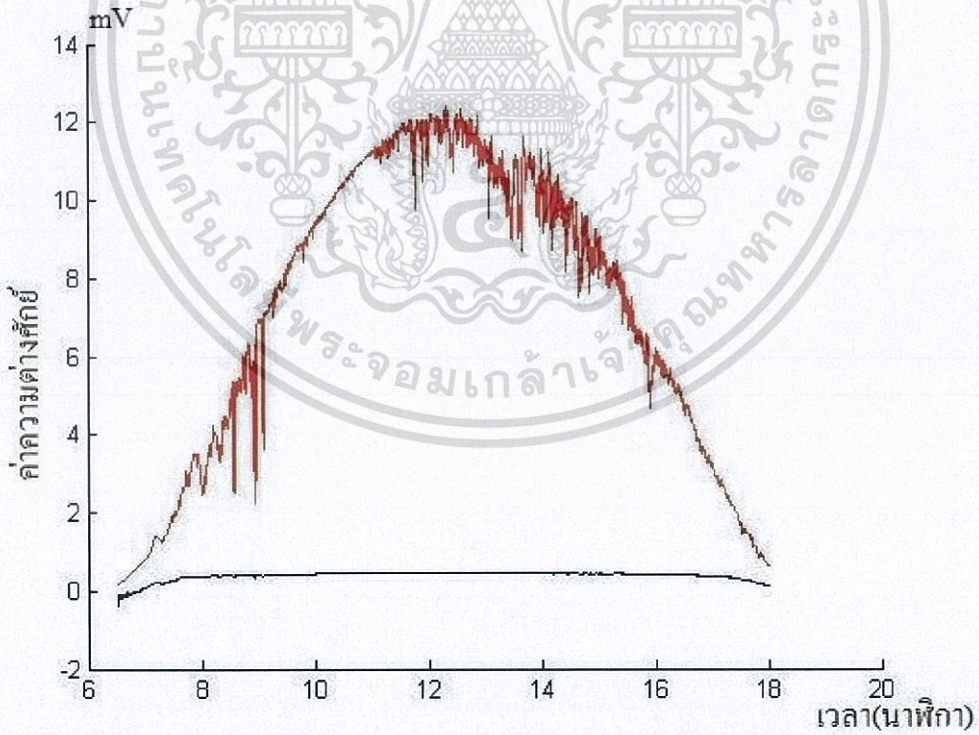


4.1.25 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

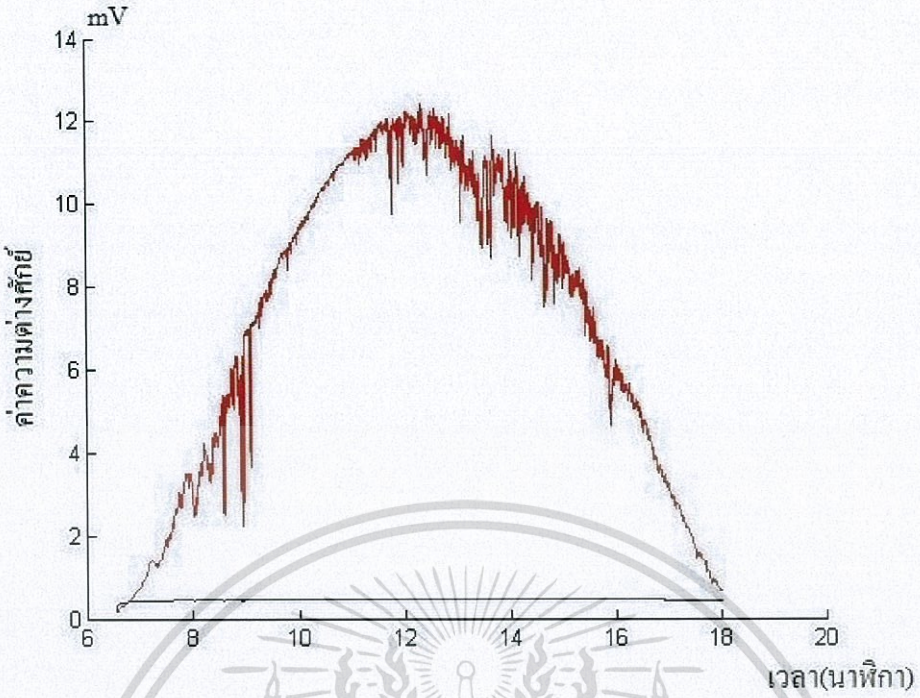


4.1.26 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 6

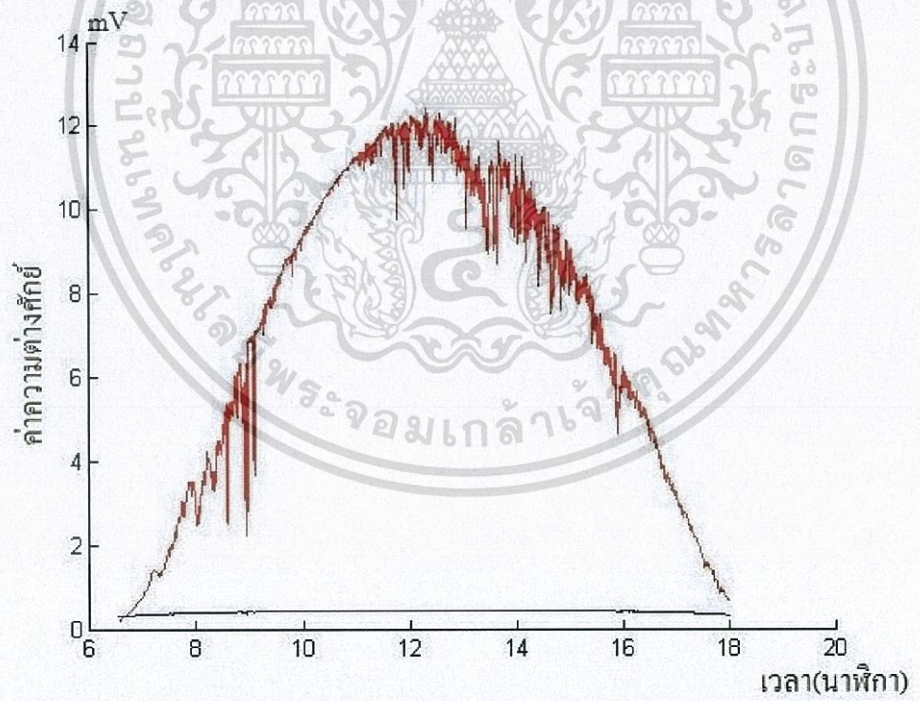


4.1.27 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

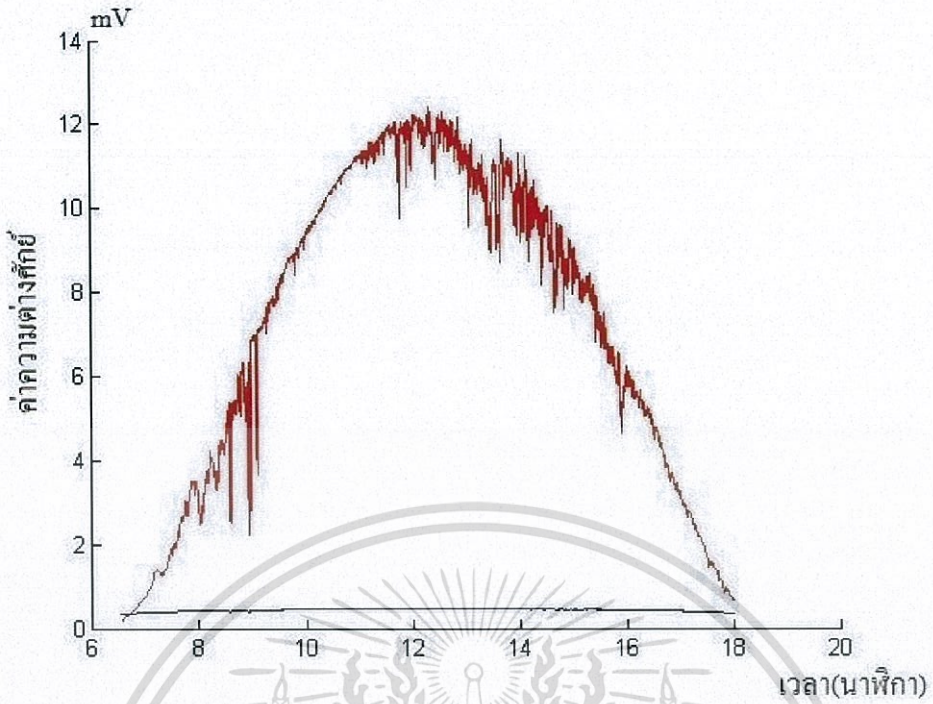


4.1.28 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 6

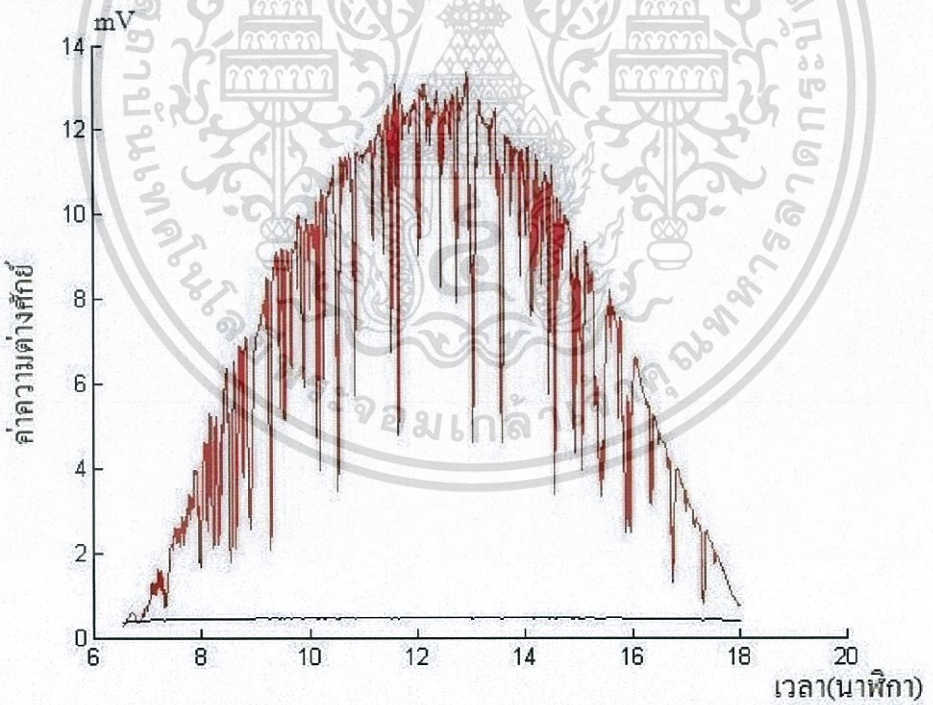


4.1.29 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

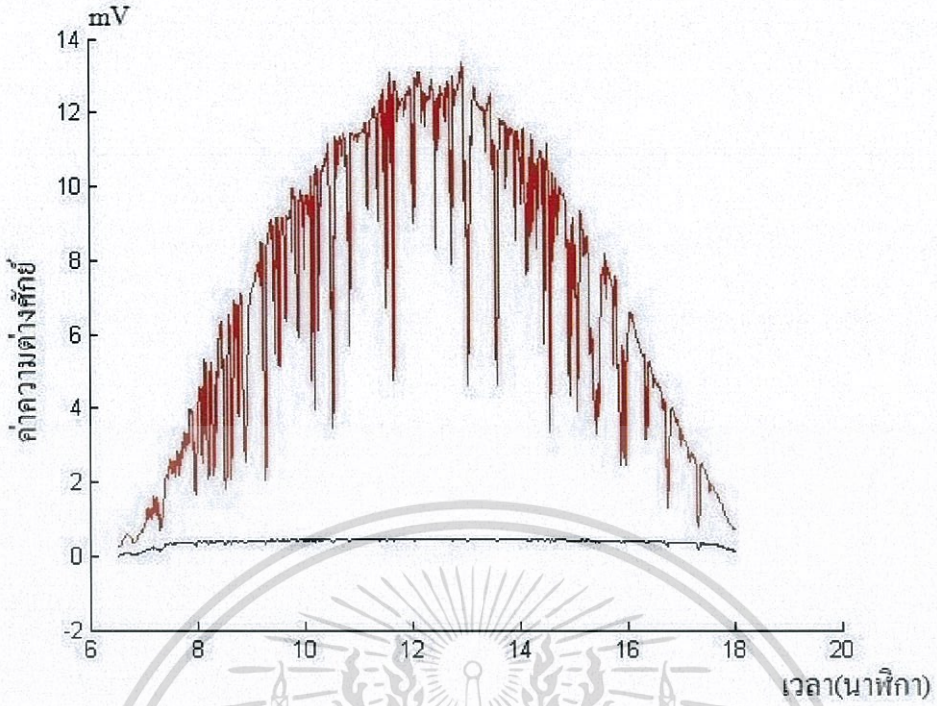


4.1.30 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 6

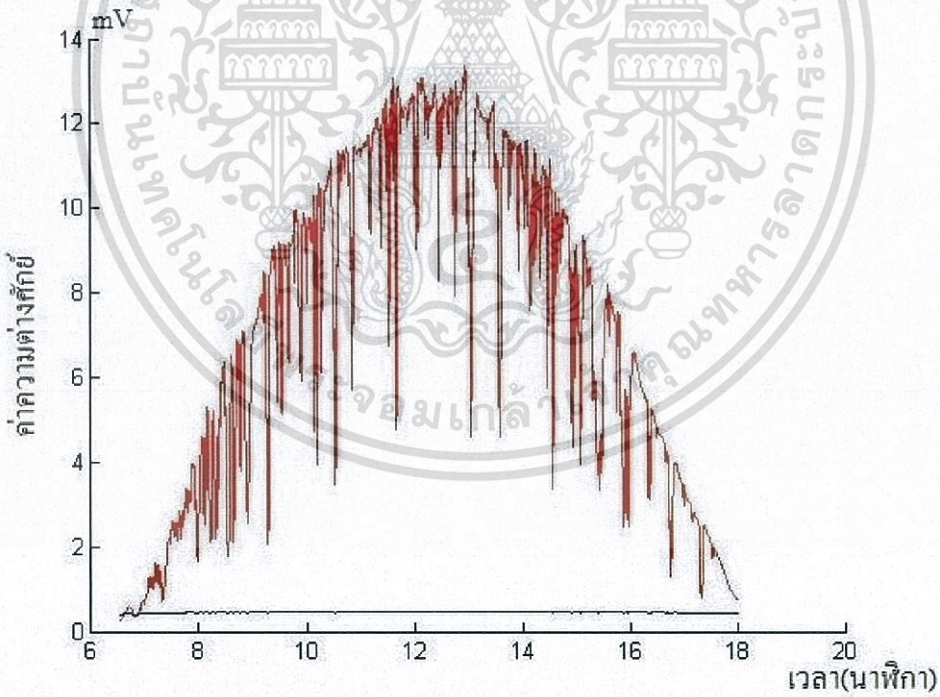


4.1.31 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

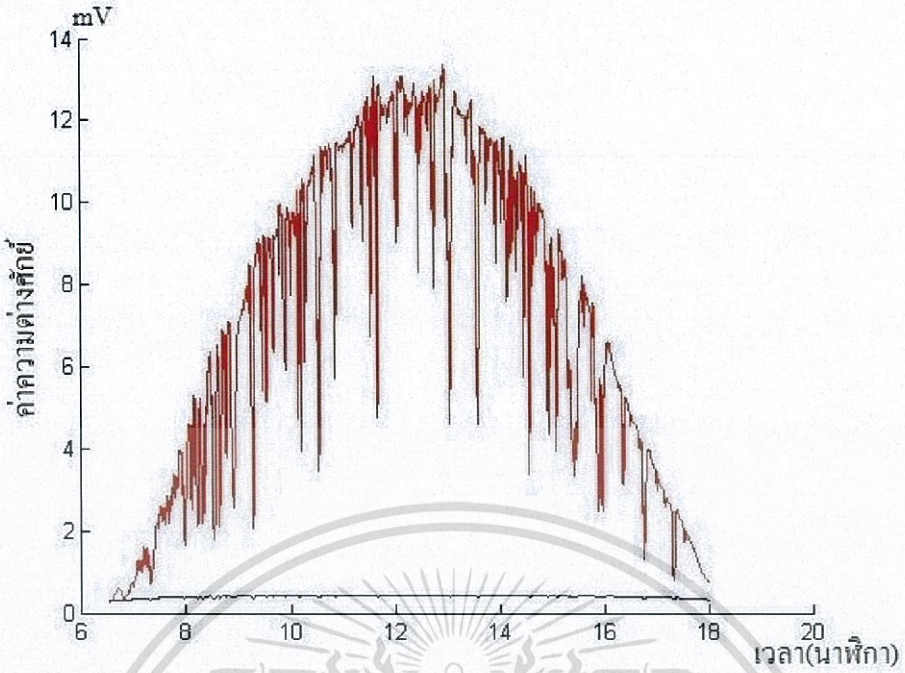


4.1.32 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 7

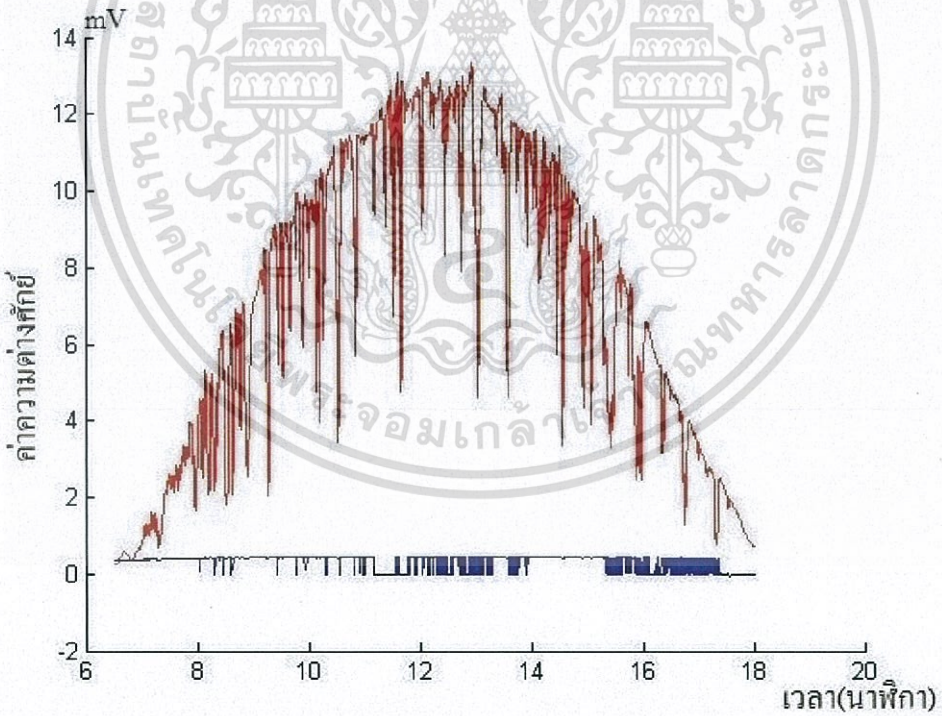


4.1.33 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

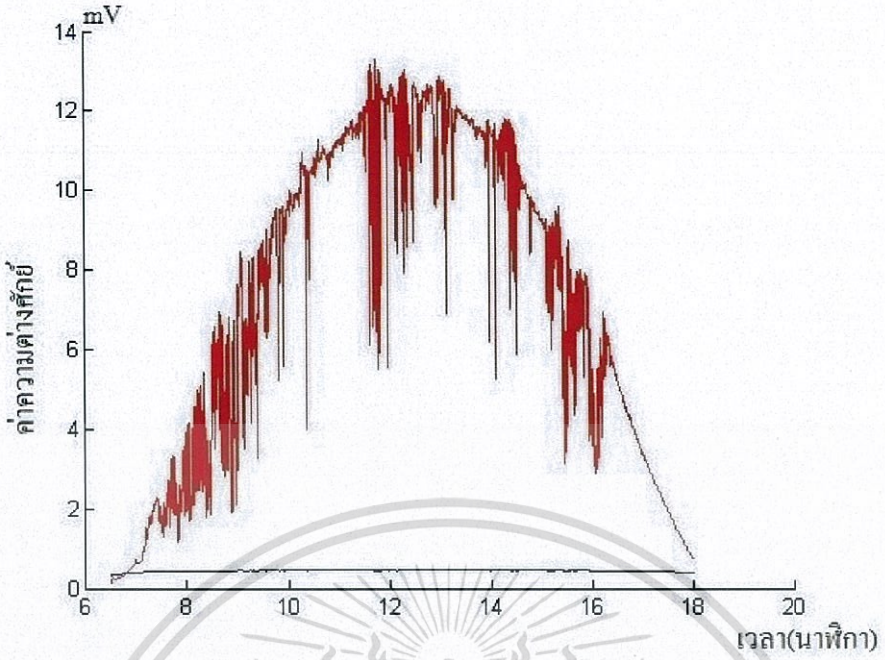


4.1.34 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 7

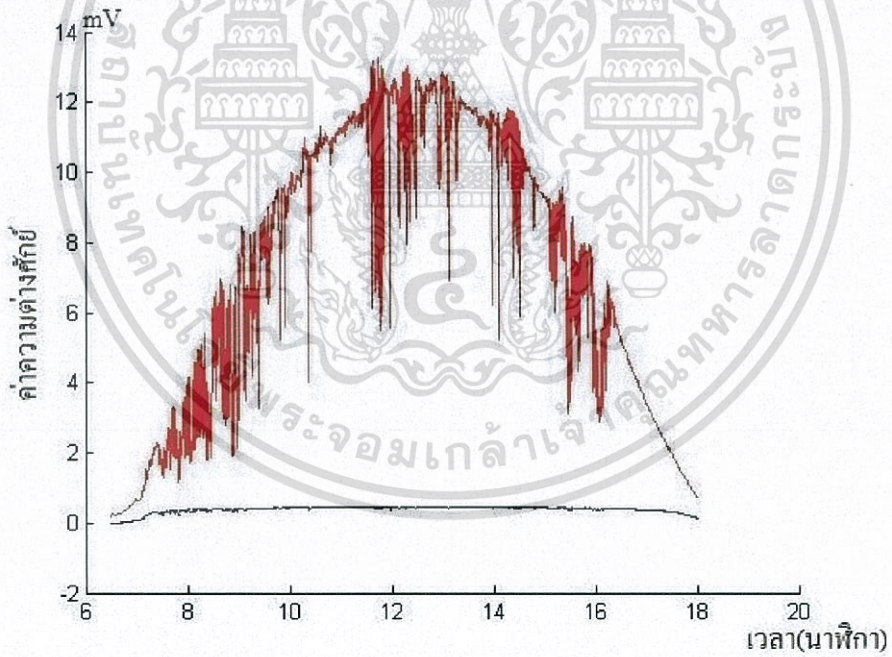


4.1.35 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

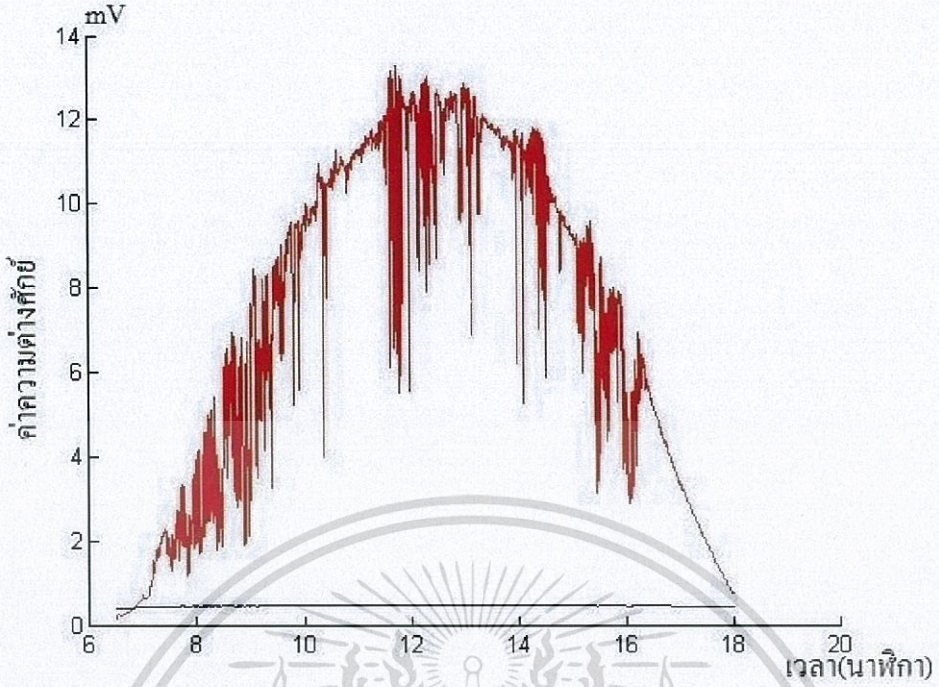


4.1.36 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 8

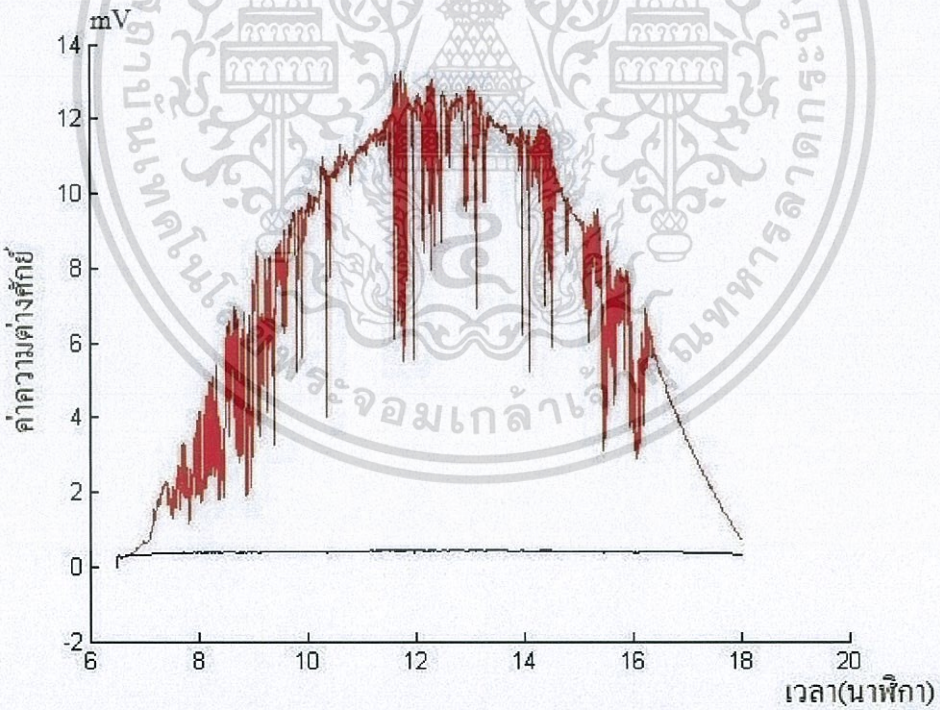


4.1.37 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

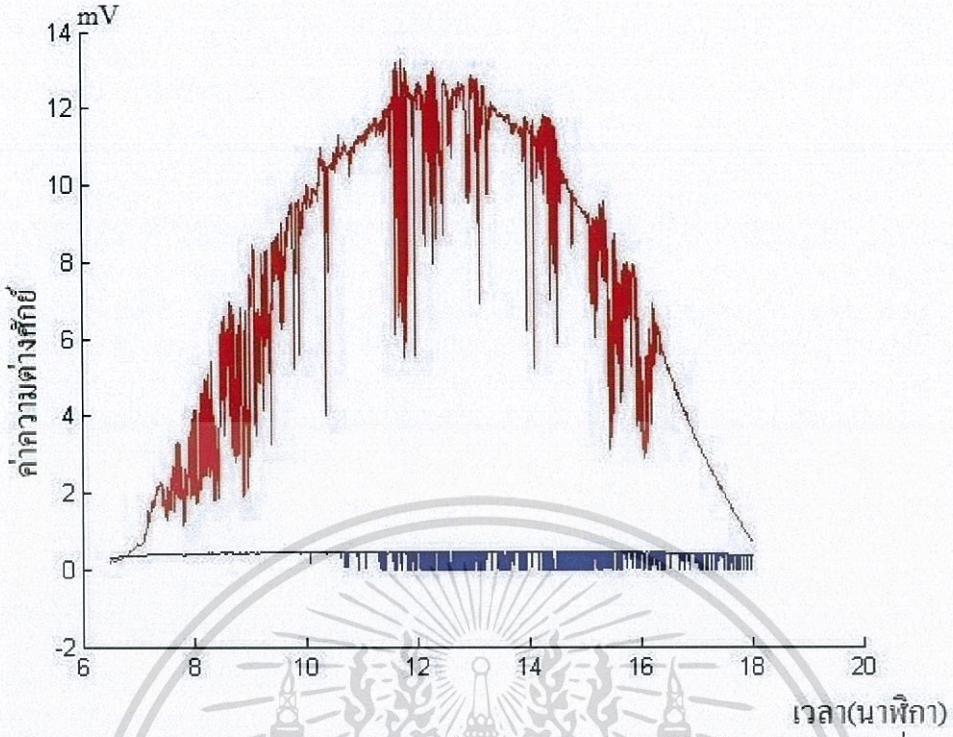


4.1.38 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 8

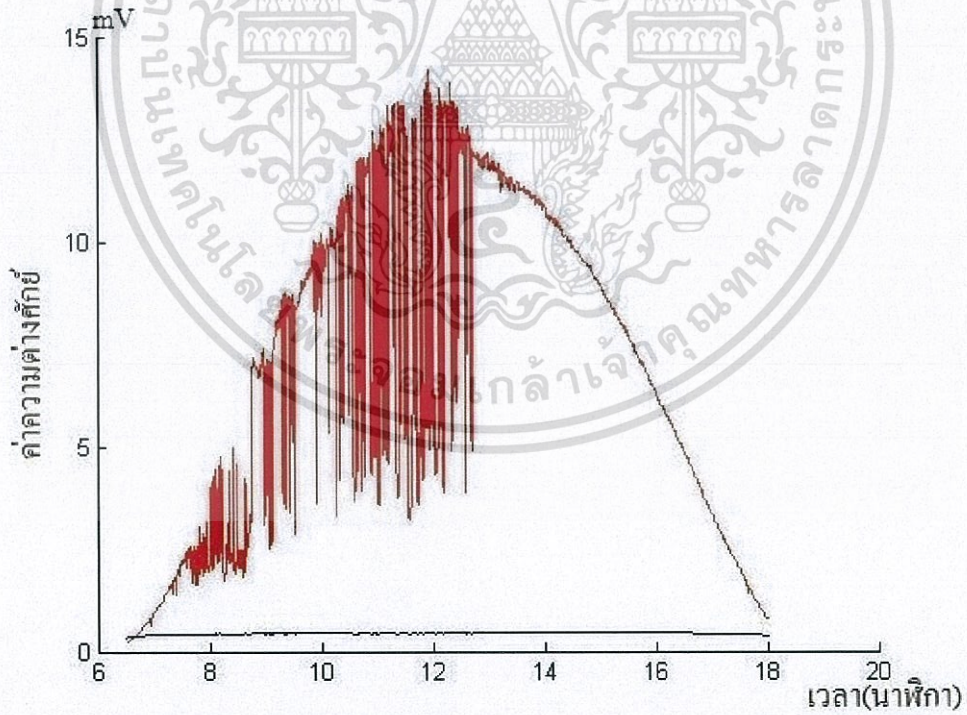


4.1.39 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

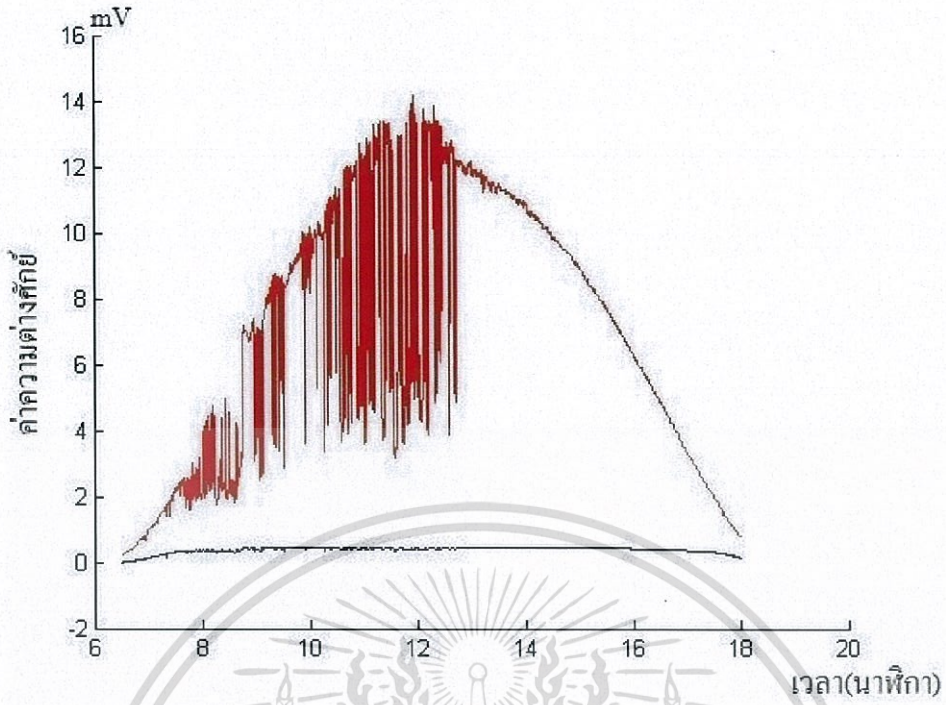


4.1.40 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 8

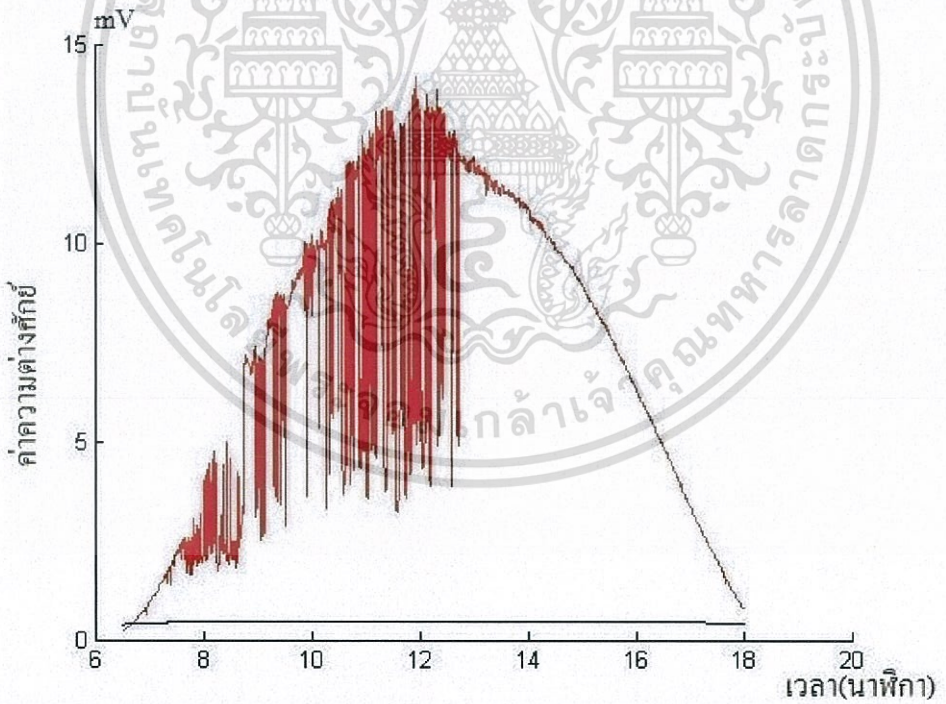


4.1.41 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

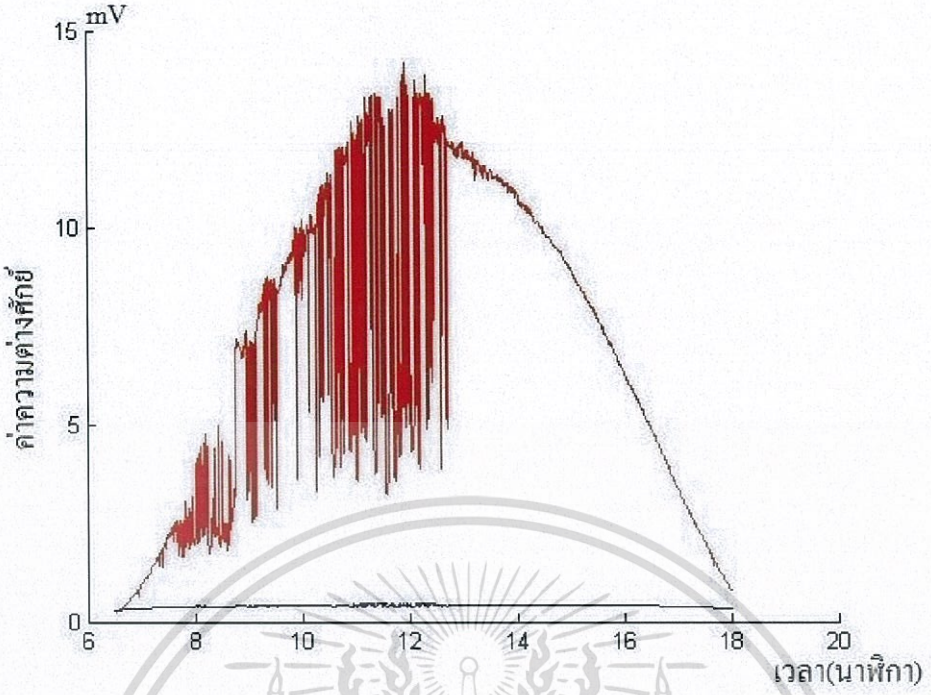


4.1.42 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 9

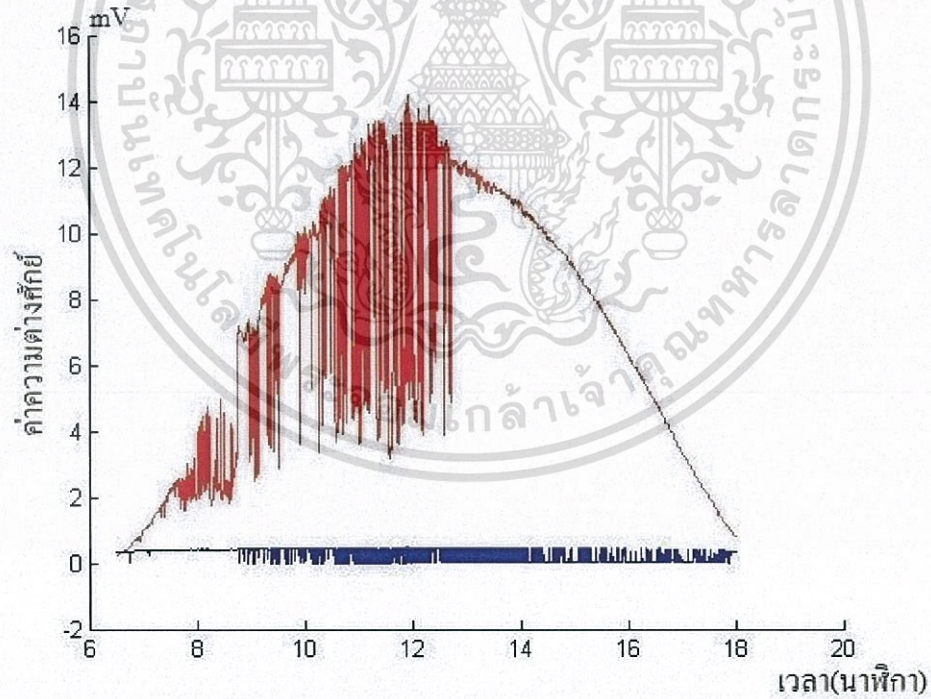


4.1.43 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

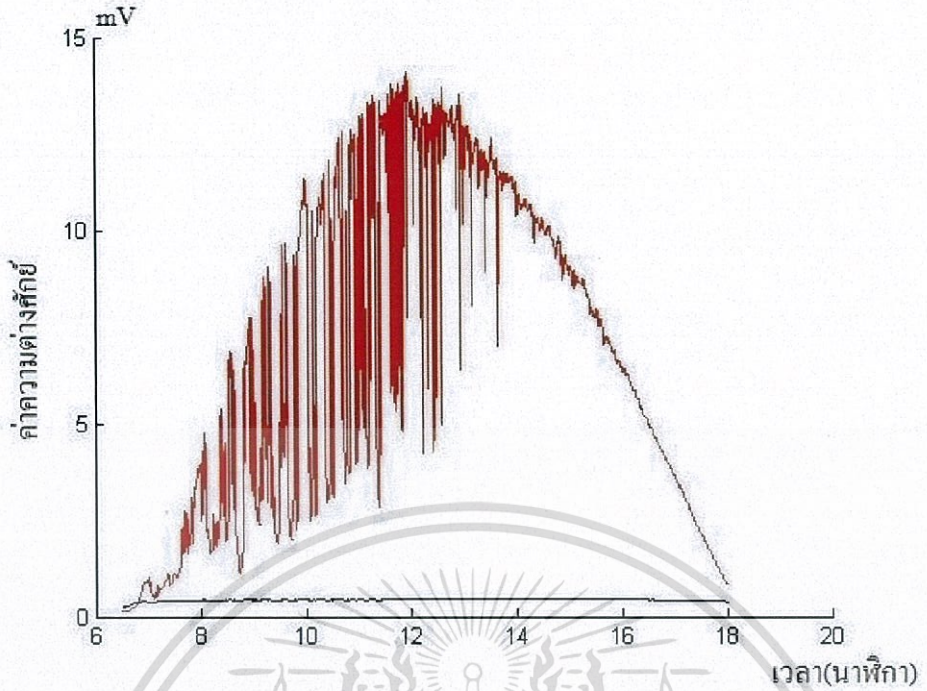


4.1.44 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 9

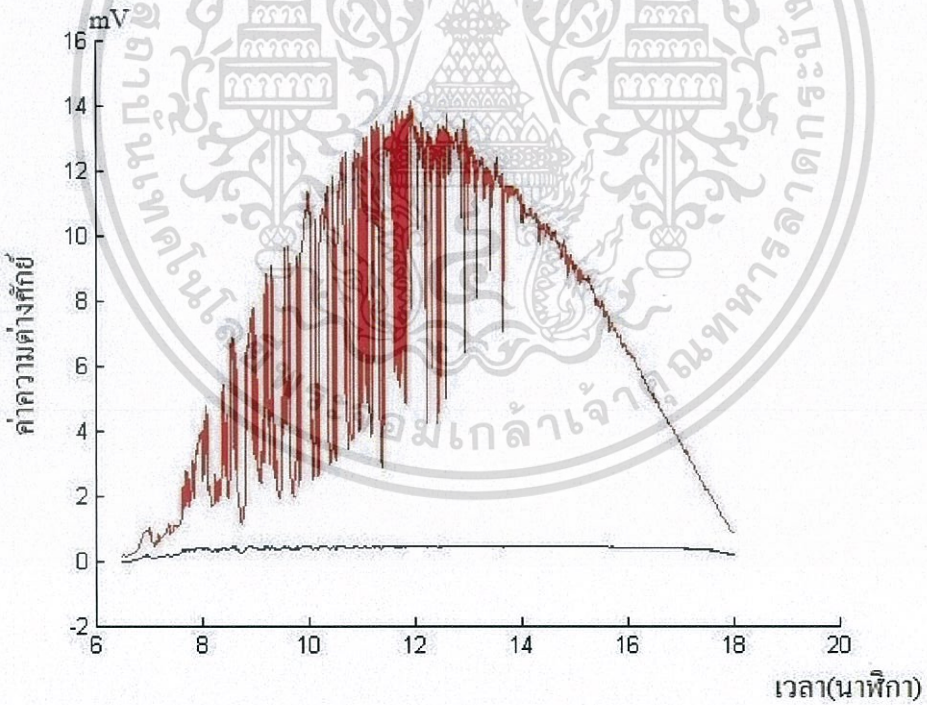


4.1.45 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

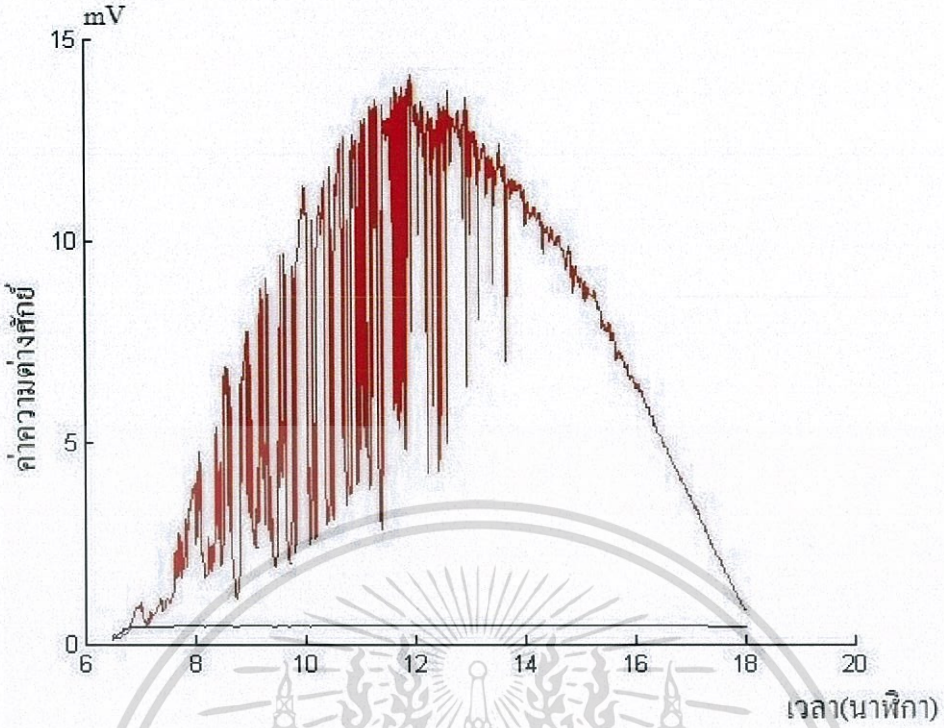


4.1.46 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 10

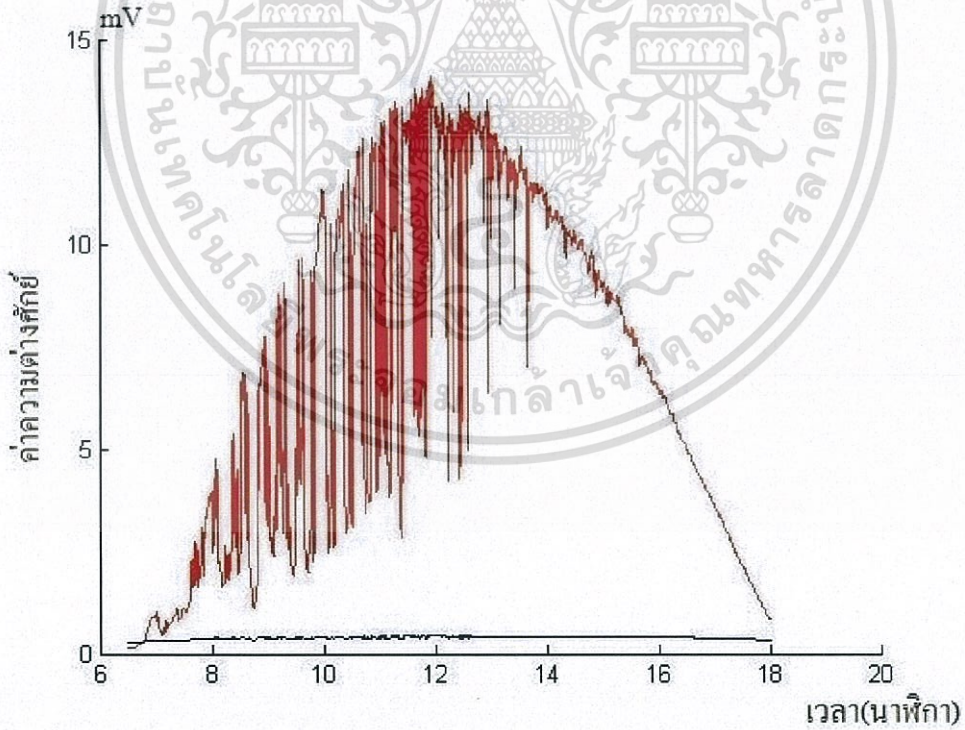


4.1.47 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

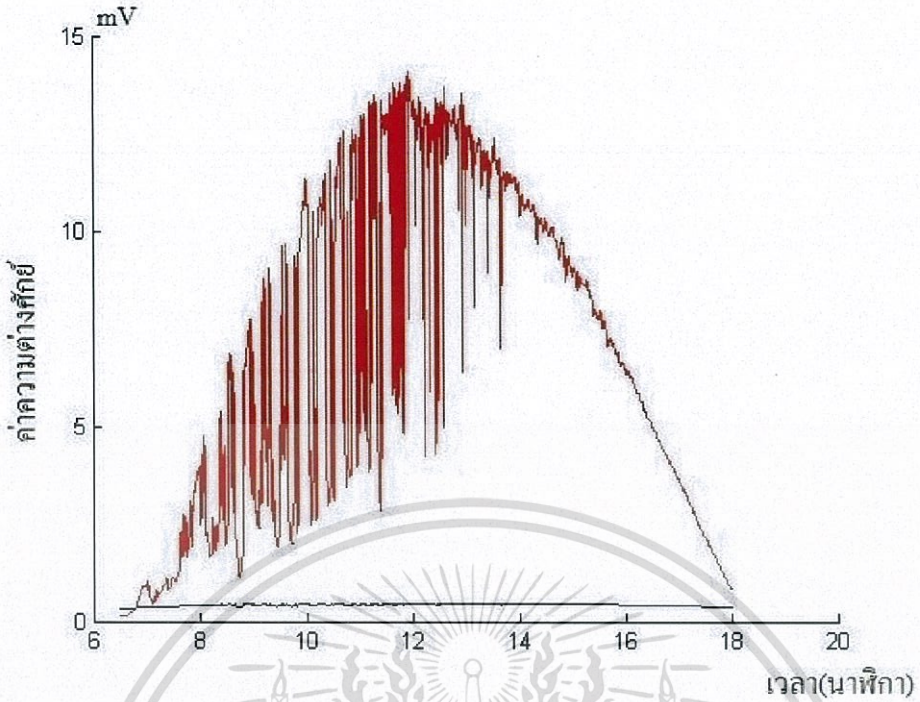


4.1.48 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 10

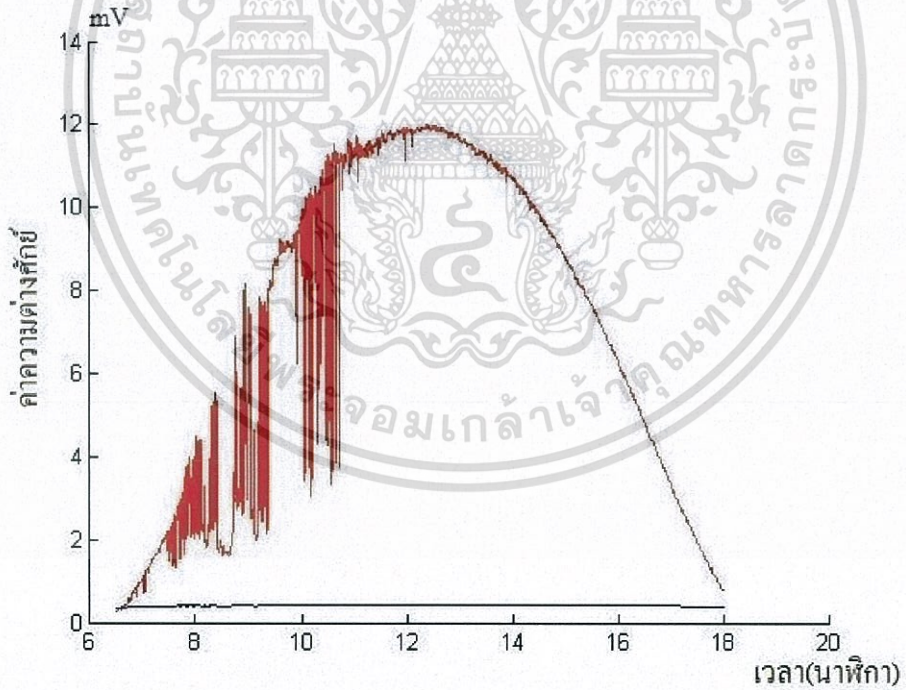


4.1.49 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

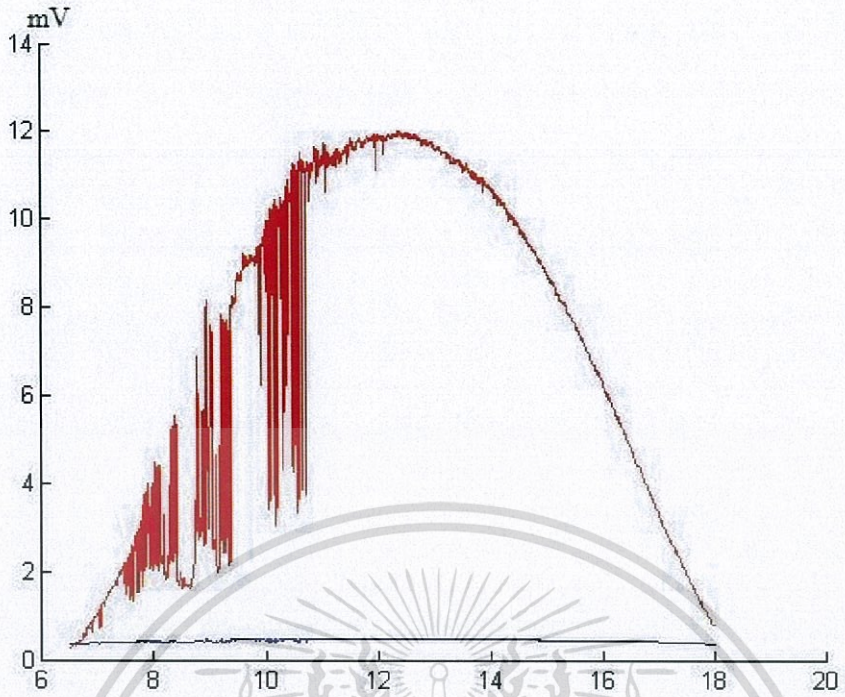


4.1.50 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 10

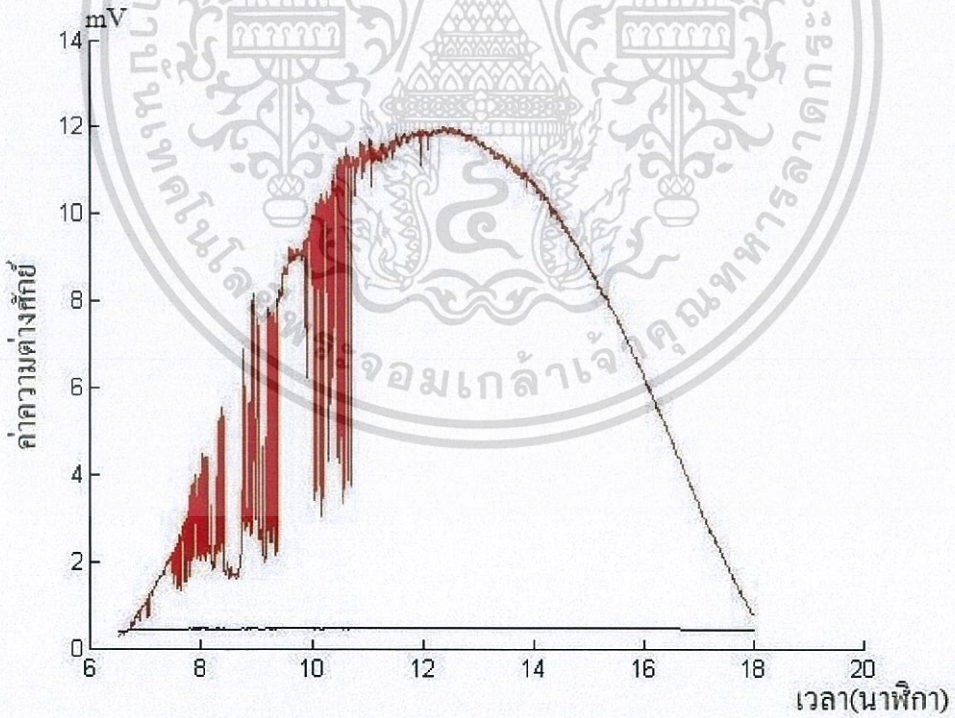


4.1.51 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

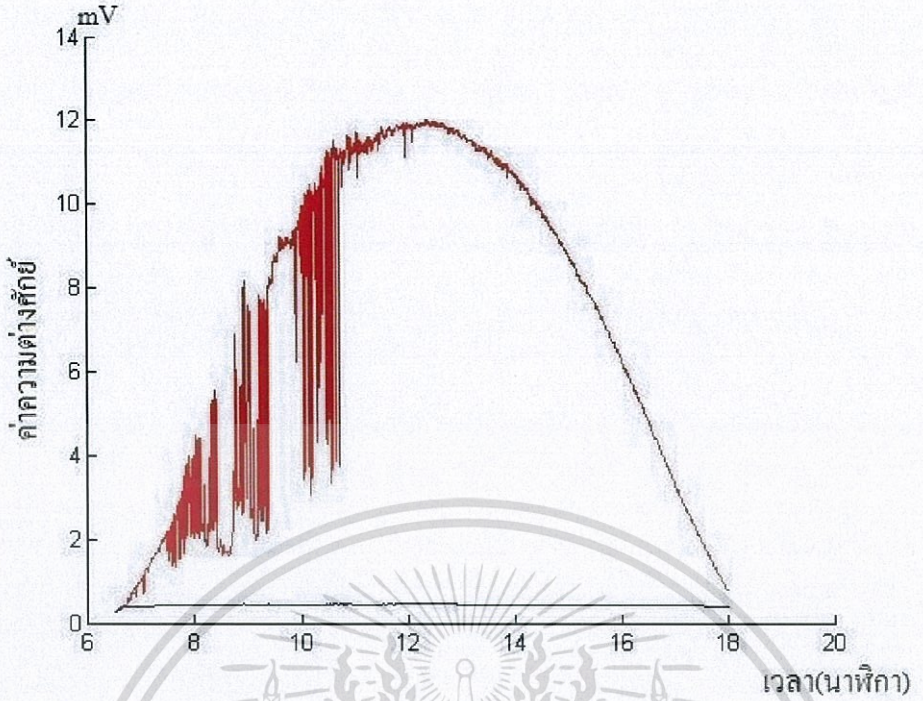


4.1.52 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 11

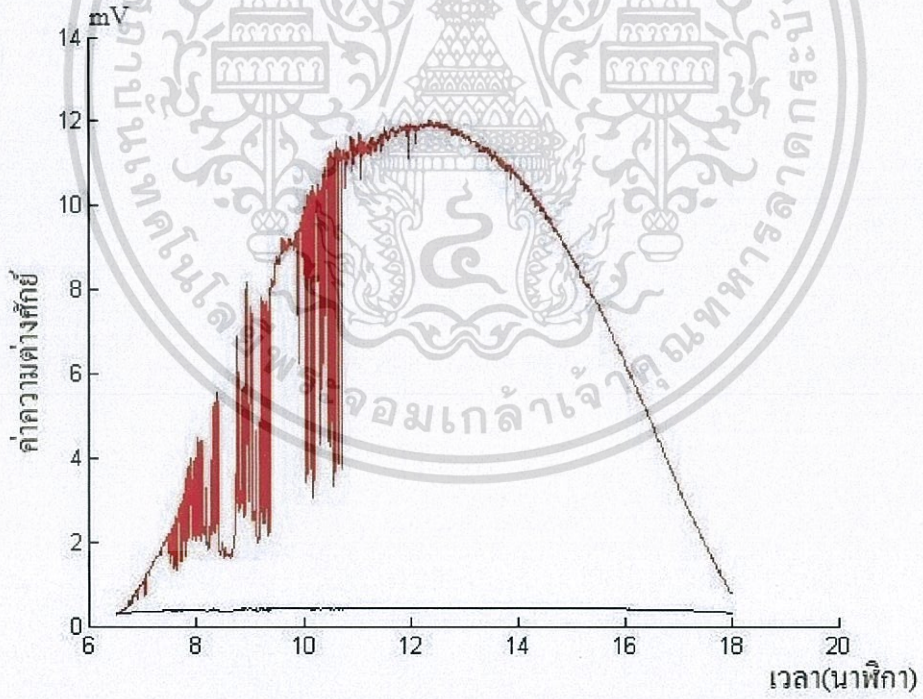


4.1.53 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

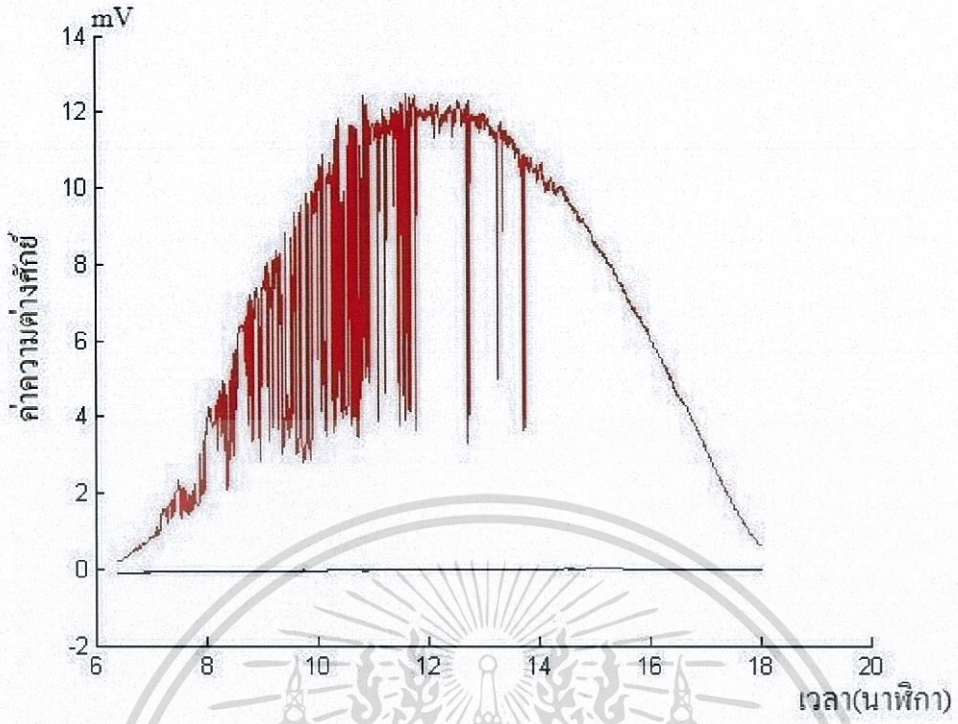


4.1.54 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 11

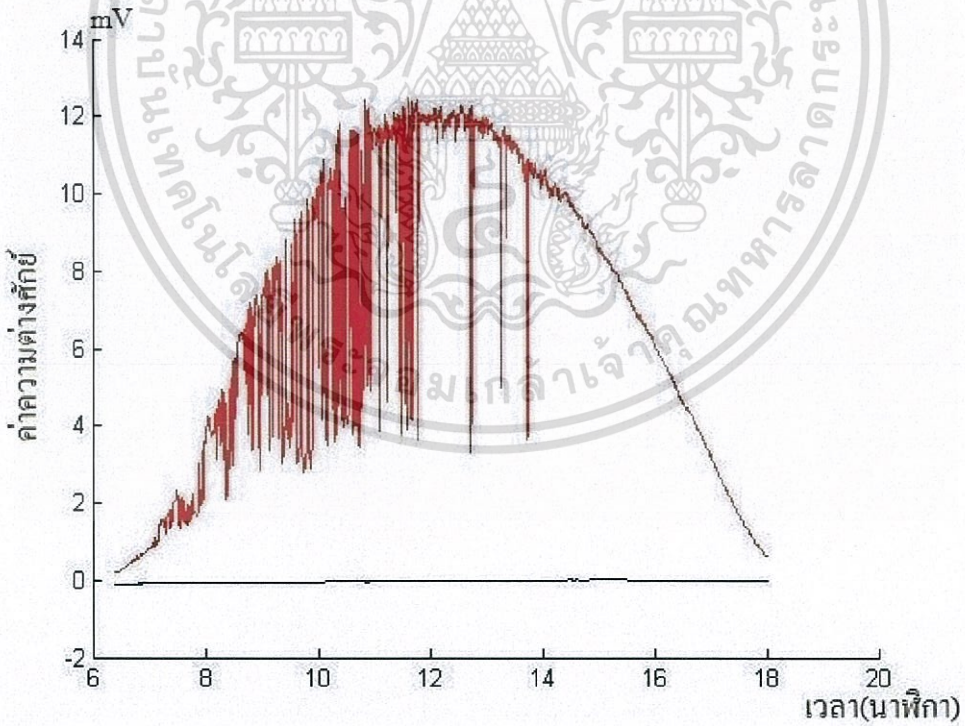


4.1.55 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

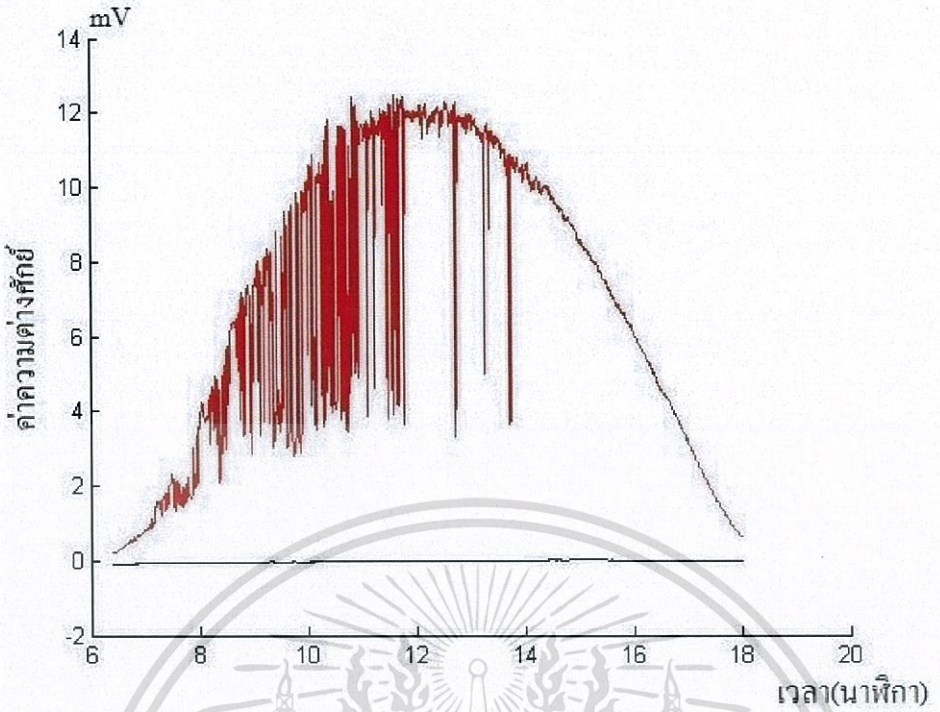


4.1.56 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 12

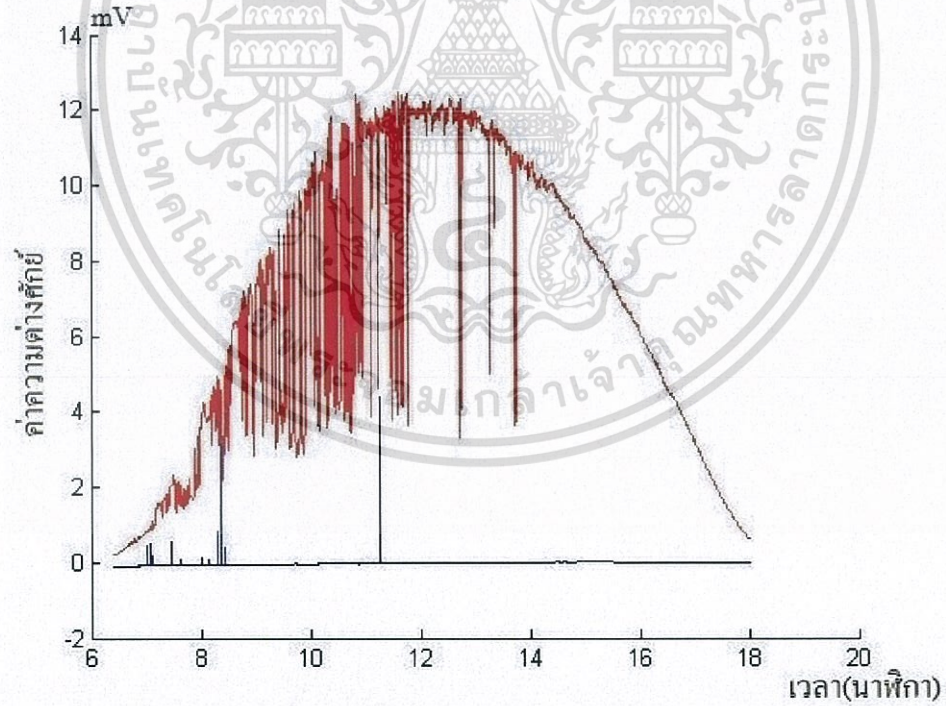


4.1.57 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

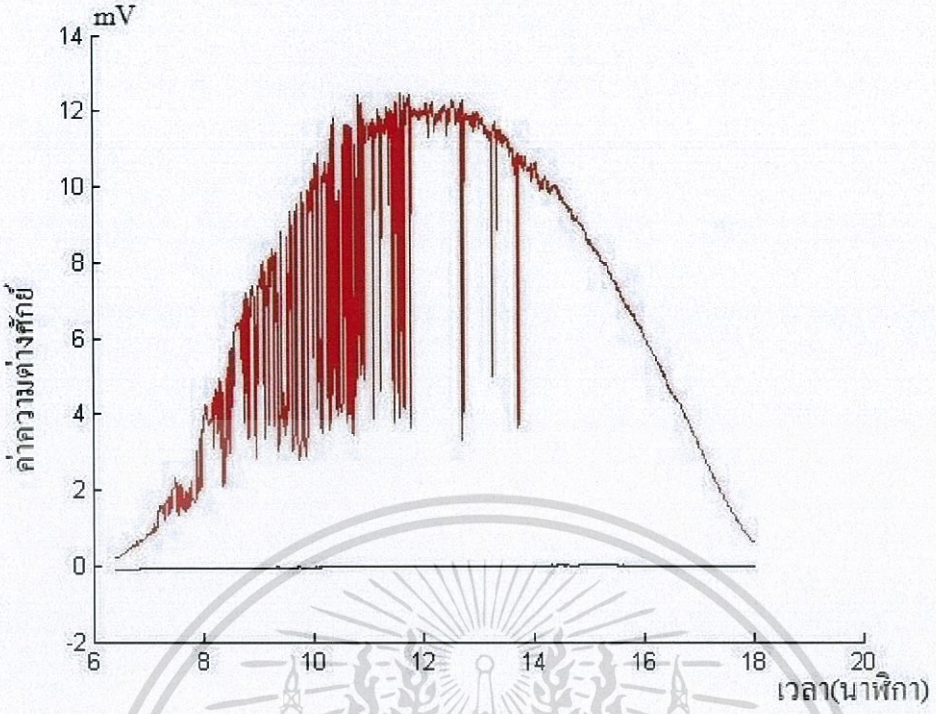


4.1.58 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 12

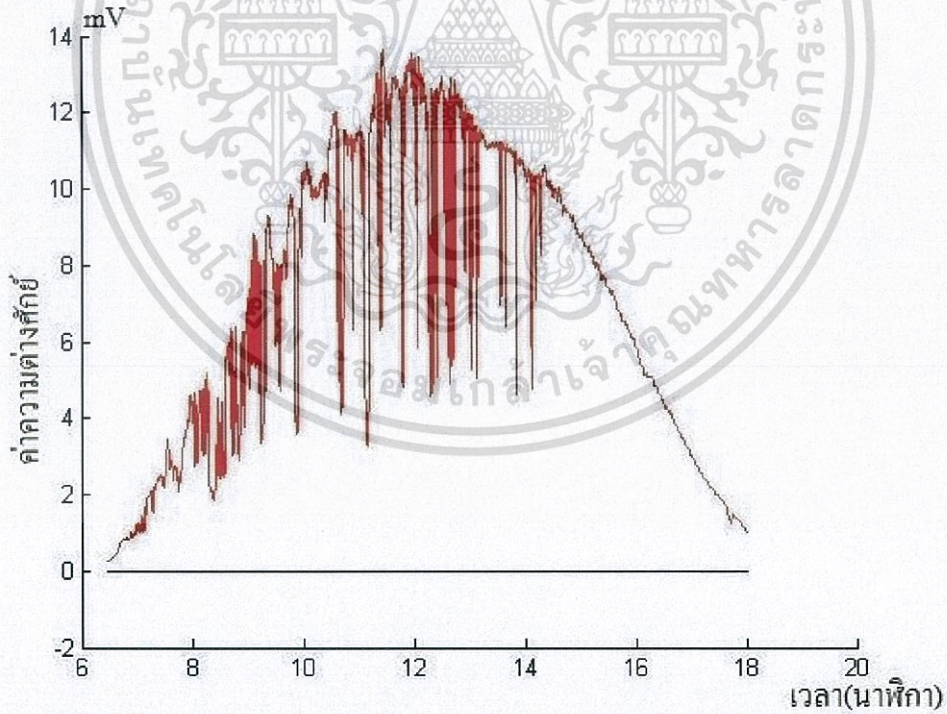


4.1.59 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

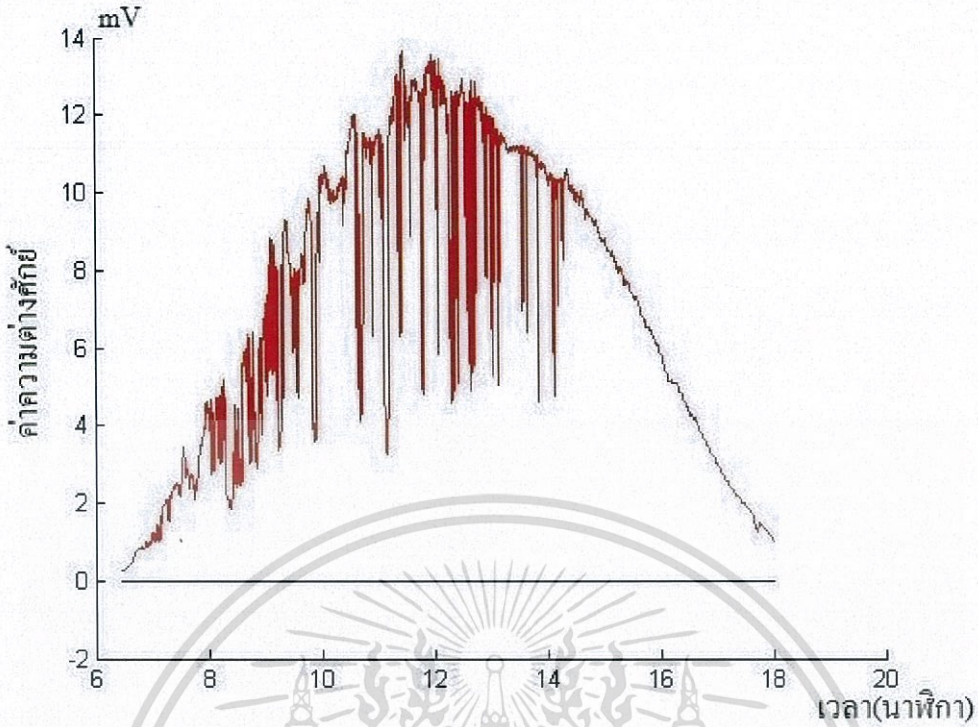


4.1.60 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 12

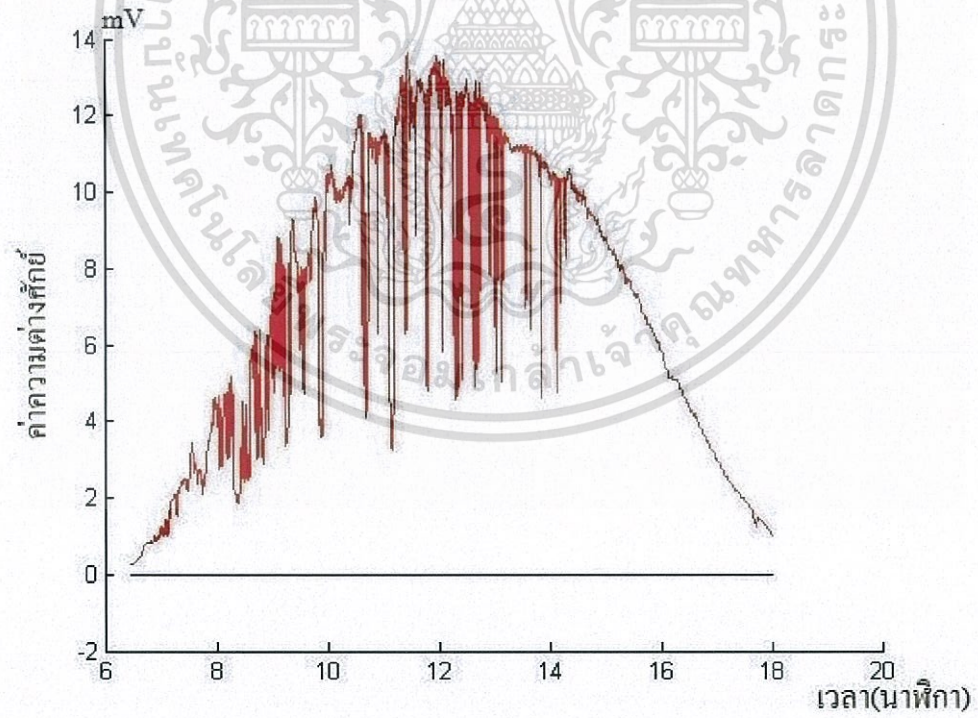


4.1.61 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

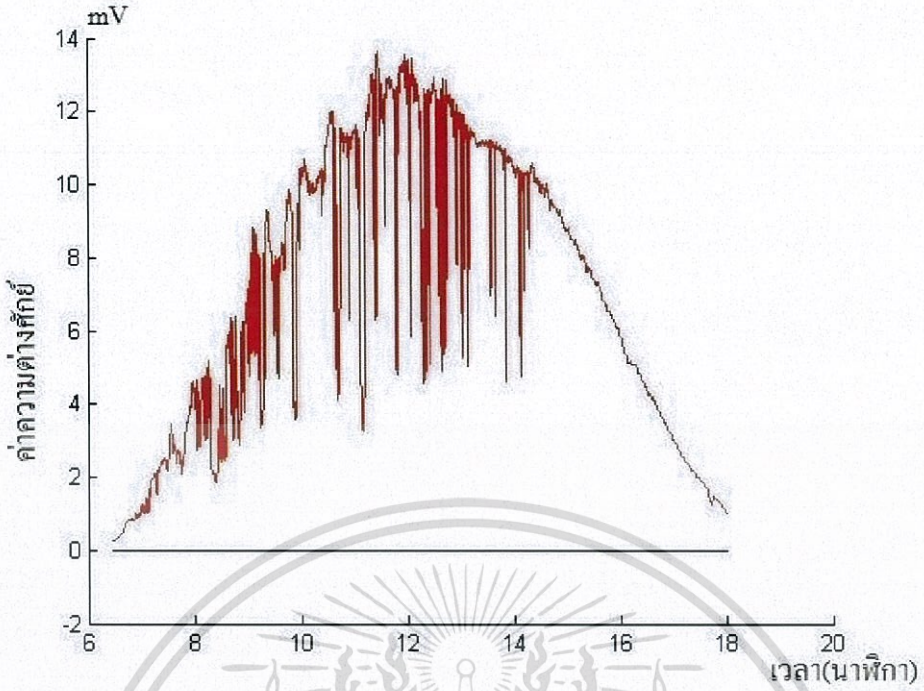


4.1.62 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 13

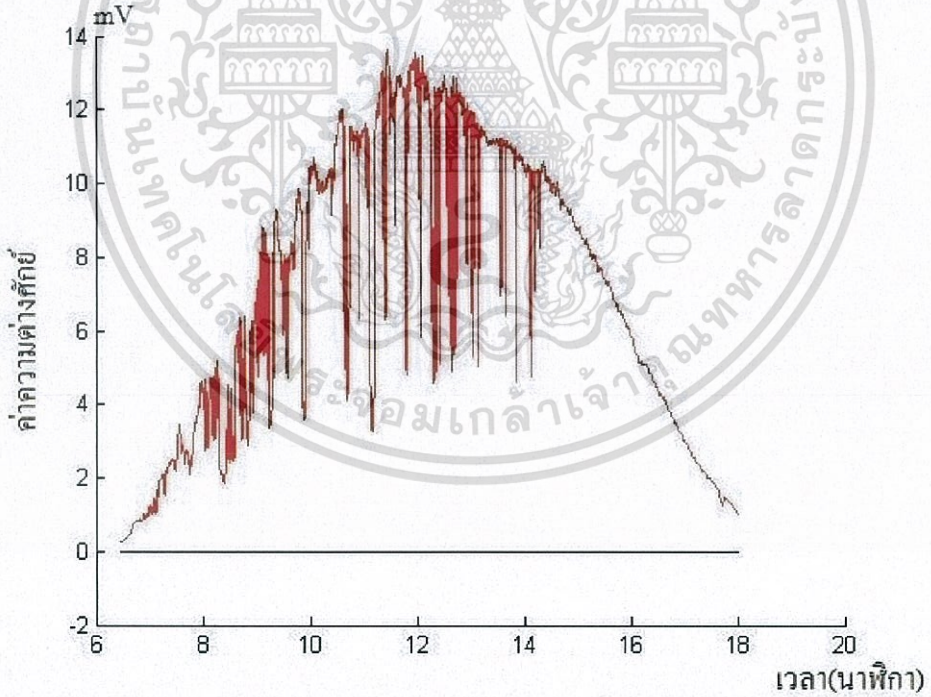


4.1.63 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

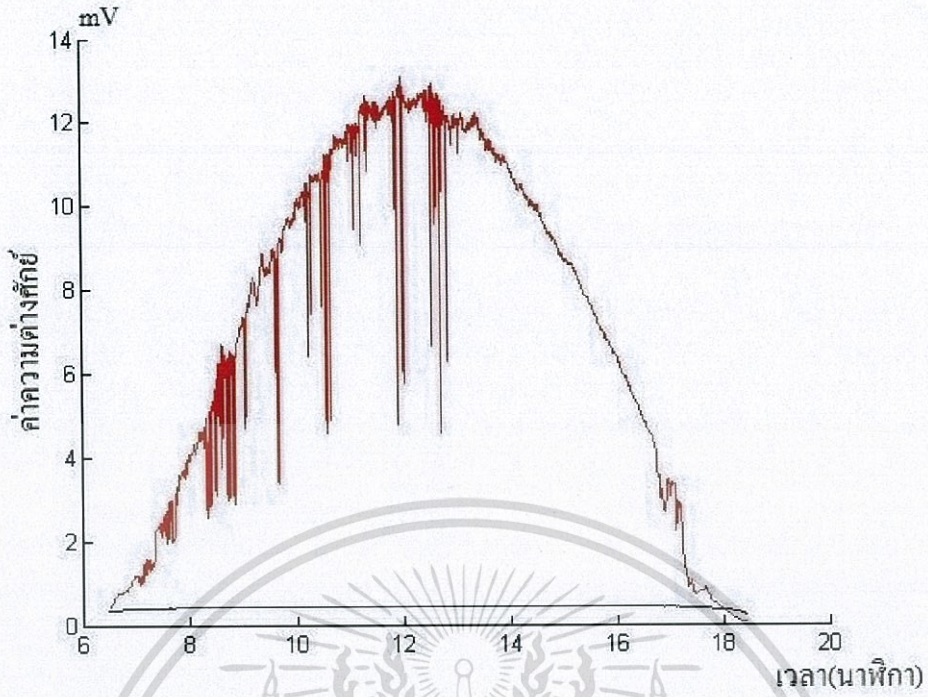


4.1.64 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 13

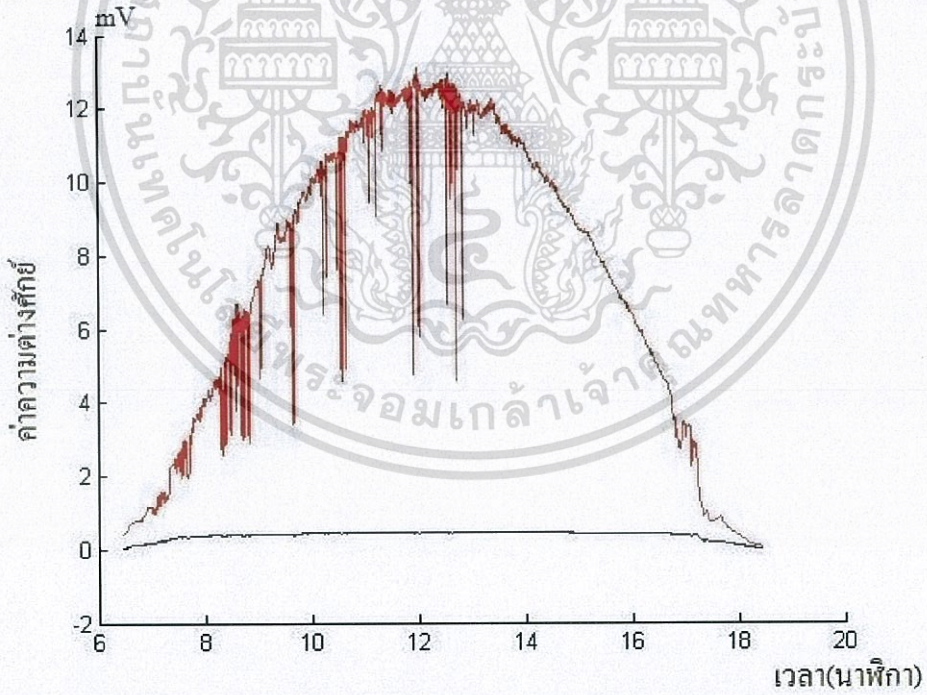


4.1.65 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

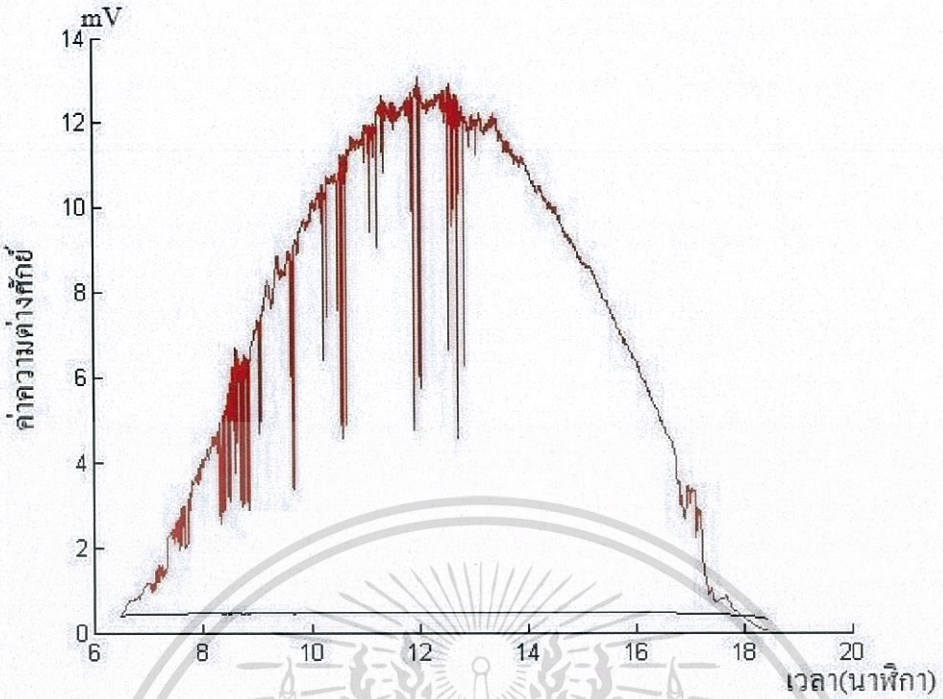


4.1.66 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 14

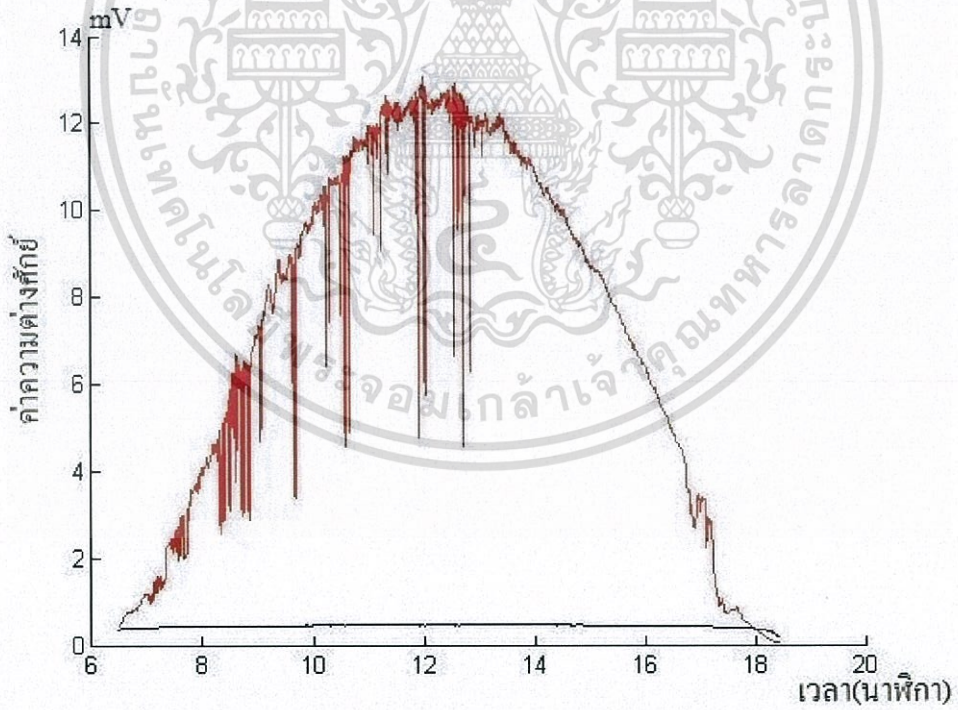


4.1.67 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

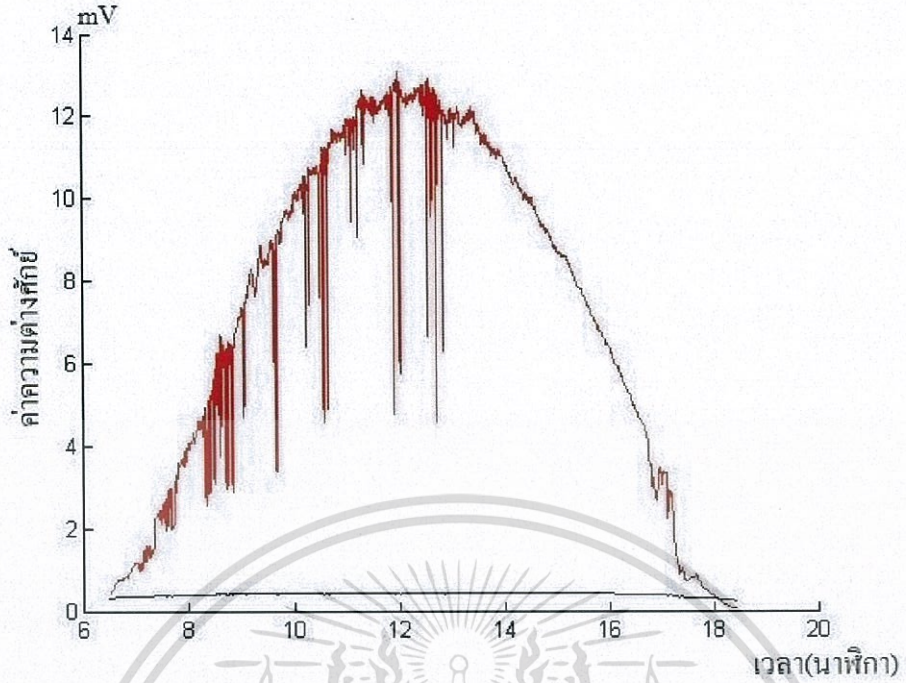


4.1.68 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 14

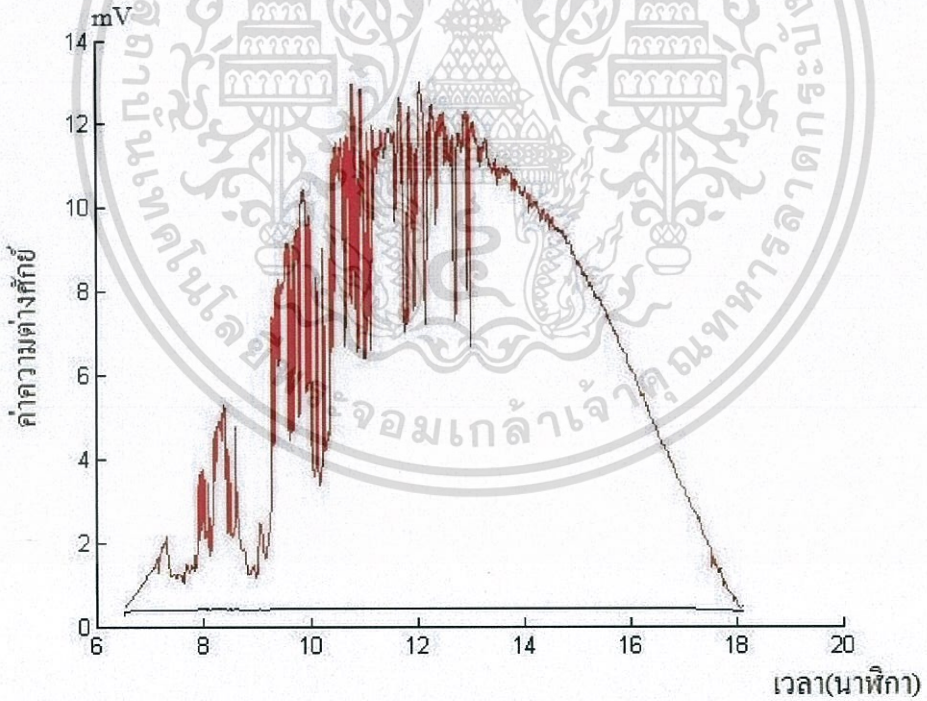


4.1.69 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

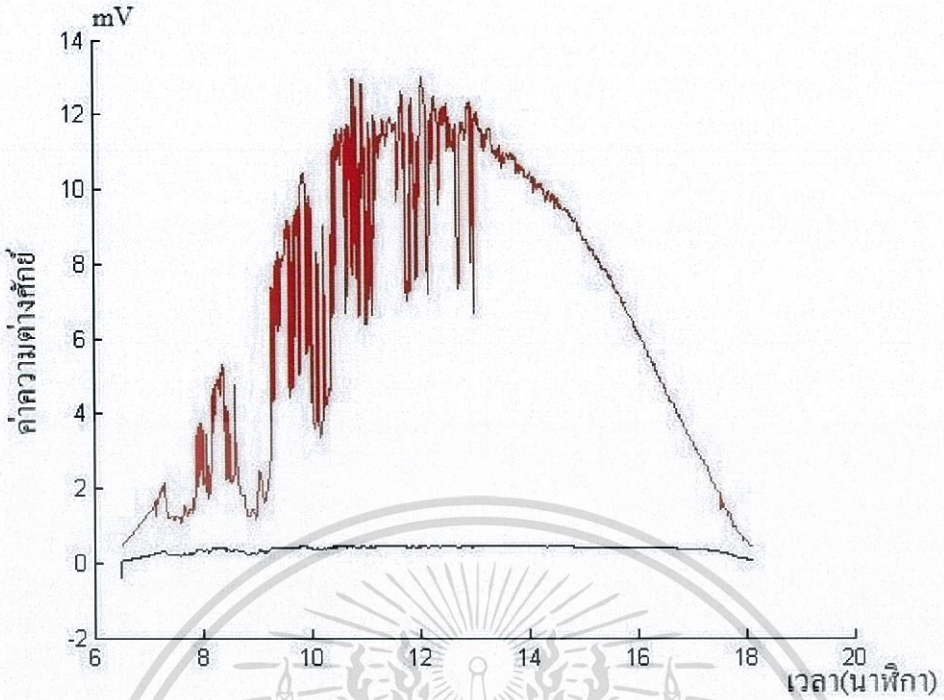


4.1.70 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 14

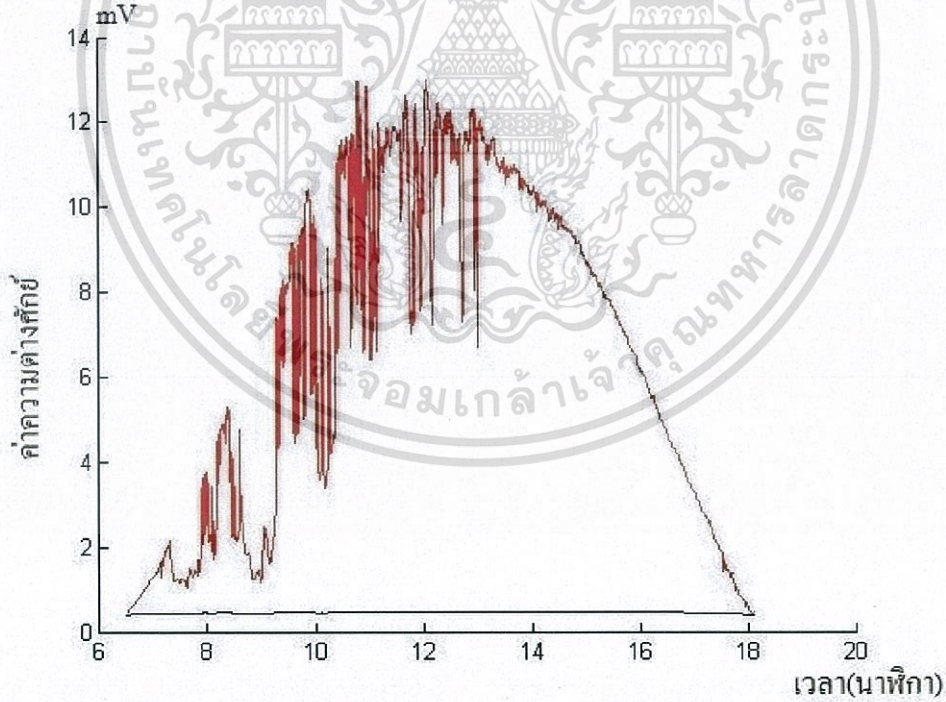


4.1.71 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

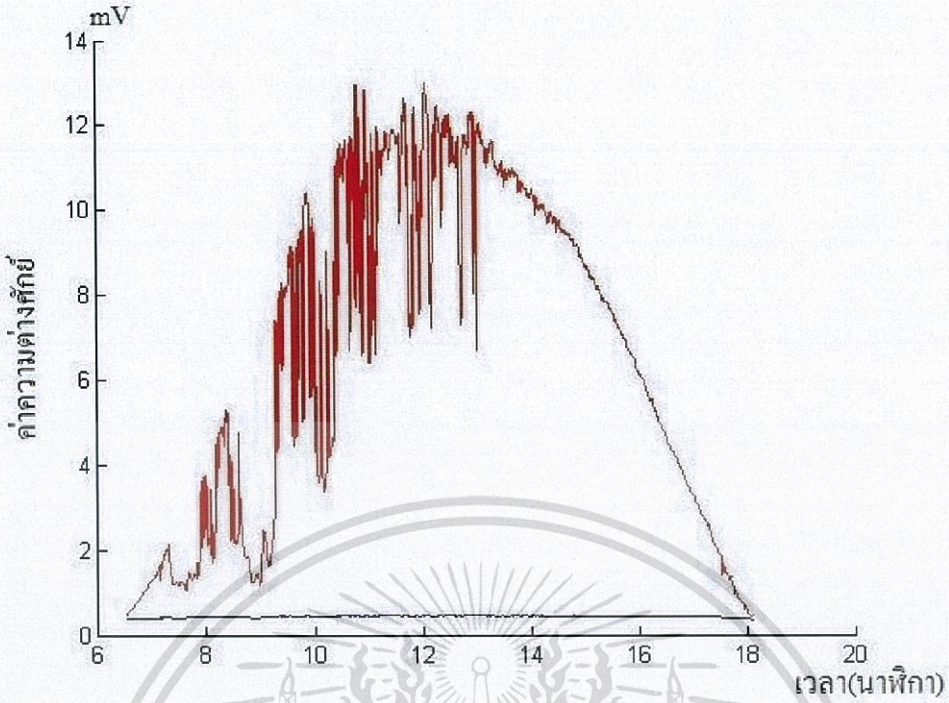


4.1.72 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 15

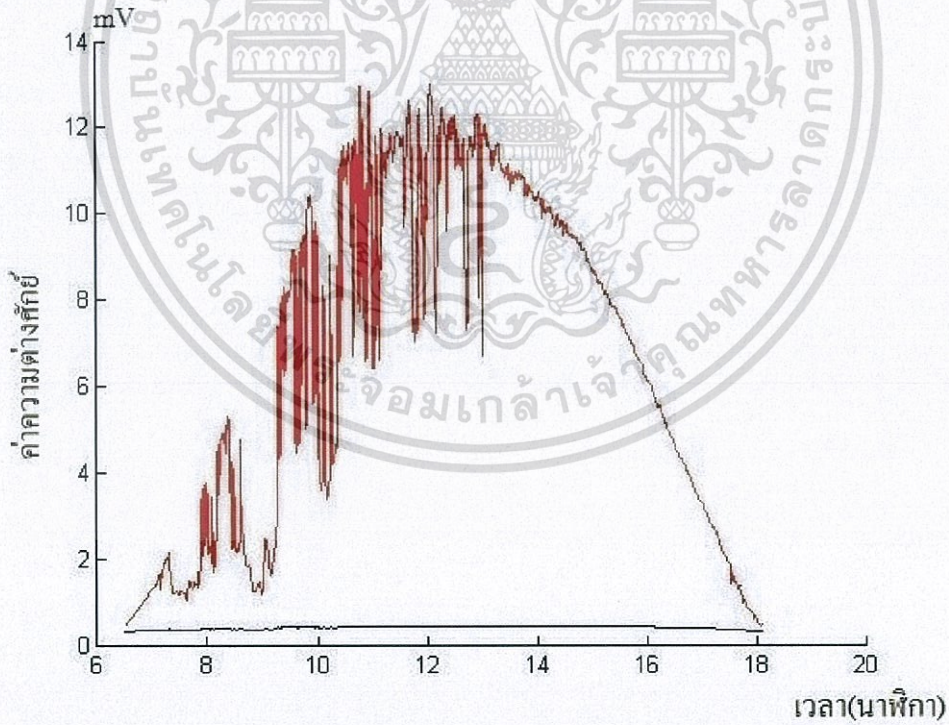


4.1.73 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

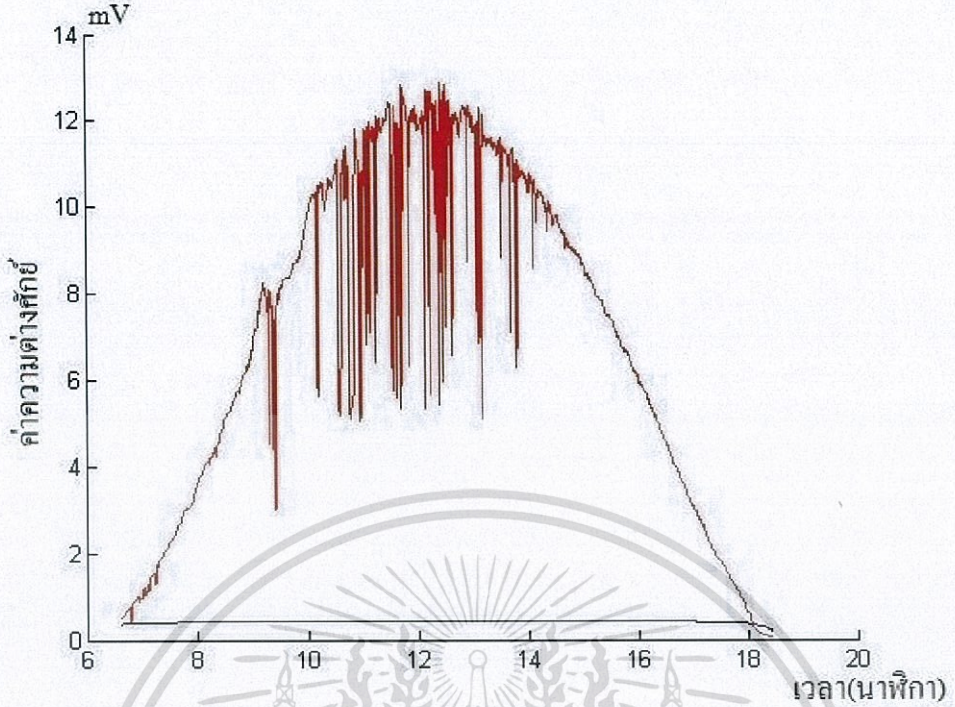


4.1.74 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 15

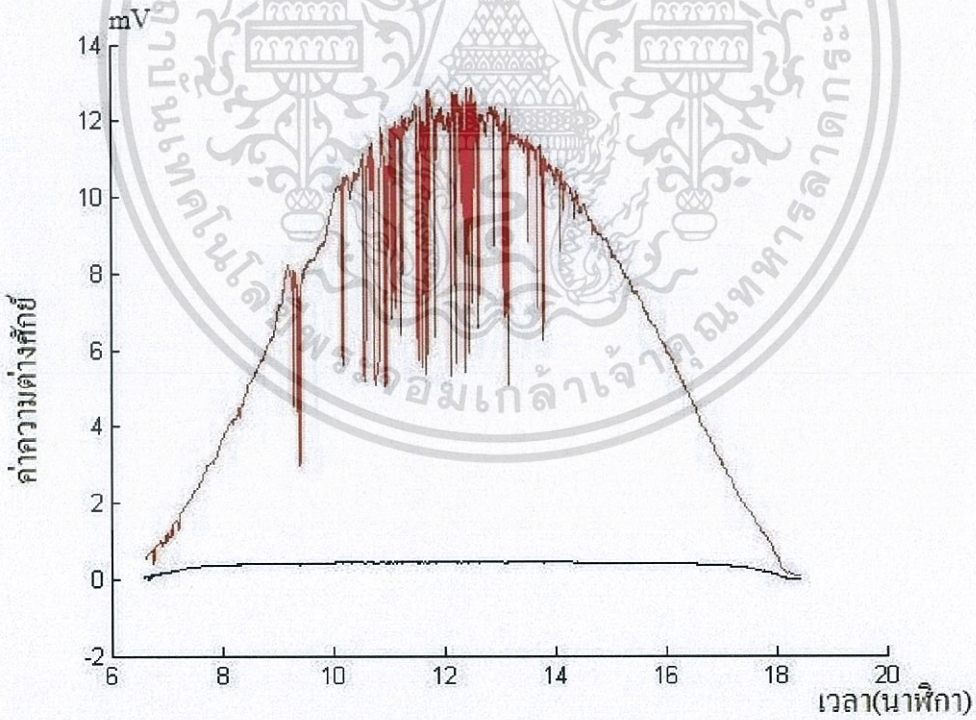


4.1.75 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

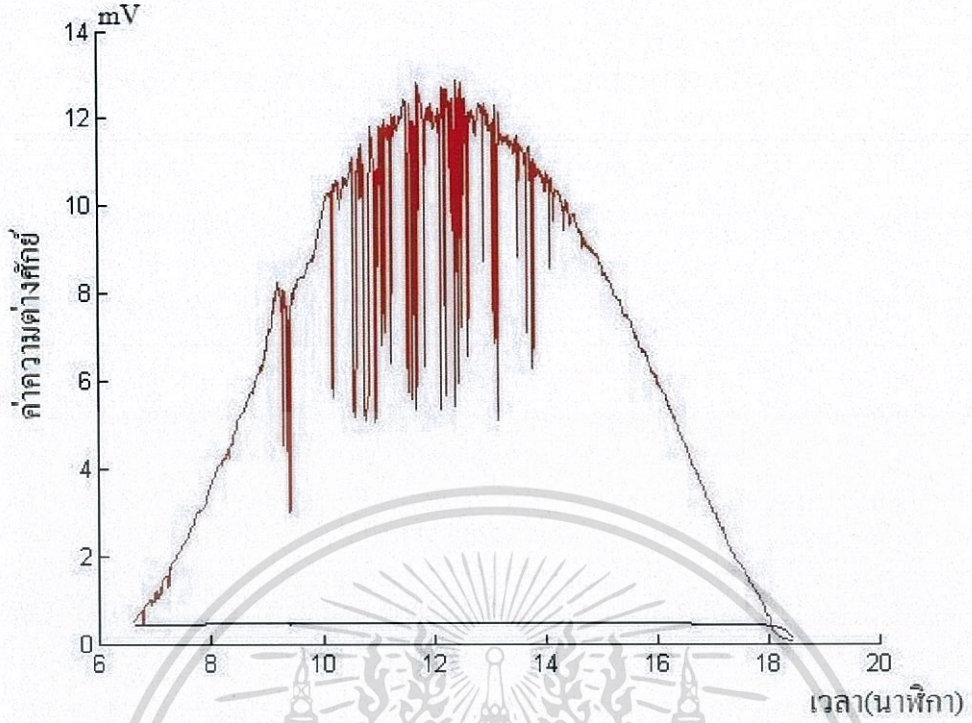


4.1.76 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 16

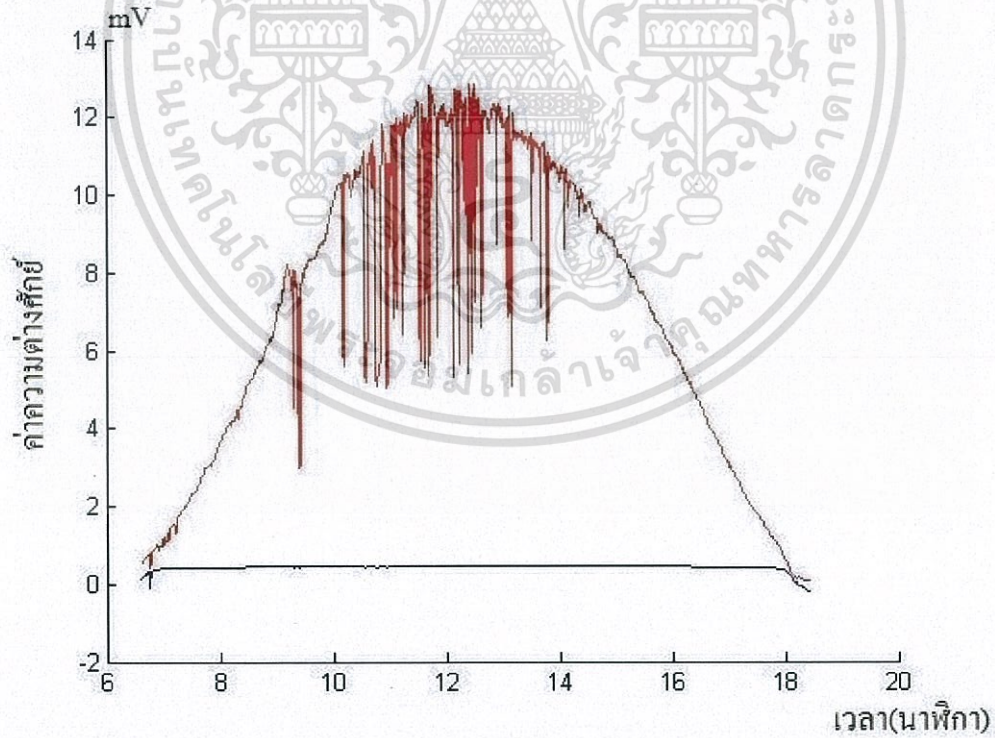


4.1.77 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

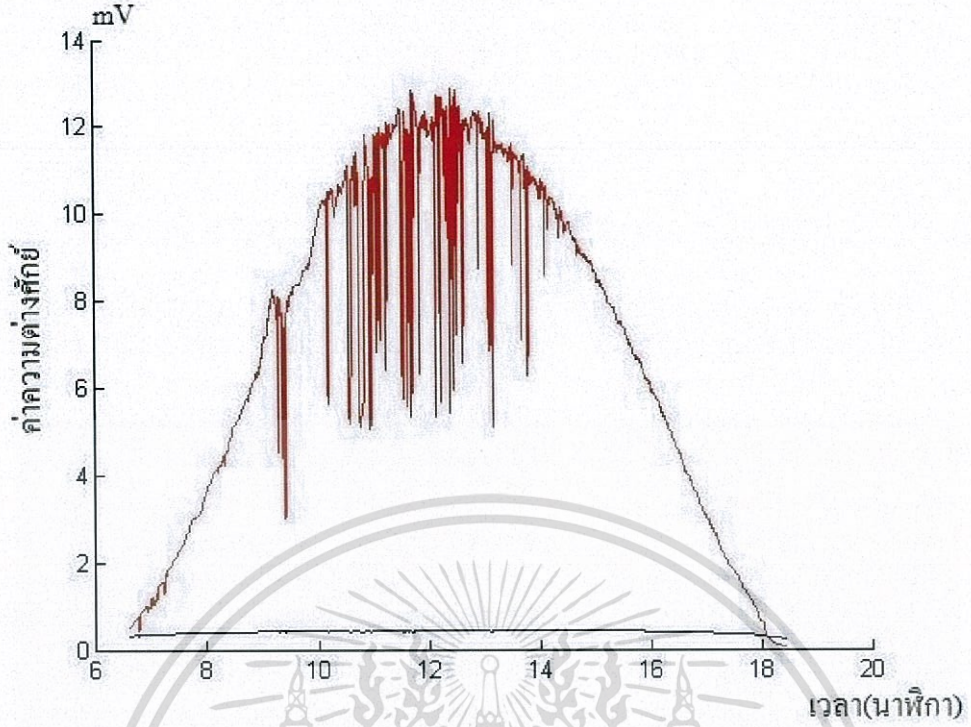


4.1.78 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 16

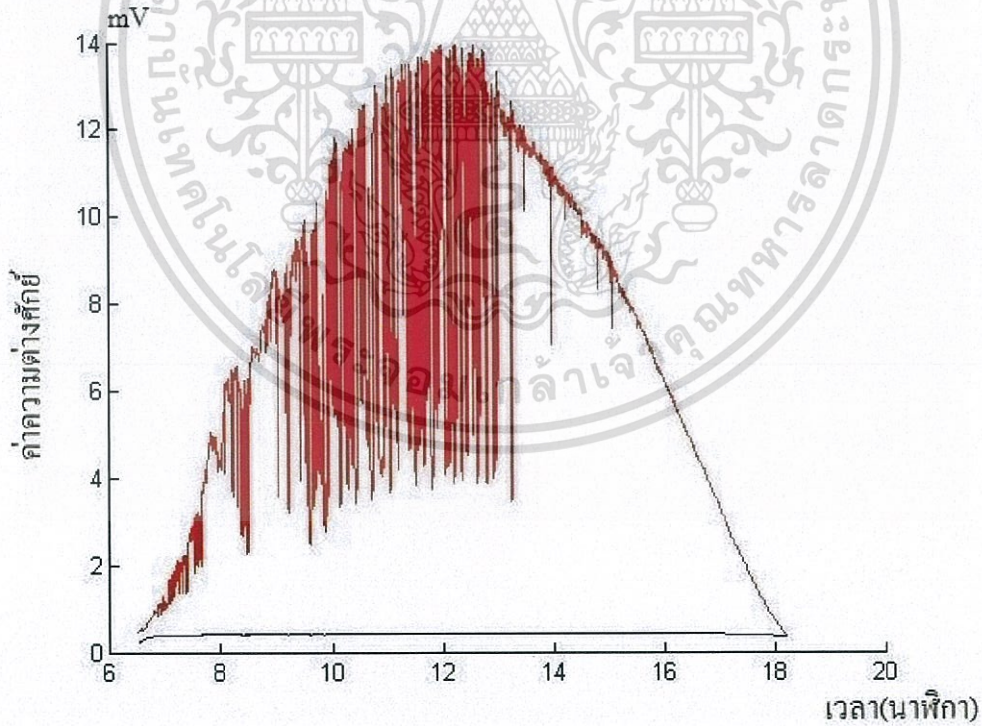


4.1.79 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

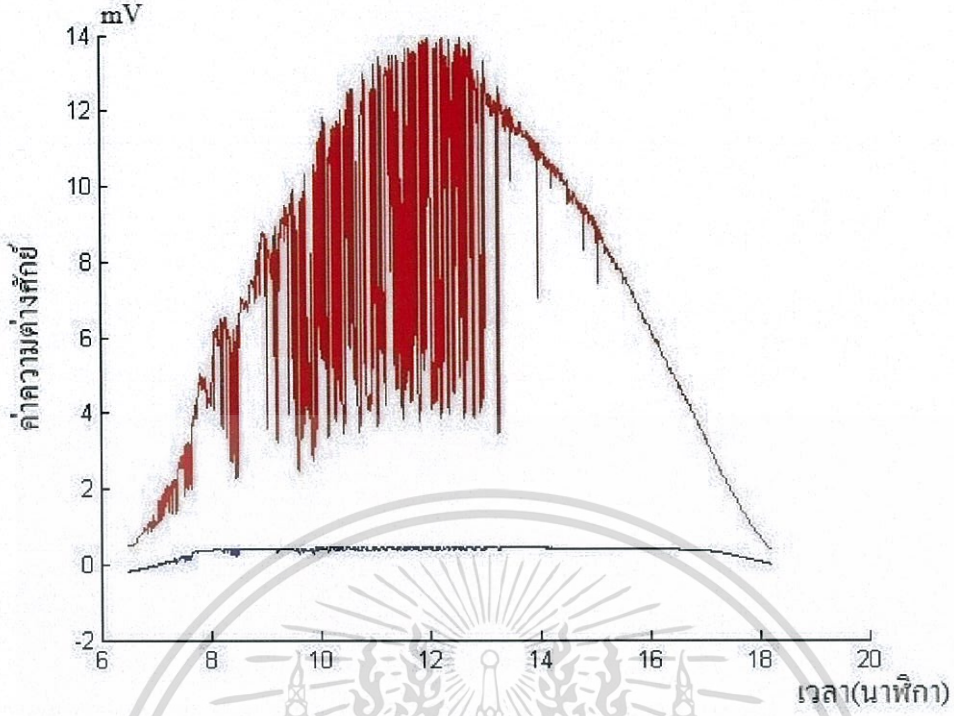


4.1.80 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 16

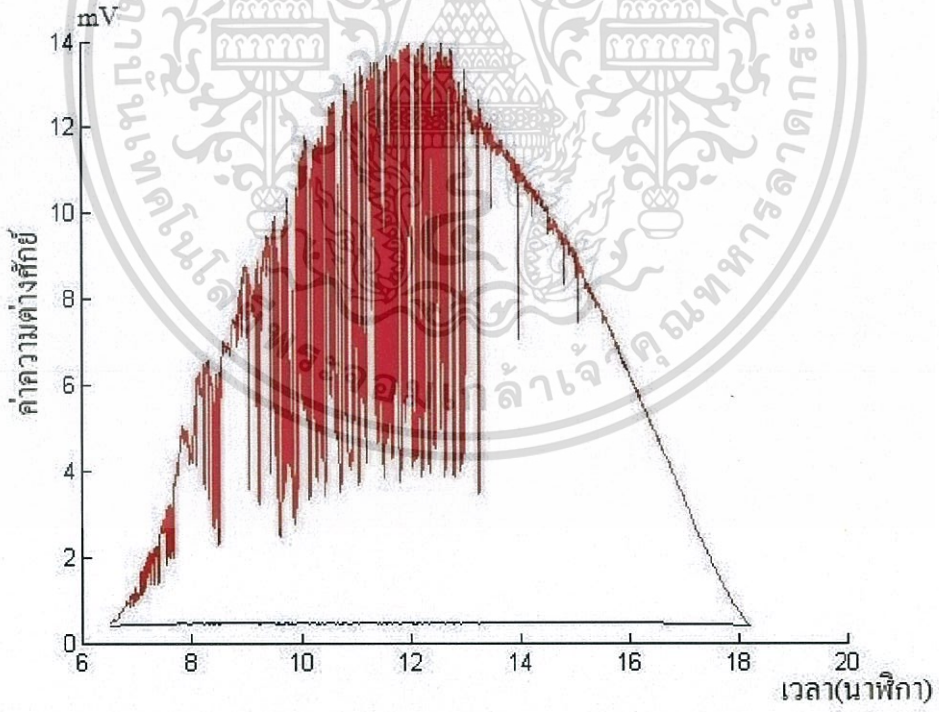


4.1.81 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

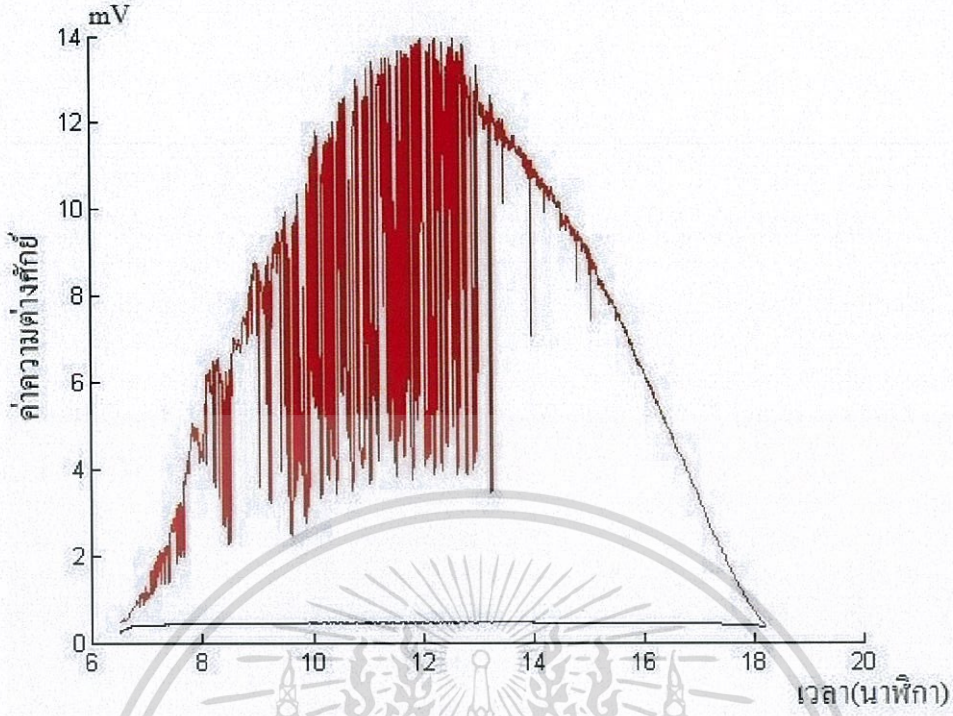


4.1.82 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973วันที่ 17

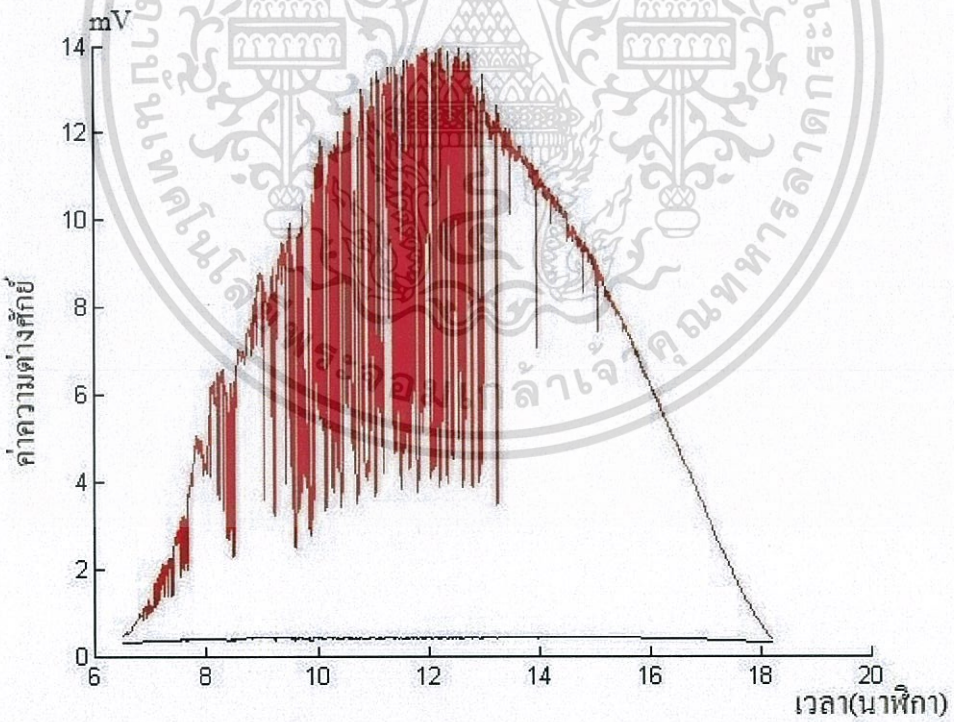


4.1.83 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.1.84 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 17

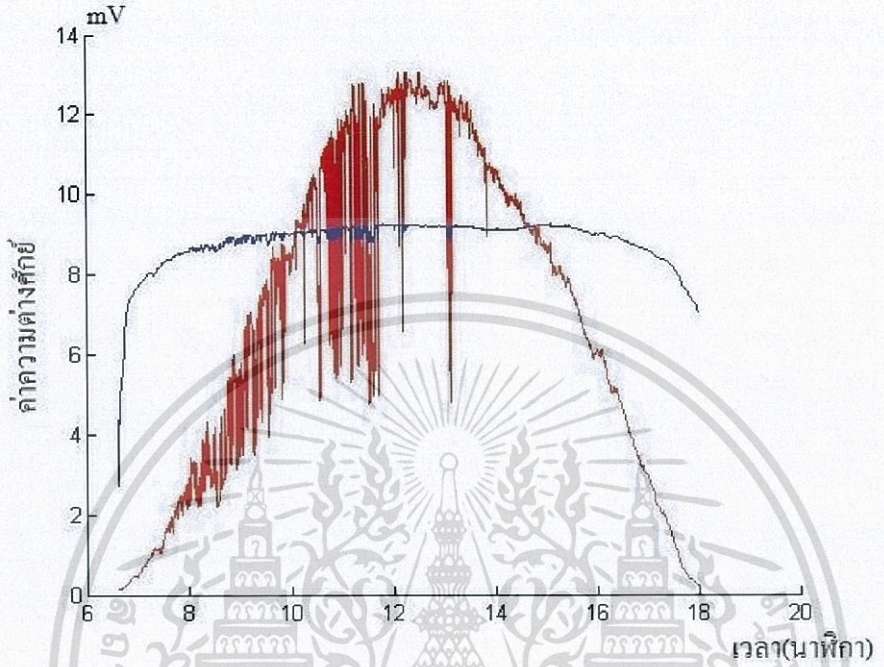


4.1.85 กราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 17

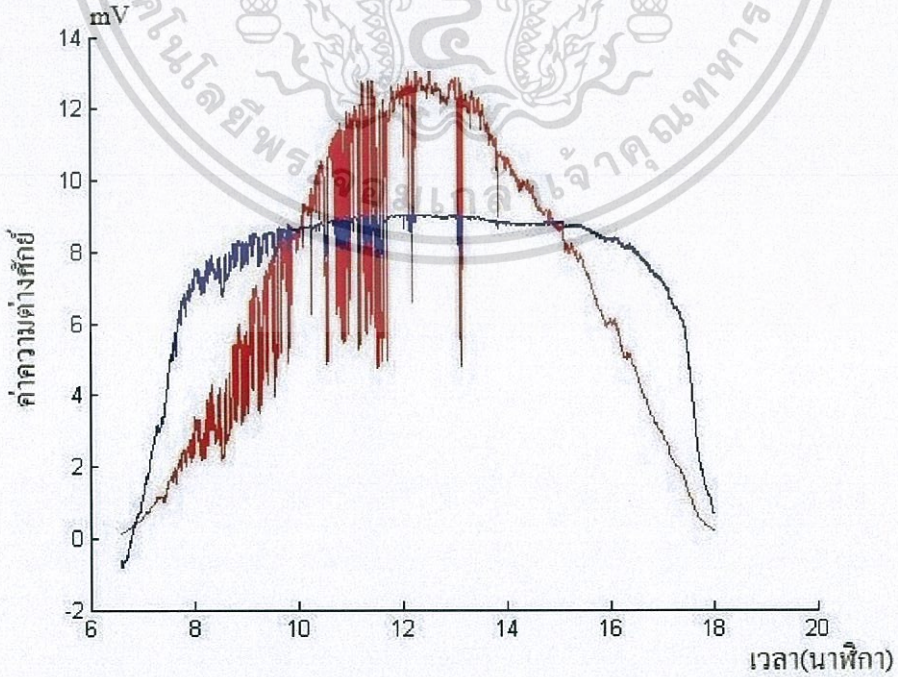
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขยายผลการทดลอง

เมื่อเรานำกราฟมาขยายเพื่อตรวจสอบผล ก็พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟยังคงคล้ายกับไพรานอมิเตอร์ตัวมาตราฐาน เพียงแต่เกิดการ saturate ขึ้น

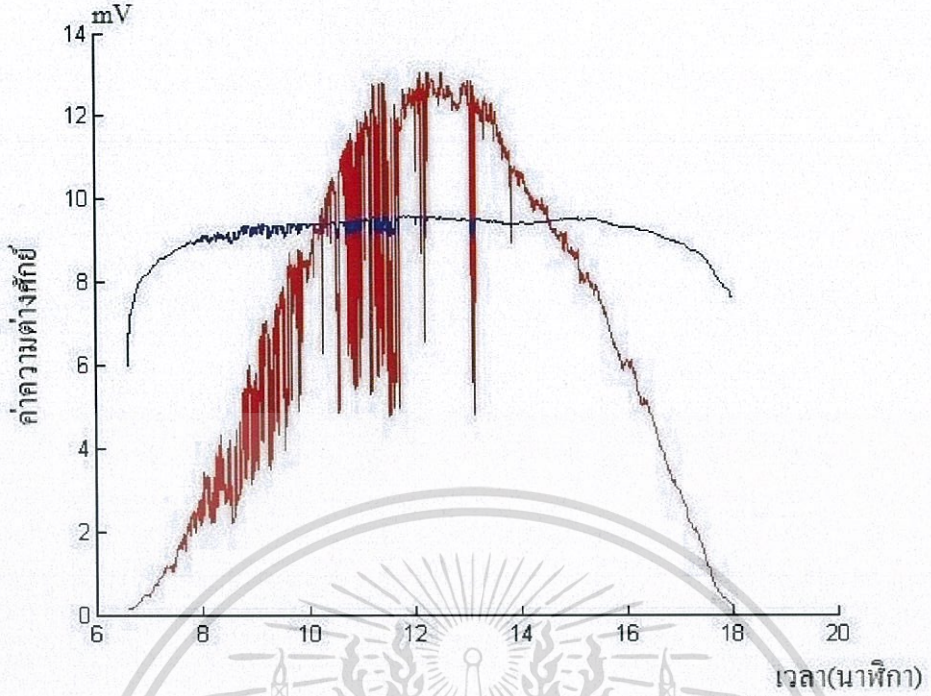


รูปที่ 4.2.1 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH วันที่ 1

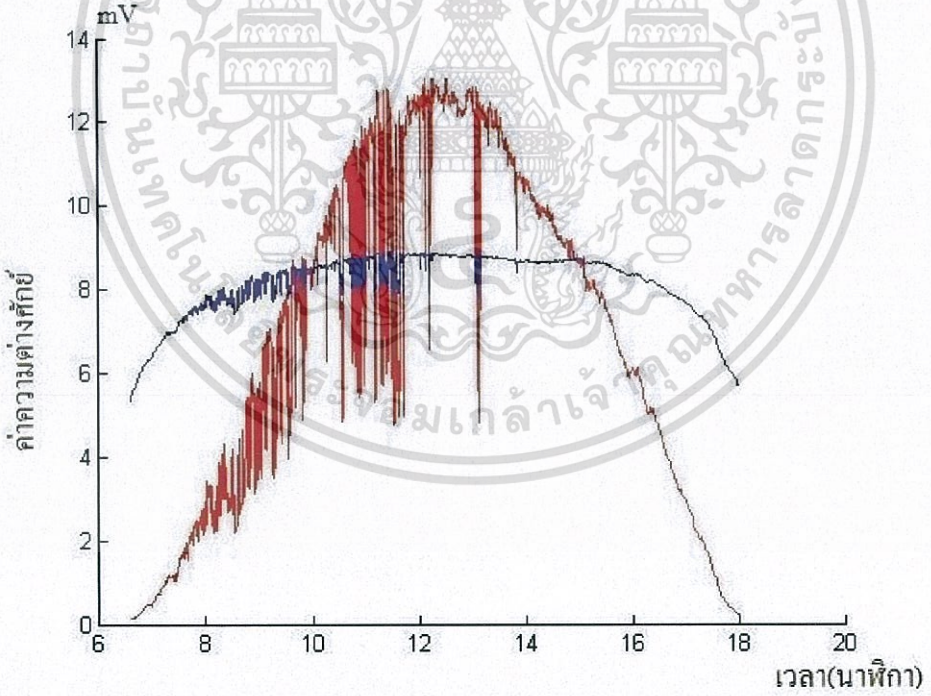


รูปที่ 4.2.2 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973 วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

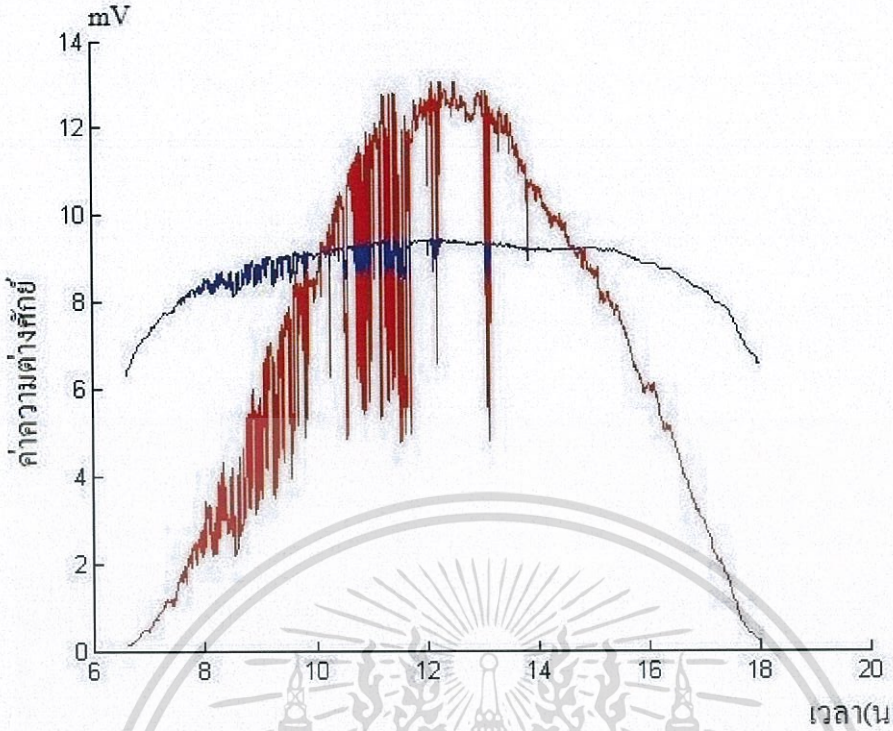


รูปที่ 4.2.3 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R วันที่ 1



รูปที่ 4.2.4 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH วันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



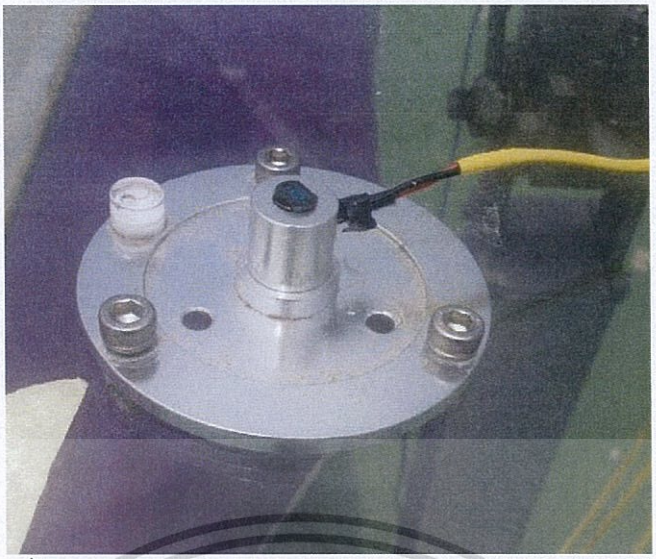
รูปที่ 4.2.5 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223 วันที่ 1

4.3 ข้อสันนิษฐาน

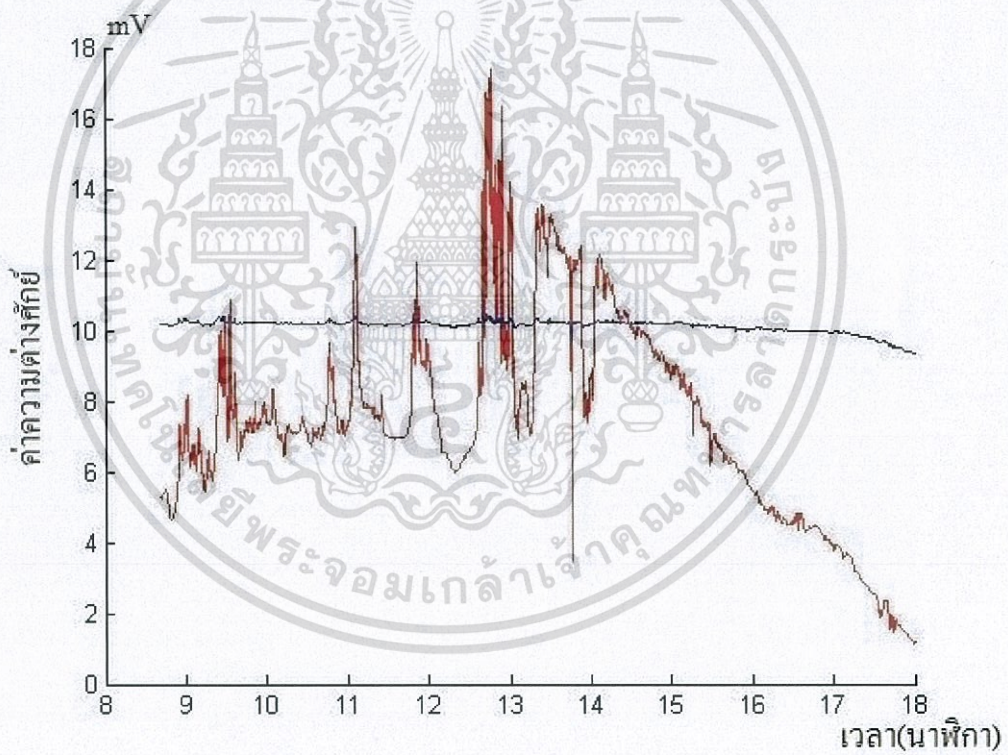
กำหนดข้อสันนิษฐานเพื่อหาทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

1. case ที่ใช้อาจมีผลทำให้เซ็นเซอร์เกิดการ saturate จึงถอด case ออกให้เซ็นเซอร์รับแสงโดยตรง
2. เปลี่ยนสายสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์เข้ากับ DATALOGGER
3. แสงที่ตกกระทบมีความเข้มมากไป จึงเพิ่มความหนาของฟิล์มเพื่อกรองแสงที่มาตกกระทบเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

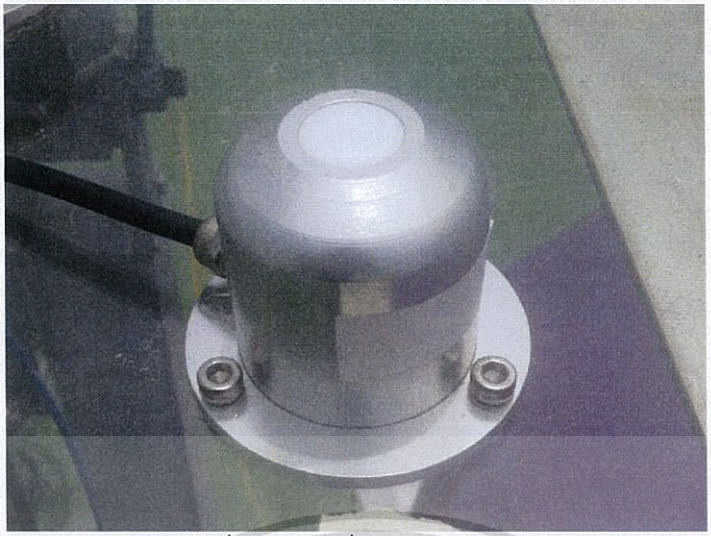


รูปที่ 4.3.1 ถอด case ออกให้เซ็นเซอร์รับแสงโดยตรง

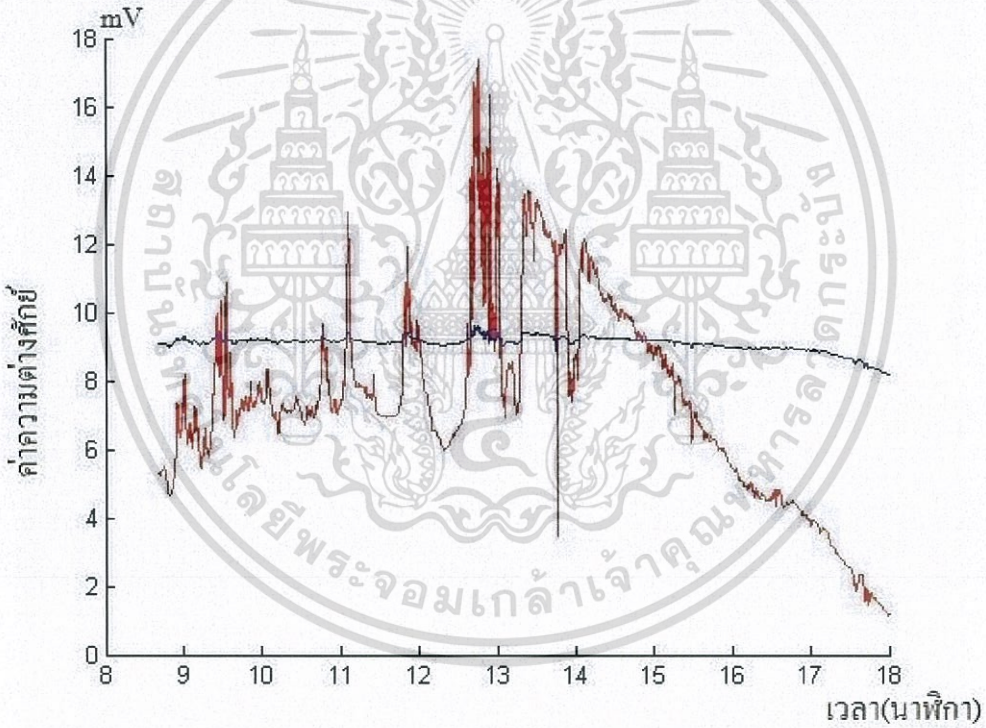


รูปที่ 4.3.2 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตรฐานกับโฟโต้ไดโอด
หลังจากถอด case ออกให้เซ็นเซอร์รับแสงโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

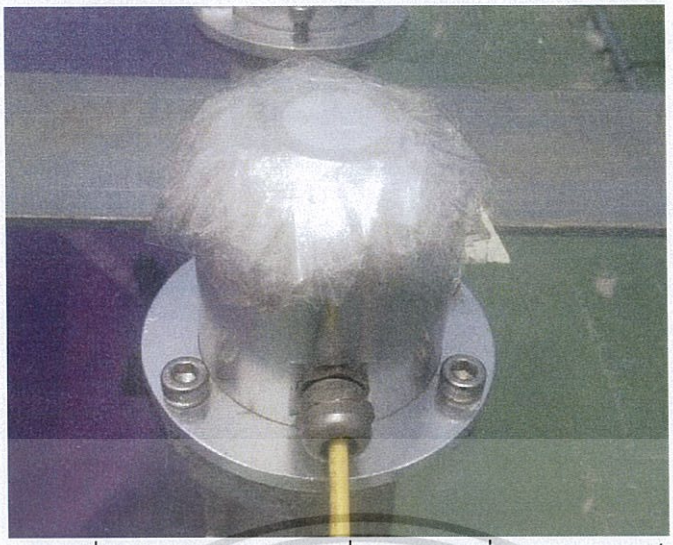


รูปที่ 4.3.3 เปลี่ยนสายสัญญาณ

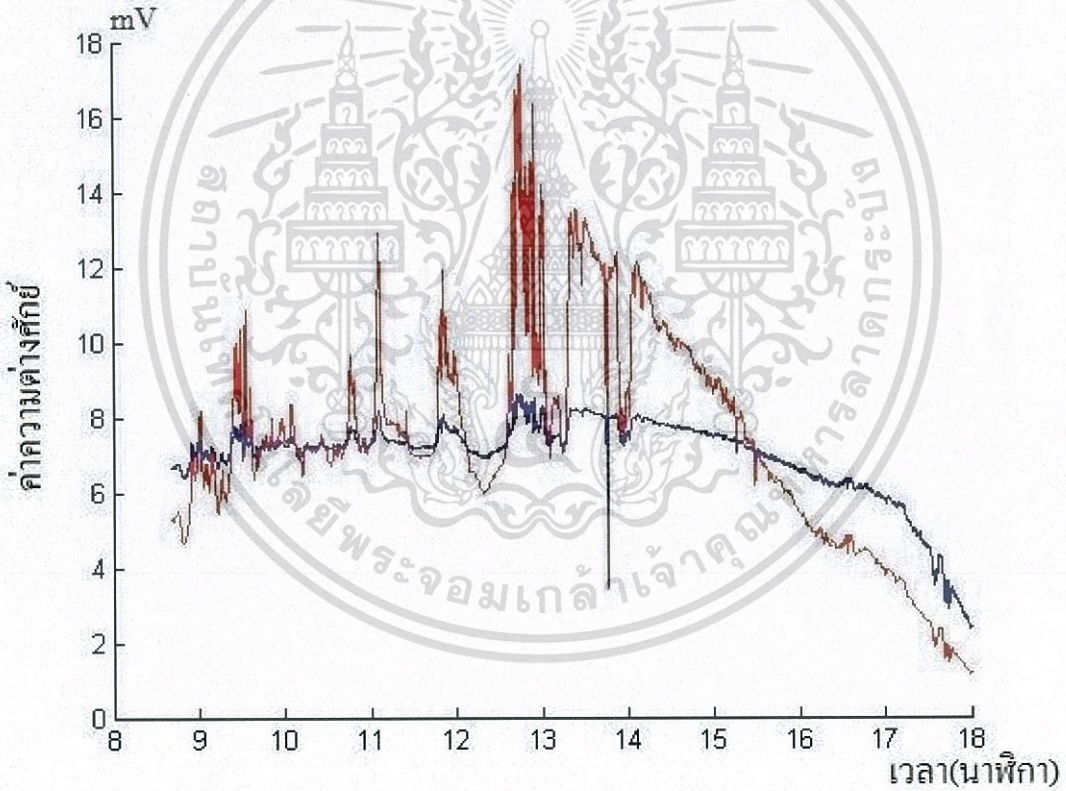


รูปที่ 4.3.4 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด
หลังจากเปลี่ยนสายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.5 เพิ่มความหนาของฟิล์มเพื่อกรองแสงที่มาตกกระทบเซ็นเซอร์

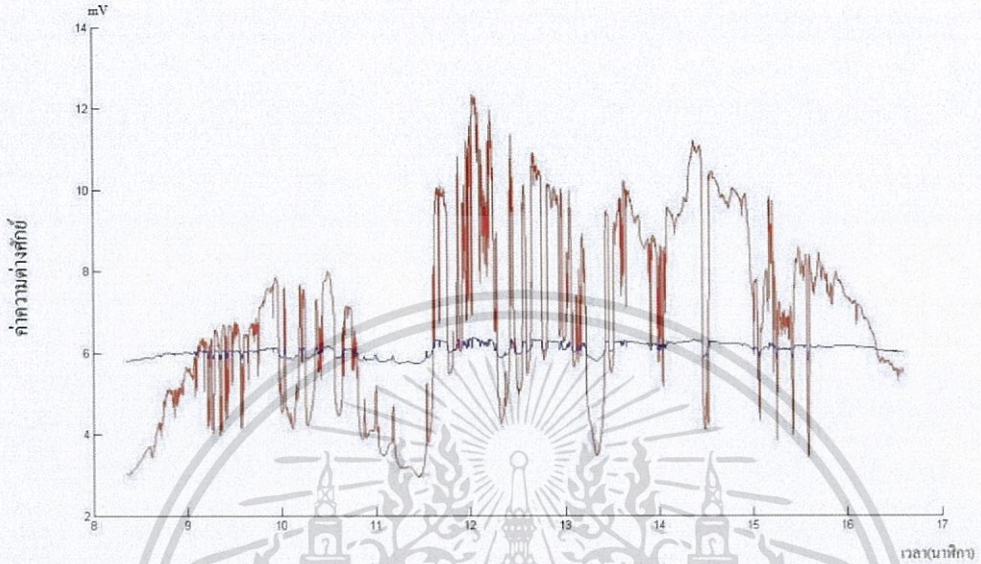


รูปที่ 4.3.6 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด
หลังจากเพิ่มความหนาของฟิล์มเพื่อกรองแสงที่มาตกกระทบเซ็นเซอร์

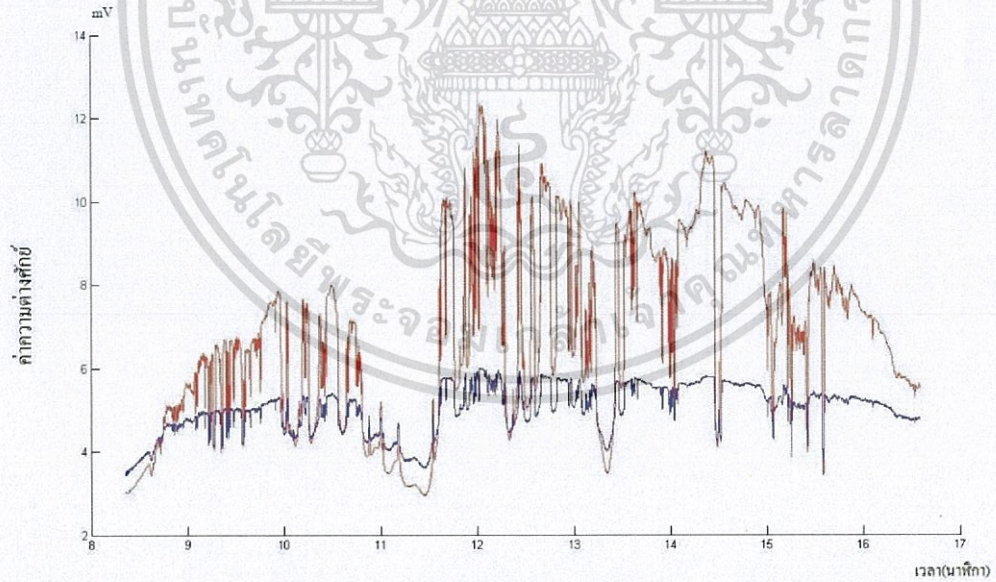
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ข้อสรุปผลการทดลอง

เมื่อรู้สาเหตุแล้วจึงทำการทดลองอีกครั้ง โดยการติดฟิล์มเพิ่มที่ไพรานอมิเตอร์ทุกตัวเพื่อหาข้อสรุป ได้ผลดังนี้

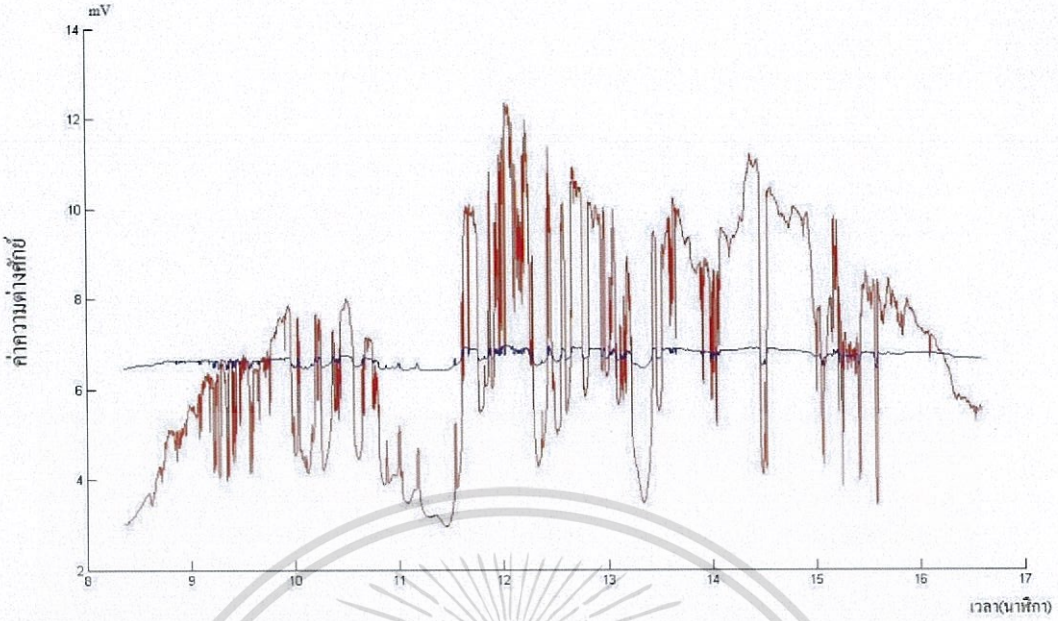


รูปที่ 4.4.1 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB8440BH

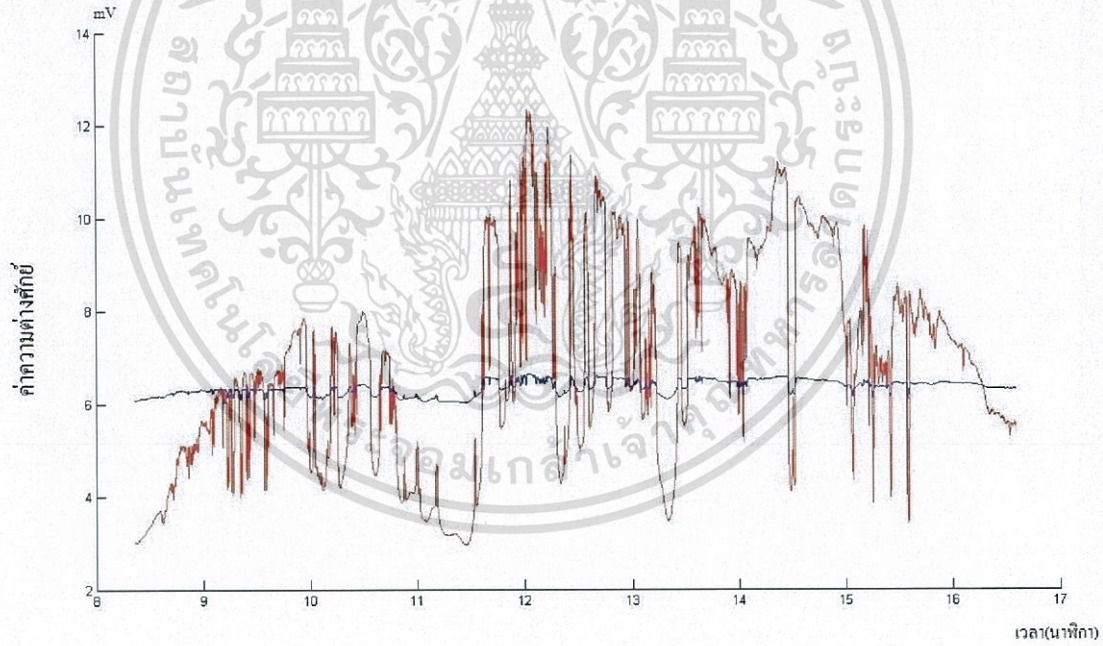


รูปที่ 4.4.2 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S5973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

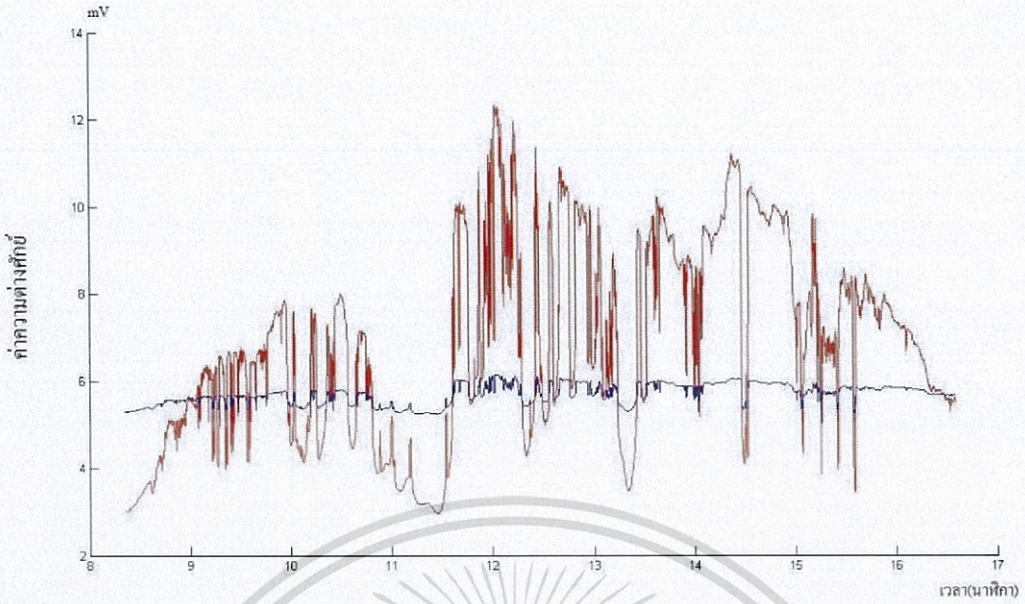


รูปที่ 4.4.3 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด BPW21R



รูปที่ 4.4.4 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด VTB5041BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.5 ขยายกราฟแสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างตัวมาตราฐานกับโฟโต้ไดโอด S1223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทำการเปรียบเทียบระหว่างไพรานอมิเตอร์ที่ทำจากเทอร์โมไพล์(ตัวมาตราฐาน)กับโซลิดสเตตไพรานอมิเตอร์ โดยทำการเก็บข้อมูลทุก 5 วินาที ตั้งแต่เวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 17 วัน แล้วจึงนำผลมาวิเคราะห์แล้วผลที่ได้คือกราฟค่อนข้างที่จะผิดรูป เนื่องจากความเข้มแสงที่ได้รับมีมากเกินไป และเทฟลอนมีขนาดบางเกินไปจึงทำให้ได้รับความเข้มแสงมากไป ผลจึงไม่เป็นไปตามทฤษฎี

ดังนั้นจึงทำการติดฟิล์มเพิ่มความหนาให้กับเทฟลอนเพื่อกรองแสงไม่ให้มีความเข้มมากเกินไป ผลที่ได้ปรากฏว่าโซลิดสเตตไพรานอมิเตอร์ที่มีเซ็นเซอร์เป็นโฟโต้ไดโอดรุ่น S5973 มีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับไพรานอมิเตอร์มาตราฐานมากกว่าชนิดอื่นๆ ฉะนั้นเราควรเลือกโซลิดสเตตไพรานอมิเตอร์ที่มีเซ็นเซอร์เป็นโฟโต้ไดโอดรุ่น S5973 เพราะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

จะเห็นได้ว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาของไพรานอมิเตอร์โฟโต้ไดโอดทั้ง 5 ชนิด เทียบกับไพรานอมิเตอร์ที่ทำมาจากเทอร์โมไพล์(ตัวมาตราฐาน)มีความแตกต่างกันมากเนื่องจากโฟโต้ไดโอดทั้ง 5 ชนิด อาจเกิดการอิ่มตัว(saturated)เพราะความเข้มแสงที่ได้รับมีค่ามากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Green A Martin. 1992. Solar cells Operating Principles Technology and System Application. Frist Edition : Prentice-Hall. Inc, pp 9-11

[2] ผศ.ดร.พิชัย นามประกาย. 2546. การทดสอบคุณสมบัติเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ภาคสนามชนิดซิลิคอนเซลล์แสงอาทิตย์ของมหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. [Online]. Available : http://www.nectec.or.th/NTJ/No16/papers/05.pdf.

[3] จิตติพงศ์ พันธ์สว่าง และพีรณัฐ คำศรีสุข. 2555. "โซลิดสเตทไพรานอมิเตอร์ต้นทุนต่ำ." ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง