



การพัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำเบื้องต้น



โดย

นางสาวศศิมาภรณ์ โมกขาว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร



การพัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำเบื้องต้น



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

PRELIMINARY DEVELOPMENT OF LOW-COST INSTRUMENT FOR MEASURING
SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (PHYSICS)
Department of PHYSICS
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2018
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำเบื้องต้น
โดย	ศศิมาภรณ์ โมกขาว
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทน์ฉาย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

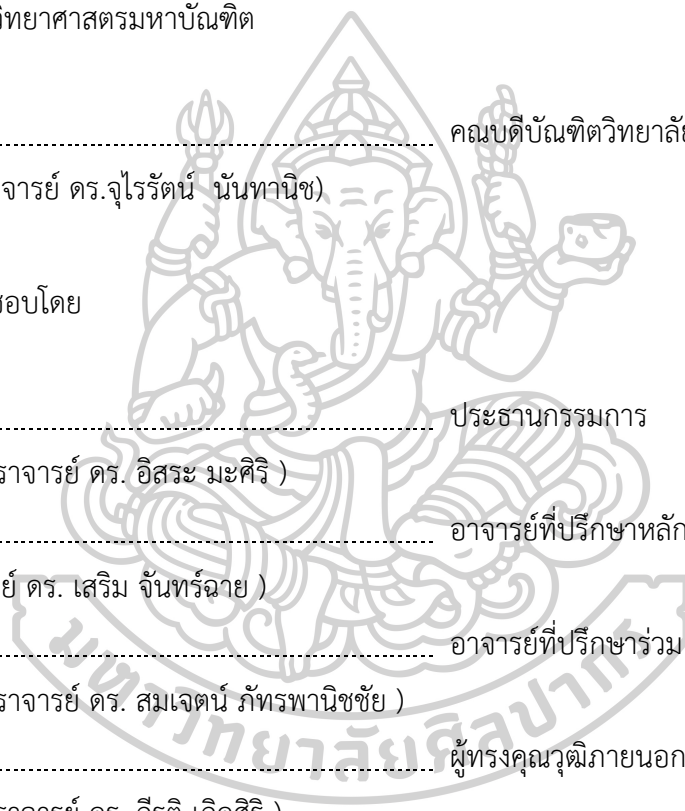
..... คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย
 (รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย
 ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อีสระ มะศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
 (ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทน์ฉาย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิรติ เกิดศิริ)



59306205 : ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

นางสาว ศศิมาภรณ์ โมกขาว: การพัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์
ต้นทุนต่ำเบื้องต้น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ต้นทุนต่ำที่มีความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลปานกลาง มีขนาดเล็ก และสามารถพกพาได้ โดยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) การออกแบบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต้องการให้เครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกมาเป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อผู้ใช้งานทั่วไปสามารถทราบถึงความปลอดภัยของรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ง่าย ผู้วิจัยได้เลือกใช้อุปกรณ์สำหรับการพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตดังนี้ เซนเซอร์วัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต อาดูย โน้ เรียลไทม์คล็อก ไมโครเอสดีการ์ด จอแสดงผล และตัวต้านทานปรับค่าได้ แล้วทำการต่อวงจรพร้อมกับบรรจุอุปกรณ์ลงบนกล่องอะคริลิก จากนั้นนำเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สร้างขึ้นไปติดตั้งเทียบกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน และเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลลงไมโครเอสดีการ์ด และแสดงผลทางหน้าจอ ในการทดสอบการทำงานของเครื่องวัด ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นไปวัดเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่ (18.8°N, 98.98°E) จังหวัดอุบลราชธานี (15.25°N, 104.87°E) และจังหวัดสงขลา (7.2°N, 100.06°E) ผลการเปรียบเทียบที่จังหวัดนครปฐม เชียงใหม่ อุบลราชธานี และจังหวัดสงขลา มีค่า Root Mean Square Error (RMSE) เท่ากับ 18% 38% 33% และ 34% ตามลำดับ และค่า Mean Bias Error (MBE) เท่ากับ 9% 16% 21% และ 24% ตามลำดับ

59306205 : Major (PHYSICS)

MISS SASIMARPHON MOKEKAO : PRELIMINARY DEVELOPMENT OF LOW-COST INSTRUMENT FOR MEASURING SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION. THESIS ADVISOR : PROFESSOR SERM JANJAI, Ph.D.

In this work, a low-cost and moderately, accurate portable device for measuring solar ultraviolet radiation (UV) was developed at Silpakorn University in Nakhon Pathom (13.82°N, 100.04°E). The aim of the development of this device is to measure solar ultraviolet radiation and display the value in term of ultraviolet index (UV index) as it is easy for general users in order to know the hazards of ultraviolet radiation. The device consists of uv sensor, Arduino Uno R3, Real-Time Clock, Micro SD Card, LCD and resistor. This ultraviolet radiation measuring device was constructed equipped in an acrylic black box. Then, this device was installed beside a standard spectrometer (Bentham, model DMC 150) in order to obtain the relation between the voltage signal of the device and the ultraviolet radiation from the standard instrument. This relation was programmed in Arduino to convert voltage signal to ultraviolet radiation. Also the device was programmed for recording data into the microSD card and display the value on the screen. To test the performance of the device, it was installed beside the standard spectrometer installed at Silpakorn University, Nakhon Pathom. This device was also taken to 3 meteorological stations, namely Chiang Mai (18.8°N, 98.98°E), Ubon Ratchathani (15.25°N, 104.87°E) and Songkhla (7.2°N, 100.06°E) to compare with broadband ultraviolet radiometers. The comparison results from Nakhon Pathom, Chiang Mai, Ubon Ratchathani and Songkhla showed the differences in terms of root mean square error (RMSE) of 18%, 38%, 33% and 34%, respectively, and mean bias error (MBE) of 9%, 16%, 21% and 24% respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาระดับปริญญาโทระดับนี้ ผู้วิจัยได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง และขอขอบคุณศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ติดตั้งเครื่องมือ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและให้คำแนะนำทางวิชาการ พร้อมทั้งจัดหาทุนวิจัย เครื่องมือ และข้อมูลที่เป็นสำหรัใช้ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมาลย์ บันเทิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรทิพย์ โต้ะสิงห์ และนักวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาในการสร้างและการทดสอบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ เกิดศิริ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ คุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดาและมารดา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณที่ได้ช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

ศศิมาภรณ์ โมกขาว



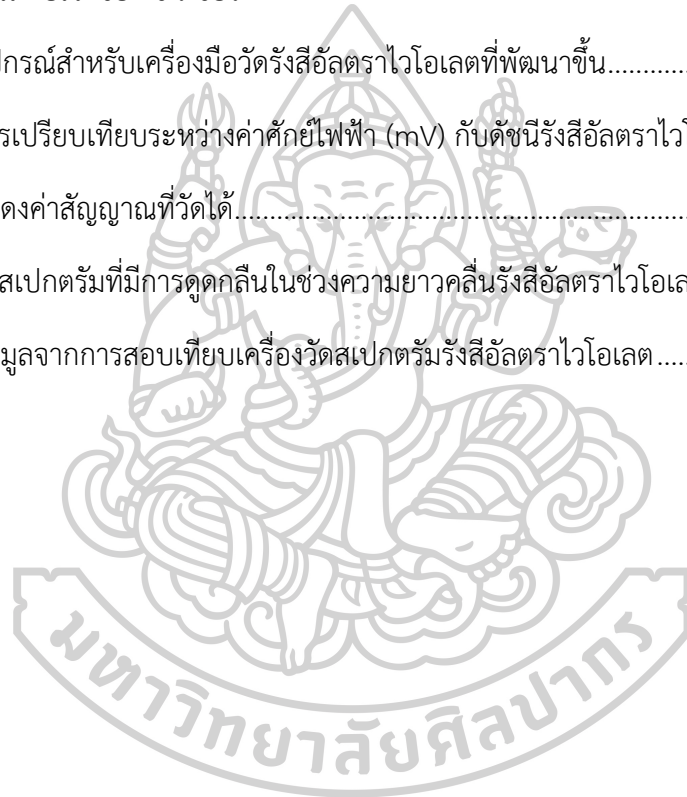
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แหล่งกำเนิดรังสีอาทิตย์.....	3
2.2 แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	5
2.2.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลก.....	6
2.2.2 ผลของโอโซนต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	7
2.2.3 ผลของฝุ่นละอองต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	8
2.2.4 ผลของเมฆต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	9
2.4 ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสิ่งมีชีวิต	11
2.5 ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV index).....	14
2.6 การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	15
2.6.1 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	15

2.6.2 เซนเซอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต	20
2.7 คุณลักษณะ (Characteristic) ของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	25
2.7.1 สภาพตอบสนอง (responsivity) หรือสภาพไวรังสี (sensitivity)	25
2.7.2 การตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (spectral response)	25
2.7.3 การตอบสนองต่อมุมตกกระทบ (cosine response)	26
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการและผล	31
3.1 การออกแบบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	31
3.2 การพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	35
3.3 การทดสอบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น	40
3.4 การแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น	51
3.5 การสอบเทียบคุณลักษณะของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น	54
3.5.1 คุณลักษณะการตอบสนองของมุมตกกระทบต่อเครื่องมือวัด (cosine response)	54
3.5.2 คุณลักษณะการตอบสนองของเครื่องมือวัดรังสีต่อความยาวคลื่นที่ตกกระทบ (Spectral response)	61
บทที่ 4 สรุป	64
รายการอ้างอิง	66
ภาคผนวก	68
ประวัติผู้เขียน	75

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Organization & Protection, 2002).....	14
ตารางที่ 2 แสดงเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตพร้อมราคาของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยประมาณ	25
ตารางที่ 3 คุณลักษณะของเซนเซอร์	31
ตารางที่ 4 อุปกรณ์สำหรับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น.....	32
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (mV) กับดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต	34
ตารางที่ 6 แสดงค่าสัญญาณที่วัดได้.....	59
ตารางที่ 7 ค่าสเปกตรัมที่มีการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต	70
ตารางที่ 8 ข้อมูลจากการสอบเทียบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	72



สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 โครงสร้างและชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์.....	3
รูปที่ 2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์.....	4
รูปที่ 3 สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก.....	6
รูปที่ 4 สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลกและรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านชั้นบรรยากาศโลก (ประพนมกร ชูศรี, 2556).....	7
รูปที่ 5 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า.....	9
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตและค่าความลึกเชิงแสงของเมฆ.....	10
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าการตอบสนองของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ Plant damage, DNA Damage และ Erythema (Madronich, 1993).....	11
รูปที่ 8 ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตก่อให้เกิดผิวหนังแดงแสบร้อน.....	12
รูปที่ 9 ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลานานก่อให้เกิดโรคสะเก็ดเงิน.....	12
รูปที่ 10 กราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (CIE, 1987).....	13
รูปที่ 11 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (เสริม จันทร์ฉาย, 2557).....	15
รูปที่ 12 อุปกรณ์แยกรังสีแบบคู่ (เสริม จันทร์ฉาย, 2557).....	16
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสามารถในการแยกสเปกตรัมของอุปกรณ์แยกรังสี (Webb, 1998).....	17
รูปที่ 14 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น DMc150 บริษัท Bentham.....	17
รูปที่ 15 แผนภูมิแสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง.....	18
รูปที่ 16 เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-biometer 501-A บริษัท Solar Light.....	19
รูปที่ 17 ลักษณะภายในของเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ รุ่น GUV-2511.....	19

รูปที่ 18 เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ	20
รูปที่ 19 เซนเซอร์ Silicon Carbide (SiC) Photodiode	21
รูปที่ 20 เซนเซอร์ Si 1145	21
รูปที่ 21 เซนเซอร์ ML8511	22
รูปที่ 22 เครื่องวัด SENSITIVE UVB METER	23
รูปที่ 23 เครื่องวัด UV (A+B) METER.....	23
รูปที่ 24 เครื่องมือวัด TM-206D	23
รูปที่ 25 เครื่องวัด UVision Meter (Hoblos et al., 2015).....	24
รูปที่ 26 เครื่องมือวัด Helios Meter (Lönngqvist et al., 2018).....	24
รูปที่ 27 การตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วง ความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-biometer 501 (https://solarlight.com).....	26
รูปที่ 28 กราฟแสดงการตอบสนองมุมตกกระทบของเครื่องวัดรังสีรวม (เสริม จันทร์ฉาย, 2557) ...	27
รูปที่ 29 บอร์ด Arduino Uno R3.....	32
รูปที่ 30 RTC DS3231.....	32
รูปที่ 31 Micro SD Card Module.....	33
รูปที่ 32 จอ LCD ขนาด 16×2 cm	33
รูปที่ 33 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10K.....	33
รูปที่ 34 แผนภาพการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น	33
รูปที่ 35 กราฟระหว่างค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)	35
รูปที่ 36 แผนภาพวงจรจำลองสำหรับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น	36
รูปที่ 37 ลักษณะภายในเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น	37
รูปที่ 38 ลักษณะภายนอกของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น	37
รูปที่ 39 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเพื่อศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับค่าความเข้มรังสี อัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต	38

รูปที่ 40 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่องมือรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเพื่อแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์ (mV) เป็นดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVI) เพื่อให้แสดงผลทางจอ LCD เป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต	39
รูปที่ 41 (ก) เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเทียบกับ (ข) เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	40
รูปที่ 42 การแปรค่าในรอบวันของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (____) กับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน (____).....	41
รูปที่ 43 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน	41
รูปที่ 44 ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVI standard) (____) กับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (UVI UVM-30A) (____).....	42
รูปที่ 45 การเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้น (UV _{EUUVUM-30A}) กับค่าที่ได้จากการวัดด้วย Bentham (UV _{Bentham}).....	44
รูปที่ 46 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (ด้านซ้าย) เทียบกับ UV-Biometer (ด้านขวา)	45
รูปที่ 47 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัด Biometer ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่.....	46
รูปที่ 48 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (ด้านซ้าย) เทียบกับ UV-Biometer (ด้านขวา)	47
รูปที่ 49 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัด Biometer ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดอุบลราชธานี	48
รูปที่ 50 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (ด้านซ้าย) เทียบกับ UV-Biometer (ด้านขวา)	49
รูปที่ 51 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัด Biometer ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสงขลา	50
รูปที่ 52 ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกรณีท้องฟ้าปราศเมฆ	51
รูปที่ 53 ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกรณีเมฆบางส่วน	51

รูปที่ 54 ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกรณีเมฆเต็มท้องฟ้า	51
รูปที่ 55 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในรอบวัน เดือนเมษายน ถึง พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2562 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม	52
รูปที่ 56 รังสีอาทิตย์ตกกระทบเซนเซอร์ที่มุม θ	54
รูปที่ 57 แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การสอบเทียบ cosine response ซึ่งประกอบด้วย 1) หลอด ทังสเทนฮาโลเจน 2) เลเซอร์ฮีเลียมนีออน 3) เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น 4) ชุด อุปกรณ์ปรับ มุมแบบละเอียด 5) คอมพิวเตอร์ควบคุม	55
รูปที่ 58 ติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับชุดอุปกรณ์ปรับมุมแบบละเอียด	56
รูปที่ 59 ปรับระดับตำแหน่งของเซนเซอร์ตรงกลางให้อยู่ตรงกลาง	57
รูปที่ 60 เปิดแหล่งกำเนิดเป็นเวลาประมาณ 20 นาที.....	57
รูปที่ 61 โปรแกรมการปรับมุม θ	57
รูปที่ 62 ภาพที่ถ่ายขณะกำลังทำการสอบเทียบหาค่าการตอบสนองของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้น	58
รูปที่ 63 การตอบสนองต่อมุมตกกระทบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (___) เทียบ กับค่า cosine (___)	60
รูปที่ 64 แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การสอบเทียบ Spectral response 1) หลอดซีนอน 2) โมโน โครมาเตอร์ 3) เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น 4) เครื่องควบคุมโมโนโครมาเตอร์ 5) คอมพิวเตอร์ควบคุมและบันทึกข้อมูล	61
รูปที่ 65 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับสอบเทียบค่าการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องมือ วัดที่พัฒนาขึ้น	62
รูปที่ 66 ผลการวัดค่าการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ พัฒนาขึ้น	63
รูปที่ 67 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น DMC150	69
รูปที่ 68 การสอบเทียบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	71
รูปที่ 69 โปรแกรม Benwin+ บันทึกค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้.....	71
รูปที่ 70 ค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดแสงของหลอดกำเนิดแสงมาตรฐาน.....	73

รูปที่ 71 ค่าความเข้มของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 260-400 นาโนเมตร ของ หลอดมาตรฐาน.....	73
รูปที่ 72 ค่า sensitivity ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการสอบเทียบ	74



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นส่วนหนึ่งของรังสีอาทิพย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 100-400 นาโนเมตร ตามหลักเกณฑ์ของผลทางชีววิทยา สามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นออกเป็น 3 ช่วงความยาวคลื่น คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ มีความยาวคลื่น 315-400 นาโนเมตร รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี มีความยาวคลื่น 280-315 นาโนเมตร และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี มีความยาวคลื่น 100-280 นาโนเมตร (Organization & Protection, 2002) แต่จะมีเพียงอัลตราไวโอเล็ตเอและรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลกเท่านั้น เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีถูกดูดกลืนโดยออกซิเจนและไนโตรเจนโอโซนในชั้นบรรยากาศ รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลกคิดโดยประมาณ 1.5% ของรังสีอาทิพย์ทั้งหมด (เสริม จันทร์ฉาย, 2557) โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกทั้งผลดีและผลเสีย ผลดี คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วยกระตุ้นให้ร่างกายของมนุษย์สังเคราะห์วิตามินดีที่มีหน้าที่ช่วยให้กระดูกของร่างกายแข็งแรง และทางการแพทย์รังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วยในการรักษาโรคผิวหนัง สะเก็ดเงิน เป็นต้น ผลเสีย คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้ผิวหนังของมนุษย์เกิดรอยแดง ริวรอย ผิวดำ ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเป็นเวลานานก่อให้เกิดเป็นมะเร็งผิวหนังหรือสะเก็ดเงิน เป็นต้น

ปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะบอกในหน่วยของ วัตต์ต่อตารางเมตร แต่เมื่อปี ค.ศ. 1873 องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก ได้กำหนดปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV index) เพื่อให้บุคคลทั่วไปเข้าใจได้ง่ายขึ้นถึงปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต

จากผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่งผลเสียต่อผิวหนังมนุษย์ก่อให้เกิดริ้วรอย ผิวดำ และโรคผิวหนัง สะเก็ดเงิน เป็นต้น วิธีการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำได้หลายวิธีโดยการ สวมเสื้อแขนยาว สวมหมวก ใส่แว่นตา ทาครีมกันแดด และควรหลีกเลี่ยงการออกไปกลางแจ้งในช่วงเวลาเที่ยง ดังนั้น การทราบปริมาณความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตถือว่าเป็นเรื่องสำคัญ เพื่อให้เราทราบถึงปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในการป้องกันการเกิดผลเสียแก่ร่างกาย โดยทั่วไปข้อมูลปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถวัดได้โดยตรงโดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐานซึ่งมีราคาค่อนข้างแพงหรือสามารถคำนวณโดยการใส่แบบจำลองซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอินพุท เช่น โอโซน เมฆ และฝุ่นละออง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีต้นทุนต่ำ มีขนาดเล็ก สามารถพกพาสะดวก แสดงผลออกเป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต้นทุนต่ำเบื้องต้น
2. ทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต้นทุนต่ำ และทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต



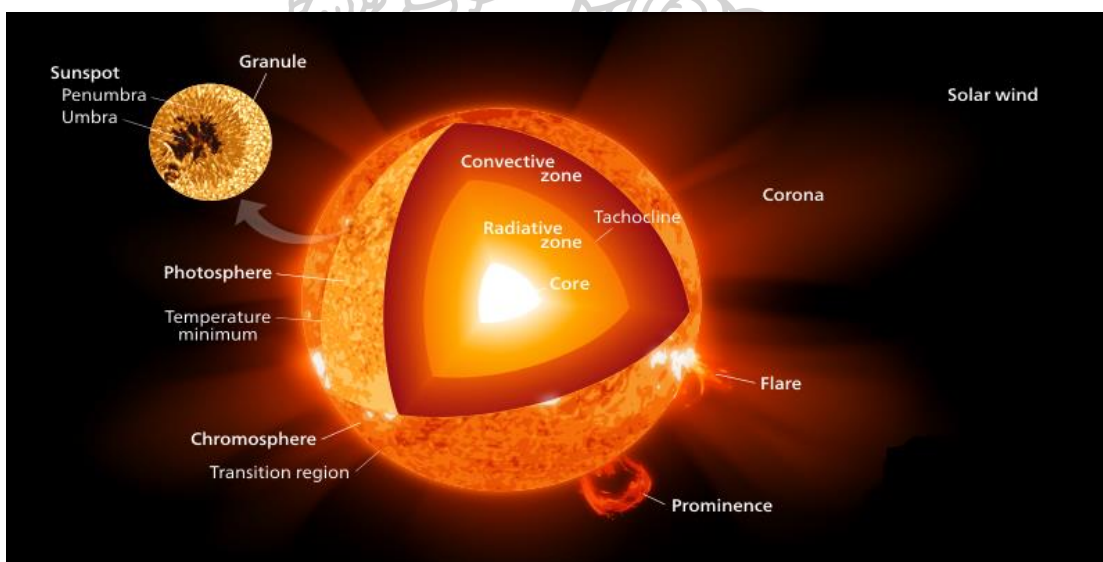
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งกำเนิดรังสีอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุดและเป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดของโลก ซึ่งสามารถนำมาใช้ตามธรรมชาติในรูปของแสงสว่างและความชื้น และนำมาใช้โดยอาศัยเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นที่บริเวณใจกลาง (core) สูง โครงสร้างของดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วย ใจกลาง (core) บริเวณแผ่รังสี (radiative zone) บริเวณพาความร้อน (convective zone) และบรรยากาศของดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วย บรรยากาศชั้นล่างสุดเรียกว่า โฟโตสเฟียร์ (photosphere) ถัดมา คือ โครโมสเฟียร์ (chromosphere) และบรรยากาศชั้นนอกสุด คือ โคโรนา (corona) พลังงานที่เกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิหลายล้านเคลวินโดยพลังงานจะถ่ายเทมาที่ผิวของดวงอาทิตย์ (รูปที่ 1)



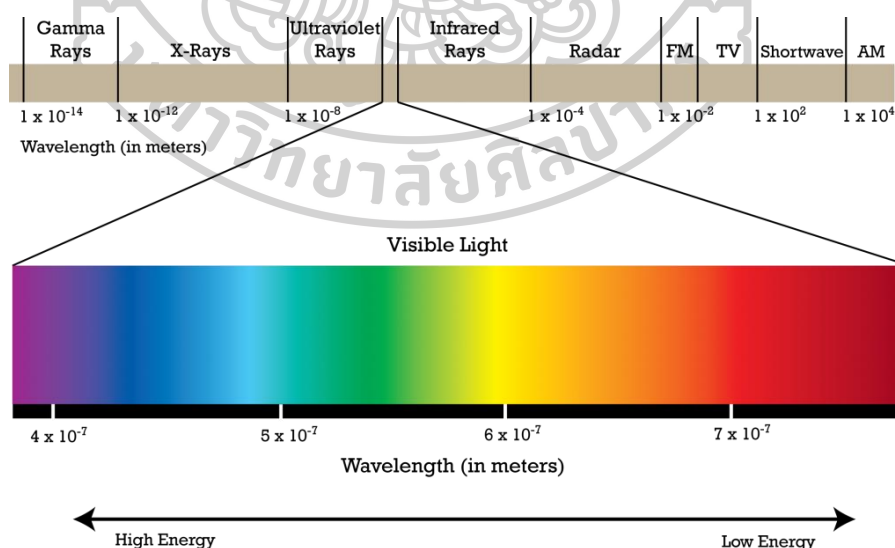
รูปที่ 1 โครงสร้างและชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์
(ที่มา <https://www.universetoday.com>)

ในชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์จะเกิดปรากฏการณ์ที่สำคัญ คือ จุดมืด (Sunspot) มีลักษณะเป็นบริเวณมืดกว่าบริเวณรอบ ๆ จุดมืดมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณรอบ ๆ จุดมืดจะเริ่มจากจุดเล็ก ๆ แล้วมีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นจะสลายตัวไป สามารถสังเกตได้ในบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ และโครโมสเฟียร์ ปรากฏการณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ โพรมิเนนซ์ (Prominence) ซึ่งมีลักษณะเป็นมวลพุ่งขึ้น มีความสูงหลายหมื่นกิโลเมตรและคงอยู่หลายวัน สังเกตได้ในขณะเกิดสุริยุปราคาเต็มดวง นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่ามวลสารเหล่านี้ถูกพวยพุ่งด้วยสนามแม่เหล็กของดวงอาทิตย์ทำให้คงสภาพอยู่ในลักษณะนี้

ปรากฏการณ์ การลุกจ้า (Flare) เป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในบรรยากาศของดวงอาทิตย์ มีลักษณะเกิดเป็นบริเวณสว่างซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วโดยเกิดจากการระเบิดอย่างรุนแรงในบรรยากาศของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาสั้น ๆ สามารถสังเกตการณ์การลุกจ้าได้ในบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์

อุณหภูมิภายในบริเวณการเกิดการลุกจ้าสูงถึง 10 ล้านเคลวิน และปรากฏการณ์การลุกจ้ายังส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์แสงเหนือและแสงใต้ โดยนักวิทยาศาสตร์พบว่าปรากฏการณ์ทั้งหมดนี้มีสาเหตุมาจากสนามแม่เหล็กใต้ผิวดวงอาทิตย์ซึ่งมีความเข้มสูงและซับซ้อน

ดวงอาทิตย์ให้พลังงานออกมายังอวกาศรอบ ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 3-3000 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นช่วง ๆ ตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีที่ตามนุษย์มองเห็น รังสีอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์

(ที่มา <https://macnews.tistory.com>)

พลังงานของรังสีที่แผ่ออกมาในช่วงต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับความถี่หรือความยาวคลื่นของรังสี โดยรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงและรังสีที่มีความยาวคลื่นยาวจะมีพลังงานต่ำ ดังความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.1)

$$E = \frac{hc}{\lambda} = hv \quad (2.1)$$

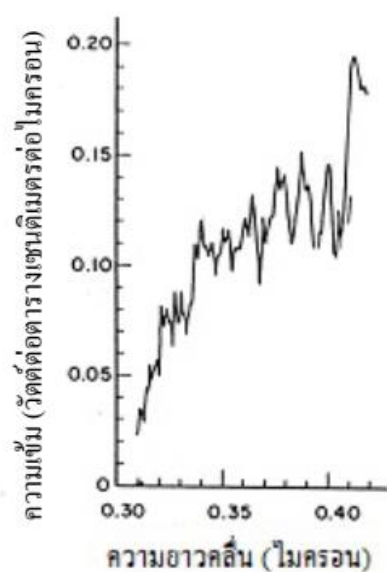
เมื่อ	E	คือ พลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [จูล]
	h	คือ ค่าคงที่ของพลังค์ [6.64×10^{-27} จูลต่อวินาที]
	c	คือ ความเร็วแสง [2.9979×10^8 เมตรต่อวินาที]
	v	คือ ความถี่ [ต่อวินาที]
	λ	คือ ความยาวคลื่น [เมตร]

2.2 แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะแผ่ออกมาจากชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 100-400 นาโนเมตร จึงเป็นคลื่นที่มีพลังงานค่อนข้างสูง รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถแบ่งได้เป็นช่วงต่าง ๆ ดังนี้

- 1) รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก (extreme ultraviolet, XUV) มีความยาวคลื่นระหว่าง 10-100 นาโนเมตร
- 2) รังสีอัลตราไวโอเล็ตไกล (far ultraviolet, FUV) มีความยาวคลื่นระหว่าง 100-200 นาโนเมตร
- 3) รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (ultraviolet C, UVC) มีความยาวคลื่นระหว่าง 100-280 นาโนเมตร
- 4) รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (ultraviolet B, UVB) มีความยาวคลื่นระหว่าง 280-315 นาโนเมตร
- 5) รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (ultraviolet A, UVA) มีความยาวคลื่นระหว่าง 315-400 นาโนเมตร

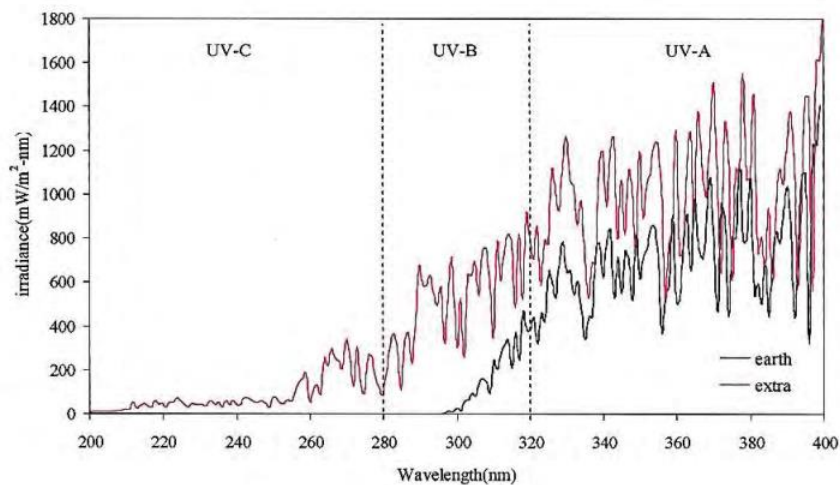
สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมีเส้นดูดกลืนและเส้นเปล่งรังสี ซึ่งเกิดจากการดูดกลืนและการเปล่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตของธาตุ ๆ ในชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์ สเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นสั้นมากจะเป็นเส้นสว่าง ซึ่งเกิดจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์ และสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นยาวกว่านี้จะปรากฏเส้นมืด เนื่องจากการดูดกลืนของบรรยากาศของดวงอาทิตย์ โดยสเปกตรัมบางส่วนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก
(เสริม จันทรฉาย, 2557)

2.2.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลก

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงพื้นผิวโลกจะมีเพียงรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีบางส่วนเท่านั้น รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 288 นาโนเมตร จะถูกบรรยากาศของโลกดูดกลืนโดยโอโซนเกือบทั้งหมด โดยที่ความยาวคลื่น 220-295 นาโนเมตร จะถูกโอโซนดูดกลืนในแถบความยาวคลื่นฮาร์ทลีย์ ที่ความยาวคลื่น 145.0-175.9 นาโนเมตร จะถูกดูดกลืนโดยออกซิเจนในช่วงสเปกตรัมต่อเนื่องของซูมานัน รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงพื้นผิวโลกจะมีพลังงานเพียง 1.5% ของพลังงานจากรังสีอาทิตย์ทุกความยาวคลื่นรวมกัน สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศและพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลกและรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านชั้นบรรยากาศโลก (ประนมกร ชูศรี, 2556)

2.2.2 ผลของโอโซนต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต

โอโซนมีความสำคัญมากต่อโลก ทั้งนี้เพราะโอโซนช่วยดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งจะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่ให้ลงมาถึงพื้นโลกในปริมาณที่มากเกินไปเพราะจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก โอโซนพบมากที่ชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตลิซิสไอออนของโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) โดยโฟตอนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน (O) จากนั้นอะตอมของออกซิเจนไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน (O_3) ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการทางเคมีได้ดังสมการที่ (2.2) และ (2.3)



เมื่อ	$h\nu$	คือ พลังงานโฟตอนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์
	ν	คือ ความถี่ของรังสีอัลตราไวโอเล็ต
	h	คือ ค่าคงที่ของพลังค์
	M	คือ อะตอมหรือโมเลกุลของธาตุอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โอโซนในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์จะถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส โดยโมเลกุลของโอโซนจะถูกชนด้วยโฟตอนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้สลายตัวเป็นโมเลกุลของออกซิเจนและอะตอมของออกซิเจน ตามสมการที่ 2.4



การบอกปริมาณโอโซน สามารถบอกได้ในหน่วยของ ดอบสัน (Dobson Unit) ซึ่งเป็นความสูงของปริมาณโอโซนทั้งหมดในคอลัมบรรยากาศเป็นเซนติเมตรคูณด้วย 1000 หรือ $1 \text{ DU} = 1000 \times 0.001 \text{ cm}$

2.2.3 ผลของฝุ่นละอองต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ฝุ่นละอองเป็นอนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ การเกิดฝุ่นละอองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 สาเหตุการเกิด คือ ฝุ่นละอองที่เกิดตามธรรมชาติ และฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ โดยทั่วไปฝุ่นละอองในบรรยากาศมีขนาดตั้งแต่ 0.1-1000 ไมครอน ฝุ่นละอองส่งผลต่อการลดทอนรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยเมื่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตเดินทางผ่านบรรยากาศจะถูกฝุ่นละอองกระเจิงทำให้เกิดรังสีกระจาย และบางส่วนจะถูกฝุ่นละอองดูดกลืน สัดส่วนของการกระเจิงและการดูดกลืนขึ้นอยู่กับชนิดของฝุ่นละออง

อังสตรอม (Ångström, 1929) ได้เสนอวิธีการบอกความสามารถในการลดทอนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองในรูปของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว เลขยกกำลังของความยาวคลื่น และความยาวคลื่น ดังสมการที่ (2.5)

$$\tau'_{\text{aer},\lambda} = \beta\lambda^{-\alpha} \quad (2.5)$$

เมื่อ	$\tau'_{\text{aer},\lambda}$	คือ ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง [-]
	β	คือ สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอม [-]
	α	คือ ตัวเลขยกกำลังของอังสตรอม [-]
	λ	คือ ความยาวคลื่นของรังสีอาทิตย์ [ไมครอน]

จากสมการที่ (2.5) จะเห็นได้ว่าถ้าความยาวคลื่นของรังสีมีค่าน้อย ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจะมีค่ามาก นั่นคือฝุ่นละอองสามารถลดทอนแสงได้มากนั่นเอง ส่วนค่า β จะมี

ความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของปริมาณของฝุ่นละออง ถ้าค่า β มีค่ามากแสดงว่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีค่ามากด้วย และค่า α มีความสัมพันธ์กับขนาดของฝุ่นละอองคือ α มีค่าน้อยฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่ ส่วนถ้า α มีค่ามากฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็ก

2.2.4 ผลของเมฆต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เมฆในบรรยากาศเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำกลายเป็นหยดน้ำหรือผลึกน้ำแข็งโดยมีฝุ่นละอองเป็นแกนกลางในการควบแน่น เมฆสามารถแบ่งตามความสูงได้ 3 ระดับ คือ เมฆชั้นต่ำ เมฆชั้นกลาง และเมฆชั้นสูง และปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าสามารถบอกได้หลายวิธี เช่น การสังเกตด้วยตา ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา และการใช้กล้องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky camera) ดังรูปที่ 5 เป็นต้น



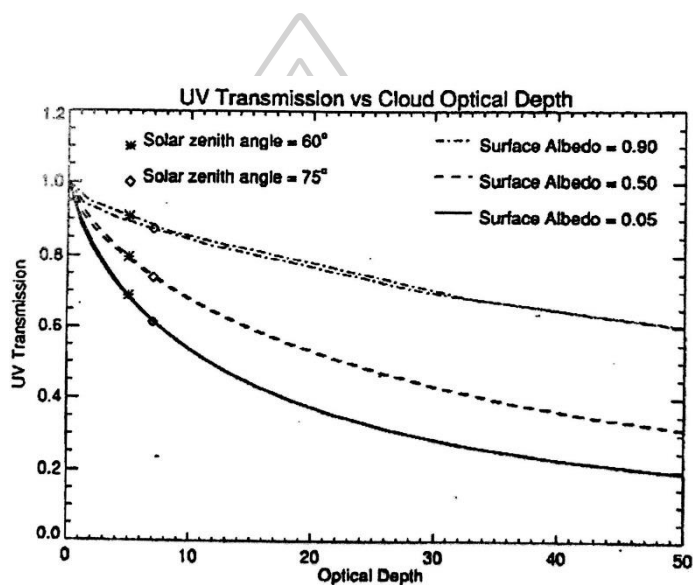
รูปที่ 5 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า

ปริมาณเมฆสามารถบอกเป็นส่วนหนึ่งของท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆเมื่อแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ปริมาณเมฆจะถูกกำหนดโดย WMO (World Meteorological Organization ดังนี้

- 1) ท้องฟ้าแจ่มใส (completely clear sky) ท้องฟ้าไม่มีเมฆ หรือมีน้อยกว่า 1 ส่วนของท้องฟ้า
- 2) ท้องฟ้าโปร่ง (clear sky) ท้องฟ้ามีเมฆตั้งแต่ 1-3 ส่วนของท้องฟ้า
- 3) ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 3-5 ส่วนของท้องฟ้า
- 4) ท้องฟ้ามีเมฆเป็นส่วนมาก (cloudy sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 5-8 ส่วนของท้องฟ้า

- 5) ท้องฟ้ามีเมฆมาก (very cloudy sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 8-9 ส่วนของท้องฟ้า
 6) ท้องฟ้ามีเมฆเต็มท้องฟ้า (overcast sky) ท้องฟ้ามีเมฆเกินกว่า 9-10 ส่วนของท้องฟ้า

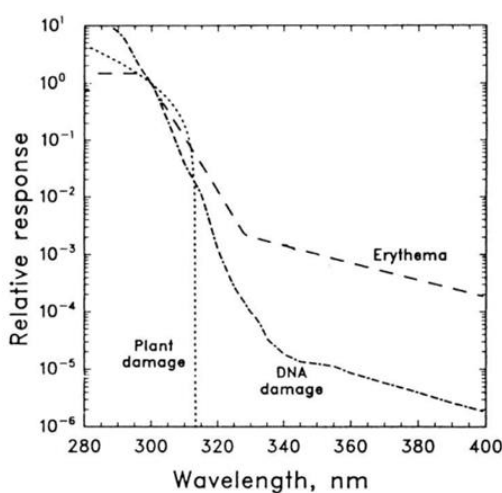
เมฆมีความสำคัญต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากเมฆสามารถลดทอนความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ โดยทั่วไป รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีความเข้มมากเมื่อท้องฟ้าโปร่งใสและลดลงเมื่อท้องฟ้ามีเมฆมากหรือขณะมีฝน วิธีที่จะบอกว่าเมฆส่งผลต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากหรือน้อยเท่าไรสามารถบอกได้ด้วยความลึกเชิงแสงของเมฆ (cloud optical depth) แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะลดลงเมื่อความลึกเชิงแสงของเมฆเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตและค่าความลึกเชิงแสงของเมฆ (Lubin et al., 1994)

2.4 ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสิ่งมีชีวิต

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สามารถผ่านบรรยากาศเข้ามาถึงพื้นโลกมีด้วยกัน 2 ช่วงความยาวคลื่น คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (315-400 นาโนเมตร) และรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (280-315 นาโนเมตร) โดยที่ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แต่ละความยาวคลื่นจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตแตกต่างกัน (รูปที่ 7) เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ตบีจะมีผลต่อพืช โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตอาจทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้าลง จำนวนใบลดลง และผลผลิตลดลง ส่วนผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อดีเอ็นเอและผิวหนังมนุษย์จะเกิดจากทั้งรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและบี



รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าการตอบสนองของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ Plant damage, DNA Damage และ Erythema (Madronich, 1993)

สำหรับผิวหนังมนุษย์ เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณที่พอดีหรือเหมาะสมก็จะช่วยให้ผิวหนังสังเคราะห์วิตามินดีซึ่งเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ แต่หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปจะเกิดอาการถูกแดดเผาก็คือ ผิวหนังแดง และหนังแสบร้อน ถ้าได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นระยะเวลาที่นานก็จะส่งผลทำให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนัง และโรคสะเก็ดเงิน (รูปที่ 8 และรูปที่ 9)

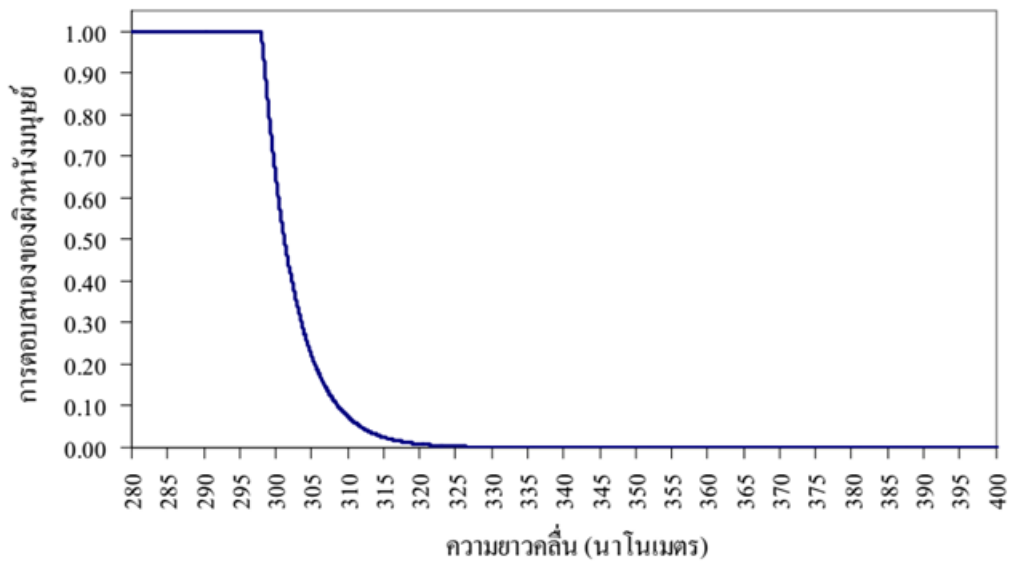


รูปที่ 8 ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตก่อให้เกิดผิวหนังแดงแสบร้อน
(ที่มา <https://www.amarinbabyandkids.com>)



รูปที่ 9 ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลานานก่อให้เกิดโรคสะเก็ดเงิน
(ที่มา <https://www.honestdocs.com>)

จากผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อผิวหนังมนุษย์ทางคณะกรรมการความสว่างนานาชาติ (Commission Internationale d'Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานของการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (erythemal response, R_{EX}) แสดงได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (CIE, 1987)

สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (Dose & APPLICATION, 1999)

$$R_{E\lambda} = \begin{cases} 1.0 & ;250 < \lambda \leq 298 \text{ nm} \\ 10^{[0.094(298-\lambda)]} & ;298 < \lambda \leq 328 \text{ nm} \\ 10^{[0.015(140-\lambda)]} & ;328 < \lambda \leq 400 \text{ nm} \end{cases} \quad (2.6)$$

สำหรับการคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ (solar erythemal ultraviolet radiation, EUV) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.7)

$$EUV = \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} R_{E\lambda} \dot{I}_{\lambda} d\lambda \quad (2.7)$$

- เมื่อ EUV คือ ความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ [วัตต์ต่อตารางเมตร]
 \dot{I}_{λ} คือ สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ [วัตต์ต่อตารางเมตรต่อนาโนเมตร]
 $R_{E\lambda}$ คือ การตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ [-]
 λ คือ ความยาวคลื่น [นาโนเมตร]

2.5 ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV index)

ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีการตอบสนองต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้ออกมาในรูปของความเข้ม ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรอาจทำให้บุคคลทั่วไปเข้าใจได้ยาก ด้วยเหตุผลนี้ทางองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) จึงได้กำหนดระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อให้บุคคลทั่วไปเข้าใจได้ง่ายเรียกว่า ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือ UV index ซึ่งสามารถคำนวณ ได้ดังสมการที่ (2.8) และแสดงระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดังตารางที่ 1

$$UVI = \frac{UV}{25} \quad (2.8)$$

เมื่อ	UVI	คือ ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต [-]
	UV	คือ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ [มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร]
	25	คือ ค่าคงที่ [มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร]

ตารางที่ 1 ระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Organization & Protection, 2002)

ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต	ระดับความอันตราย	สี
น้อยกว่า 2	ต่ำ (low)	สีเขียว
3-5	ปานกลาง (moderate)	สีเหลือง
6-7	สูง (high)	สีส้ม
8-10	สูงมาก (very high)	สีแดง
มากกว่า 9	สูงสุดขีด (extreme)	สีม่วง

เมื่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีระดับตั้งแต่สูงเป็นต้นไป ควรหลีกเลี่ยงการออกกลางแจ้งเนื่องจาก ระดับความสูงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตระดับนี้จะส่งผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ถึงขั้นเป็นโรคมะเร็ง ผิวหนัง หากจำเป็นต้องออกกลางแจ้งวิธีการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต คือ ทาครีมกันแดด สวมเสื้อคลุม เป็นต้น

2.6 การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

2.6.1 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศถึงพื้นโลกมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและส่งผลเสียต่อผิวหนังมนุษย์หากได้รับในปริมาณที่มากเกินไป ดังนั้นการวัดค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงมีความสำคัญที่ทำให้เราสามารถป้องกันอันตรายจากรังสีได้ถูกต้อง โดยทั่วไปเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

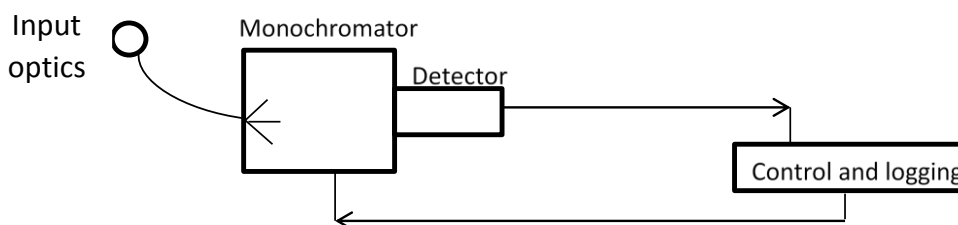
- 1) เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV spectroradiometer)
- 2) เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband UV radiometer)
- 3) เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ (multi-channel filter UV radiometer)

รายละเอียดของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตทั้ง 3 ประเภท อธิบายได้ดังนี้

1) เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (spectroradiometer)

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยปกติจะวัดค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตระหว่างความยาวคลื่น 280 ถึงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ซึ่งสามารถวัดค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ถึงระดับ 1 นาโนเมตร

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตประกอบด้วย ตัวรับรังสี อุปกรณ์แยกรังสี ออกเป็นความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ (monochromator) ตัวตรวจวัดความเข้มรังสี และอุปกรณ์ควบคุมและบันทึกข้อมูล (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 แผนภาพองค์ประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (เสริม จันทร์ฉาย, 2557)

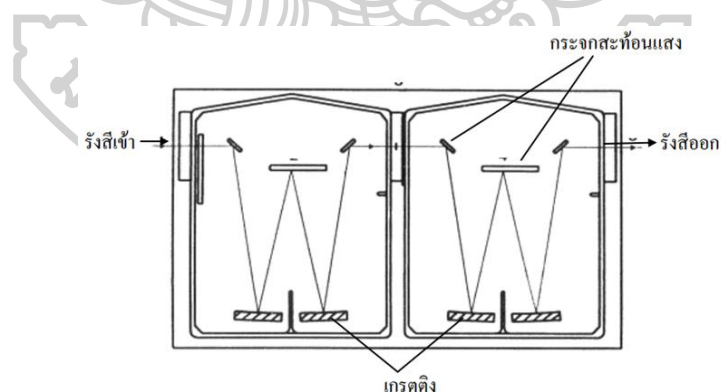
โดยส่วนประกอบของเครื่องวัดมีรายละเอียดดังนี้

ก) ตัวรับรังสี (Input optics)

ตัวรับรังสีจะเป็นแผ่นเทฟลอน (teflon) หรือควอตซ์ (quartz) คุณสมบัติของตัวรับรังสีจะต้องมีการตอบสนองที่ดีต่อรังสีอาทิตย์ที่มุมต่าง ๆ คือ เมื่อรังสีอาทิตย์กระทบตั้งฉากกับตัวรับรังสีจะต้องมีสัญญาณมากที่สุดและค่อย ๆ มีสัญญาณน้อยลงเมื่อมุมตกกระทบมีค่ามาก หรือเหมือนกับการแปรค่าของโคไซน์ (cosine) ของมุมตกกระทบ ซึ่งโดยทั่วไปตัวรับรังสีจะมีการตอบสนองต่อมุมตกกระทบที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่เป็นไปตามค่าของโคไซน์ ด้วยเหตุผลนี้อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

ข) อุปกรณ์แยกรังสีออกเป็นความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ (monochromator)

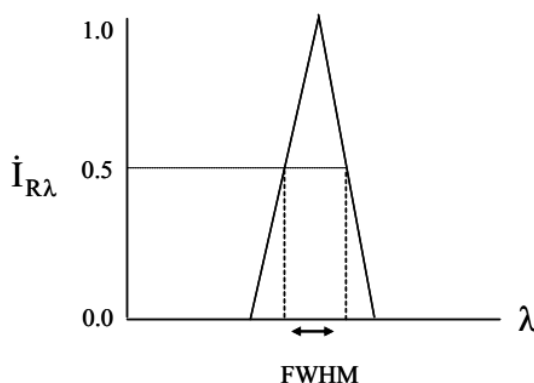
อุปกรณ์แยกรังสีออกเป็นความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์แยกรังสีเป็นอุปกรณ์หลักของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นแบบเดี่ยวที่มีเกรตติง (grating) 1 ชุด หรือแบบคู่ 2 ชุด โดยทั่วไปรังสีจากตัวรับรังสีจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แยกรังสีโดยใช้กระจกสะท้อนหรือใช้อุปกรณ์นำแสงต่าง ๆ เช่น ท่อบรรจุของเหลวหรือใยแก้วนำแสง เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่จะใช้อิฐควอตซ์ (quartz fiber) เป็นตัวนำรังสี เพราะสามารถนำรังสีไปยังอุปกรณ์แยกรังสีได้ไกลหลายเมตรโดยไม่ถูกดูดกลืนมากนักแสดงได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 อุปกรณ์แยกรังสีแบบคู่ (เสริม จันทร์ฉาย, 2557)

คุณสมบัติของอุปกรณ์แยกรังสี คือความสามารถในการแยกสเปกตรัม (spectral resolution) ซึ่งจะเป็นตัวบอกความสามารถในการแยกรังสีออกเป็นความเข้มของแต่ละความยาวคลื่น โดยทั่วไปอุปกรณ์แยกรังสีไม่สามารถแยกรังสีออกเป็นความยาวคลื่นเดี่ยว ๆ ได้สมบูรณ์ แต่จะมีความยาวคลื่นข้างเคียงออกมาด้วย และจะเรียกกราฟระหว่างความเข้มของรังสีที่แยกได้กับความยาว

คลื่นว่า กราฟของฟังก์ชันของช่องให้รังสีผ่าน (slit function) แสดงดังรูปที่ 13 แสดงกราฟระหว่าง relative response กับความยาวคลื่น โดยทั่วไปจะบอก spectral resolution ของ monochromator ในรูปของ Full width half maximum (FWHM) ซึ่งเป็นค่าของช่วงความยาวคลื่นที่ relative response ลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด โดยเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ดีควรมีค่า FWHM น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 นาโนเมตร



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสามารถในการแยกสเปกตรัมของอุปกรณ์แยกรังสี (Webb, 1998)

ค) ตัวตรวจวัดความเข้มรังสี (detector)

ตัวตรวจวัดความเข้มรังสีจะเป็นโฟโตไดโอด (photodiode) หรืออิมัลชันโฟโตไดโอด (electron multiplier) ภายในอิมัลชันโฟโตไดโอด จะประกอบด้วยโฟโตคาโทด (photocathode) และแอโนด (anode) อยู่ภายในหลอดสุญญากาศ รังสีที่เข้ามาตกกระทบตัวตรวจวัด ซึ่งจะแปลงพลังงานรังสีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือเมื่อรังสีตกกระทบโฟโตไดโอดจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาและถูกสนามไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปยังแอโนดทำให้เกิดกระแสไหลซึ่งทำให้หาความเข้มรังสีที่ตกกระทบได้

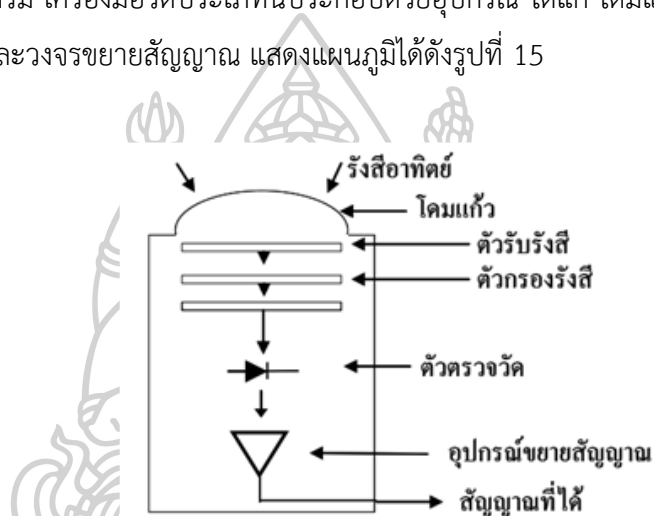
ตัวอย่างเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น DMc150 บริษัท Bentham ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น DMc150 บริษัท Bentham

2) เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband UV radiometer)

เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง คือ เครื่องมือวัดที่ครอบคลุมในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (280-400 นาโนเมตร) เครื่องมือวัดเครื่องนี้ถึงแม้ไม่ได้ข้อมูลของความเข้มรังสีแต่ละความยาวคลื่นแต่เครื่องมือวัดนี้สามารถวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตได้โดยตรง และเครื่องมือชนิดนี้เป็นเครื่องมือวัดไม่ซับซ้อน ดูแลรักษาและใช้งานง่าย มีราคาที่ไม่แพงเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดสเปกตรัม เครื่องมือวัดประเภทนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ ได้แก่ โดมแก้ว ตัวรับรังสี ตัวกรองรังสี ตัวตรวจวัด อุปกรณ์ขยายสัญญาณ แสดงแผนภูมิได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แผนภูมิแสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (เสริม จันทร์ฉาย, 2557)

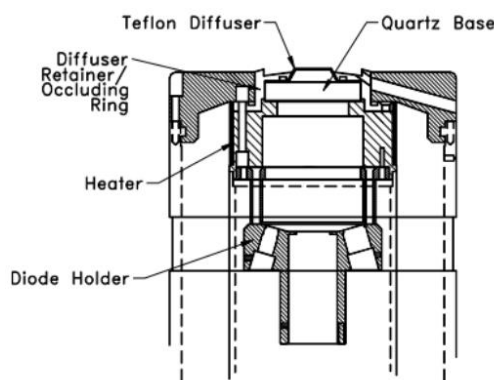
หลักการทำงาน คือเมื่อรังสีตกกระทบที่โดมแก้วผ่านเข้ามาที่ตัวรับรังสี จากนั้นจะผ่านตัวกรองรังสีซึ่งจะกรองรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ และส่งไปยังตัวตรวจวัดและอุปกรณ์ขยายสัญญาณ เนื่องจากความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีค่าน้อยสัญญาณที่ได้จึงมีค่าน้อย ดังนั้นในการวัดจำเป็นต้องขยายสัญญาณด้วยจากนั้นค่าที่วัดได้จะถูกบันทึกผ่านเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) แสดงรูปเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-biometer 501-A บริษัท Solar Light ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-biometer 501-A บริษัท Solar Light

3) เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ (multi-channel filter UV radiometer)

เครื่องมือประเภทนี้สามารถวัดรังสีอาทิตย์ได้ในช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ โดยมีค่า FWHM ประมาณ 10 นาโนเมตร เครื่องวัดชนิดนี้ประกอบด้วย แผ่นกรองรังสีแบบหลายช่องสัญญาณ ตัวตรวจวัดสัญญาณ และระบบควบคุมบันทึกข้อมูล เมื่อรังสีตกกระทบกับตัวรับรังสีเข้ามาที่แผ่นกรองรังสี แผ่นกรองจะกรองให้รังสีบางความยาวคลื่นผ่านไปได้เท่านั้น จากนั้นเมื่อรังสีผ่านเข้ามาแล้วตกกระทบตัวตรวจวัดจะให้สัญญาณไฟฟ้าออกมา แสดงลักษณะภายในเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ รุ่น GUV-2511 ดังรูปที่ 16 เครื่องมือนี้สามารถนำไปคำนวณหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังได้ โดยอาศัยการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรืออาศัยแบบจำลองการแผ่รังสี ตัวอย่างของเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณของบริษัท Biospherical Instrument รุ่น GUV-2511 แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ลักษณะภายในของเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ รุ่น GUV-2511



รูปที่ 18 เครื่องวัดความเข้มข้นรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ

2.6.2 เซนเซอร์สำหรับวัดความเข้มข้นรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เครื่องมือวัดที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้ง 3 แบบ โดยทั่วไปจะใช้งานด้านฟิสิกส์บรรยากาศ โดยจะติดตั้งใช้งานภายนอกอาคารระยะยาวและมีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงไม่สะดวกต่อการพกพา อีกทั้งมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นจึงได้มีผู้ออกแบบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตขนาดเล็กที่เหมาะสมแก่การใช้งานด้านสุขภาพ โดยตัวตรวจวัดส่วนใหญ่จะเป็นเซนเซอร์ที่มีการตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเซนเซอร์ที่มีการนำมาใช้งานโดยทั่วไปคือ

1) เซนเซอร์ Silicon Carbide (SiC) Photodiode

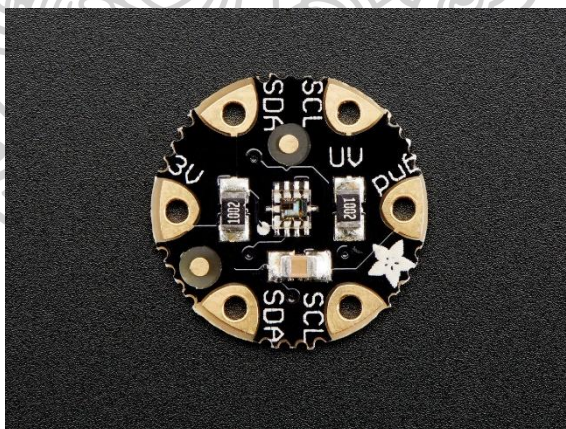
เซนเซอร์ Silicon Carbide (SiC) Photodiode ซึ่งเซนเซอร์ชนิดนี้ ผลิตจากวัสดุ SiC สามารถตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 200-400 นาโนเมตร หรือในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี ตัวเซนเซอร์ SiC Photodiode มีความเสถียรสูงถึงแม้มีการใช้งานเป็นเวลานานหรือได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตปริมาณสูงถึง 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ทนทานต่ออุณหภูมิได้สูงสุด 150 องศาเซลเซียส มีค่า dark current อยู่ในช่วงที่แคบมาก ตัวอย่างเซนเซอร์ SiC Photodiode แสดงดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 เซนเซอร์ Silicon Carbide (SiC) Photodiode
(ที่มา <https://www.lasercomponents.com>)

2) เซนเซอร์ Si 1145

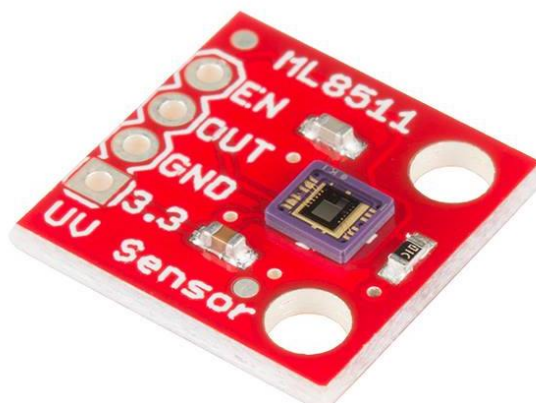
เซนเซอร์ Si 1145 เป็นเซนเซอร์ที่ทำจากวัสดุซิลิกอน สามารถวัดได้ในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยเซนเซอร์ชนิดนี้รับสัญญาณเป็นอนาล็อกซึ่งสามารถแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลได้ ช่วงอุณหภูมิในการทำงานของเซนเซอร์นี้ คือ -40 ถึง +85 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเซนเซอร์ Si 1145 แสดงดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 เซนเซอร์ Si 1145
(ที่มา <https://www.adafruit.com>)

3) เซนเซอร์ ML8511

เซนเซอร์ ML8511 เป็นเซนเซอร์วัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ช่วงความยาวคลื่น 280-390 นาโนเมตร ให้สัญญาณออกมาเป็นอนาล็อกซึ่งนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายงาน Arduino ช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ -40 ถึง +85 องศาเซลเซียส แสดงได้รูปที่ 21



รูปที่ 21 เซนเซอร์ ML8511

(ที่มา <https://www.thaieasyelec.com>)

จากตัวอย่างเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดคือเซนเซอร์ที่สามารถวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้และมีการนำเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดไปใช้งานและประดิษฐ์เป็นเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีการพัฒนาและออกแบบที่เหมาะสมแก่การพกพาสะดวก มีการแสดงผลออกมาในรูปของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ โดยปกติลักษณะการแสดงผลสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ดังนี้

- แบบที่ 1 การแสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยชนิดหน้าจอ LCD

เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตขนาดพกพาแบบนี้จะมีตัวรับรังสี ซึ่งปริมาณสัญญาณไฟฟ้าที่ให้ออกมาจะขึ้นกับปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต และจะแสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกมาเป็นตัวเลขบนหน้าจอ LCD ในหน่วยของมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดประเภทนี้จะมีราคาค่อนข้างแพง ตัวอย่างของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบที่ 1 ได้แก่ เครื่องวัด Sensitive UVB meter เครื่องวัด UV(A+B) meter ของบริษัท Solarmeter และเครื่อง TM-206D Solar Power Meter UV AB meter ของบริษัท TENMARS แสดงดังรูปที่ 22-24 ตามลำดับ



รูปที่ 22 เครื่องวัด SENSITIVE UVB METER
(ที่มา <https://en.ponpe.com/เครื่องวัดแสงยูวี/uv6-2-detail.html>)



รูปที่ 23 เครื่องวัด UV (A+B) METER
(ที่มา <https://www.ponpe.com/เครื่องวัดแสงยูวี/uv5-0-detail.html>)



รูปที่ 24 เครื่องมือวัด TM-206D
(ที่มา <https://www.voake.com/product/tenmars-tm-208>)

- แบบที่ 2 การแสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตผ่านทางสีของหลอดไฟ LED

เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตขนาดพกพา แบบที่ 2 เป็นเครื่องมือวัดที่เกิดจากงานวิจัยของนักวิจัยซึ่งพัฒนาให้เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้มีขนาดกะทัดรัด และราคาถูก แสดงค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในรูปของระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกมาเป็นสีของหลอดไฟ LED ตัวอย่างของเครื่องวัดแบบนี้ ได้แก่ เครื่องวัด UVision Meter และเครื่อง Helios Meter แสดงดังรูปที่ 25-26 ตามลำดับ



รูปที่ 25 เครื่องวัด UVision Meter (Hoblos et al., 2015)



รูปที่ 26 เครื่องมือวัด Helios Meter (Lönngqvist et al., 2018)

เครื่องมือวัดที่กล่าวมาผู้วิจัยยกตัวอย่างเครื่องมือวัดและราคาของเครื่องมือวัดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตพร้อมราคาของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยประมาณ

เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	ราคาโดยประมาณ (บาท)
1. เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น DMc 150 บริษัท Bentham	2,000,000
2. เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-biometer 501-A บริษัท Solar Light	200,000
3. เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ รุ่น GUV-2511 บริษัท Biospherical Instrument	400,000
4. SENSITIVE UVB METER บริษัท Solar meter	20,200
5. UV (A+B) METER	16,800

2.7 คุณลักษณะ (Characteristic) ของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

คุณลักษณะของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์มีดังนี้

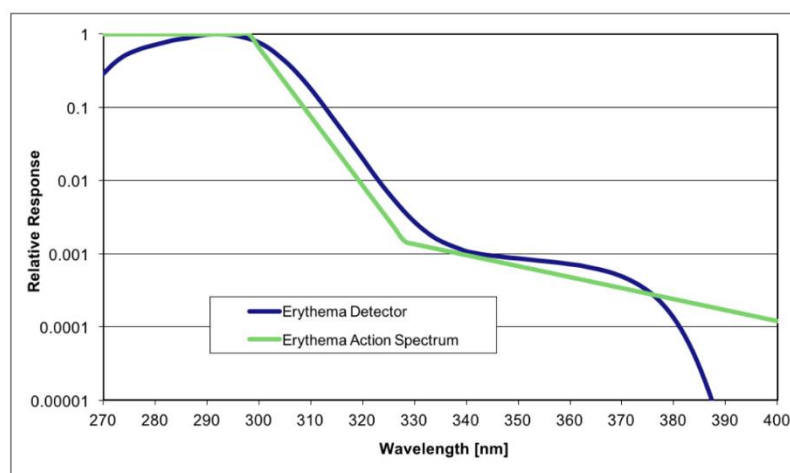
2.7.1 สภาพตอบสนอง (responsivity) หรือสภาพไวรังสี (sensitivity)

เครื่องวัดรังสีโดยทั่วไปให้สัญญาณออกมาเป็นศักย์ไฟฟ้าในหน่วยโวลต์ เมื่อต้องการทราบความเข้มรังสีอาทิตย์จะต้องทำการแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้นั้น การแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าได้ด้วยวิธีการหารค่าศักย์ไฟฟ้าด้วยค่าสภาพตอบสนองในหน่วยโวลต์ต่อวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งได้จากการสอบเทียบเครื่องวัดกับเครื่องวัดมาตรฐาน

2.7.2 การตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (spectral response)

เครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน ตัวรับรังสีหรือเซนเซอร์จะมีความเสื่อมซึ่งความเสื่อมนี้จะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของการวัดรังสีคือ ค่าการตอบสนองลดลงจะเป็นสาเหตุหลักที่ค่าการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดลดลง ดังนั้นการวัดค่าหรือการหาค่าการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติของเครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์

การตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์เป็นคุณสมบัติสำคัญสำหรับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์โดยจะบอกความสามารถในการตอบสนองต่อรังสีที่แต่ละความยาวคลื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวรับรังสีและตัวกรองรังสี เครื่องวัดรังสีที่ดีควรวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ครอบคลุมในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ ตัวอย่างค่าการตอบสนองของเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-biometer 501 ซึ่งใกล้เคียงกับการค่าการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ (รูปที่ 27)

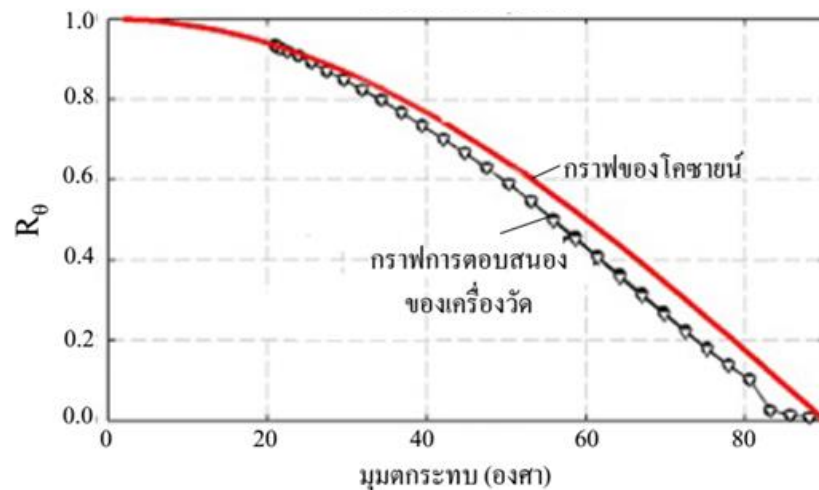


รูปที่ 27 การตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-biometer 501 (<https://solarlight.com>)

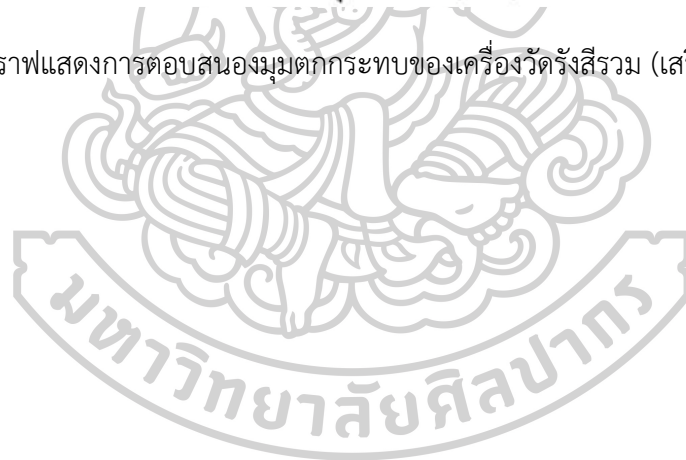
2.7.3 การตอบสนองต่อมุมตกกระทบ (cosine response)

การตอบสนองต่อมุมตกกระทบเป็นตัวแปรที่มีผลต่อความถูกต้องของการวัดรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญ โดยทั่วไปหัววัดรังสีอาทิตย์ไม่สามารถตอบสนองได้ดีเท่ากันทุกมุมตกกระทบ การวัดการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหัววัดที่มุมตกกระทบต่าง ๆ กรณีเครื่องวัดในอุดมคติ สามารถหาค่ารังสีตกกระทบบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสีโดยการหารค่ารังสีตรงที่ตกกระทบที่หัววัดด้วยโคไซน์ของมุมตกกระทบ

การตอบสนองของเครื่องวัดรังสีจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสี โดยทั่วไปการตอบสนองของเครื่องวัดจะมีค่าสูงสุดเมื่อรังสีตกกระทบตั้งฉากกับตัวรับรังสี และจะมีค่าลดลงเมื่อมุมตกกระทบมีค่าเพิ่มขึ้น เครื่องวัดที่ดีควรมีการตอบสนองต่อมุมตกกระทบแปรค่าใกล้เคียงกับการแปรค่าของโคไซน์ของมุมตกกระทบ (รูปที่ 28)



รูปที่ 28 กราฟแสดงการตอบสนองมุมตกกระทบของเครื่องวัดรังสีรวม (เสริม จันทร์ฉาย, 2557)



2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rosenfeld และคณะ (2011) มีความสนใจเกี่ยวกับปัญหาในการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทั้งทางด้านเทคนิคและด้านทางการแพทย์ โดยได้ศึกษาเซนเซอร์ ชนิด Schottky เปรียบเทียบกับเซนเซอร์ซิลิคอนคาร์ไบด์ พบว่าเซนเซอร์ซิลิคอนมีค่าความไวต่อแสงช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่ำ แต่มีความไวต่อรังสีอาทิตย์มากกว่า จากนั้นได้ทำการสร้างเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยเลือกใช้เซนเซอร์ไดโอด Schottky และตัวกรองแสงแบบแก้ว นอกจากนี้ผู้วิจัยออกแบบให้เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีขนาดเล็ก อุปกรณ์ของเครื่องมือวัดประกอบด้วย 1) AD converter ADS1218 2) Controller ATmega 128L 3) Display BO12864D 4) Service UV-PC และ DC-DC Controller 3-5V เครื่องมือวัดมีขนาด 190x60x30 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดเซนเซอร์มีการตอบสนองในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต อีกทั้งอุปกรณ์สามารถหาง่าย

Amini และคณะ (2009) ได้สังเกตเห็นถึงปัญหาของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกมากขึ้น ทำให้มีความต้องการที่ปกป้องผิวมากขึ้นจึงต้องการอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนบุคคลที่สามารถวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ ผู้วิจัยได้เน้นการพัฒนาและตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือวัดอุปกรณ์ไร้สายและอุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายได้ สำหรับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้ใช้เซนเซอร์ประสิทธิภาพสูง มีการคำนวณดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตและแจ้งให้ผู้ใช้ทราบถึงเวลาที่ต้องหลบแดด โดยจะเน้นกลุ่มเป้าหมายที่เด็ก กลุ่มวัยทำงาน ผู้อยู่กลางแจ้ง และผู้ป่วยที่มีความไวต่อแสง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้ประกอบไปด้วย เซนเซอร์ ML8511 มีการตอบสนองในช่วงความยาวคลื่น 280-400 นาโนเมตร หรือในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี ตัวแปลงอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล ไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมกับ Bluetooth Adapter RN-24 ซึ่งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต OKI ML8511 ที่สร้างขึ้นสามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์และใช้งานส่วนบุคคลที่สามารถติดหมวก หรือสร้อยคอ เนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดเล็กและแม่นยำซึ่งอุปกรณ์นี้ซึ่งสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเป็นโรคมะเร็งผิวหนัง

Larason และคณะ (2001) เห็นถึงปัญหาของรังสีอัลตราไวโอเล็ต จึงผลิตเครื่องวัดแบบง่ายเพื่อต้องการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงกว้าง โดยในงานนี้ได้สร้างเครื่องมือวัดและทำการตรวจสอบหาคุณลักษณะ cosine response และ spectral response พร้อมกับหาที่มาของค่าความคลาดเคลื่อน (error) ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ และรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี

Alves และคณะ (2006) ได้ทำการสร้างเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้โฟโตไดโอด ตัวกรองแสง และรูรับแสง เซนเซอร์ที่ใช้มีการตอบสนองในช่วงความยาวคลื่น 315-400 นาโนเมตร และมีการทดสอบคุณลักษณะ cosine response โดยใช้หลอดไฟ FEL 1 กิโลวัตต์เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ซึ่งหลอดไฟจะวางห่างจากเครื่องวัดประมาณ 1 เมตร และทำการวัดทุก ๆ 5 องศา จากนั้นทดสอบความหนาของตัวกรอง 12% 15% 20% และ 40% ทดสอบความสม่ำเสมอในการตอบสนองของหัววัดที่

ตำแหน่งต่าง ๆ และทดสอบการตอบสนองสเปกตรัมของตัวกรองแสงชนิด WG305 และ GG420 จากผลที่ได้พบว่าเครื่องมือวัดมีการตอบสนองสเปกตรัมที่ดีเมื่อเทียบกับสเปกตรัมการตอบสนองมาตรฐาน

Lonnqvist และคณะ (2018) ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สามารถสวมใส่ได้ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยป้องกันผลข้างเคียงจากการได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากเกินไป จึงได้สร้างเครื่องมือวัดชื่อเครื่อง Helios โดยอุปกรณ์ประกอบด้วย 1) Sensor ML8511 2) Buzzer Kobitone 3) LED lights 4) Lithium-ion Polymer Battery 3.7 V 550 mAh 5) Bluno Beetle DFR0339 และ 6) on/off Button ในการทดสอบเซนเซอร์ จะทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้กับค่าที่เจ้าหน้าที่รายงาน นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบการกันน้ำโดยนำเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นแช่อยู่ในน้ำจืดและน้ำเค็ม 1 ชั่วโมงที่ความลึก 1 เมตร การทดสอบความสามารถในการสวมใส่โดยการนำออกไปใช้งานจริง และการทดสอบความทนทานโดยปล่อยจากความสูง 1.2 เมตร ผลที่ได้พบว่าอุปกรณ์ยังคงทำงานได้ดี

Hoblos และคณะ (2015) เห็นถึงความสำคัญต่อผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวหนังมนุษย์ ในงานวิจัยนี้จึงทำการสร้างเครื่องตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบพกพา น้ำหนักเบา โดยมีอุปกรณ์ประกอบไปด้วย เซนเซอร์ Adafruit SI1145 ซึ่งเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันมือถือผ่านบลูทูธ และแสดงให้เห็นค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตพร้อมคำแนะนำในการป้องกันอย่างต่อเนื่อง Arduino Pro mini (3.3V) HC-06 BLE module Android App และ 3.7V 105 mAh lipoly battery ในการเขียนโปรแกรมจะใช้โปรแกรม Arduino IDE ให้แสดงค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งจะแสดงค่าออกมาเป็นหลอดไฟ LED ที่มีหมายความว่า ถ้าไฟติด 1 ดวง แสดงว่าค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 0-5 ไฟติด 2 ดวง แสดงว่าค่าดัชนี อยู่ระหว่าง 6-8 และถ้าไฟติด 3 ดวง แสดงว่าค่าอยู่ในระดับสูงอันตราย สำหรับการออกแบบเคสจะเลือกใช้วัสดุพลาสติกให้มีขนาดพกพาง่าย และมีน้ำหนักเบา โดยจะออกแบบในโปรแกรม Solidwork เพื่อให้เซนเซอร์ใช้งานร่วมกับ เสื้อ กางเกง หมวก และกระเป๋า ได้ง่าย จากการทดสอบเซนเซอร์พบว่ามีความไววัดดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้สูงกว่าค่าจากการรายงานสภาพอากาศ

de Paula Correa และคณะ (2010) ที่ LATMOS University สนใจวิธีการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มากเกินไป โดยการบอกค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVI) ขององค์กรอนามัยโลก เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องวัดแบบต่าง ๆ ได้แก่ sensor solarmeter UVI 8.5 นาฬิกาข้อมือ Decathlon นาฬิกาข้อมือ Oregon และนาฬิกาข้อมือ Solarmeter แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Bentham) ผลที่ได้สรุปว่ามีเพียงไม่กี่เครื่องที่ให้ค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่น่าเชื่อถือ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าการพัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์หลายแบบ แต่เครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นยังมีสมรรถนะที่น่าเชื่อถือน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบพกพาขึ้นมาใหม่ ตามรายละเอียดที่จะกล่าวในบทต่อไป



บทที่ 3



วิธีการและผล

ปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก การวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตต้องอาศัยเครื่องมือวัดซึ่งส่วนมากแสดงผลที่เข้าใจได้ยากสำหรับบุคคลทั่วไป อีกทั้งยังมีราคาสูง และมีขนาดใหญ่ยากต่อการพกพา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตขนาดพกพาที่แสดงผลออกเป็นดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต และมีต้นทุนต่ำ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบพัฒนาและทดสอบการทำงานของเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การออกแบบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

การออกแบบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต้องคำนึงถึง คือ การเลือกเซนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้วัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ผู้วิจัยได้พิจารณาเซนเซอร์ 2 ชนิด ได้แก่ UVI-01 และ UVM-30A โดยทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะ (Characteristic) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของเซนเซอร์

ชนิด เซนเซอร์	คุณลักษณะ			หมายเหตุ
	ความยาวคลื่น (nm)	ขนาด	การบันทึก ข้อมูล	
 UVI-01	290-400	สูง 0.4 cm เส้นผ่าน - ศูนย์กลาง 0.4 cm	Data logger	-
 UVM-30A	200-370	กว้าง 1.3 cm x ยาว 3.4 cm x หนา 0.6 cm	SD Card	ใช้งานร่วมกับบอร์ด Arduino UNO R3 และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ อีกมากมาย

เซนเซอร์ทั้ง 2 ชนิดวัดในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต และมีขนาดไม่แตกต่างกันมาก แต่เซนเซอร์ UVI-01 มีความยากในการใช้งาน เนื่องจากการเก็บบันทึกข้อมูลที่บันทึกด้วย Data logger จึงไม่สะดวกแก่การพกพา ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้เซนเซอร์ UVM-30A ที่สามารถบันทึกค่าด้วย micro SD card และแสดงผลทางหน้าจอ LCD จึงสะดวกกับการใช้งานและการพกพา

การออกแบบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยจะใช้อุปกรณ์และต้นทุนตามที่แสดงดังตารางที่ 4 ต้นทุนรวม 1,097 บาท แสดงรูปอุปกรณ์ที่ใช้รูปที่ 29-33 ตารางที่ 4 อุปกรณ์สำหรับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

อุปกรณ์	ต้นทุน (บาท)
1.เซนเซอร์ UVM-30A	480
2.Arduino UNO R3	260
3.RTC DS3231	70
4.Micro SD Card Module	45
5.จอ LCD	80
6.ตัวต้านทานปรับค่าได้	12
7.กล่องอะคริลิกที่ใช้สำหรับใส่แผงวงจร	150
รวม	1,097



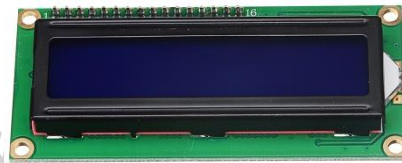
รูปที่ 29 บอร์ด Arduino Uno R3



รูปที่ 30 RTC DS3231



รูปที่ 31 Micro SD Card Module

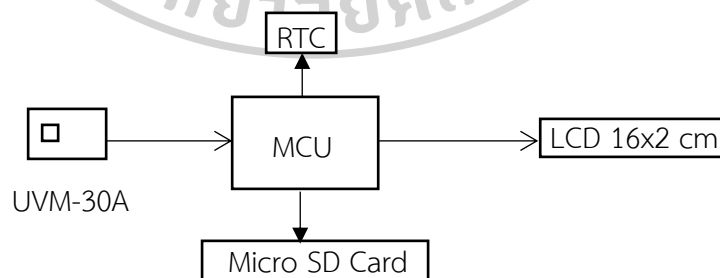


รูปที่ 32 จอ LCD ขนาด 16x2 cm



รูปที่ 33 ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10K

การทำงานของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นจะแสดงดังแผนภาพรูปที่ 34



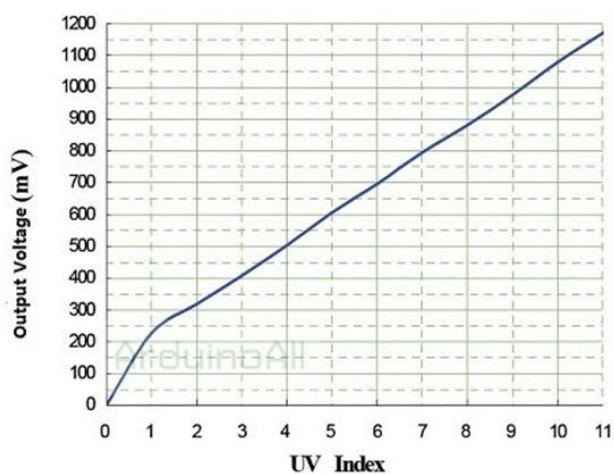
รูปที่ 34 แผนภาพการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

หลักการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น คือเมื่อแสงตกกระทบบน เซนเซอร์ UVM-30A ตัวควบคุมการทำงาน (MCU) รับสัญญาณไฟฟ้าเข้ามาจากนั้นส่งค่าสัญญาณ แสดงบนหน้าจอ LCD และบันทึกค่าวันเวลาปัจจุบันจากอุปกรณ์ (RTC) พร้อมกับค่าสัญญาณที่ได้ลง บน Micro SD Card

เซนเซอร์ชนิด UVM-30A โดยปกติมีสัญญาณออกมาเป็นศักย์ไฟฟ้าในหน่วย mV เมื่อ ต้องการหาดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะสามารถนำค่าสัญญาณไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีรังสี อัลตราไวโอเล็ตได้ดังตารางที่ 5 และแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 35

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (mV) กับดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ค่าศักย์ไฟฟ้า (mV)	ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต
<50	0
227-317	1
318-407	2
408-502	3
503-605	4
606-695	5
696-794	6
795-880	7
881-975	8
976-1078	9
1079-1169	10
1170+	11

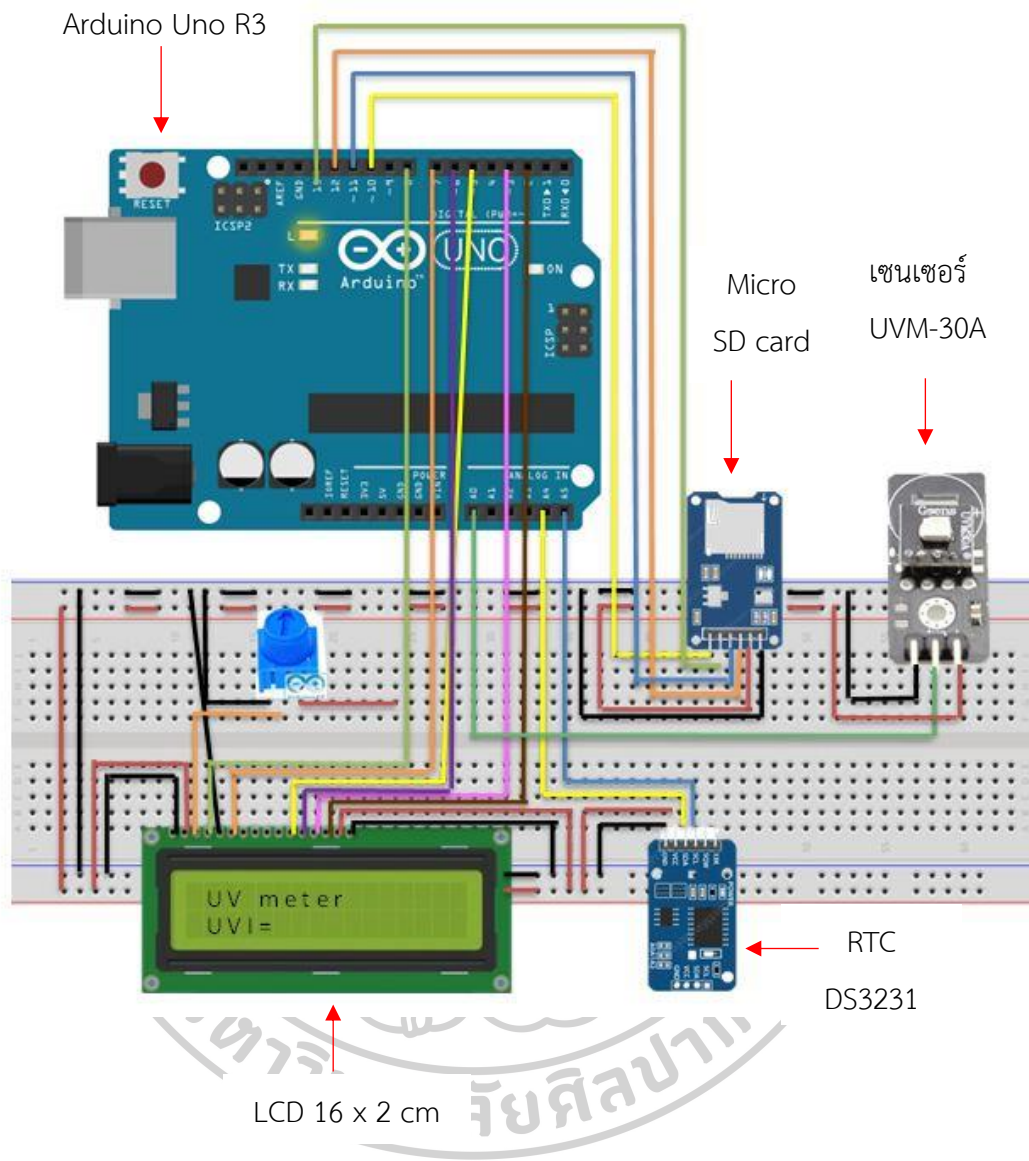


รูปที่ 35 กราฟระหว่างค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้ (mV)

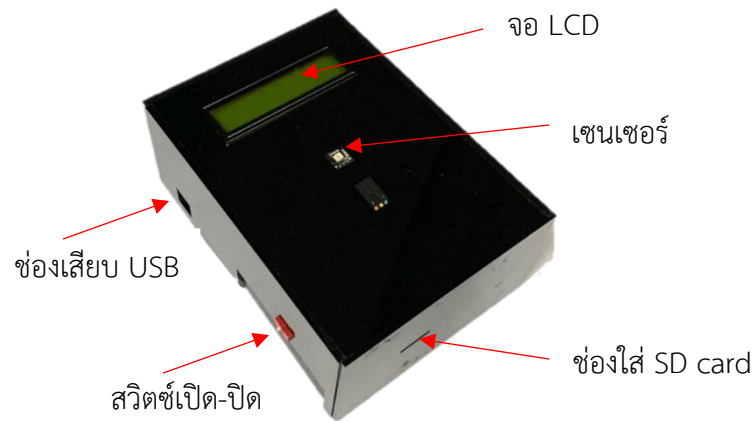
อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงจะต้องทำการสอบเทียบโดยเครื่องวัดมาตรฐานเพื่อความแม่นยำของการวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต

3.2 การพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

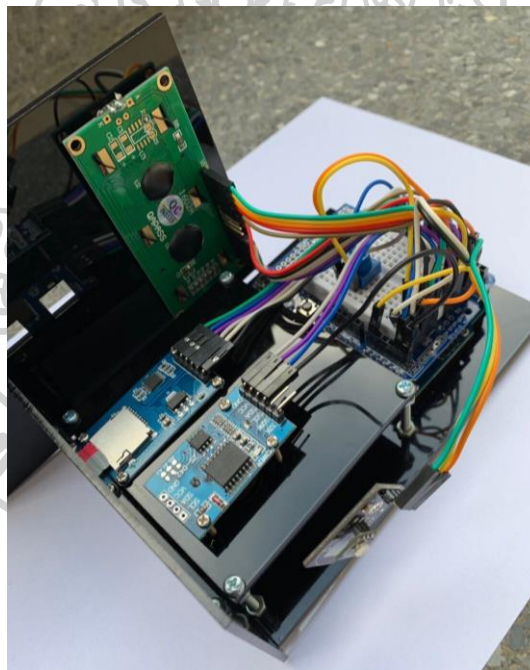
ในการพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แสดงค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตบนจอ LCD และสามารถบันทึกค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตพร้อมทั้งวันและเวลาลงบน Micro SD Card ผู้วิจัยได้ทำการต่อวงจรดังแผนภาพวงจรจำลองดังรูปที่ 36 จากนั้นผู้วิจัยจะนำอุปกรณ์ทั้งหมดบรรจุลงในกล่องอะคริลิกสีดำและต่อแหล่งจ่ายไฟขนาด 9 โวลต์ เพื่อให้พลังงานแก่วงจร แสดงรูปวงจรภายในกล่องได้ดังรูปที่ 37 และรูปกล่องภายนอกแสดงดังรูปที่ 38



รูปที่ 36 แผนภาพวงจรจำลองสำหรับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 37 ลักษณะภายในเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 38 ลักษณะภายนอกของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

จากรูปที่ 38 จะเห็นลักษณะภายนอกของเครื่องซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

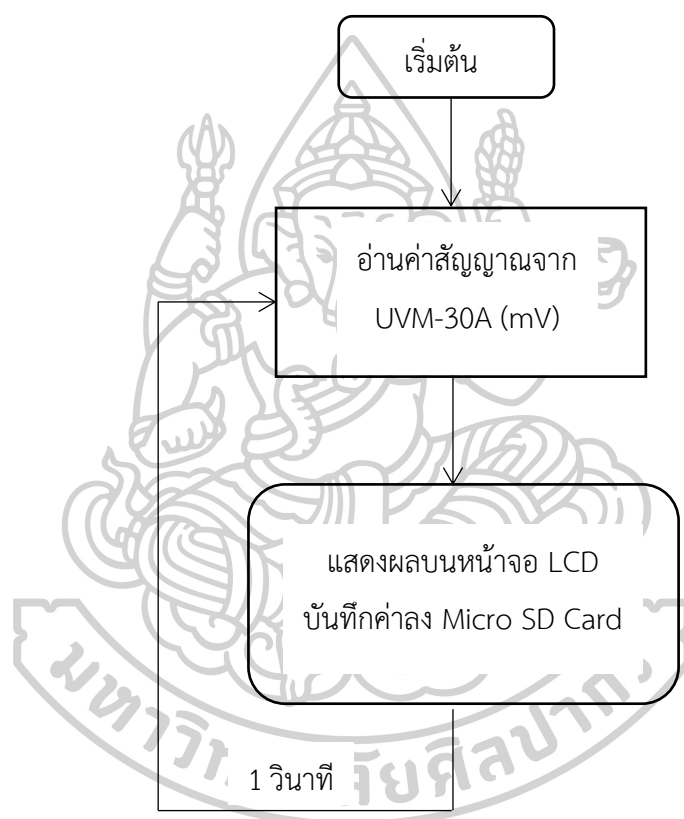
ด้านบน : ตัวเซนเซอร์ หน้าจอ LCD

ด้านข้างซ้าย : ปุ่มสวิตช์เปิด-ปิด และช่องเสียบ USB

ด้านข้างล่าง : ช่องใส่ Micro SD card

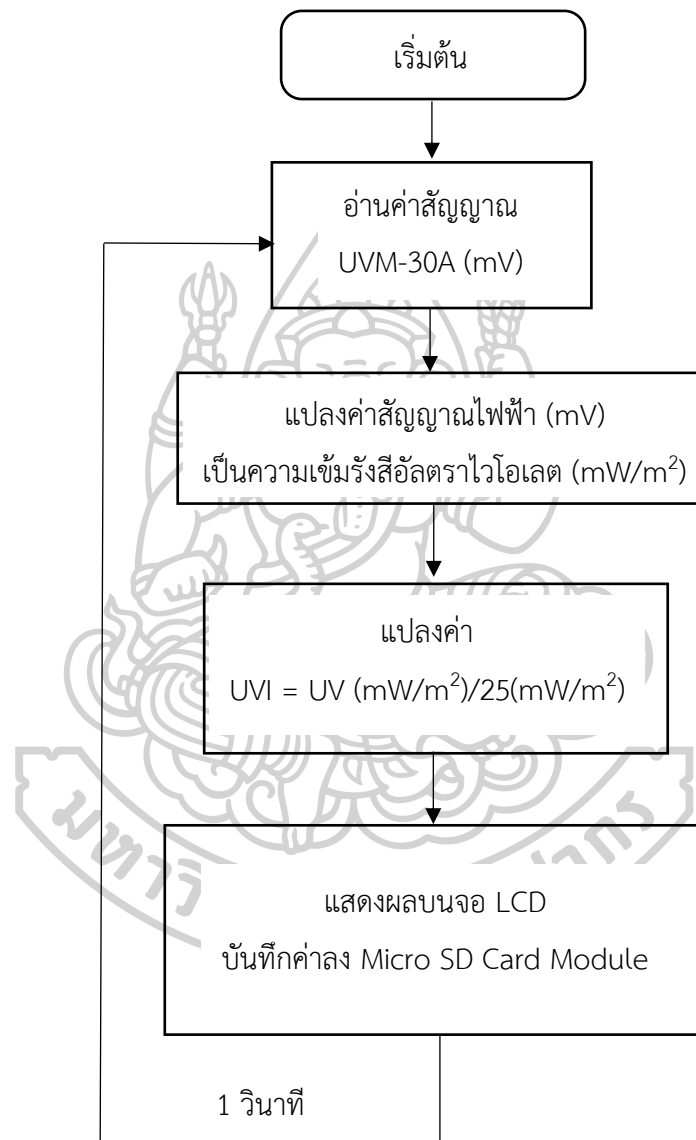
จากนั้นผู้วิจัยทำการเขียนคำสั่งให้กับบอร์ด Arduino Uno R3 ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE และอัปโหลด (upload) คำสั่งลงบอร์ด Arduino Uno R3 โดยจะแบ่งการเขียนคำสั่งทั้งหมด 2 คำสั่ง คือ

1.) คำสั่งหลักการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สร้างขึ้นกับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต แสดงแผนภาพโปรแกรมรูปที่ 39 ดังนี้



รูปที่ 39 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

2.) คำสั่งหลักการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเพื่อแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัด (mV) เป็นดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVI) แล้วให้แสดงผลทางหน้าจอ LCD เป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต แสดงแผนภาพโปรแกรมรูปที่ 40 ดังนี้



รูปที่ 40 แผนภาพหลักการทำงานของเครื่องมือรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเพื่อแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์ (mV) เป็นดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVI) เพื่อให้แสดงผลทางจอ LCD เป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

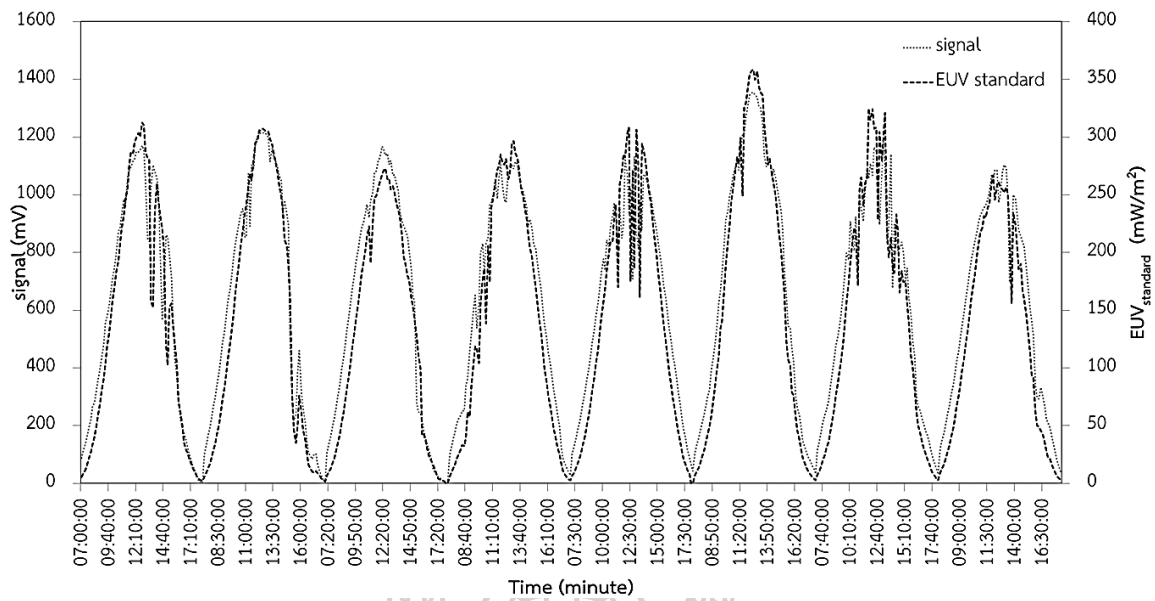
3.3 การทดสอบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

เมื่อทำการพัฒนาเครื่องมือสำหรับวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือวัดดังกล่าวไปติดตั้งที่ตาดฟ้าชั้น 10 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) เพื่อเทียบกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน ยี่ห้อ Bentham รุ่น DMc150 (รูปที่ 41)



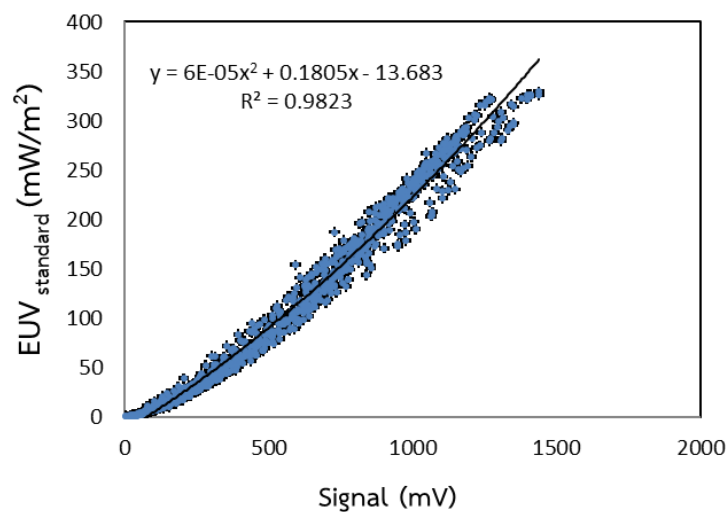
รูปที่ 41 (ก) เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเทียบกับ (ข) เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

โดยทำการป้อนคำสั่งที่ 1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน โดยทำการติดตั้งเทียบกันในช่วงวันที่ 3-25 เมษายน 2562 จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต พบว่าการแปรค่าในรอบวันของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นมีรูปแบบเดียวกันกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตแสดงดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 การแปรค่าในรอบวันของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (.....) กับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน (.....)

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐานราย 10 นาที แสดงกราฟดังรูปที่ 43



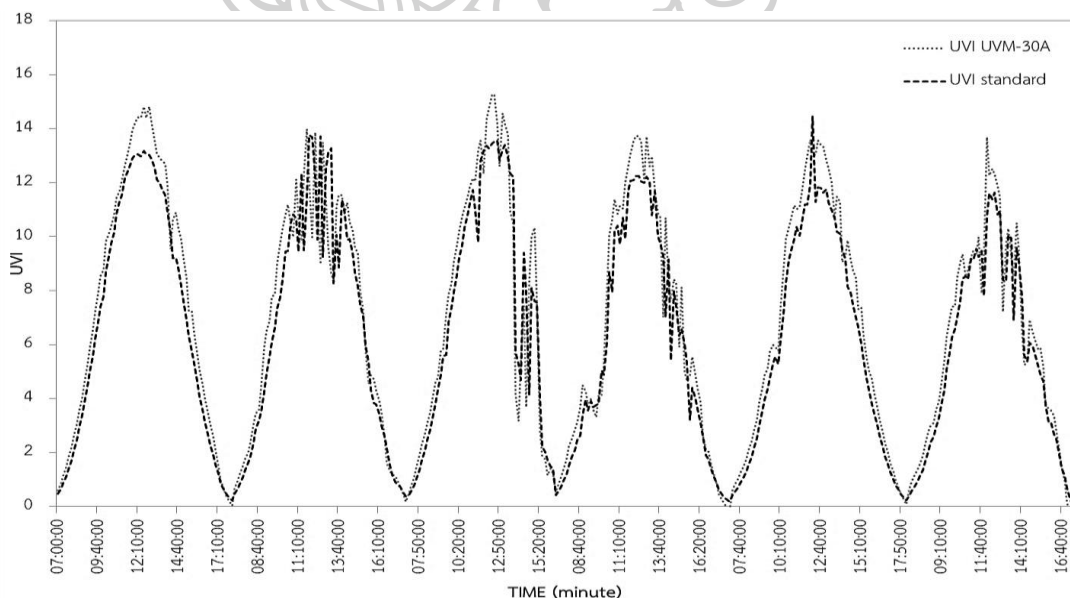
รูปที่ 43 กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน

ความสัมพันธ์ที่ได้นี้เป็นตัวบ่งบอกถึงความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีระหว่างเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 และความสัมพันธ์สำหรับการแปลงค่าความต่างศักย์เป็น EUV มีดังสมการที่ (3.1)

$$EUV_{UVM-30A} = 6 \times 10^{-5} V^2 + 0.1805V - 13.683 \quad (3.1)$$

เมื่อ $EUV_{UVM-30A}$ คือ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต (mW/m^2)
 V คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้น (mV)

เมื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้ว ผู้วิจัยจึงได้นำสมการที่ (3.1) ไปใช้ในคำสั่งที่ 2 เพื่อแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์ (mV) เป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVI) แล้วให้แสดงผลทางหน้าจอ LCD เป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต แล้วนำเครื่องไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานเช่นเดียวกับการทดสอบครั้งที่ 1 โดยทำการติดตั้งเปรียบเทียบวันที่ 2-7 พฤษภาคม 2562 โดยการทดสอบครั้งที่ 2 จะพล็อตกราฟค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน พบว่าการแปรค่าในรอบวันของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สร้างขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตรูปที่ 44



รูปที่ 44 ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UVI standard) (.....) กับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (UVI UVM-30A) (-----)

สำหรับการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตพัฒนาขึ้นสามารถบอกได้ด้วยค่า root mean square error (RMSE) และ mean bias error (MBE) เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังสมการที่ (3.2) และสมการที่ (3.3) ตามลำดับ

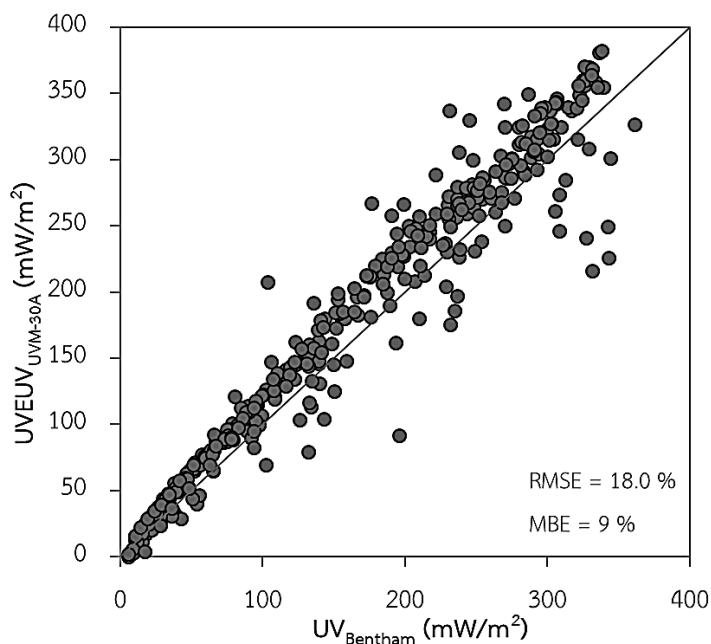
$$\text{RMSE} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{EUV}_{\text{UVM-30A}} - \text{EUV}_{\text{Standard}})^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{\text{EUV}_{\text{Standard}}}{N}} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{EUV}_{\text{UVM-30A}} - \text{EUV}_{\text{Standard}})}{\sum_{i=1}^n \frac{\text{EUV}_{\text{Standard}}}{N}} \times 100\% \quad (3.3)$$

เมื่อ $\text{EUV}_{\text{UVM-30A}}$ คือ ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (mW/m^2)

$\text{EUV}_{\text{Standard}}$ คือ ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน (mW/m^2)

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์กับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นพบว่ามีความ RMSE และ MBE เท่ากับ 18.0% และ -5.0% ตามลำดับ (รูปที่ 45) ดังนั้นเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สร้างขึ้นสามารถนำมาวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ โดยมีความละเอียดถูกต้องในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมาตรฐาน



รูปที่ 45 การเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้น ($UV_{EUVUVM-30A}$) กับค่าที่ได้จากการวัดด้วย Bentham ($UV_{Bentham}$)

เมื่อทดสอบเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นไปทำการติดตั้งทดสอบเทียบกับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง รุ่น UV-Biometer 501A ผลิตโดยบริษัท Solar Light ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 3 ภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ 1. ภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ 2. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี 3. ภาคใต้ จังหวัดสงขลา

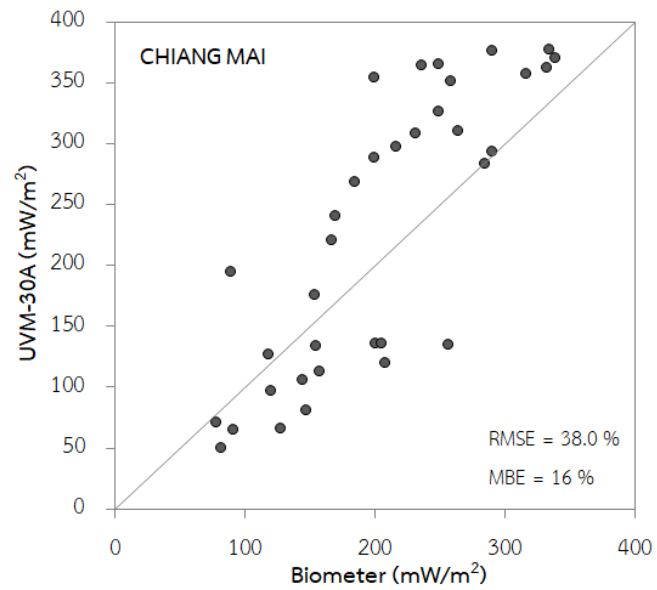
1) ภาคเหนือ

ภาคเหนือ: สถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (18.8°N, 98.98°E) ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งทดสอบ ในวันที่ 2 มิถุนายน 2562 แสดงดังรูปที่ 46



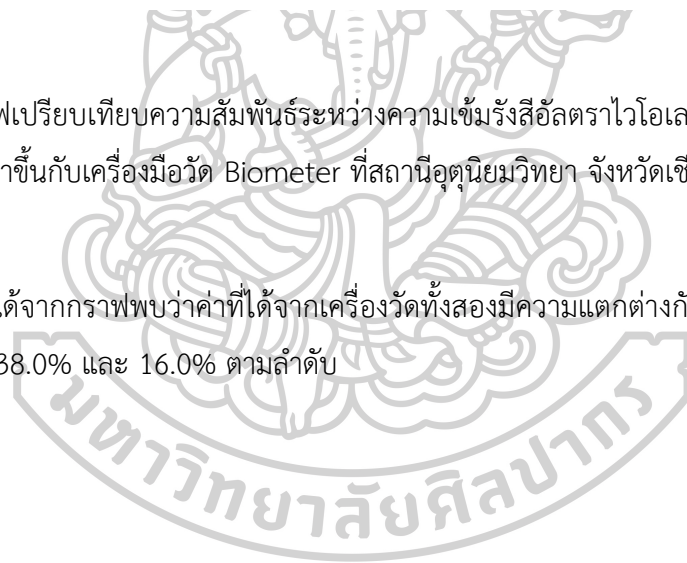
รูปที่ 46 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (ด้านซ้าย) เทียบกับ UV-Biometer (ด้านขวา)

ในวันที่ติดตั้งพบว่าปริมาณเมฆมากสลับกับเมฆน้อยตลอดทั้งวันและช่วงเย็นมีฝนตกจึงนำความสัมพันธ์ที่ไว้ได้จากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นพล็อตกราฟเทียบกับเครื่องมือ UV-Biometer ผลที่ได้แสดงดังกราฟรูปที่ 47



รูปที่ 47 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัด Biometer ที่สถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลที่ได้จากกราฟพบว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีความแตกต่างกันในรูปของ RMSE และ MBE เท่ากับ 38.0% และ 16.0% ตามลำดับ



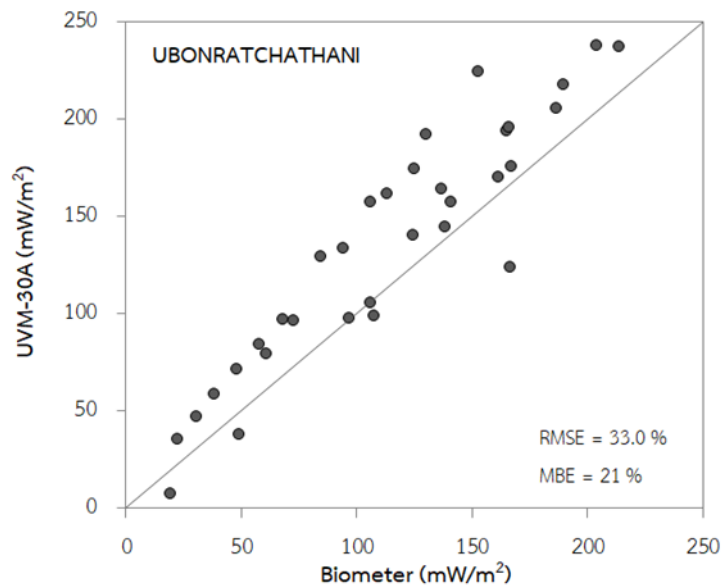
2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: สถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี (15.25°N, 104.87°E) ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งทดสอบ ในวันที่ 12 มิถุนายน 2562 แสดงดังรูปที่ 48



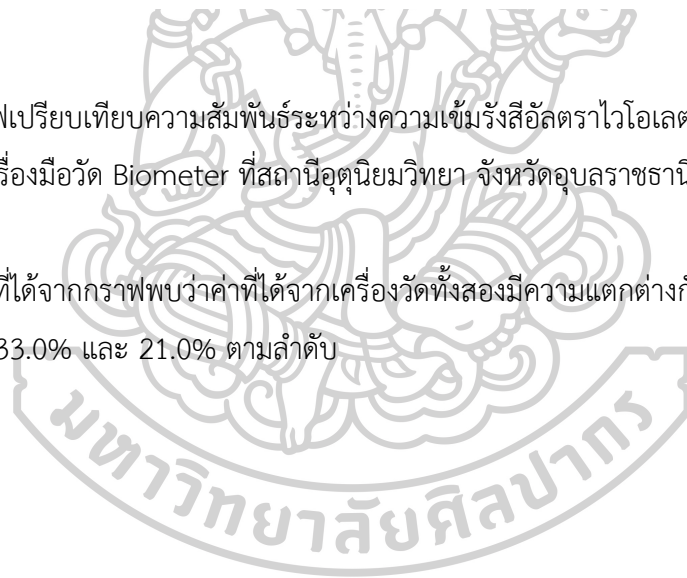
รูปที่ 48 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (ด้านซ้าย) เทียบกับ UV-Biometer (ด้านขวา)

ในวันที่ติดตั้งพบว่ามีปริมาณเมฆน้อยเกือบตลอดทั้งวันในช่วงบ่ายมีเมฆมากและช่วงเย็นมีฝนตกจึงได้ความสัมพันธ์ที่ได้จากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นพล็อตกราฟเทียบกับเครื่องมือ UV-Biometer ผลที่ได้แสดงดังกราฟรูปที่ 49



รูปที่ 49 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัด Biometer ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดอุบลราชธานี

ผลที่ได้จากกราฟพบว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีความแตกต่างกันในรูปของ RMSE และ MBE เท่ากับ 33.0% และ 21.0% ตามลำดับ



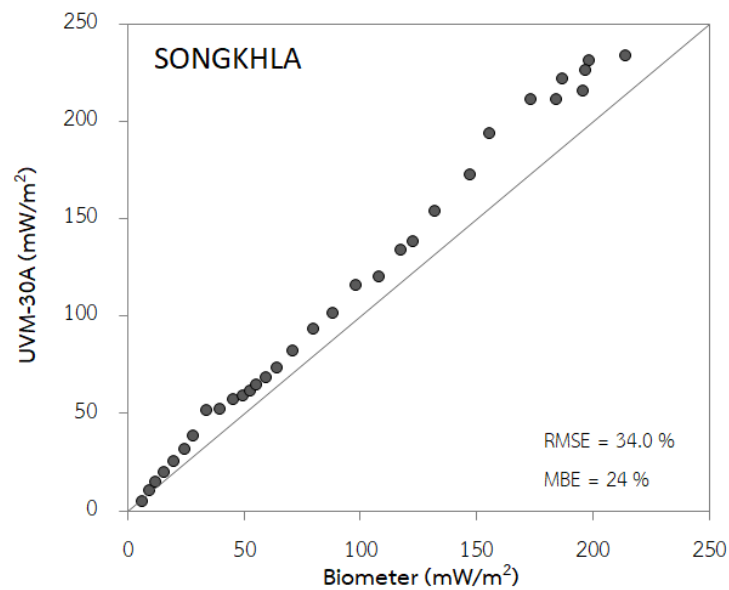
3) ภาคใต้

ภาคใต้: สถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา (7.2°N, 100.06°E) ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งทดสอบ ในวันที่ 6 มิถุนายน 2562 แสดงดังรูปที่ 50



รูปที่ 50 การติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (ด้านซ้าย) เทียบกับ UV-Biometer (ด้านขวา)

ในวันที่ติดตั้งพบว่าปริมาณเมฆน้อยเกือบตลอดทั้งวันในช่วงบ่ายมีเมฆมากและช่วงเย็นมีฝนตกจึงได้ความสัมพันธ์ที่ได้จากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นพล็อตกราฟเทียบกับเครื่องมือ UV-Biometer ผลที่ได้แสดงดังกราฟรูปที่ 51



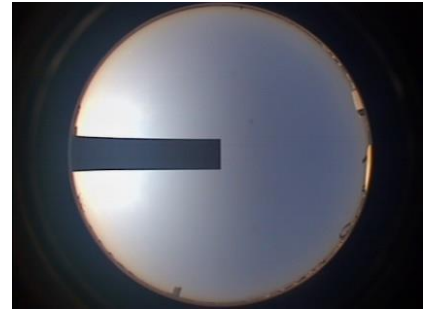
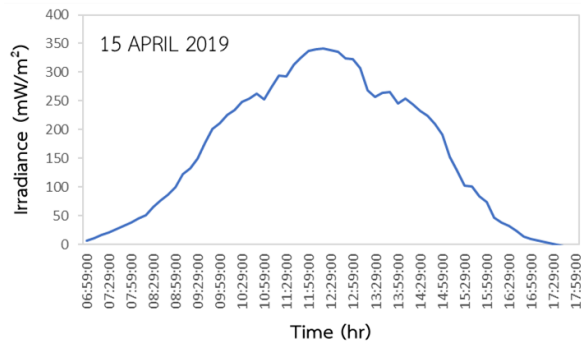
รูปที่ 51 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัด Biometer ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสงขลา

ผลที่ได้จากกราฟพบว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีความแตกต่างกันในรูปของ RMSE และ MBE เท่ากับ 34.0% และ 24.0% ตามลำดับ

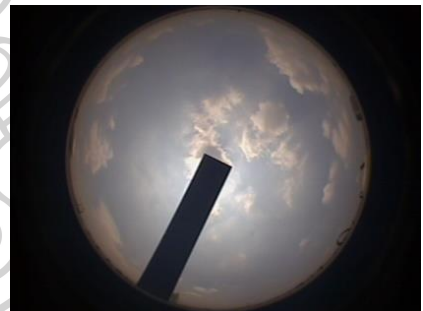
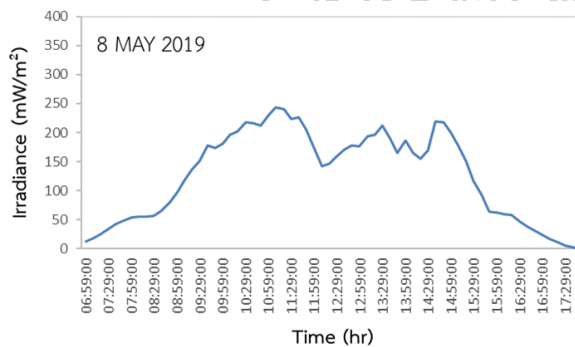
จากการนำเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นไปติดตั้งเทียบกับเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้างมาตรฐานทั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดสงขลา พบว่าทั้ง 3 ภูมิภาคมีค่า RMSE และค่า MBE มาก เหตุผลที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนนี้อาจเนื่องมาจากตัวอุปกรณ์ของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นไม่มีตัว diffuse ที่เหมือนกับเครื่องวัด UV-biometer และจากการหาความสัมพันธ์หรือสมการที่ใช้แปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่มีตัวแก้ค่าทั้งค่าโอโซนและค่าฝุ่นละอองเหมือนกับเครื่องวัด UV-biometer ซึ่งเหตุผลที่กล่าวว่ามีเป็นเพียงสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

3.4 การแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

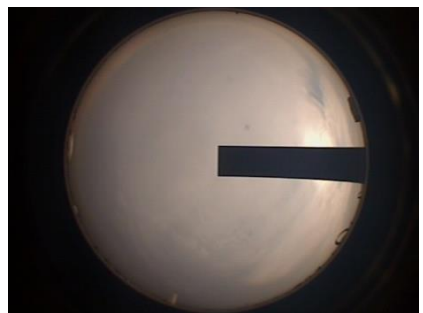
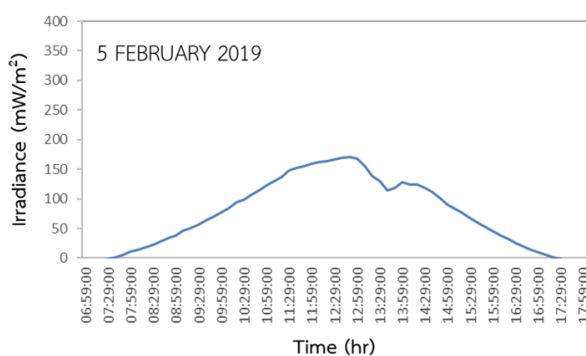
เมื่อได้เครื่องวัดแล้ว ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องวัดดังกล่าวไปวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตเมื่อศึกษาการแปรค่าในรอบวัน โดยนำค่าที่ได้จากเครื่องวัดรายชั่วโมงมาเขียนกราฟการแปรค่าตามเวลาในรอบวัน ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ เมฆบางส่วน และมีเมฆเต็มท้องฟ้า ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 52-54



รูปที่ 52 ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกรณีท้องฟ้าปราศเมฆ



รูปที่ 53 ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกรณีเมฆบางส่วน

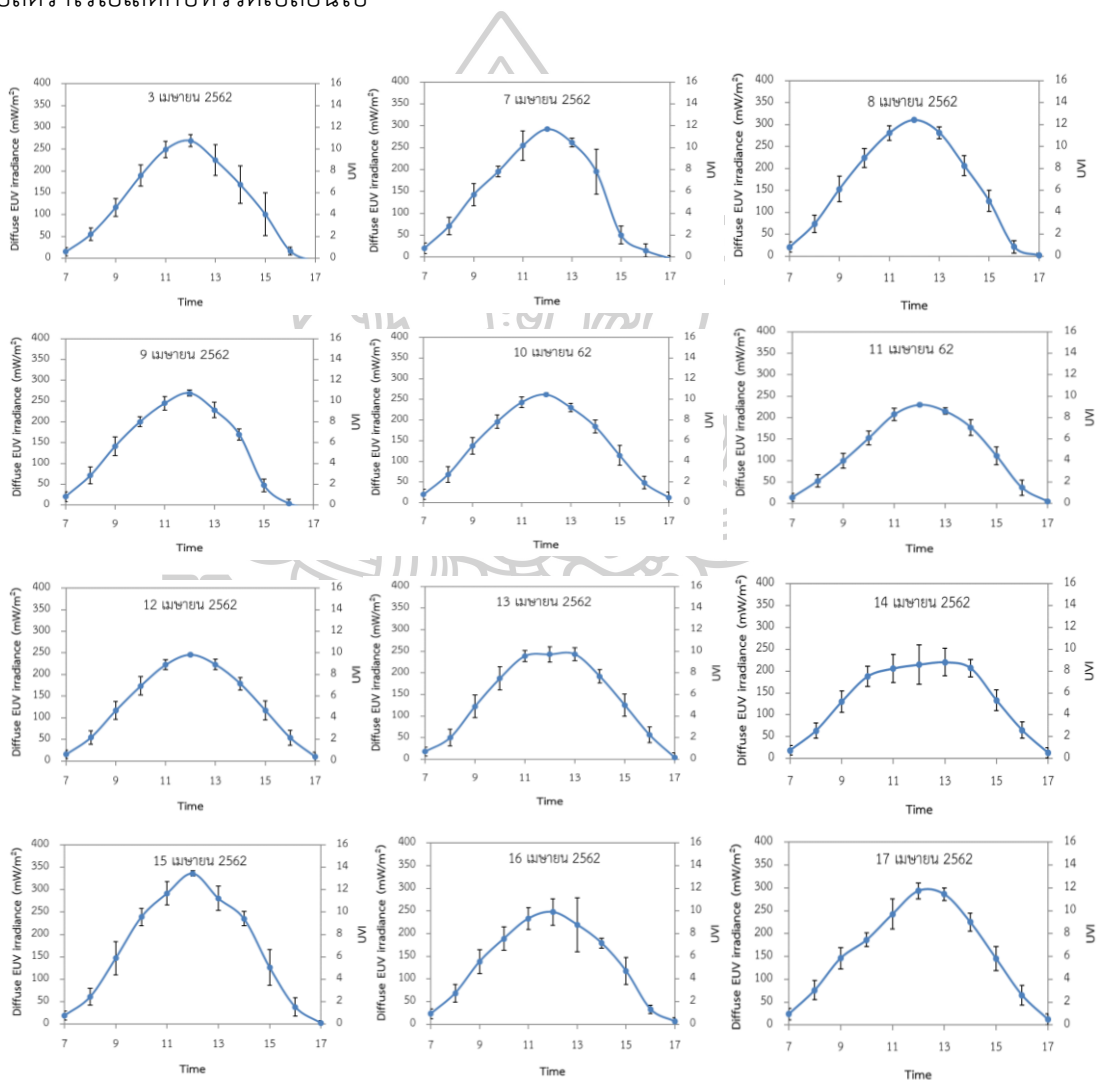


รูปที่ 54 ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นกรณีเมฆเต็มท้องฟ้า

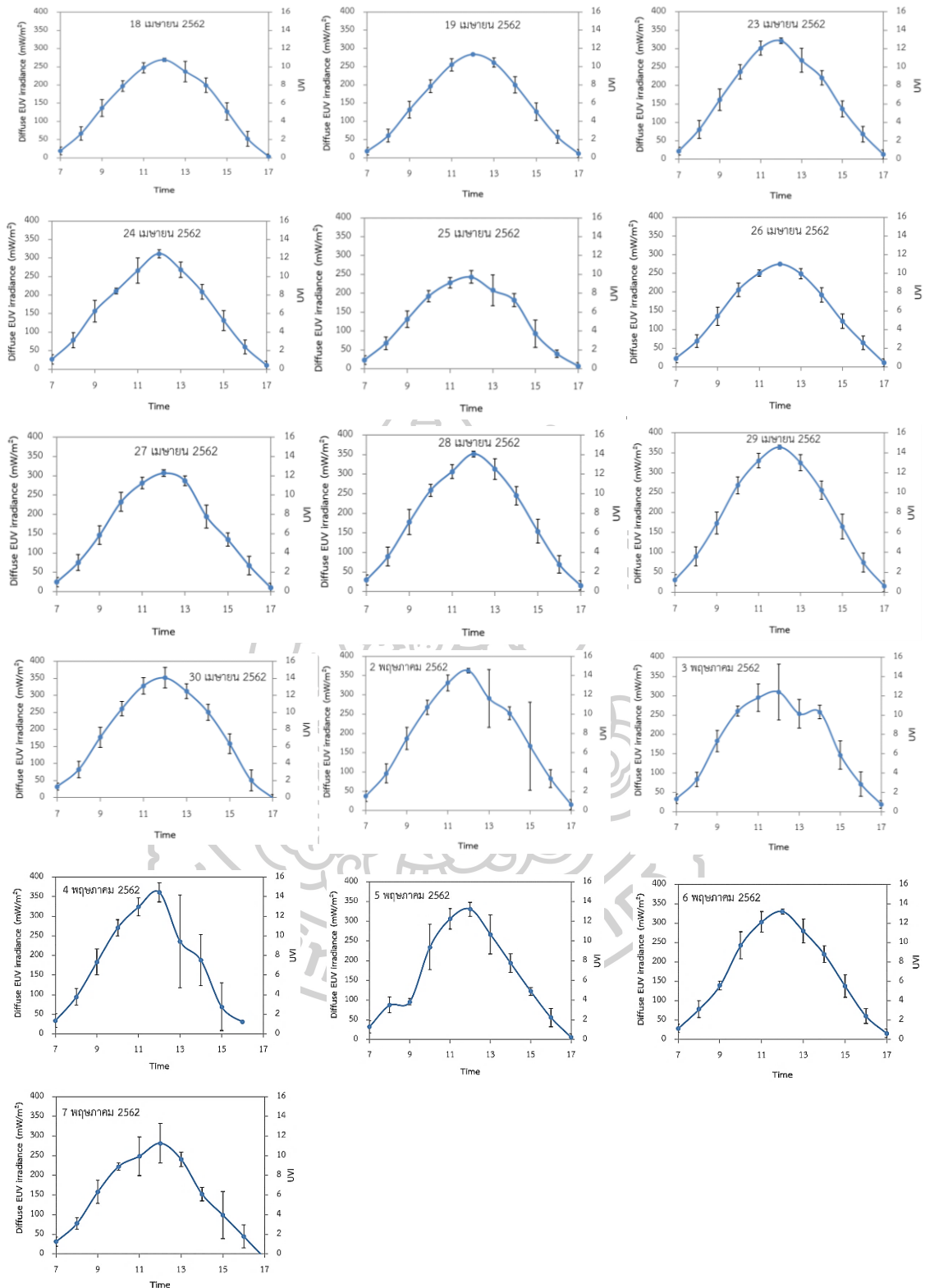
จากรูปจะเห็นว่าเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตและแสดงค่าให้เห็นการแปรค่าตามเวลาในรอบวันได้

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตและค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 55

จากรูปพบว่าค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีการแปรค่าในรอบวันในแต่ละวันคล้าย ๆ กัน คือค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้า และมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยง จากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วงเย็น เนื่องจากการทางเดินดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงจึงทำให้มุมตกกระทบระหว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับหัววัดเปลี่ยนไป



รูปที่ 55 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในรอบวัน เดือนเมษายน ถึง พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2562 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 55 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในรอบวัน เดือนเมษายน ถึง พฤษภาคม ปี พ.ศ. 2562 ทีมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (ต่อ)

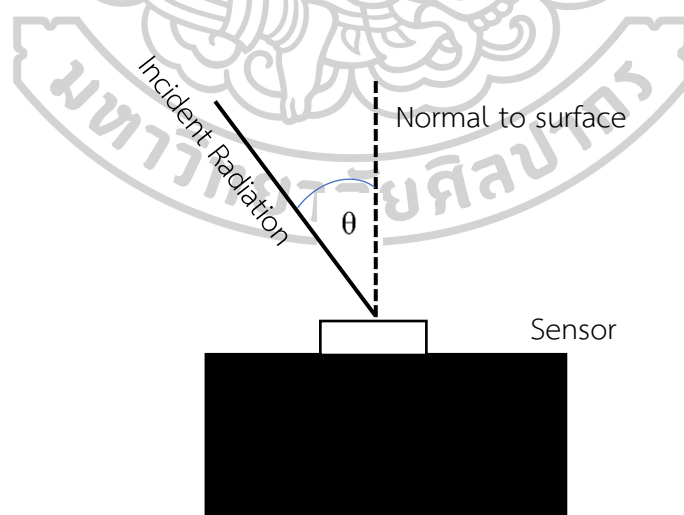
3.5 การสอบเทียบคุณลักษณะของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

ในการหาคุณลักษณะของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ผู้วิจัยได้หาคุณลักษณะที่สำคัญ 2 คุณลักษณะได้แก่

3.5.1 คุณลักษณะการตอบสนองของมุมตกกระทบต่อเครื่องมือวัด (cosine response)

การตอบสนองของมุมตกกระทบต่อเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สร้างขึ้น (cosine response) มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ต่อหัววัดรับรังสีเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เพราะการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะแปรค่าตามการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในรอบวัน ผู้วิจัยจึงต้องการหาค่าความมุมตกกระทบของแหล่งกำเนิดแสงจำลองต่อเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น เรียกว่า การตอบสนองของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อมุมตกกระทบมุมต่าง ๆ (cosine response)

เครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์ที่ดีควรมีการตอบสนองของเครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์ต่อมุมตกกระทบในอุดมคติที่มีลักษณะเหมือนกับฟังก์ชัน cosine อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์โดยทั่วไปไม่สามารถแสดงลักษณะได้ดังอุดมคติ ก่อนการใช้งานจึงควรทำการสอบเทียบคุณลักษณะของมุมตกกระทบเพื่อให้ทราบขอบเขตของการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในการใช้งานจริงได้แสดงภาพรังสีอาทิตย์ตกกระทบเซนเซอร์ที่มุม θ ดังรูปที่ 56

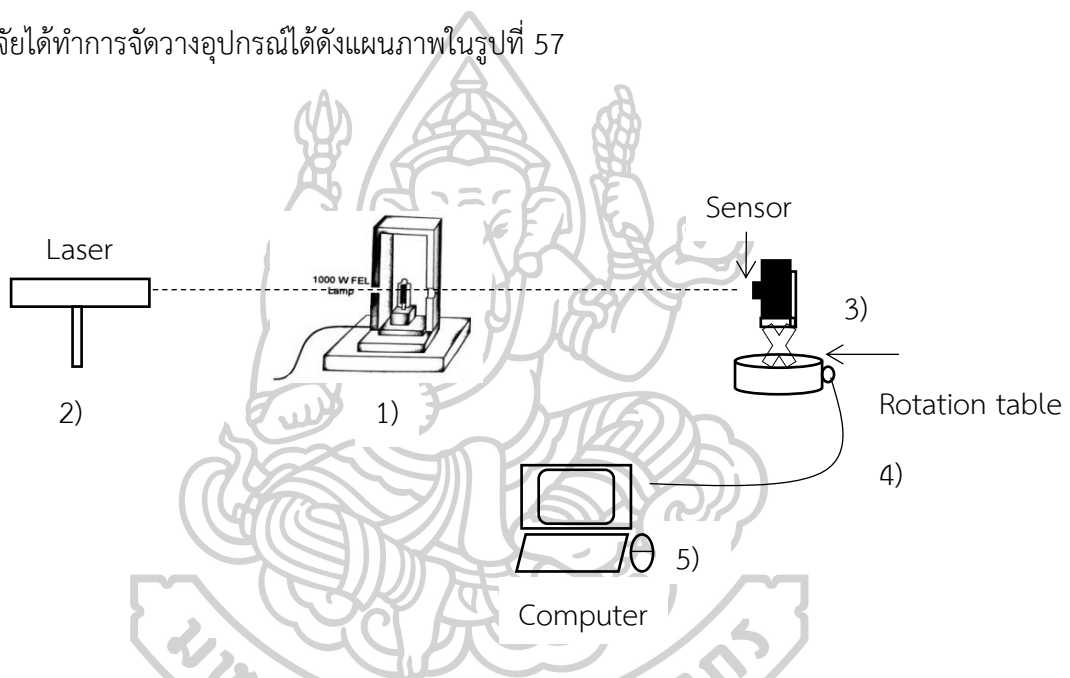


รูปที่ 56 รังสีอาทิตย์ตกกระทบเซนเซอร์ที่มุม θ

ผู้วิจัยได้ทำการตั้งอุปกรณ์สำหรับการสอบเทียบการตอบสนองต่อมุมตกกระทบ ดังนี้ (รูปที่ 57)

- 1) แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์จำลองซึ่งเป็นหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน
- 2) เลเซอร์ฮีเลียมนีออน
- 3) เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น
- 4) ชุดอุปกรณ์ปรับมุมแบบละเอียด สามารถหมุนได้ 360 องศา
- 5) คอมพิวเตอร์ควบคุมการหมุนที่มุมต่าง ๆ

ผู้วิจัยได้ทำการจัดวางอุปกรณ์ได้ดังแผนภาพในรูปที่ 57



รูปที่ 57 แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การสอบเทียบ cosine response ซึ่งประกอบด้วย 1) หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน 2) เลเซอร์ฮีเลียมนีออน 3) เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น 4) ชุดอุปกรณ์ปรับมุมแบบละเอียด 5) คอมพิวเตอร์ควบคุม

จากรูปที่ 54 ผู้วิจัยจะดำเนินการสอบเทียบตามกระบวนการดังต่อไปนี้

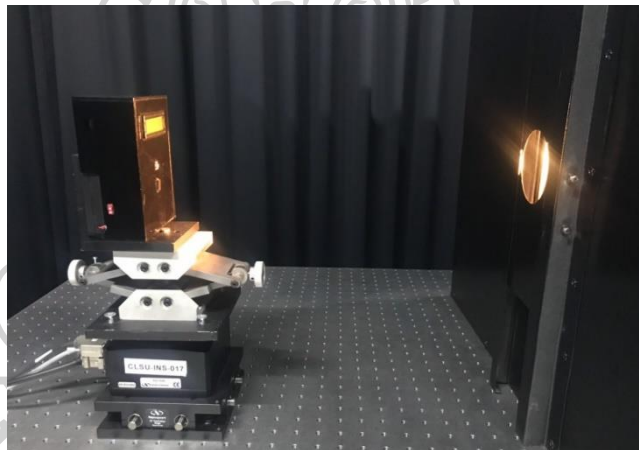
- 1) ติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับชุดอุปกรณ์ปรับมุมแบบละเอียด (รูปที่ 58)
- 2) เปิดเลเซอร์ฮีเลียมนีออนเพื่อปรับระดับให้ตำแหน่งตรงกลางของเซนเซอร์ของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 59)
- 3) เปิดแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์จำลองเพื่อให้แสงมีค่าคงที่และนิ่ง โดยเปิดทิ้งไว้ก่อนทำการบันทึกเป็นเวลาประมาณ 20 นาที พร้อมกับปิดไฟเพื่อไม่ให้แสงอื่นรบกวน (รูปที่ 60)
- 4) ทำการวัดและบันทึกค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าที่แสงตกกระทบบนหัววัดหรือเซนเซอร์ โดยเปลี่ยนค่ามุมที่ทำการวัดทีละ 1 องศา จนครบมุม -90 ถึง +90 องศา โดยควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 61)



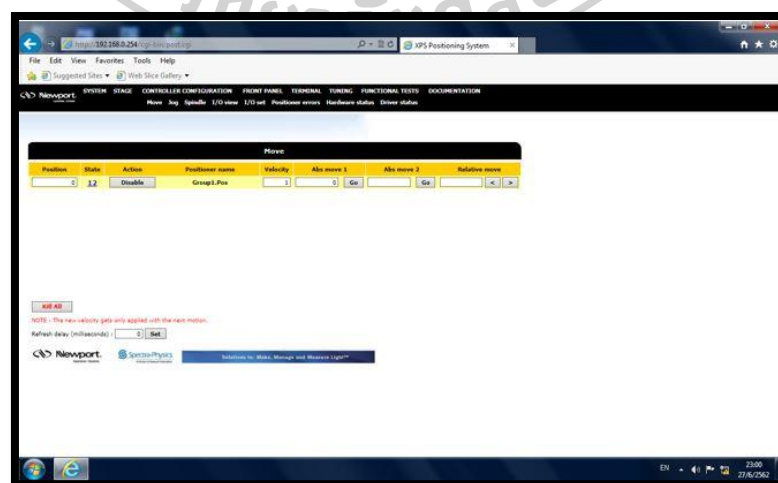
รูปที่ 58 ติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นกับชุดอุปกรณ์ปรับมุมแบบละเอียด



รูปที่ 59 ปรับระดับตำแหน่งของเซนเซอร์ตรงกลางให้อยู่ตรงกลาง

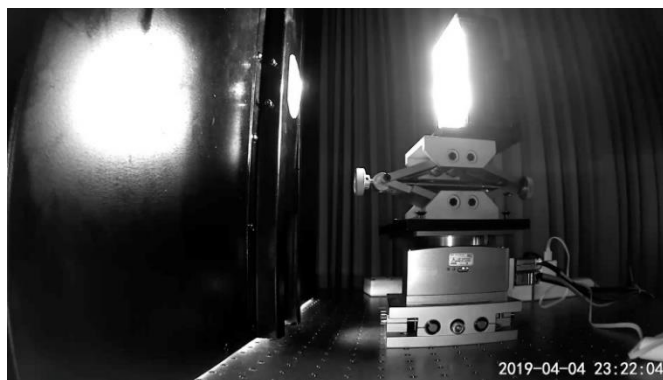


รูปที่ 60 เปิดแหล่งกำเนิดเป็นเวลาประมาณ 20 นาที



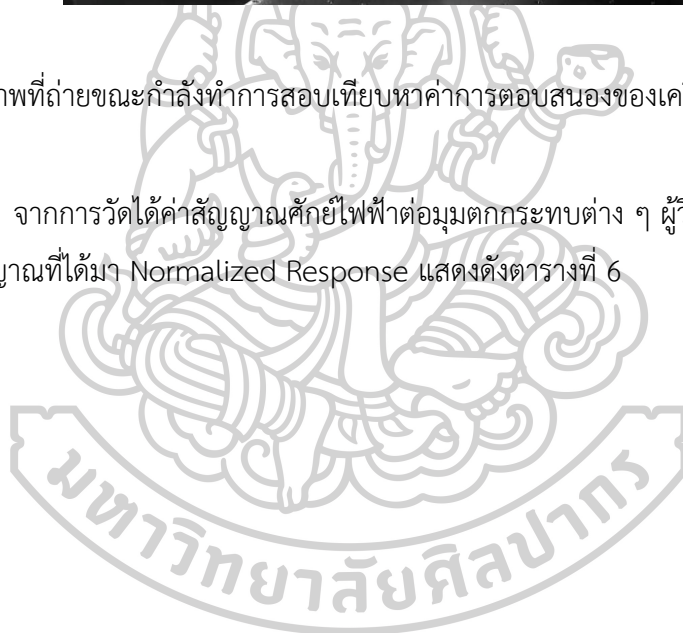
รูปที่ 61 โปรแกรมการปรับมุม θ

เนื่องจากหลอด THL มีความเข้มสูงมากและมีรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบระบบ monitor ผ่านทางกล้องวงจรปิดและทำการควบคุมการบันทึกข้อมูลจากภายนอกห้องปฏิบัติการสอบเทียบ การควบคุมดังกล่าวสามารถสังเกตได้ดังรูปที่ 62



รูปที่ 62 ภาพที่ถ่ายขณะกำลังทำการสอบเทียบหาค่าการตอบสนองของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้น

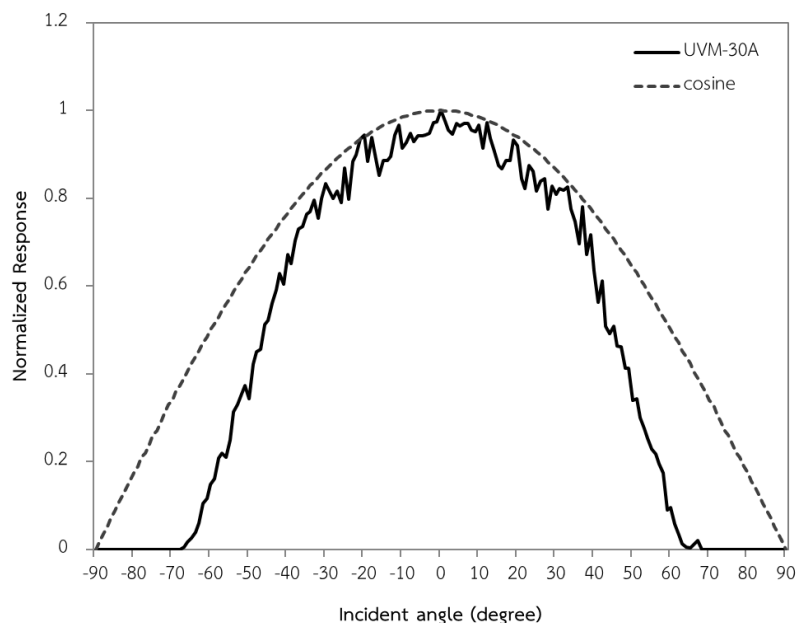
จากการวัดได้ค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าต่อมุมตกกระทบต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยนำค่าสัญญาณที่ได้มา Normalized Response แสดงดังตารางที่ 6



ตารางที่ 6 แสดงค่าสัญญาณที่วัดได้

มุม (องศา)	ศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์)	Normalized Response
90	0	0
...
12	38.0402	0.97169
11	35.7841	0.91406
10	37.8676	0.96728
9	37.2307	0.95101
8	37.4399	0.95635
7	38.01455	0.971032
6	37.98184	0.970197
5	37.76771	0.967127
4	38.01455	0.971032
3	37.00601	0.94527
2	37.37393	0.954668
1	38.18165	0.975301
0	39.1486	1
-1	38.16567	0.974892
-2	38.1	0.973215
-3	37.08815	0.947368
-4	39.20462	0.944
-5	40.34654	0.943
-6	39.9984	0.9432
-7	36.35142	0.92855
-8	37.1457	0.94884
-9	36.3078	0.92743
-10	35.7515	0.91323
-11	37.8788	0.96756
-12	36.9624	0.94416
...
-90	0	0

จากนั้นนำข้อมูล normalized response มาเขียนกราฟกับมุมตกกระทบ (Incident angle) และเปรียบเทียบกับกราฟของ cosine ของมุมตกกระทบ (รูปที่ 63)



รูปที่ 63 การตอบสนองต่อมุมตกกระทบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น (____) เทียบกับค่า cosine (____)

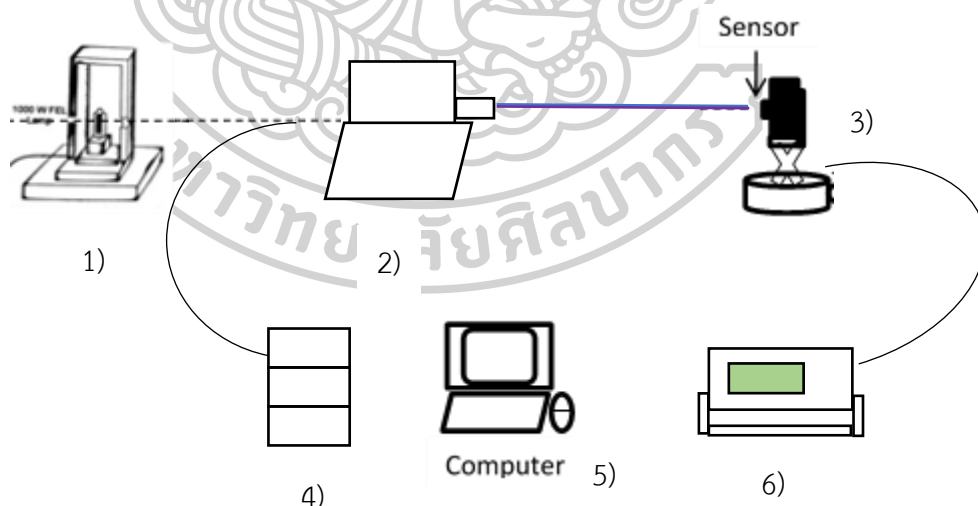
จากกราฟการตอบสนองต่อทิศทางของรังสี (cosine response) ระหว่างเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นเทียบกับ cosine พบว่าการตอบสนองต่อทิศทางของรังสีของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น มีค่าการตอบสนองทิศทางและรังสีได้แคบกว่าค่า cosine โดยค่าการตอบสนองที่มุมน้อยกว่า 40 องศา มีการตอบสนองต่อมุมตกกระทบใกล้เคียงกับค่า cosine แต่ที่มุมมากกว่า 45 องศา มีการตอบสนองลดลงอย่างรวดเร็ว และเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น ไม่สามารถรับรังสีได้ที่มุมตกกระทบมากกว่า 70 องศา เนื่องมาจากตัวเซนเซอร์ของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น มีขนาดเล็กและพื้นที่รับแสงน้อย

3.5.2 คุณลักษณะการตอบสนองของเครื่องมือวัดรังสีต่อความยาวคลื่นที่ตกกระทบ (Spectral response)

การตอบสนองของเครื่องมือวัดต่อความยาวคลื่นที่ตกกระทบ เมื่อเซนเซอร์หรือเครื่องมือวัดมีการใช้งานเป็นระยะเวลานานทำให้เซนเซอร์มีความสามารถในการวัดค่าได้น้อยหรือมีความเสื่อมสภาพลง ซึ่งความเสื่อมสภาพนี้ส่งผลทำให้ค่าที่วัดหรือค่าที่อ่านได้ส่งผลต่อความถูกต้องของเครื่องมือวัดรังสี ผู้วิจัยจึงทำการหาหรือทดสอบคุณลักษณะการตอบสนองของเครื่องมือวัดต่อสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นมีดังนี้

- 1) แหล่งกำเนิดแสง
- 2) เครื่องโมโนโครมาเตอร์
- 3) เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น
- 4) เครื่องควบคุมโมโนโครมาเตอร์
- 5) คอมพิวเตอร์ควบคุมและบันทึกข้อมูล
- 6) เครื่องมัลติมิเตอร์แสดงค่าสัญญาณ

ผู้วิจัยได้ทำการจัดวางอุปกรณ์ดังแผนภาพในรูปที่ 64



รูปที่ 64 แผนภาพการจัดวางอุปกรณ์การสอบเทียบ Spectral response 1) หลอดซีนอน 2) โมโนโครมาเตอร์ 3) เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น 4) เครื่องควบคุมโมโนโครมาเตอร์ 5) คอมพิวเตอร์ควบคุมและบันทึกข้อมูล

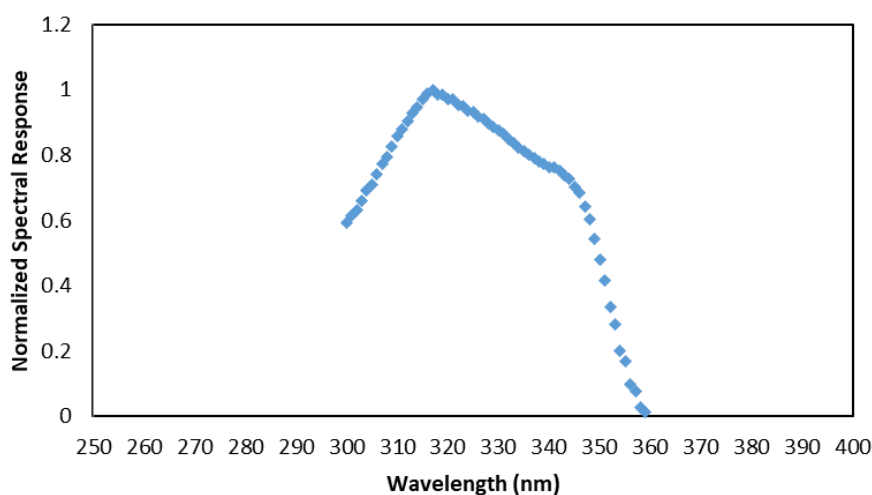
จากนั้นผู้วิจัยจะดำเนินการสอบเทียบตามกระบวนการ (รูปที่ 65) ดังต่อไปนี้

- 1) ติดตั้งเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น
- 2) เปิดตัวควบคุมโมนโครมาเตอร์
- 3) ควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ กำหนดความยาวคลื่นที่ต้องการวัด
- 4) ดูการแสดงค่าสัญญาณจากเครื่องมัลติมิเตอร์



รูปที่ 65 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับสอบเทียบค่าการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้น

ในการสอบเทียบใช้หลอดซีนอน เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์จำลองที่ใช้ความยาวคลื่นกว้างที่มีสเปกตรัมคล้ายกับสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ให้ความเข้มแสง 1000 W/m^2 เมื่อเปิดแหล่งกำเนิดแสงแล้วแสงจะผ่านรูรับแสงไปยังช่องสลิตของอุปกรณ์แยกแสงความยาวคลื่นเดี่ยวหรือโมนโครมาเตอร์ ซึ่งจะให้ความยาวคลื่นที่ต้องการเพียงความยาวคลื่นเดี่ยวไปตกกระทบบนหัววัดหรือเซนเซอร์ และค่าความแตกต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นจะถูกบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์ จากนั้นนำค่าไปแปลงเป็นความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละความยาวคลื่นแสดงดังรูปที่ 66



รูปที่ 66 ผลการวัดค่าการตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น

จากรูปที่ 66 พบว่าเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นมีการตอบสนองต่อรังสีในช่วงความยาวคลื่น 300-360 นาโนเมตร โดยจะมีค่าการตอบสนองสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ และการตอบสนองไม่เป็น flat curve ทำให้การวัดเกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งจะต้องทำการปรับปรุงเครื่องมือวัดต่อไป

จากการทดสอบหาคูณลักษณะของค่า cosine response และ spectral response นั้นไม่มีการนำค่าทั้ง 2 ค่านี้ไม่นำไปคำนวณแก้ไขในสมการที่ใช้ในการแปลงศักย์ไฟฟ้าเป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงเป็นอีกเหตุผลที่ทำให้เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นที่ความคลาดเคลื่อน

บทที่ 4

สรุป

ผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญถึงผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อผิวหนังมนุษย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เหมาะสมแก่การใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไป มีขนาดพกพาสะดวก โดยเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 1) เซนเซอร์ UVM-30A ซึ่งวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 200-370 นาโนเมตร 2) Arduino UNO R3 สำหรับเขียนโปรแกรมและป้อนคำสั่งต่าง ๆ 3) RTC DS3231 ทำหน้าที่เป็นระบบเวลามาตรฐานเพื่อแสดงวันเวลาในปัจจุบัน 4) Micro SD Card ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลหรือบันทึกค่าที่ได้รับคำสั่งมา 5) หน้าจอ LCD ทำหน้าที่แสดงข้อมูลจากคำสั่ง และ 6) ตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับเพิ่มหรือลดความสว่างบนหน้าจอ LCD โดยผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมให้ Arduino UNO R3 เพื่อแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้นำเครื่องวัดดังกล่าวไปติดตั้งเทียบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมาตรฐาน ที่ตาดฟ้าชั้น 10 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) และเทียบกับเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้างมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยา 3 แห่ง ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ (18.8°N, 98.98°E) จังหวัดอุบลราชธานี (15.25°N, 104.87°E) และจังหวัดสงขลา (7.2°N, 100.06°E) ผลที่ได้พบว่าค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นและเครื่องวัดมาตรฐานมีความสอดคล้องกันโดยมีค่า RMSE และ MBE ในช่วง 18-38 % และ 9-24% ตามลำดับ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการหาคุณลักษณะของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้น 2 คุณลักษณะ ได้แก่ การตอบสนองของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ที่มุมต่างๆ และการตอบสนองของเครื่องมือวัดรังสีต่อความยาวคลื่นที่ตกกระทบ สำหรับการตอบสนองต่อมุมตกกระทบ ผู้วิจัยใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดแสง และทำการวัดค่าการตอบสนองตั้งแต่มุม 0 ถึง 90 องศา ซึ่งพบว่าที่มุมน้อย ๆ มีการตอบสนองต่อมุมตกกระทบใกล้เคียงกับค่า ideal cosine และมีค่าลดลงเมื่อมุมมากขึ้น ในส่วนของการหาค่าการตอบสนองของเครื่องมือวัดรังสีต่อความยาวคลื่นที่ตกกระทบ ผู้วิจัยใช้หลอดหลอดซินอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยกำหนดในช่วงความยาวคลื่น 260-360 นาโนเมตร พบว่าเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นมีตอบสนองในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีและรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ และมีการตอบสนองสูงสุดที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร

อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นยังมีความคลาดเคลื่อนที่สูงเนื่องจากตัวเครื่องวัดที่ไม่มี diffuse ที่เหมือนกับเครื่องมือวัด UV-biometer และไม่มีการปรับแก้ค่าเนื่องจากโอโซนและฝุ่นละออง อีกทั้งในการหาคุณลักษณะของเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นไม่ได้นำค่า cosine response ที่วัดได้กลับไปแก้ค่าในสมการสำหรับการแปลงจากค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นจึงทำให้เครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พัฒนาขึ้นมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากการพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้เป็นการดำเนินงานเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้มีการปรับปรุง ด้านหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้สามารถวัดได้ละเอียดถูกต้องมากขึ้นในอนาคต



รายการอ้างอิง

- Amini, N., Matthews, J. E., Dabiri, F., Vahdatpour, A., Noshadi, H., & Sarrafzadeh, M. J. B. (2009). A Wireless Embedded Device for Personalized Ultraviolet Monitoring. 9, 200-205.
- Ångström, A. (1929). On the Atmospheric Transmission of Sun Radiation and on Dust in the Air. *Geografiska Annaler*, 11, 156-166. doi:10.2307/519399
- CIE. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet erythema in human skin. 6, 17-22.
- de Paula Corrêa, M., Godin-Beekmann, S., Haeffelin, M., Brogniez, C., Verschaeve, F., Saiag, P., . . . Sciences, P. (2010). Comparison between UV index measurements performed by research-grade and consumer-products instruments. 9(4), 459-463.
- Dose, E. J. C. R., & APPLICATION. (1999). CIE S007/E-1998 Erythema Reference Action Spectrum and Standard. 24, 158-158.
- Hoblos, O. I., Sheehan, M. W., Laferriere, D. J., & Yu, C. (2015, 7-8 Nov. 2015). *Uvision: a lightweight portable UVR detection system*. Paper presented at the 2015 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC).
- Larason, T. C., & Cromer, C. L. (2001). Sources of Error in UV Radiation Measurements. *Journal of research of the National Institute of Standards and Technology*, 106(4), 649-656.
- Lönnqvist, E., Cullí, M., Bermejo, M., Tootsi, M., Smits, S., Duarte, A., . . . Guedes, P. (2018). *Wearable UV Meter – An EPS@ISEP 2017 Project*, Cham.
- Madronich, S. J. E. E. o. U. R. (1993). UV radiation in the natural and perturbed atmosphere. In (pp. 17-69): Lewis Publisher, Boca Raton.
- Organization, W. H., & Protection, I. C. o. N.-I. R. (2002). *Global solar UV index: a practical guide*. Retrieved from
- Rosenfeld, A. B., Ryzhikov, V. D., Onyshchenko, G. M., Galkin, S. M., Opolonin, O. D., Lysetska, O. K., . . . Zenya, I. M. (2011). Small-sized UV radiometer on the basis of Schottky diodes. *Radiation Measurements*, 46(12), 1666-1670.
- Webb, A. R. (1998). *UVB instrumentation and applications*: CRC Press.

ประนอมกร ชูศรี. (2556). การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนัง
มนุษย์จากดวงอาทิตย์ประเทศไทย. (ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศิลปากร,
นครปฐม.

เสริม จันทร์ฉาย. (2557). รังสีอาทิตย์. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยา
เขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม.





ภาคผนวก

การสอบเทียบเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

การสอบเทียบเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (spectroradiometer) รุ่น DMc150 ยี่ห้อ Bentham รุ่น DMc150 ผลิตในประเทศอังกฤษ ซึ่งติดตั้งอยู่บนอาคารฟ้าชั้น 10 ของ อาคารวิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) ดังรูปที่ 67



รูปที่ 67 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น DMc150

การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตข้อมูลที่ได้ต้องมีความถูกต้องแม่นยำเพราะฉะนั้นต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อให้เครื่องวัดแสดงผลที่ถูกต้องและเครื่องมือวัดทำงานตามมาตรฐาน การสอบเทียบเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งออกเป็น การสอบเทียบความแม่นยำในการวัดความยาวคลื่น (wavelength alignment) และการสอบเทียบความถูกต้องในการวัดสัญญาณ (spectral responsivity)

การสอบเทียบความแม่นยำในการวัดความยาวคลื่นของเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถคำนวณได้โดยนำสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้เทียบกับสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์จากรังสีอาทิตย์ (Sun's Fraunhofer spectrum) ซึ่งเป็นค่าสเปกตรัมที่มีแถบการดูดกลืนที่แน่นอน แสดงดังตารางที่ 7 และจึงปรับค่าสเปกตรัมที่วัดได้ให้ตรงกับสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์

ตารางที่ 7 ค่าสเปกตรัมที่มีการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สัญลักษณ์	ธาตุที่ทำให้เกิดเส้นสเปกตรัม
430.79	G	Fe
430.774	G	Ca
410.175	H	H δ
396.847	H	Ca ⁺
393.368	K	Ca ⁺
382.044	L	Fe
358.121	N	Fe
336.112	P	Ti ⁺

ในส่วนของการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นการสอบเทียบประจำทุกเดือน ซึ่งในการสอบเทียบจะใช้หลอดแบบดิวทีเรียม (deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน โดยมีขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตดังนี้

- 1) นำหลอดมาตรฐานครอบลงบนตัวรับรังสีของเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (รูปที่ 68)
- 2) เปิดแหล่งจ่ายไฟของหลอดมาตรฐาน
- 3) ตั้งค่าโปรแกรม Benwin+ ให้บันทึกค่าสัญญาณไฟฟ้าที่เครื่องสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตวัดได้ในช่วง 260–420 นาโนเมตร (รูปที่ 69) โดยจะทำการวัดประมาณ 8 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 2 นาที
- 4) หาค่า sensitivity (S) ของเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยนำค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ (C) หารด้วยค่าความเข้มของสเปกตรัมมาตรฐานที่ได้จากบริษัท (E) ดังสมการที่ (1)

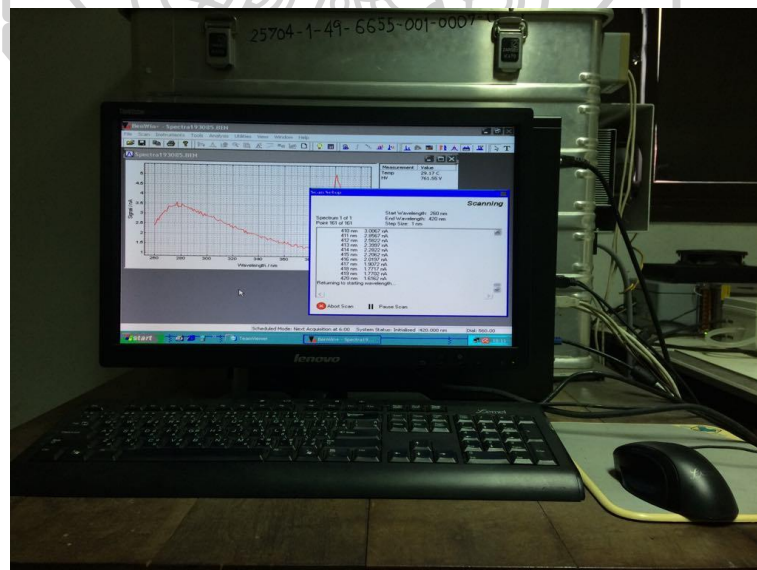
และเมื่อทำการวัดครบ 8 ครั้ง จะแสดงได้ดังตารางที่ 8

$$S_\lambda = \frac{C_\lambda}{E_\lambda} \quad (1)$$

เมื่อ S_λ คือ ค่า sensitivity ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต [$\text{nA}/(\text{mW}/\text{m}^2)\text{-nm}$]
 C_λ คือ ค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต [nA]
 E_λ คือ ค่าความเข้มของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตของหลอดมาตรฐาน [$\text{mW}/\text{m}^2\text{-nm}$]



รูปที่ 68 การสอบเทียบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

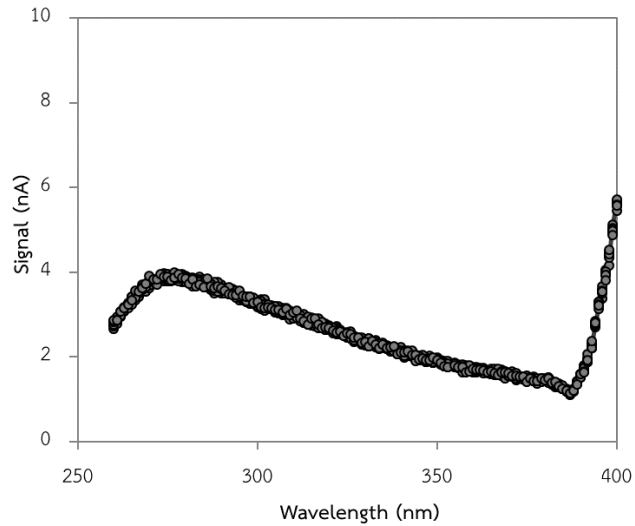


รูปที่ 69 โปรแกรม Benwin+ บันทึกค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้

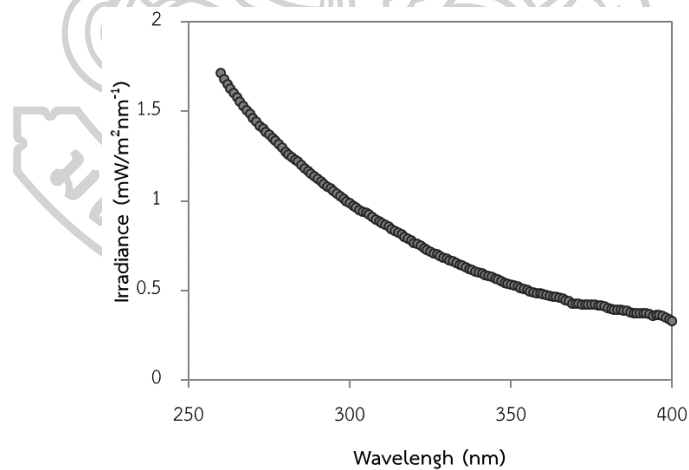
ตารางที่ 8 ข้อมูลจากการสอบเทียบเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

Wavelength (nm)	Signal								Standard irradiance ($\mu\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$)	Sensitivity nA/($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$)	
	1	2	3	4	5	6	7	8			Average
260	2.65689	2.7202	2.75753	2.85528	2.85656	2.86626	2.80471	2.78968875	2.75753	1.716798	1.624937092
261	2.90939	2.7952	2.87303	2.89278	2.95806	2.87126	2.85271	2.88268875	2.87303	1.683666	1.712150005
262	2.96239	3.0237	2.93903	2.96228	2.97006	3.06276	3.07121	2.99956375	2.93903	1.650534	1.81732927
263	3.11489	3.1392	3.16703	3.12228	3.08656	3.15526	3.08521	3.11850125	3.16703	1.6264665	1.91734736
264	3.27789	3.2352	3.25553	3.23778	3.14706	3.23626	3.25021	3.23218875	3.25553	1.602399	2.017093589
265	3.41089	3.4007	3.40203	3.41828	3.22606	3.34126	3.42421	3.36593875	3.40203	1.5782945	2.132643021
266	3.44289	3.4182	3.49103	3.33628	3.40556	3.55676	3.44921	3.44050125	3.49103	1.55419	2.213694111
267	3.52189	3.4957	3.50003	3.49728	3.55606	3.54376	3.49321	3.50987625	3.55003	1.53172	2.291460743
268	1.44039	1.3982	1.36053	1.39078	1.39106	1.38176	1.38221	1.39300125	1.36053	0.394571	3.530419747
...
...
396	3.57489	3.5577	3.65703	3.50278	3.57056	3.54276	3.38321	3.54268875	3.65703	0.364794	9.711477574
397	4.04539	3.9942	4.00753	3.92378	3.93906	3.80926	3.96071	3.96606375	4.00753	0.357621	11.09013103
398	4.39089	4.4042	4.48003	4.33878	4.42606	4.53226	4.38771	4.39018875	4.48003	0.350448	12.52736141
399	4.92339	5.0337	4.96453	5.01328	4.97256	4.88375	5.12871	4.992875	4.96453	0.34079	14.65088471
400	5.66139	5.6747	5.45003	5.71778	5.60206	5.56826	5.56371	5.61443875	5.45003	0.331132	16.95528898

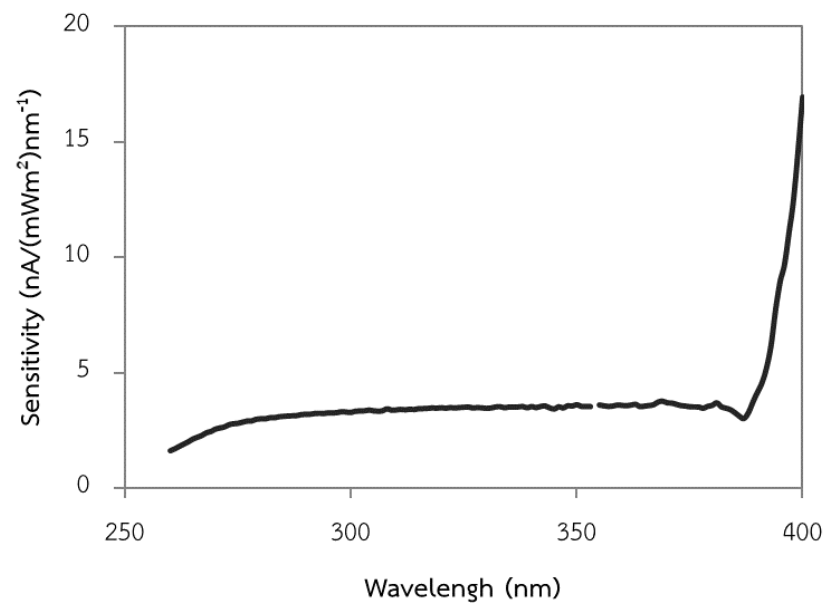
เมื่อทำการวัดครบ 8 ครั้ง นำค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้นำมาพล็อตกราฟแสดงดังรูปที่ 70 และค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากหลอดกำเนิดแสงมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 71 และแปรค่า sensitivity ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการสอบเทียบแสดงดังรูปที่ 72



รูปที่ 70 ค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดแสงของหลอดกำเนิดแสงมาตรฐาน



รูปที่ 71 ค่าความเข้มของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 260-400 นาโนเมตร ของหลอดมาตรฐาน



รูปที่ 72 ค่า sensitivity ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการสอบเทียบ



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศศิมาภรณ์ โมกขาว
วัน เดือน ปี เกิด	21 กันยายน 2536
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลแม่และเด็ก จ.นครสวรรค์
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	1 หมู่ 2 ตำบลบ้านกล้วย อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท 17000

