



การศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งวัดที่สถานีที่ตั้งใน  
ภูมิภาคหลักของประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งวัดที่สถานี  
ที่ตั้งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย



โดย  
นางสาวปรารณา ไหลวารินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A STUDY OF SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION UNDER CLEAR SKY CONDITION  
MEASURED AT STATIONS SITUATED IN MAIN REGIONS OF THAILAND



By  
MISS Pradthana LAIWARIN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science (PHYSICS)  
Department of PHYSICS  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2019  
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ การศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้า  
ปราศจากเมฆ ซึ่งวัดที่สถานีที่ตั้งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย  
โดย บรรณนา ไหลวารินทร์  
สาขาวิชา ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท  
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย

---

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิสระ มะศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษารวม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมาลย์ บรรเทียง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กীরติ เกิดศิริ )

60306203 : ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : รังสีอัลตราไวโอเล็ต, แบบจำลอง, ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

นางสาว พรารณา ไหลวารินทร์: การศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งวัดที่สถานีที่ตั้งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์รังสีรวมและรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (erythemal ultraviolet) ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งวัดที่สถานีที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคหลักของประเทศไทย สถานีดังกล่าว ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ (18.78 °N, 98.98 °E) ซึ่งตั้งอยู่ในภาคเหนือ สถานีอุบลราชธานี (15.25 °N, 104.87 °E) ซึ่งตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สถานีนครปฐม (13.82 °N, 100.04 °E) ซึ่งตั้งอยู่ในภาคกลาง และสถานีสงขลา (7.20 °N, 100.60 °E) ซึ่งตั้งอยู่ในภาคใต้ จากการวิเคราะห์ข้อมูล 6 ปี (2011-2016) ของรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจากข้อมูลที่สถานีดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแบบจำลองแบบกึ่งเอมไพริคัล สำหรับประมาณค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าดังกล่าว โดยแบบจำลองที่ได้จะแสดงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรูปของฟังก์ชันแบบกึ่งเอมไพริคัลของความลึกเชิงแสงของผืนละออง ปริมาณโอโซน และมวลอากาศ จากนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองดังกล่าว โดยใช้แบบจำลองคำนวณค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ 4 สถานี โดยใช้ข้อมูลอิสระที่มีได้นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง และพบว่าความแตกต่างระหว่างค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดมีความสอดคล้องกัน โดยมีความแตกต่างในรูป root mean square difference และ mean bias difference (MBD) ซึ่งเทียบกับค่าเฉลี่ยของการวัด เท่ากับ 15.2% และ -6.5% ตามลำดับ หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์รังสีกระจายด้วยวิธีการที่คล้ายกับการวิเคราะห์ที่ใช้กับรังสีรวม เพื่อพัฒนาแบบจำลองแบบกึ่งเอมไพริคัลสำหรับคำนวณรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ เมื่อทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลอิสระ แบบจำลองที่ได้ให้ค่า RMSD และค่า MBD เท่ากับ 14.6% และ -8.4% ตามลำดับ สุดท้ายผู้วิจัยจึงได้แสดงการแปรค่าของรังสีรวมและรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (all sky condition) พร้อมทั้งการแจกแจงทางสถิติของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet index) ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจากข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดทั้ง 4 แห่ง

60306203 : Major (PHYSICS)

Keyword : ultraviolet, model, ultraviolet index

MISS PRADTHANA LAIWARIN : A STUDY OF SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION UNDER CLEAR SKY CONDITION MEASURED AT STATIONS SITUATED IN MAIN REGIONS OF THAILAND THESIS ADVISOR : PROFESSOR SERM JANJAI, Ph.D.

In this study, global and diffuse solar erythemal ultraviolet radiation under clear sky condition measured at stations located in main regions of Thailand was analysed. These stations are Chiang Mai (18.78 °N, 98.98 °E) located in the northern region, Ubon Ratchathani (15.25 °N, 104.87 °E) in the northeast region, Nakhon Pathom (13.82 °N, 100.04 °E) in the central region and Songkha (7.20 °N, 100.60 °E) in the southern region. Based on 6 year period (2011-2016) of clear sky global solar ultraviolet radiation from these stations, a semi-empirical model for estimating this radiation under clear sky condition was developed. The model expresses empirically the erythemal ultraviolet radiation as a function of aerosol optical depth, total ozone column and air mass. The performance of the model was tested against an independent dataset at the four stations and the discrepancy between an ultraviolet radiation estimated from the model and that obtained from the measurements in terms of root mean square difference (RMSD) and mean bias difference (MBD) with respect to means measured value of ultraviolet radiation was found to be 15.2% and -6.5%, respectively. With a similar analysis to that of the global ultraviolet radiation, a semi-empirical model for calculating diffuse solar erythemal ultraviolet radiation under clear sky condition was also developed. When tested against an independent dataset, the model gives RMSD and MBD of 14.6% and -8.4%, respectively. Finally, the monthly average daily global and diffuse ultraviolet radiation under all-sky condition at four stations and statistical distribution of ultraviolet radiation under clear sky radiation at these stations were also presented.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาระดับปริญญาโทระดับนี้ ผู้วิจัยได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันท์ฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ให้ความรู้และคำแนะนำทางวิชาการ พร้อมทั้งจัดหาทุนวิจัย เครื่องมือ และข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงาน

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมาลย์ บรรเทง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้ความรู้ทางวิชาการ คำปรึกษา คำแนะนำ และประสบการณ์ในการทำงานวิจัย รวมทั้งได้ให้กำลังใจที่ดี และความช่วยเหลือ เมื่อเกิดข้อบกพร่องในการทำงาน ทำให้งานวิจัยบรรลุผลสำเร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิสระ มะศิริ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้กรุณาเสียเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้นี้ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ เกิดศิริ ที่ได้กรุณาเสียเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ นักวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร รวมถึงเจ้าหน้าที่ของภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ คุณประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดาและมารดา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณที่ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

ปรารธนา ไหลวารินทร์

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....   | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....  | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....   | ฉ    |
| สารบัญ.....  | ช    |
| สารบัญตาราง.....   | ฌ    |
| สารบัญรูป.....   | ญ    |
| บทที่ 1 .....  | 1    |
| บทนำ.....  | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                          | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                 | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....                                       | 2    |
| บทที่ 2 .....  | 3    |
| ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                               | 3    |
| 2.1 ทฤษฎี.....   | 3    |
| 2.1.1 สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....                          | 3    |
| 2.1.2 ผลขององค์ประกอบในบรรยากาศที่มีต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต ..... | 4    |
| 2.1.3 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลก .....                     | 9    |
| 2.1.4 การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....                             | 11   |
| 2.1.5 ผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อสิ่งมีชีวิต.....           | 16   |
| 2.1.6 ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....                             | 17   |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                   | 19   |

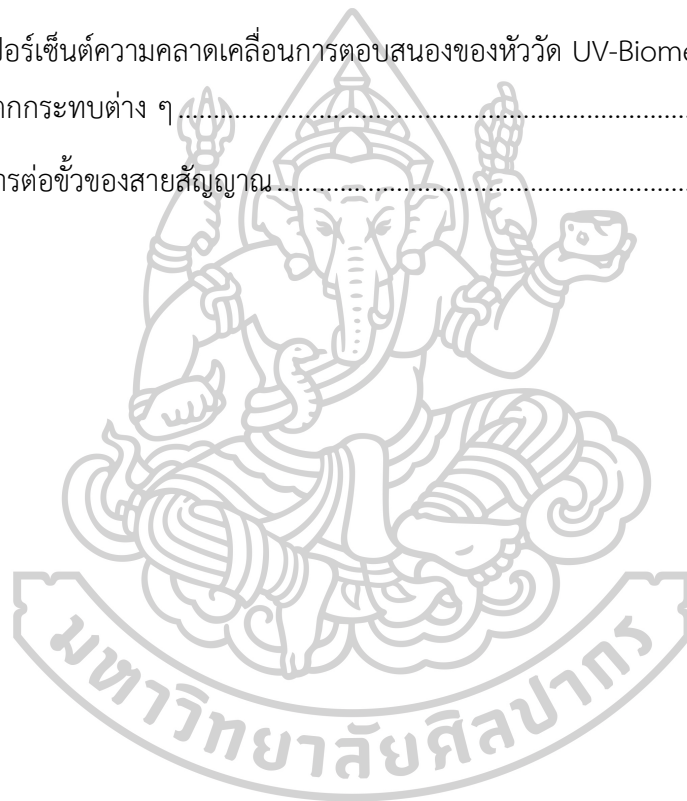


|   |    |
|---|----|
| บทที่ 3 .....   | 22 |
| วิธีการวิจัยและผล .....   | 22 |
| 3.1 การวัดและบันทึกข้อมูล .....   | 22 |
| 3.2 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์<br>ในสภาพห้องฟ้าปราศจากเมฆ ..... | 39 |
| 3.2.1 แบบจำลองสำหรับรังสีรวมในสภาพห้องฟ้าปราศจากเมฆ.....  | 39 |
| 3.2.2 แบบจำลองสำหรับรังสีกระจายในสภาพห้องฟ้าปราศจากเมฆ .....  | 44 |
| 3.3 การศึกษาสถิติของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต .....  | 48 |
| 3.3.1 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรอบปี .....   | 48 |
| 3.3.2 การแจกแจงค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพห้องฟ้าปราศจากเมฆรายชั่วโมง.....                                      | 53 |
| 3.3.3 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพห้องฟ้าปราศจากเมฆรายปี<br>.....                            | 59 |
| บทที่ 4 .....   | 62 |
| สรุป.....   | 62 |
| รายการอ้างอิง.....  | 79 |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 82 |



## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 ระดับความรุนแรงของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO, 2002).....                   | 19   |
| ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ที่แต่ละมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต S/N 5809.....               | 73   |
| ตารางที่ 3 เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนการตอบสนองของหัววัด UV-Biometer S/N 5809 จากค่า cosine ที่มุมตกกระทบต่าง ๆ..... | 75   |
| ตารางที่ 4 การต่อตัวของสายสัญญาณ.....   | 78   |



## สารบัญรูป

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า .....  | 3    |
| รูปที่ 2 คอลัมน์ของมวลอากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่เซนนิซ ( $m_{act, v}$ ) และเมื่อ .....                              | 7    |
| รูปที่ 3 สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและที่พื้นผิวโลก (Notton, 2010).....  | 10   |
| รูปที่ 4 องค์ประกอบของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นโลก (เสริม จันทรฉาย, 2560) .....   | 10   |
| รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงองค์ประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (เสริม จันทรฉาย, 2560).....  | 11   |
| รูปที่ 6 อุปกรณ์แยกรังสีแบบคู่ (เสริม จันทรฉาย, 2560) .....   | 12   |
| รูปที่ 7 กราฟแสดงความสามารถในการแยกสเปกตรัมของอุปกรณ์แยกรังสี (Webb, 1998).....   | 13   |
| รูปที่ 8 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น DMc 150 ที่ผลิตโดยบริษัท Bentham Instrument Ltd.....   | 13   |
| รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (เสริม จันทรฉาย, 2560).....                               | 14   |
| รูปที่ 10 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รุ่น 501A ที่ผลิตโดยบริษัท Solar Light .....                                      | 15   |
| รูปที่ 11 เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณรุ่น GUV-2511 ที่ผลิตโดยบริษัท Biospherical Instrument Inc..... | 16   |
| รูปที่ 12 กราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (เสริม จันทรฉาย, 2560)...  | 17   |
| รูปที่ 13 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่คาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....              | 23   |
| รูปที่ 14 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่.....   | 24   |
| รูปที่ 15 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี.....   | 24   |
| รูปที่ 16 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่สถานีจังหวัดสงขลา .....  | 25   |

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 17 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่คาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะ<br>วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม .....  | 25 |
| รูปที่ 18 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่ .....   | 26 |
| รูปที่ 19 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี .....   | 26 |
| รูปที่ 20 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่สถานีจังหวัดสงขลา.....  | 27 |
| รูปที่ 21 เครื่องวัดบันทึกข้อมูล (datalogger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX2000.....   | 27 |
| รูปที่ 22 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่คาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....   | 29 |
| รูปที่ 23 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่.....   | 29 |
| รูปที่ 24 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี.....   | 30 |
| รูปที่ 25 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่สถานีจังหวัดสงขลา.....   | 30 |
| รูปที่ 26 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) กรณีวันที่ท้องฟ้า<br>ปราศจากเมฆ (clear sky) ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) และท้องปกคลุมด้วยเมฆ<br>ทั้งหมด (overcast sky) ตามลำดับ..... | 31 |
| รูปที่ 27 เครื่อง sunphotometer ที่คาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....  | 32 |
| รูปที่ 28 เครื่อง sunphotometer ที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่.....  | 32 |
| รูปที่ 29 เครื่อง sunphotometer ที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี.....  | 33 |
| รูปที่ 30 เครื่อง sunphotometer ที่สถานีจังหวัดสงขลา.....  | 33 |
| รูปที่ 31 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันใน<br>รอบปีที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่ .....   | 34 |
| รูปที่ 32 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันใน<br>รอบปีที่สถานีจังหวัดนครปฐม .....  | 35 |
| รูปที่ 33 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันใน<br>รอบปีที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี.....  | 35 |

|   |    |
|---|----|
| รูปที่ 34 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดสงขลา.....                               | 36 |
| รูปที่ 35 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่.....   | 37 |
| รูปที่ 36 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดนครปฐม.....  | 37 |
| รูปที่ 37 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี.....   | 38 |
| รูปที่ 38 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดสงขลา.....   | 38 |
| รูปที่ 39 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่.....   | 41 |
| รูปที่ 40 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดนครปฐม.....      | 41 |
| รูปที่ 41 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี..... | 42 |
| รูปที่ 42 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดสงขลา.....       | 42 |
| รูปที่ 43 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่ 4 สถานี.....                   | 43 |
| รูปที่ 44 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีเชียงใหม่.....     | 45 |
| รูปที่ 45 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีนครปฐม.....        | 45 |
| รูปที่ 46 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีอุบลราชธานี.....   | 46 |
| รูปที่ 47 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีสงขลา.....         | 46 |
| รูปที่ 48 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่ 4 สถานี.....           | 47 |

รูปที่ 49 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายวัน ..... 48

รูปที่ 50 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายวัน เฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีนครปฐม (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD) ..... 49

รูปที่ 51 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายวัน เฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานี (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)..... 49

รูปที่ 52 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายวัน เฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีสงขลา (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD) ..... 50

รูปที่ 53 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลต รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีเชียงใหม่ (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD) ..... 51

รูปที่ 54 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลต รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีนครปฐม (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD) ..... 51

รูปที่ 55 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลต รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีอุบลราชธานี (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD) ..... 52

รูปที่ 56 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลต รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีสงขลา (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD) ..... 52

รูปที่ 57 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี จังหวัดเชียงใหม่..... 54

รูปที่ 58 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี จังหวัดนครปฐม..... 55

|   |    |
|---|----|
| รูปที่ 59 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี<br>จังหวัดอุบลราชธานี.....                             | 56 |
| รูปที่ 60 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี<br>จังหวัดสงขลา.....                                   | 57 |
| รูปที่ 61 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายปีของสถานีจังหวัดเชียงใหม่ .....   | 59 |
| รูปที่ 62 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายปีของสถานีจังหวัดนครปฐม .....  | 60 |
| รูปที่ 63 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายปีของสถานีจังหวัดอุบลราชธานี .   | 60 |
| รูปที่ 64 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายปีของสถานีจังหวัดสงขลา.....  | 61 |
| รูปที่ 65 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รุ่น 501A ที่ผลิตโดยบริษัท Solar<br>Light.....                                    | 65 |
| รูปที่ 66 ชุดปรับมุมแบบละเอียด .....  | 66 |
| รูปที่ 67 เครื่องควบคุมชุดปรับมุมแบบละเอียด.....  | 66 |
| รูปที่ 68 เลเซอร์ฮีเลียมนีออน .....   | 67 |
| รูปที่ 69 หลอดทังสเตนฮาโลเจน.....   | 67 |
| รูปที่ 70 เครื่องควบคุมความเข้มแสงของหลอดทังสเตนฮาโลเจน.....  | 68 |
| รูปที่ 71 การติดตั้งอุปกรณ์ในการสอบเทียบการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสี<br>อัลตราไวโอเลต.....   | 68 |
| รูปที่ 72 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตบนแท่นของชุดปรับมุมแบบละเอียด .....   | 69 |
| รูปที่ 73 โปรแกรมสำหรับการปรับมุมต่าง ๆ.....  | 70 |
| รูปที่ 74 ระดับเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่ตรงกับกึ่งกลางของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเลต.....   | 70 |
| รูปที่ 75 ระดับเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่ตรงกับกึ่งกลางของหลอดทังสเตนฮาโลเจน โดยมีระยะห่างจาก<br>หัววัดรังสีอัลตราไวโอเลตเท่ากับ 20 เซนติเมตร ..... | 71 |
| รูปที่ 76 การแปรค่าการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเลตรุ่น 501A S/N<br>5809.....   | 72 |
| รูปที่ 77 การแปรค่าการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเลตรุ่น 501A S/N<br>2854.....   | 72 |

รูปที่ 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการตอบสนองของหัววัด UV-Biometer S/N 5809 จากค่า cosine ที่แต่ละมุมตกกระทบ ..... 74

รูปที่ 79 แผนภาพการเชื่อมต่อสายสัญญาณของหัววัด UV-biometer รุ่น 501A ..... 77





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสียูวีเป็นหนึ่งในรังสีที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ที่มีพลังงานโฟตอน (photon energy) สูง รังสีดังกล่าวมีความยาวคลื่น 10-400 นาโนเมตร เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก รังสีดังกล่าวจะถูกดูดกลืนโดยองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ คงเหลือแต่รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (280-315 นาโนเมตร) บางส่วนและรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (315-400 นาโนเมตร) นอกจากนี้ยังมีฝุ่นละอองในบรรยากาศ โมเลกุลอากาศและเมฆที่ยังสามารถลดทอนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ รังสีส่วนที่เหลือนี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลกทั้งมนุษย์ พืช และสัตว์ โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีผลต่อมนุษย์ทั้งผลดีและผลเสีย โดยข้อดีคือรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้กระดูกแข็งแรง สำหรับข้อเสียคือรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้ผิวหนังเกิดผื่นแดงไหม้ (sunburn) หรือส่งผลกระทบต่อดวงตาอาจทำให้ตาเป็นต้อกระจกได้

จากความสำคัญของรังสีอัลตราไวโอเล็ต จึงได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ แต่เหมาะสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในพื้นที่ที่มีฝุ่นละอองน้อย จึงไม่เหมาะสมสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยที่มีปริมาณฝุ่นละอองค่อนข้างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยพิจารณาถึงผลของฝุ่นละออง ก๊าซโอโซน และมวลอากาศที่มีต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต และศึกษาดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ
2. เพื่อทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ
3. เพื่อศึกษาลักษณะทางสถิติของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของสถานีวัด 4 แห่ง ในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ได้แก่ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82 °N, 100.04 °E) ในภาคกลาง ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ (18.78 °N, 98.98 °E) ในภาคเหนือ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จังหวัดอุบลราชธานี (15.25 °N, 104.87 °E) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา (7.20 °N, 100.60 °E) ในภาคใต้



## บทที่ 2

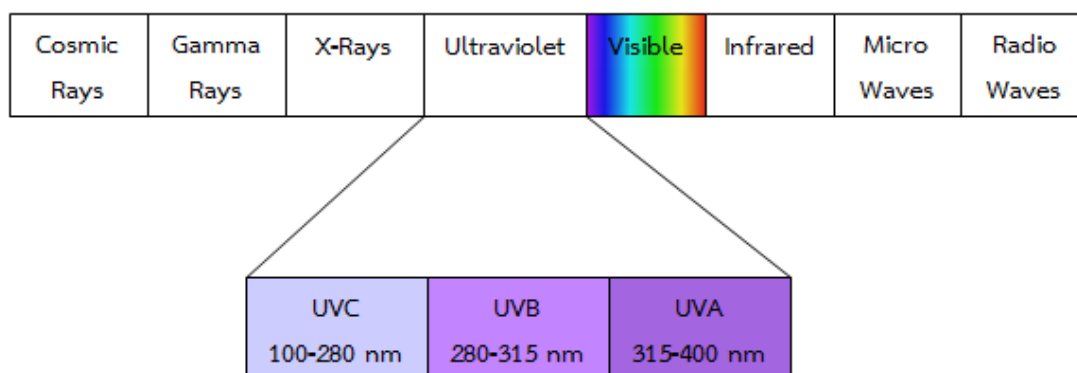
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎี

##### 2.1.1 สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือรังสีจากดวงอาทิตย์ที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศลงมาถึงพื้นโลกได้ประกอบไปด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation) แสงช่วงที่ตามองเห็น (visible light) และรังสีอินฟราเรด (infrared radiation) ซึ่งช่วงของรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นและมีพลังงานสูงคือช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีอัลตราไวโอเล็ตของรังสีอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 100-400 นาโนเมตร ซึ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ารังสีเหนือม่วง เนื่องจากสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงกว่าสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มนุษย์มองเห็นเป็นสีม่วง โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 100-280 นาโนเมตร รังสีอัลตราไวโอเล็ตบีมีช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 280-315 นาโนเมตร และรังสีอัลตราไวโอเล็ตเออยู่ในช่วงความยาวคลื่น 315-400 นาโนเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 1

#### ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



รูปที่ 1 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

## 2.1.2 ผลขององค์ประกอบในบรรยากาศที่มีต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

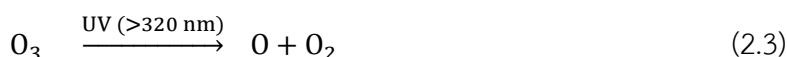
ผลขององค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ มีดังนี้

### 1) ผลการดูดกลืนของก๊าซโอโซนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ก๊าซโอโซนคืออะตอมของออกซิเจน 3 อะตอมที่มารวมตัวกัน ซึ่งโอโซนส่วนใหญ่จะอยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ระดับความสูงจากพื้นโลกประมาณ 15-50 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม ก๊าซโอโซนเป็นองค์ประกอบของบรรยากาศที่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับก๊าซที่เป็นองค์ประกอบหลักของบรรยากาศ แต่ก็มีความสำคัญมาก เนื่องจากโอโซนจะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่ให้ผ่านลงมาถึงพื้นโลกมากเกินไป โดยเมื่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ผ่านลงมายังชั้นบรรยากาศ รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมี (photochemical reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 242 นาโนเมตร จะทำให้ออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอม ซึ่งอะตอมของออกซิเจนจะสามารถไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนตัวอื่นและเกิดเป็นโอโซน ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดโอโซน ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดโอโซนสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2



เมื่อโอโซนดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นสูงกว่า 320 นาโนเมตร โอโซนจะสามารถแตกตัวเป็นโมเลกุลของออกซิเจนและอะตอมของออกซิเจน ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซน สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.3 โดยอะตอมหรือโมเลกุลของออกซิเจนนี้ จะสามารถไปรวมตัวกับออกซิเจนตัวอื่นและเกิดเป็นโอโซนได้อีกครั้ง



ผลของก๊าซโอโซนจะทำให้ช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี ซึ่งเป็นรังสีที่มีความคลื่นสั้น มีพลังงานสูง และเป็นอันตรายมากที่สุดต่อสิ่งมีชีวิตถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์ในชั้นนี้ และจะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีบางส่วน ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้ ดังนั้นจึงทำให้บรรยากาศชั้นนี้มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง

จากความสำคัญของโอโซนซึ่งมีผลต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงจำเป็นต้องทราบปริมาณโอโซน ซึ่งในการหาปริมาณโอโซนในบรรยากาศสามารถทำได้โดยอาศัยเครื่องมือจากการวัดภาคพื้นดิน การวัดในบรรยากาศ และการวัดโดยอุปกรณ์บนดาวเทียม

การวัดภาคพื้นดิน เป็นการติดตั้งเครื่องมือเพื่อวัดปริมาณโอโซนบนภาคพื้นดิน ข้อมูลที่ได้จะครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณโอโซนภาคพื้นดิน ตัวอย่างเช่น เครื่องมือสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เครื่องเลเซอร์ เป็นต้น

การวัดในบรรยากาศ เป็นวิธีการวัดปริมาณโอโซนโดยตรง ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดและแม่นยำ แต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณโอโซนในบรรยากาศ ตัวอย่างเช่น บัลลูน จรวด เป็นต้น

การวัดโดยใช้ดาวเทียม เป็นเครื่องมือที่ทำการสำรวจบรรยากาศระยะไกล สำหรับข้อมูลที่ได้จะครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ดาวเทียมที่ทำการวัดปริมาณโอโซน ตัวอย่างเช่น ดาวเทียม AURA/OMI (ปี ค.ศ. 2006-ปัจจุบัน) ดาวเทียม TOMS/EP (ปี ค.ศ.1996-2006) เป็นต้น

## 2) ผลการลดทอนของฝุ่นละอองต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ฝุ่นละอองคืออนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่ลอยอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งผลของฝุ่นละอองจะทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง นอกจากนี้ฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวสามารถดูดกลืนและกระเจิงรังสีได้ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง โดยในการหาปริมาณหรือสมบัติเชิงแสงต่าง ๆ ของฝุ่นละอองสามารถหาได้จากเครื่องมือวัดภาคพื้นดินหรือจากข้อมูลดาวเทียม สำหรับผลของฝุ่นละอองต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถบอกได้ในรูปความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ซึ่งเป็นความสามารถในการลดทอนแสงเนื่องจากฝุ่นละอองต่อความยาวคลื่นต่าง ๆ

ซึ่งเราสามารถคำนวณความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองได้ตั้งสมการที่ 2.4 โดย  $\beta$  จะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของฝุ่นละออง และ  $\alpha$  จะสัมพันธ์กับขนาดของฝุ่นละออง จากสมการดังกล่าวจะเห็นว่าฝุ่นละอองสามารถลดทอนรังสีได้ต่างกันในแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งฝุ่นละอองสามารถลดทอนรังสีได้ดีในช่วงความยาวคลื่นสั้น

$$\tau'_{\text{aer},\lambda} = \beta\lambda^{-\alpha} \quad (2.4)$$

|       |                              |  |
|-------|------------------------------|--|
| เมื่อ | $\tau'_{\text{aer},\lambda}$ | คือ ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (-)   |
|       | $\beta$                      | คือ สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศของอังสตรอม (Angstrom's turbidity coefficient) (-) |
|       | $\lambda$                    | คือ ความยาวคลื่นของรังสีอาทิตย์ (ไมโครเมตร)  |
|       | $\alpha$                     | คือ ตัวเลขยกกำลังของอังสตรอม (Angstrom's wavelength exponent) (-)                        |

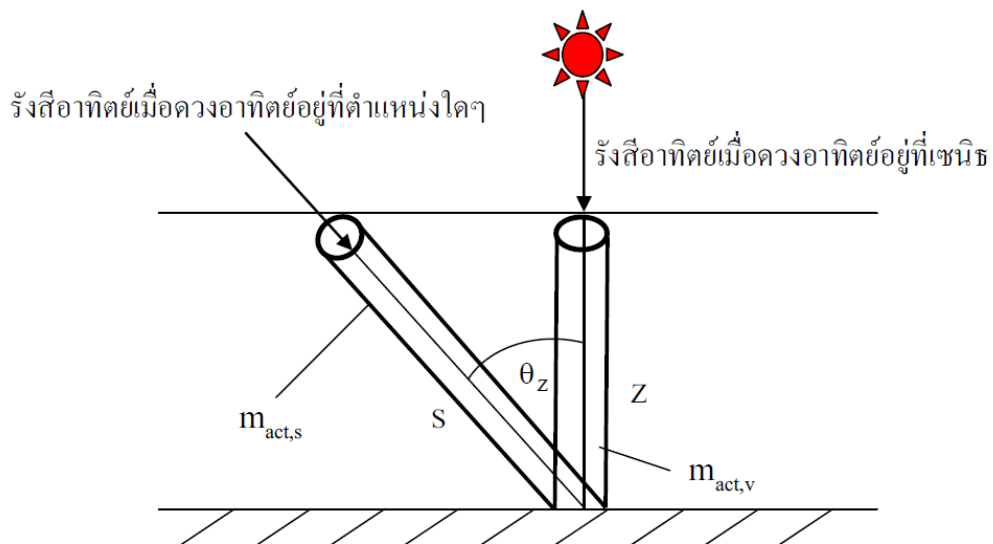
### 3) ผลการลดทอนของเมฆต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เมฆคือหยดน้ำในอากาศที่เกิดการควบแน่นและลอยอยู่ในระดับสูง ซึ่งเมฆอาจจะประกอบไปด้วยหยดน้ำ หรือผลึกน้ำแข็ง หรือทั้งสองอย่างผสมกัน เมฆสามารถทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีปริมาณลดลงได้แม้ว่าจะไม่สามารถลดได้ดีเท่ารังสีรวม (ความยาวคลื่น 0.3-3.0 ไมโครเมตร) ซึ่งผลหรือความสามารถในการลดทอนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของเมฆจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของเมฆและชนิดหรือลักษณะขององค์ประกอบภายในเมฆ สำหรับผลเนื่องจากปริมาณของเมฆ เมื่อพิจารณาลักษณะของท้องฟ้าเป็น 3 แบบ ได้แก่ ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky) ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) และท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆ (overcast sky) โดยทั่วไปในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆบางส่วนจะทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเมฆบนท้องฟ้าเทียบกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ แต่ในสภาพท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมดจะสามารถลดทอนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้มากที่สุด ซึ่งอาจทำให้ลดลงเกินครึ่งหนึ่งจากรังสีในสภาพท้องฟ้าปราศจาก

เมฆ สำหรับผลเนื่องจากชนิดของเมฆ เมื่อแบ่งชนิดของเมฆตามอนุกรมวิทยาเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เมฆชั้นสูงที่มีลักษณะเป็นผลึกน้ำแข็ง เมฆชั้นกลางที่มีลักษณะเป็นผลึกน้ำแข็งหรือหยดน้ำ และเมฆชั้นต่ำที่ประกอบด้วยหยดน้ำ เมฆแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการลดทอนรังสีได้ต่างกัน โดยเมฆที่เป็นผลึกน้ำแข็งจะสะท้อนรังสีได้ดีที่สุด

#### 4) ผลของมวลอากาศต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

มวลอากาศ (air mass) หรือกลุ่มอากาศที่มีผลต่อความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เดินทางผ่านคอลัมน์ของ มวลอากาศนั้น ซึ่งผลของมวลอากาศต่อรังสีอาทิตย์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยรูปที่ 2 แสดงถึงคอลัมน์ของมวลอากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่เซนธิ ( $m_{act,v}$ ) และเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ ( $m_{act,s}$ ) ซึ่งมวลอากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่านเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.5 และมวลอากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่านเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเซนธิสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.6



รูปที่ 2 คอลัมน์ของมวลอากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่เซนธิ ( $m_{act,v}$ ) และเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ ( $m_{act,s}$ ) (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

$$m_{act,s} = \int_0^\infty \rho ds \quad (2.5)$$

เมื่อ  $m_{act,s}$  คือ มวลอากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศซึ่งมีพื้นที่ตัดขวาง 1 ตารางเมตร ที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งใด ๆ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$s$  คือ ระยะทางตามแนวที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน (เมตร)

$$m_{act,v} = \int_0^\infty \rho dz \quad (2.6)$$

เมื่อ  $m_{act,v}$  คือ มวลอากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศซึ่งมีพื้นที่ตัดขวาง 1 ตารางเมตร ที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งเซนิธ (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

$z$  คือ ระยะทางในแนวตั้ง (เมตร)

มวลอากาศสัมพันธ์ (relative air mass,  $m_r$ ) คืออัตราส่วนของมวลอากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศซึ่งมีพื้นที่ตัดขวาง 1 ตารางเมตรที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งใด ๆ ต่อมวลอากาศในคอลัมน์ของบรรยากาศซึ่งมีพื้นที่ตัดขวาง 1 ตารางเมตร ที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งเซนิธ ซึ่ง  $m_r$  ขึ้นกับมุมเซนิธ  $\theta_z$  ดังสมการที่ 2.7

$$m_r = \frac{1}{\cos\theta_z} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $m_r$  คือ มวลอากาศสัมพันธ์ (-)

$\theta_z$  คือ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ (องศา)

นอกจากนี้  $m_r$  สามารถหาได้จากสมการเอมไพริคัล ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 2.8 ที่นำเสนอโดยคาสเทน (Kasten, 1965)

$$m_r = [\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1} \quad (2.8)$$



เนื่องจากการคำนวณ  $m_r$  ตามสมการที่ 2.7 และ 2.8 ไม่คำนึงถึงระดับความสูงของพื้นที่หรือพิจารณาเพียงที่ความดันบรรยากาศเท่ากับ 101.325 กิโลปาสกาล ดังนั้นหากต้องการมวลอากาศที่ความดันบรรยากาศอื่น ๆ จะต้องทำการปรับแก้โดยใช้สมการที่ 2.9

$$m_a = m_r \left( \frac{P}{101.325} \right) \quad (2.9)$$

เมื่อ  $m_a$  คือ มวลอากาศที่คำนวณแก้ไขผลจากความดันที่แตกต่างไปจากความดันที่ระดับน้ำทะเล (-)

$P$  คือ ความดันบรรยากาศ (กิโลปาสกาล)

ค่าความดันบรรยากาศ  $P$  ที่ระดับความสูง  $z$  จากระดับน้ำทะเลสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2.10 (Lunde, 1980)

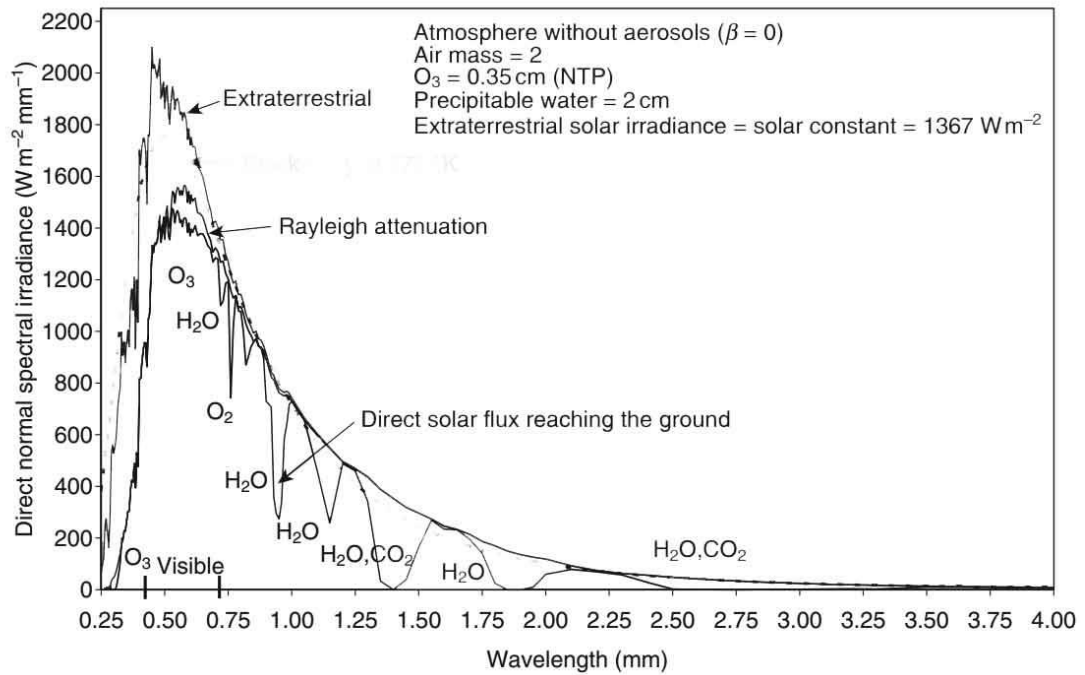
$$\frac{P}{P_0} = \exp(-0.0001184z) \quad (2.10)$$

เมื่อ  $P_0$  คือ ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล (101.325 กิโลปาสกาล)

$z$  คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)

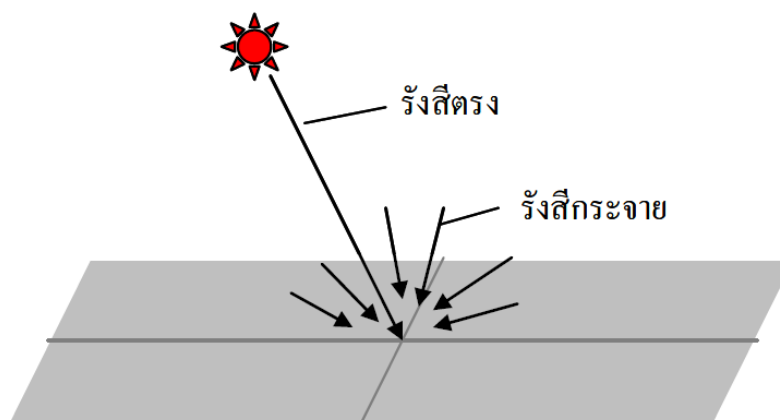
### 2.1.3 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลก

ดังที่กล่าวไปหัวข้อก่อนหน้านี้ว่าปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตยังขึ้นกับเวลาในรอบวันหรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์ วันในรอบปี ลองจิจูด ละติจูดของพื้นที่ ซึ่งปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะลดลงตามระยะทางที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตร รวมถึงการขึ้นกับระดับความสูงของพื้นที่ โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเพิ่มขึ้น 6% เมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตร (Cutchis, 1980) นอกจากนี้ยังขึ้นกับการสะท้อนของพื้นผิวทางภูมิศาสตร์ เช่น การสะท้อนของผิวน้ำ การสะท้อนของพื้นผิวหิมะ เป็นต้น โดยตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและที่พื้นผิวโลก (Notton, 2010)

รังสีที่ตกกระทบบนพื้นโลกแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ รังสีตรงคือรังสีที่เหลือจากการลดทอนโดยองค์ประกอบในบรรยากาศและพุ่งตรงจากดวงอาทิตย์ลงมาถึงบนพื้นโลก รังสีกระจายคือรังสีส่วนที่กระเจิงจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ และรังสีรวมคือผลรวมของรังสีตรงบนระนาบกับรังสีกระจาย ซึ่งองค์ประกอบของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นโลกแสดงดังรูปที่ 4



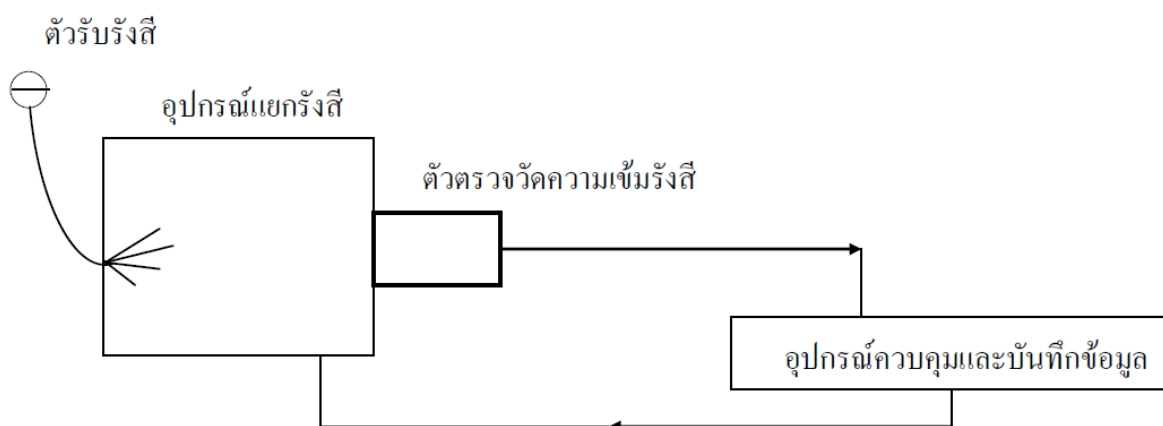
รูปที่ 4 องค์ประกอบของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นโลก (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

### 2.1.4 การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV spectroradiometer) เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband UV radiometer) และเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ (multi-channel filter UV radiometer) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

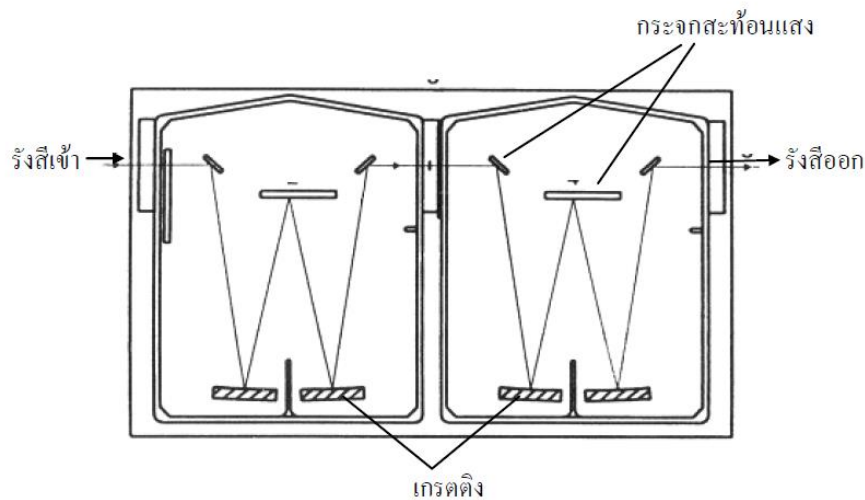
#### 1) เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำการวัดพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นจะทำการแยกสเปกตรัมรังสีและให้สัญญาณออกมาที่แต่ละความยาวคลื่น โดยส่วนประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

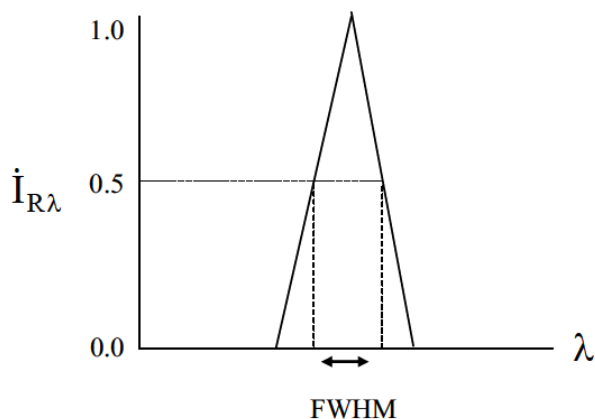


รูปที่ 5 แผนภูมิแสดงองค์ประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

- ตัวรับรังสี ทำหน้าที่รับรังสีที่เข้ามาตกกระทบ โดยการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของตัวรับรังสีจะมีการแปรค่าลักษณะเดียวกับการแปรค่าของโคไซน์ของมุมตกกระทบ
- อุปกรณ์แยกรังสี ทำหน้าที่แยกสเปกตรัมรังสีออกเป็นแต่ละความยาวคลื่น ภายในอุปกรณ์แยกรังสีจะมีกระจกและเกรตติง ซึ่งเกรตติงมีทั้งแบบเดี่ยวและแบบคู่ทำหน้าที่ในการแยกสเปกตรัมรังสี ตัวอย่างอุปกรณ์แยกรังสีแบบคู่แสดงดังรูปที่ 6 เนื่องจากอุปกรณ์แยกสเปกตรัมรังสีไม่สามารถแยกรังสีออกเป็นความยาวคลื่นเดี่ยวๆ ได้อย่างสมบูรณ์ โดยความสามารถในการแยกสเปกตรัมรังสีของอุปกรณ์แยกรังสีแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่ง  $I_{RL}$  คือความเข้มรังสีที่แยกได้เมื่อเทียบกับค่าสูงสุด และ  $\lambda$  คือความยาวคลื่น (Webb, 1998) ซึ่งเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ดีควรมีค่า full width at half maximum (FWHM) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 นาโนเมตร



รูปที่ 6 อุปกรณ์แยกรังสีแบบคู่ (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสามารถในการแยกสเปกตรัมของอุปกรณ์แยกรังสี (Webb, 1998)

- ตัวตรวจวัดความเข้มรังสี ทำหน้าที่รับค่าพลังงานรังสีและแปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปตัวตรวจวัดรังสีจะเป็นโฟโตไดโอดหรืออิเล็กทรอนิกส์ชนิดโฟเออร์
- อุปกรณ์ควบคุมและบันทึกข้อมูล ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าและทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต

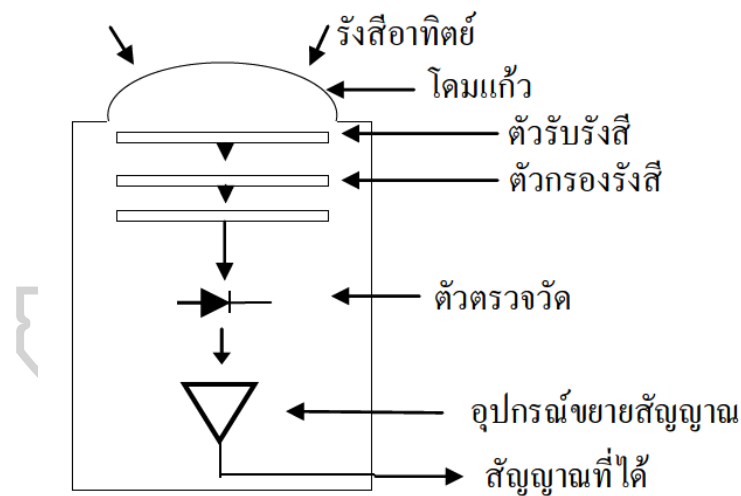
สำหรับตัวอย่างเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น DMc 150 ที่ผลิตโดยบริษัท Bentham Instrument Ltd.

## 2) เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง

เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้างจะทำการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงใดช่วงหนึ่ง เช่น ช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี ช่วงครอบคลุมรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและบี หรือช่วงรังสีที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (solar erythemal ultraviolet radiation, EUV) เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง ได้แก่ โคมแก้วรับรังสี ตัวรับรังสี ตัวกรองรังสี ตัวตรวจวัดรังสี และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 9 และตัวอย่างเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (เสริมจันทร์ฉาย, 2560)



รูปที่ 10 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รุ่น 501A ที่ผลิตโดยบริษัท Solar Light

3) เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ

เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณจะทำการวัดเฉพาะบางความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ต เช่น เครื่องวัดรุ่น GUV-2511 ของบริษัท Biospherical Instrument Inc. ที่วัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 305 313 320 340 380 และ 395 นาโนเมตร ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปหาปริมาณโอโซนได้ เนื่องจากบางความยาวคลื่นมีผลต่อการดูดกลืนของโอโซนและบางความยาวคลื่นไม่มีผลการดูดกลืนของโอโซน ตัวอย่างเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบใช้แผ่นกรองรังสีหลายช่องสัญญาณรุ่น GUV-2511 ที่ผลิตโดยบริษัท Biospherical Instrument Inc.

### 2.1.5 ผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อสิ่งมีชีวิต

รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมาที่พื้นโลกจะส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตของมนุษย์ พืช และสัตว์ ดังนี้

ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตของมนุษย์ ส่วนใหญ่จะเป็นผลกระทบต่อผิวหนังและดวงตา เนื่องจากความสามารถของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในการทะลุผ่านเนื้อเยื่อ โดยผลของรังสีต่อผิวหนังคือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตบีจะทำให้ผิวหนังของมนุษย์แดงไหม้ ส่วนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอจะทำให้ผิวหนัง เทียบเย็น แต่หากผิวหนังมนุษย์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณที่มาก อาจจะทำให้เป็นมะเร็ง ผิวหนังได้ และผลกระทบต่อดวงตาอาจจะทำให้ตาเป็นต้อกระจก อย่างไรก็ตามหากได้รับรังสี อัลตราไวโอเล็ตในปริมาณที่เหมาะสม รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้ร่างกายสังเคราะห์วิตามินดีที่ทำให้ กระดูกแข็งแรง

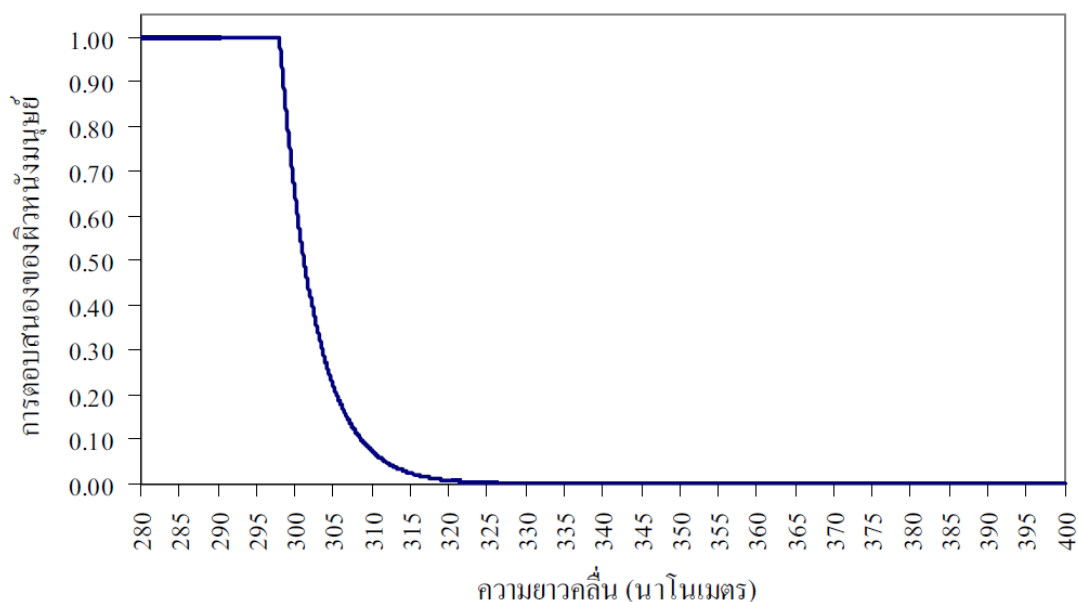


ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสัตว์ ตัวอย่างเช่น สิ่งมีชีวิตจำพวกแพลงก์ตอนสัตว์ โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะส่งผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนหรือทำให้เสียชีวิตได้ หากรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณสัตว์น้ำที่ลดลงเนื่องจากขาดอาหารจำพวกแพลงก์ตอน

ผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อพืช โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืช การเจริญเติบโตของพืช เช่น การลดขนาดของใบพืช นอกจากนี้การตอบสนองของพืชต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างของพืชได้เช่นกัน

### 2.1.6 ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ดังนั้นจะเรียกการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตว่า การตอบสนองเอริทีมอล (erythemal response,  $R_{EA}$ ) ซึ่งคณะกรรมการความสว่างนานาชาติ (Commission Internationale d'Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานของ  $R_{EA}$  ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

จากกราฟสามารถเขียนสมการการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้เป็น (CIE, 1998)

$$R_{E\lambda} = \begin{cases} 1.0 & ; 250 < \lambda \leq 298 \text{ นาโนเมตร} \\ 10^{[0.094(298-\lambda)]} & ; 298 < \lambda \leq 328 \text{ นาโนเมตร} \\ 10^{[0.015(140-\lambda)]} & ; 328 < \lambda \leq 400 \text{ นาโนเมตร} \end{cases} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $R_{E\lambda}$  คือ การตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ (-)

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

เมื่อนำการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์หรือ  $R_{E\lambda}$  มาคูณกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แต่ละความยาวคลื่นและทำการอินทิเกรตจะสามารถหาความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ได้ดังสมการที่ 2.12

$$EUV = \int_{250 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I_{\lambda} R_{E\lambda} d\lambda \quad (2.12)$$

เมื่อ EUV คือ ความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

$I_{\lambda}$  คือ สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (วัตต์ต่อตารางเมตรต่อนาโนเมตร)

$R_{E\lambda}$  คือ การตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ (-)

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)

เนื่องจากการบอกระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรูปความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร ไม่สะดวกและยากต่อความเข้าใจของบุคคลทั่วไป ดังนั้นองค์การอนามัยโลก (WHO) จึงได้กำหนดระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรูปของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV index, UVI) โดยการคำนวณดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.13 และตารางแสดงถึงระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรูปดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตแสดงดังตารางที่ 1

$$UVI = k_{er} EUV \quad (2.13)$$

เมื่อ UVI คือ ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (-)

$k_{er}$  คือ ค่าคงที่ (40 ตารางเมตรต่อวัตต์)

ตารางที่ 1 ระดับความรุนแรงของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO, 2002)

| ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต | เกณฑ์               |
|--------------------------|---------------------|
| 0-2                      | ต่ำ (low)           |
| 3-5                      | ปานกลาง (moderate)  |
| 6-7                      | สูง (high)          |
| 8-10                     | สูงมาก (very high)  |
| มากกว่า 11               | สูงสุดขีด (extreme) |

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Badarinath et al., 2008) ได้ทำการศึกษาผลของฝุ่นละอองและโอโซนในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ที่มีต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่บริเวณศูนย์สูตร พบว่าผลกระทบจากฝุ่นละอองทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตลดลง โดยเฉพาะฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถลดทอนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้มากกว่าฝุ่นละอองจากทะเลทราย และผลของปริมาณโอโซนที่เพิ่มขึ้นทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตปีลดลง

(Nunez et al., 2002) ได้สร้างแบบจำลองการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่เป็นฟังก์ชันของมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์และโอโซนรวมทั้งคอลัมน์ โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (UV Biometer) รุ่น 501A โดยค่าโอโซนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองอยู่ในช่วง 200 ถึง 340 DU และมุมเซนนิธอยู่ในช่วง 0 ถึง 80 องศา ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\bar{K}_{AE} = 1343.83 - 7798.082O_3 + 24766.930_3^2 - 44648.530_3^3 + 334960_3^4 + 143.14z - 1234.86z^2 + 702.44z^3 - 101.94z^4 - 380.500_3z + 7248.46(O_3z)^2 - 12528(O_3z)^3 + 6435.28(O_3z)^4 \quad (2.14)$$

- เมื่อ  $\bar{K}_{AE}$  คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร)  
 $O_3$  คือ ปริมาณโอโซน (เซนติเมตร)  
 $z$  คือ มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (เรเดียน)

(Mateos et al., 2010b) ได้ทำการสร้างแบบจำลองเอมไพริคัลสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องปราศจากเมฆ โดยใช้ข้อมูลวัดภาคพื้นดินที่ทำการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงความยาวคลื่น 290-385 นาโนเมตร ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2001 ถึงเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2008 ที่เมืองวัลลาโดลิดของประเทศสเปน (ละติจูด  $41^{\circ} 40' N$ , ลองจิจูด  $4^{\circ} 50' W$ ) อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ขึ้นกับมวลอากาศสัมพันธ์ ซึ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงมีค่าลดลงตามมวลอากาศที่เพิ่มขึ้น สำหรับแบบจำลองเอมไพริคัลสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องปราศจากเมฆสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.15 โดยจากการเปรียบเทียบค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและจากแบบจำลองพบว่าค่า mean bias error (MBE), mean absolute bias error (MABE), และ root mean square error (RMSE) มีค่าเท่ากับ -6.93, 6.98 และ 7.82% ตามลำดับ

$$UV_{clear} = -8.89 + \frac{134.07}{m} + \frac{40.98}{m^2} \quad (2.15)$$

- เมื่อ  $UV_{clear}$  คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจาก (กิโลจูลต่อตารางเมตร)  
 $m$  คือ มวลอากาศ (-)

จากการศึกษาผลของเมฆชั้นต่ำ (low cloud) และผลของเมฆหลายชนิด (total cloud) ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตของ (Mateos et al., 2010a) พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตจะลดลงตามปริมาณเมฆที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในกรณีของเมฆชั้นต่ำและกรณีของเมฆหลายชนิด โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าลดลงตามมุมเงยของดวงอาทิตย์ที่ลดลง เมื่อพิจารณาการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยเมฆ อาศัยการอธิบายจากค่า cloud modification factor ซึ่งเป็นอัตราส่วนของรังสีที่ได้จากการวัดต่อรังสีในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ได้จากแบบจำลอง หรือเป็นการส่งผ่านรังสีโดยเมฆ พบว่าจะมีค่าลดลงตามปริมาณเมฆที่เพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีของเมฆชั้นต่ำและกรณีของเมฆหลายชนิด ซึ่งการส่งผ่านโดยเมฆทั้งสองกรณีจะมีค่าใกล้เคียงกัน

(Bilbao et al., 2015) ได้ทำการสร้างแบบจำลองสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ขึ้นกับมุมเซนิตและโอโซนรวมทั้งคอลัมน์ที่เมืองมาร์แซกโลก ประเทศมอลตา (ละติจูด  $35^{\circ} 50' N$ , ลองจิจูด  $14^{\circ} 33' E$ ) โดยใช้ข้อมูลรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ทำการวัดด้วยไพรานอมิเตอร์ รุ่น UVB-1 ซึ่งจะวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 280-400 นาโนเมตร ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ค.ศ. 2012 โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$UVER = a(\cos SZA)^b \left(\frac{TOC}{300}\right)^c \quad (2.16)$$

เมื่อ  $a = -0.270 \pm 0.002 \text{ W/m}^2$ ,  $b = 2.417 \pm 0.002$ ,  $c = -0.78 \pm 0.02$

SZA คือ มุมเซนิต (องศา)

TOC คือ โอโซนรวมทั้งคอลัมน์ (ดีอบสัน)

(เกิดศิริ, 2548) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางสถิติของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น 501A ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จังหวัดอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา พบว่าจากการจำแนกระดับความรุนแรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามองค์การอนามัยโลก ในช่วงเที่ยงวันของทุกสถานีในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตอยู่ในระดับสูงมาก (very high) และระดับรุนแรง (extreme) โดยค่าสูงสุดของสถานีสงขลามีค่ามากกว่าสถานีอื่น ซึ่งสำหรับประเทศไทยมีการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้นจากภาคใต้ไปสู่ภาคเหนือ

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ จะเห็นว่าแบบจำลองในการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆไม่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์สำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีฝุ่นละอองค่อนข้างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาแบบจำลองการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ พร้อมทั้งศึกษาสถิติของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัยและผล

การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต และองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศที่ส่งผลต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นมีความสำคัญ โดยในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของบรรยากาศโดยตรง โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจะประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ หรือใช้ในการพยากรณ์รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาแบบจำลองสำหรับการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและศึกษาสถิติของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าดังกล่าว

#### 3.1 การวัดและบันทึกข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ ไว้บนตาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82 °N, 100.04 °E) ตาดฟ้าของศูนย์อุดุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ (18.78 °N, 98.98 °E) ศูนย์อุดุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จังหวัดอุบลราชธานี (15.25 °N, 104.87 °E) และศูนย์อุดุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา (7.20 °N, 100.60 °E) โดยข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวม ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจาย ภาพถ่ายท้องฟ้า ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณโอโซน และมวลอากาศ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

- 1) รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (solar erythemal ultraviolet radiation, EUV)

ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมและความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจาย ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (UV-Biometer ยี่ห้อ Solar light รุ่น 501A) ที่ติดตั้งอยู่บนตาดฟ้าของทั้ง 4 สถานี โดยแต่ละสถานีจะมี

เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต 2 เครื่อง ที่ติดตั้งให้ทำการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแนวระนาบ ซึ่งเป็น การวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวม 1 เครื่อง และทำการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจาย 1 เครื่อง สำหรับกรณีของการวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจาย เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะถูกติดตั้ง ไว้บนเครื่องติดตามดวงอาทิตย์ (sun tracker) และมีลูกบอลสีดำบังรังสีตรงที่มาจากดวงอาทิตย์ เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตทั้ง 4 สถานี แสดงดังรูปที่ 13-20 สำหรับข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึก โดยเครื่องบันทึกข้อมูล (datalogger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX2000 ตัวอย่างของเครื่องบันทึก ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 21 โดยผู้วิจัยได้ทำการต่อสายสัญญาณเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (รายละเอียด การต่อสายสัญญาณแสดงในภาคผนวกที่ 2) และทำการตั้งค่าลงบนเครื่องบันทึกข้อมูลให้เก็บข้อมูล ทุก 1 วินาที



รูปที่ 13 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่ตาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 14 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 15 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี





รูปที่ 16 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่สถานีจังหวัดสงขลา



เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลต

รูปที่ 17 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ตาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะ  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 18 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 19 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 20 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่สถานีจังหวัดสงขลา



รูปที่ 21 เครื่องวัดบันทึกข้อมูล (datalogger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX2000

สำหรับข้อมูลที่ได้จะเป็นค่าศักย์ไฟฟ้า ซึ่งต้องทำการแปลงเป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ โดยทำการคำนวณดังสมการที่ 3.1 (Webb et al., 2006)

$$E_{CIE} = (U - U_{offset}) \cdot C \cdot f_n(SZA, TO_3) \cdot \epsilon(T) \cdot Coscor \quad (3.1)$$

- เมื่อ  $E_{CIE}$  คือ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (วัดต่อตารางเมตร)
- $U$  คือ สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้ (โวลต์)
- $U_{offset}$  คือ สัญญาณไฟฟ้าเมื่อไม่มีแสง (โวลต์)
- $C$  คือ สัมประสิทธิ์การสอบเทียบภายใต้เงื่อนไขที่มุมเซนเซอร์เท่ากับ 40 องศาและโอโซนรวมทั้งคอลัมน์เท่ากับ 300 DU (วัดต่อตารางเมตรต่อโวลต์)
- $f_n(SZA, TO_3)$  คือ ฟังก์ชันการปรับแก้ค่ามุมเซนเซอร์และโอโซนรวมทั้งคอลัมน์ (-)
- $\epsilon(T)$  คือ ฟังก์ชันการปรับแก้ค่าอุณหภูมิ (-)
- $Coscor$  คือ ฟังก์ชันการปรับแก้ค่าโคไซน์ (-)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำค่าศักย์ไฟฟ้าจากเครื่องบันทึกข้อมูลที่ทำการบินทุก 1 วินาที มาทำการคำนวณตามสมการที่ 3.1 ให้เป็นความเข้มรังสีที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์และทำการเฉลี่ยให้เป็นค่ารังสีแบบรายชั่วโมง

## 2) ภาพถ่ายท้องฟ้า (sky view)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าในปี ค.ศ. 2011-2018 จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ยี่ห้อ PREDE รุ่น PSV-100 ที่ติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าของสถานีทั้ง 4 แห่ง ซึ่งไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ ลักษณะของเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าของแต่ละสถานีแสดงดังรูปที่ 22-25 โดยเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าจะทำการถ่ายภาพครอบคลุมครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ซึ่งผู้วิจัยจะใช้ภาพท้องฟ้าของแต่ละสถานีในการจำแนกประเภทของท้องฟ้า เพื่อทำการคัดเลือกข้อมูลต่าง ๆ ต่อไป สำหรับตัวอย่างของภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าแสดงดังรูปที่ 26



รูปที่ 22 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่ตาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 23 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 24 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 25 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าที่สถานีจังหวัดสงขลา



รูปที่ 26 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) กรณีวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky) ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) และท้องปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมด (overcast sky) ตามลำดับ

### 3. ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth, AOD)

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ทำการวัดโดยเครื่อง sunphotometer ยี่ห้อ cimel รุ่น CE-318 ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดภาคพื้นดินที่ติดตั้งอยู่บนตาดฟ้าของสถานีทั้ง 4 สถานี แสดงดังรูปที่ 27-30 โดยการทำงานของเครื่อง sunphotometer จะทำการวัดรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น 340, 380, 440, 500, 675, 870, 940 และ 1020 นาโนเมตร และทำการประมวลผลโดยเครือข่าย Aerosol Robotic Network หรือ AERONET ซึ่งข้อมูลที่ได้ทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้วสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/> ขององค์การนาซ่า ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีข้อมูลทั้งแบบรายชั่วโมงและแบบรายวัน สำหรับข้อมูลที่ได้จากเครื่อง sunphotometer ได้แก่ ปริมาณไอน้ำ และสมบัติเชิงแสงต่าง ๆ ของฝุ่นละออง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะใช้ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร แบบรายชั่วโมงจากเครื่อง sunphotometer เนื่องจากอยู่ในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต



รูปที่ 27 เครื่อง sunphotometer ที่ตาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 28 เครื่อง sunphotometer ที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่



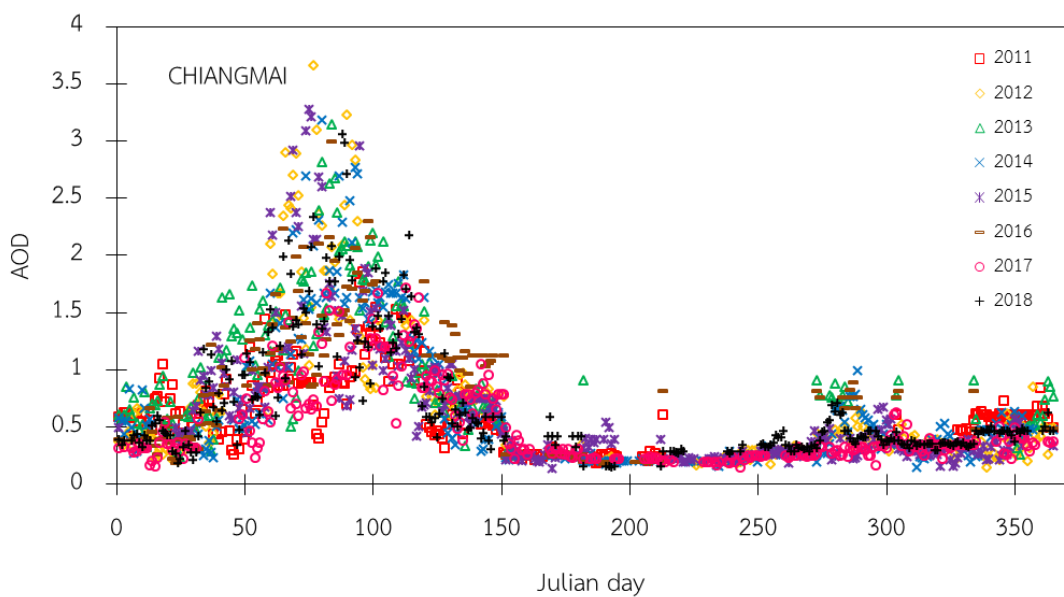


รูปที่ 29 เครื่อง sunphotometer ที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี

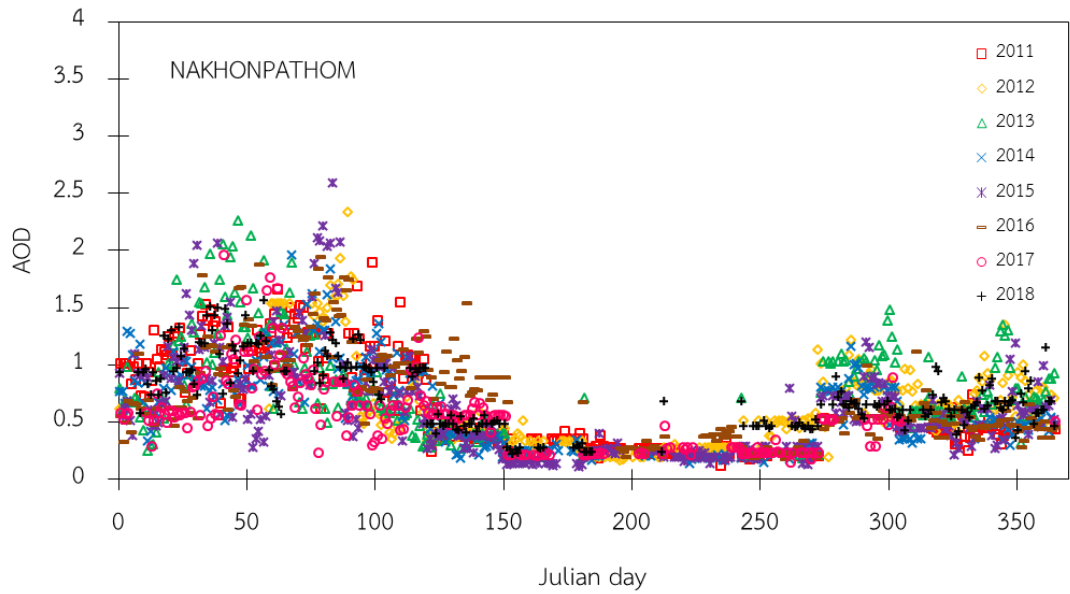


รูปที่ 30 เครื่อง sunphotometer ที่สถานีจังหวัดสงขลา

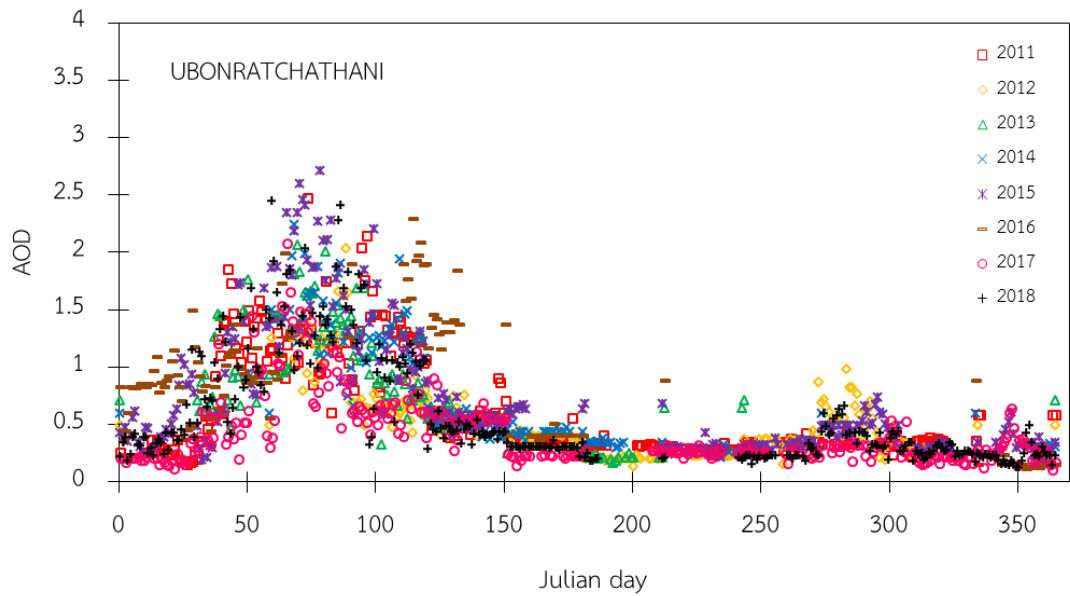
ผู้วิจัยได้ทำกราฟการแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ของทุกสถานี แสดงดังรูปที่ 31-34 จะเห็นว่าการแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองสำหรับสถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม และสถานีอุบลราชธานี เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ต้นปีจนถึงสูงสุดช่วงเดือนเมษายน เนื่องจากในฤดูร้อน ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวลและการพัดพาฝุ่นจากพื้นดิน จากนั้นจะมีค่าลดลงจนถึงปลายปีเนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝนที่ชะล้างฝุ่นละออง ส่วนสถานีสงขลาจะมีค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี เนื่องจากฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเป็นละอองเกลือที่มีปริมาณเท่า ๆ กันตลอดทั้งปี



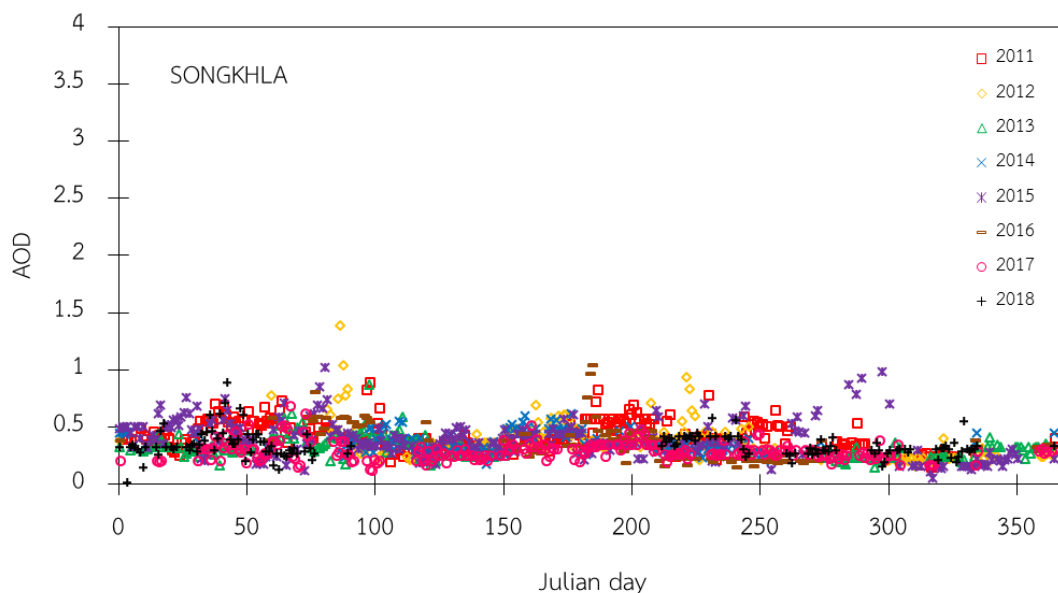
รูปที่ 31 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 32 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดนครปฐม



รูปที่ 33 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี

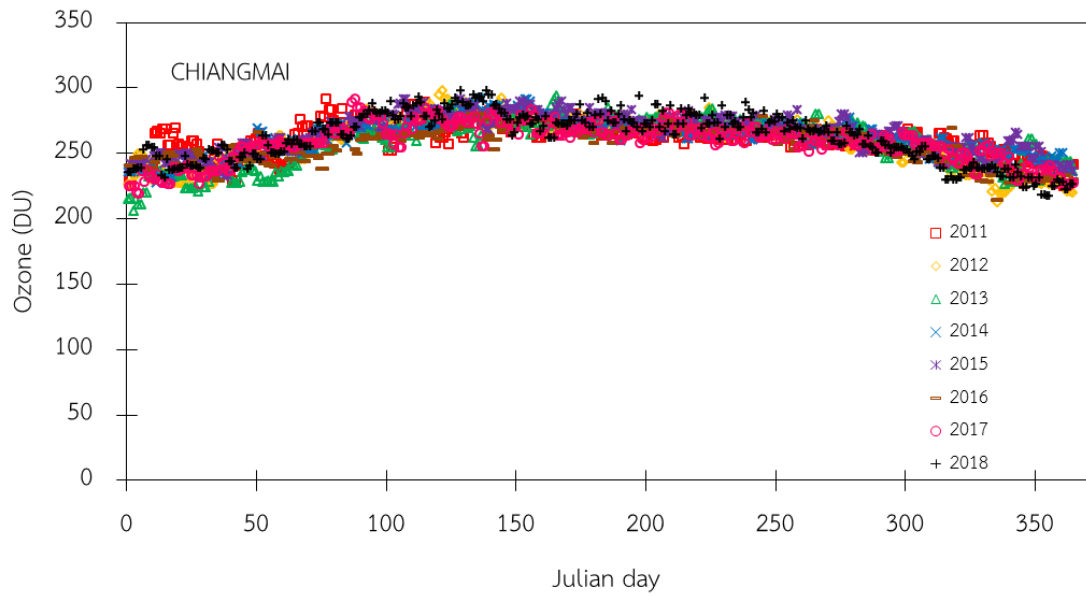


รูปที่ 34 การแปรค่าของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดสงขลา

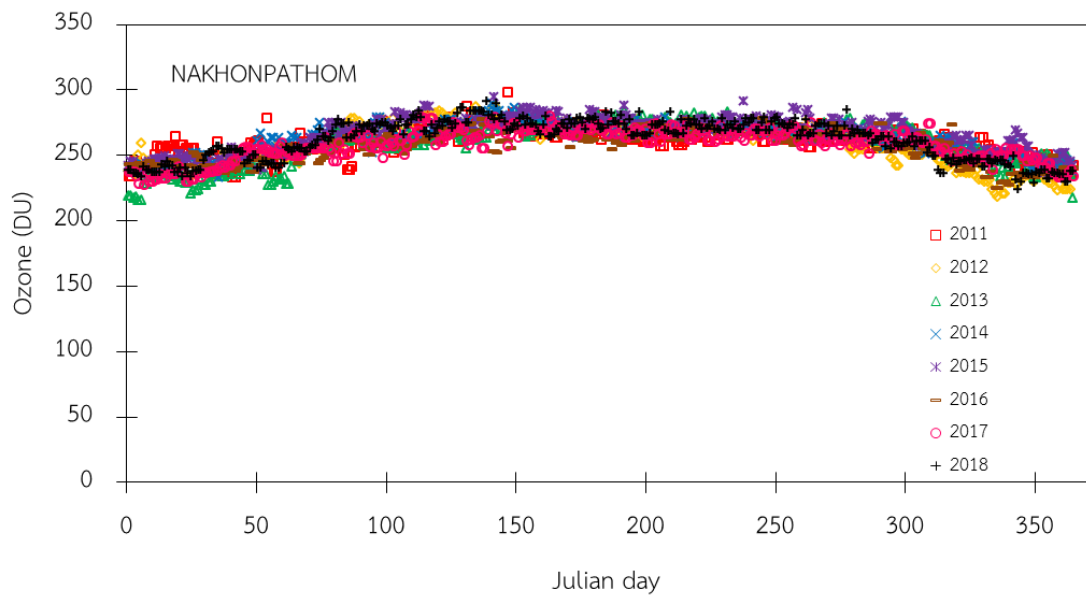
#### 4) ปริมาณโอโซน (ozone column)

ผู้วิจัยได้ใช้ปริมาณโอโซนรวมทั้งคอลัมน์ของบรรยากาศที่ได้จากการวัดโดยอุปกรณ์ Ozone Monitoring Instrument (OMI) ซึ่งติดตั้งอยู่บนดาวเทียม AURA ซึ่งเป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (sun-synchronous orbit) ที่โคจรรอบโลกในแนวเหนือ-ใต้ โดยดาวเทียม AURA จะโคจรผ่านตำแหน่งเดิมบนพื้นโลกเพียง 1-2 ครั้ง/วัน ทำให้ข้อมูลบริเวณที่ดาวเทียมโคจรผ่านมีเพียง 1-2 ชุดข้อมูลเท่านั้น ซึ่งปริมาณโอโซนดังกล่าวสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://avdc.gsfc.nasa.gov/pub/data/satellite/Aura/OMI/V03/L2OVP/> โดยผู้วิจัยจะเลือกใช้ปริมาณโอโซนที่ตำแหน่งของสถานีทั้ง 4 สถานี เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลแบบรายชั่วโมงแต่ข้อมูลปริมาณโอโซนมีเพียง 1 ชุดข้อมูลต่อวัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ทุกชั่วโมงใน 1 วัน มีค่าเดียวกัน เพราะปริมาณโอโซนไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน

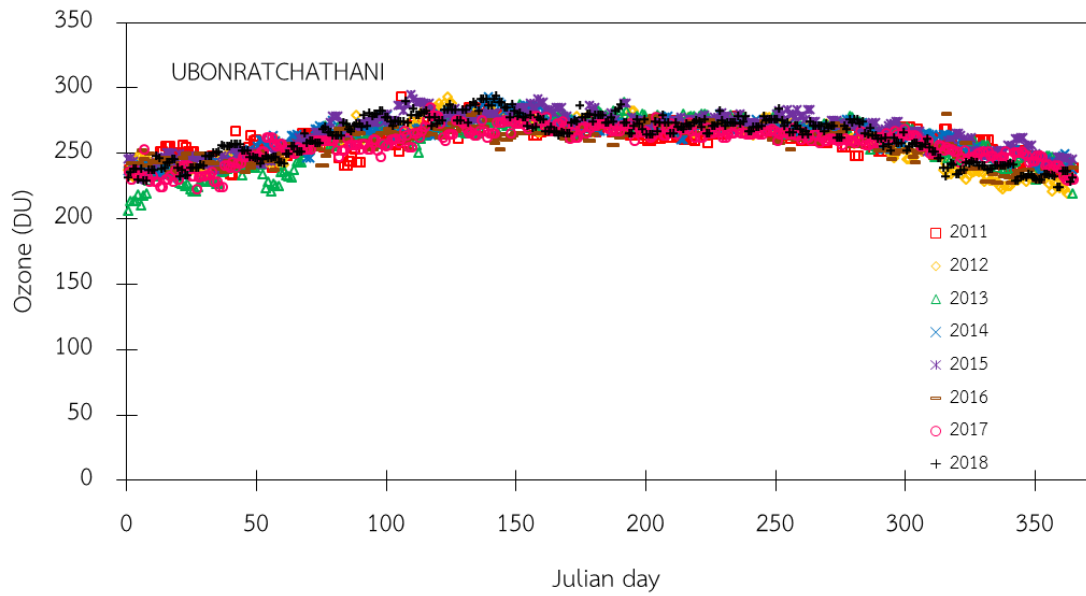
จากนั้นผู้วิจัยได้ทำกราฟการแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีของแต่ละสถานีดังรูปที่ 35-38 จะเห็นว่าปริมาณโอโซนจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ต้นปีจนมีค่าสูงประมาณกลางปีในช่วงเดือนพฤษภาคม-เดือนสิงหาคม และจะมีค่าลดลงจนถึงปลายปีทั้ง 4 สถานี



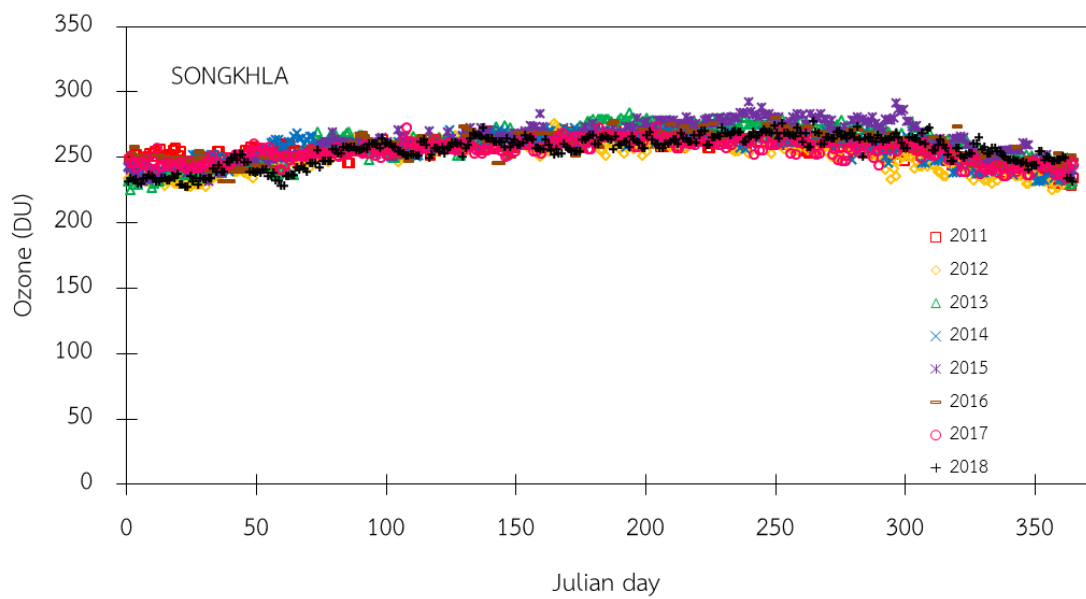
รูปที่ 35 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 36 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดนครปฐม



รูปที่ 37 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 38 การแปรค่าของปริมาณโอโซนตามวันในรอบปีที่สถานีจังหวัดสงขลา

### 3.2 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีความเข้มค่อนข้างสูงในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการการพัฒนาแบบจำลองในการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ขึ้นกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศที่มีผลต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1 แบบจำลองสำหรับรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

ในการสร้างแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมรายชั่วโมง ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ปริมาณโอโซน และมวลอากาศที่ได้จากการคำนวณ แบบรายชั่วโมงทั้งหมด ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2016 มาทำการคัดเลือกข้อมูลเฉพาะชั่วโมงที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆโดยพิจารณาจากภาพถ่ายท้องฟ้า จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมกับปริมาณโอโซน ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองและมวลอากาศ ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้ดังนี้

แบบจำลองสำหรับการคำนวณรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.2

$$EUV_g = a_0 + a_1 \exp(a_2 O_3 m_a + a_3 AOD_{340} m_a) + a_4 O_3 + a_5 m_a^{a_6} + a_7 AOD_{340} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $EUV_g$  คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร)

$O_3$  คือ ปริมาณโอโซน (เซนติเมตร)

$AOD_{340}$  คือ ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร (-)

$m_a$  คือ มวลอากาศ (-)

ผู้วิจัยได้นำสมการที่ 3.2 ไปฟิต (fit) ข้อมูลจากการวัดที่ 4 สถานี (2011-2016) โดยใช้ซอฟต์แวร์ statistica ซึ่งได้ค่าดังนี้

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$  และ  $a_7$  คือ สัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง ;

$a_0 = -25.0759332911999, a_1 = 3139.85959887809, a_2 = -10.8250750671187,$

$a_3 = -0.547071013763714, a_4 = 144.248670311877, a_5 = 129.867029915709,$

$a_6 = -1.67384681209242$  และ  $a_7 = -18.1740761306245$

สำหรับการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ปริมาณโอโซน และมวลอากาศ ในปี ค.ศ. 2017-2018 และทำการเปรียบเทียบค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการคำนวณกับค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและบอกความแตกต่างของข้อมูลทั้งสองในรูป root mean square difference (RMSD) และความแตกต่างในรูป mean bias difference (MBD) ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ และผลการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 39-43

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{EUV}_{\text{model},i} - \text{EUV}_{\text{meas},i})^2}{N}} \times 100\% \quad (3.3)$$

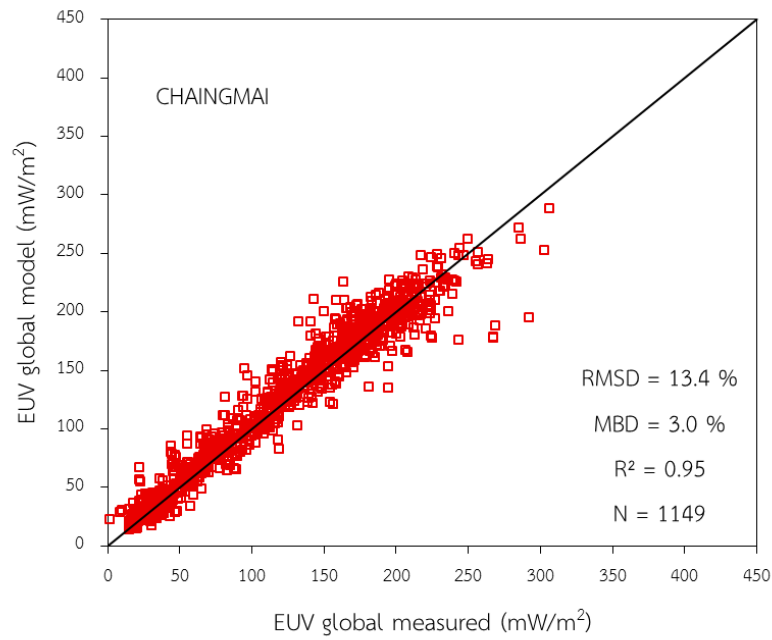
$$\text{MBD} = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{EUV}_{\text{model},i} - \text{EUV}_{\text{meas},i})}{\sum_{i=1}^N \text{EUV}_{\text{meas},i}} \times 100\% \quad (3.4)$$

เมื่อ  $\text{EUV}_{\text{model},i}$  คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ได้จากการคำนวณ  
(มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร)

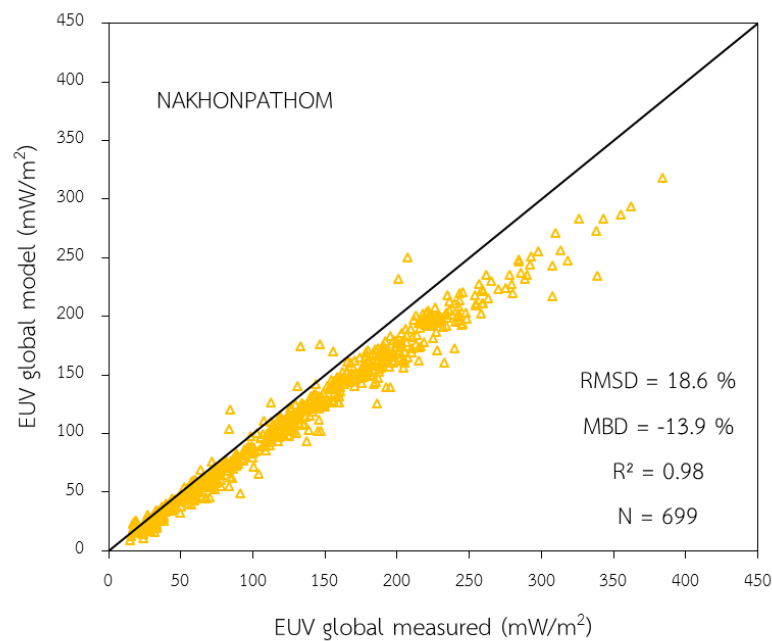
$\text{EUV}_{\text{meas},i}$  คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ได้จากการวัด  
(มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร)

N คือ จำนวนข้อมูล

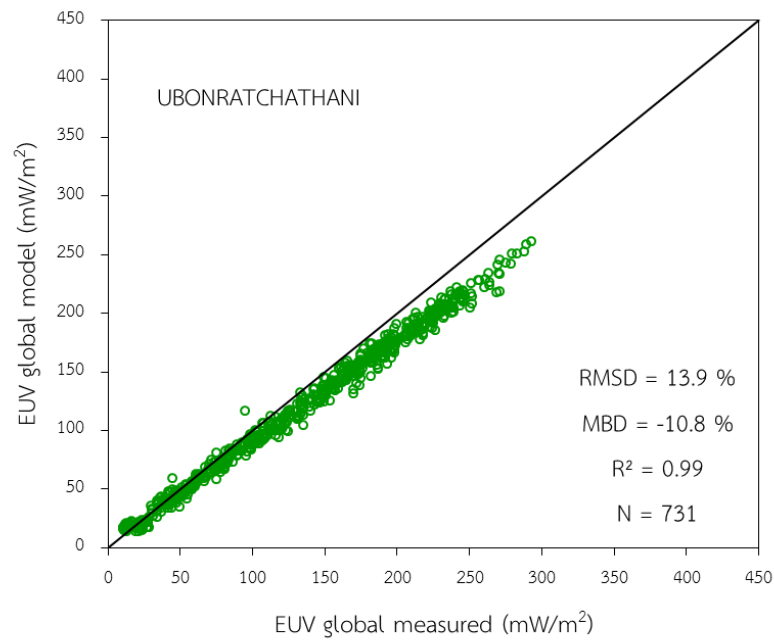




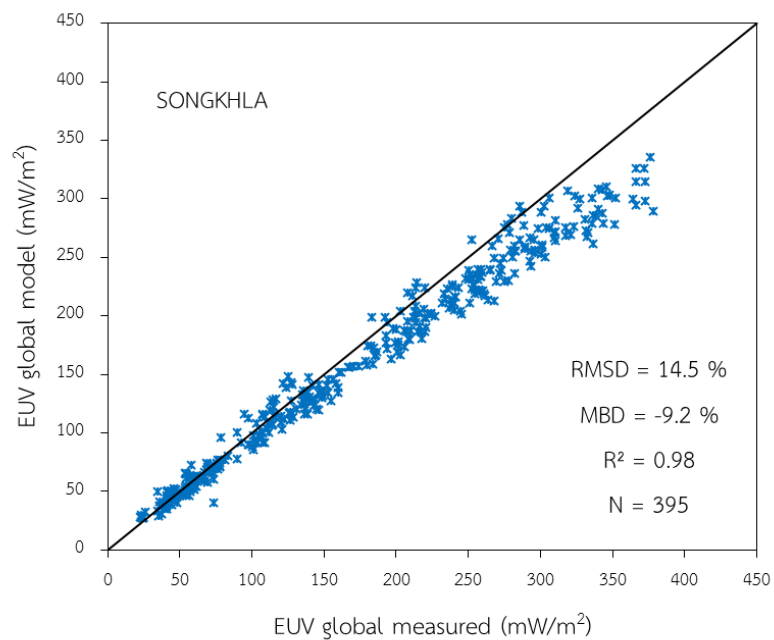
รูปที่ 39 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดเชียงใหม่



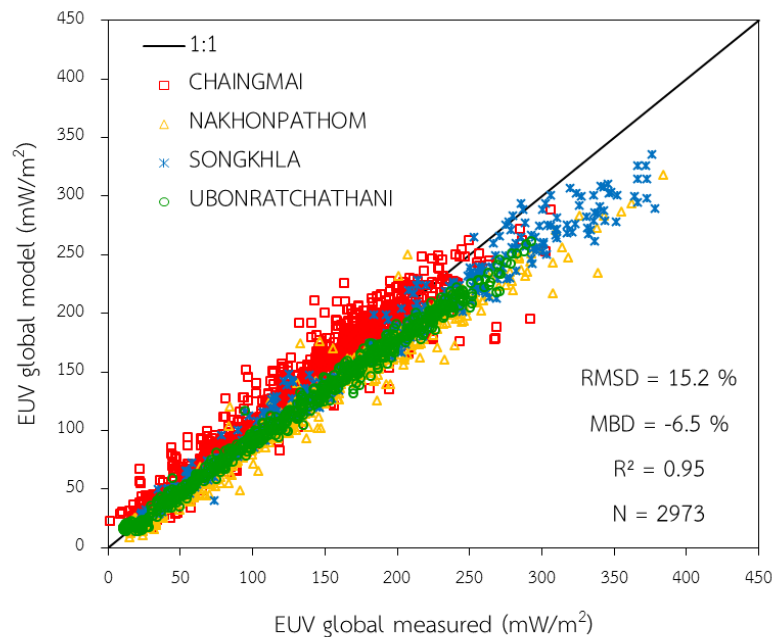
รูปที่ 40 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดนครปฐม



รูปที่ 41 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 42 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่สถานีจังหวัดสงขลา



รูปที่ 43 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัด (EUV global measured) และการคำนวณ (EUV global model) ที่ 4 สถานี

จากการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและการคำนวณด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นที่แต่ละสถานีดังรูปที่ 39-42 จะเห็นว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดทั้ง 4 สถานี สำหรับสถานีเชียงใหม่ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดเล็กน้อย โดยมีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD เท่ากับ 13.4% และในรูปของ MBD เท่ากับ 3.0% สำหรับสถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานีและสถานีสงขลา ในช่วงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สูง จะเห็นว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะมีค่าต่ำกว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัด โดยมีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD เท่ากับ 18.6% 13.9% และ 14.5% ตามลำดับ และในรูปของ MBD เท่ากับ -13.9% -10.8% และ -9.2% ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและการคำนวณด้วยแบบจำลองของทุกสถานี ดังรูปที่ 43 พบว่ามีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD เท่ากับ 15.2% และในรูปของ MBD เท่ากับ -6.5%

### 3.2.2 แบบจำลองสำหรับรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

ผู้วิจัยได้เตรียมข้อมูลในลักษณะเดียวกับกรณีของรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมคือใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2016 ในการสร้างแบบจำลองการหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจาย โดยผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายรายชั่วโมง ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ปริมาณโอโซน และมวลอากาศ แบบรายชั่วโมง เฉพาะชั่วโมงที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆโดยพิจารณาจากภาพถ่ายท้องฟ้า จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายกับปริมาณโอโซน ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง และมวลอากาศสัมพันธ์ ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.5

แบบจำลองอย่างง่ายสำหรับคำนวณรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.5

$$EUV_d = a_0 + a_1O_3 + a_2AOD_{340} + a_3m_a^4 \quad (3.5)$$

เมื่อ  $EUV_d$  คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร)

$O_3$  คือ ปริมาณโอโซน (เซนติเมตร)

$AOD_{340}$  คือ ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร (-)

$m_a$  คือ มวลอากาศ (-)

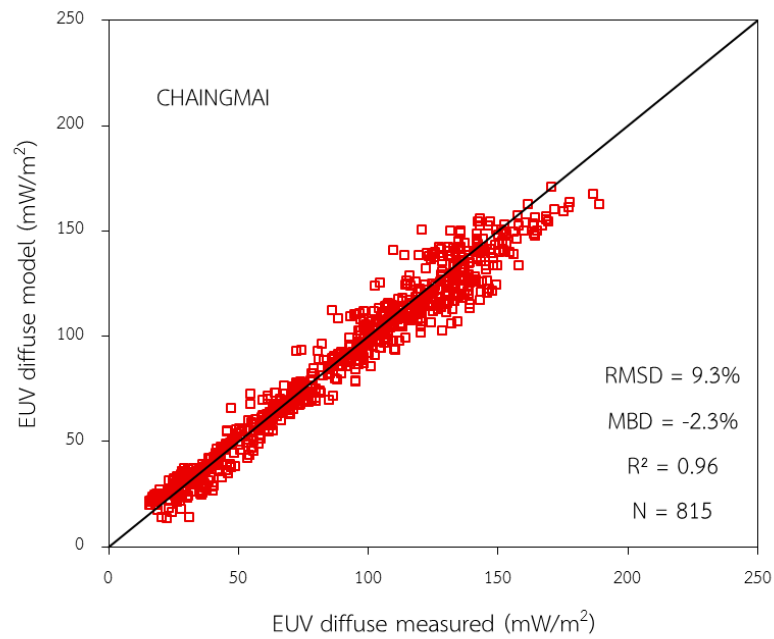
ผู้วิจัยได้นำสมการที่ 32 ไปฟิต (fit) ข้อมูลจากการวัดที่ 4 สถานี (2011-2016) โดยใช้ซอฟต์แวร์ statistica ซึ่งได้ค่าดังนี้

$a_0, a_1, a_2, a_3$  และ  $a_4$  คือ สัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง ;  $a_0 = -86.8648599083309,$

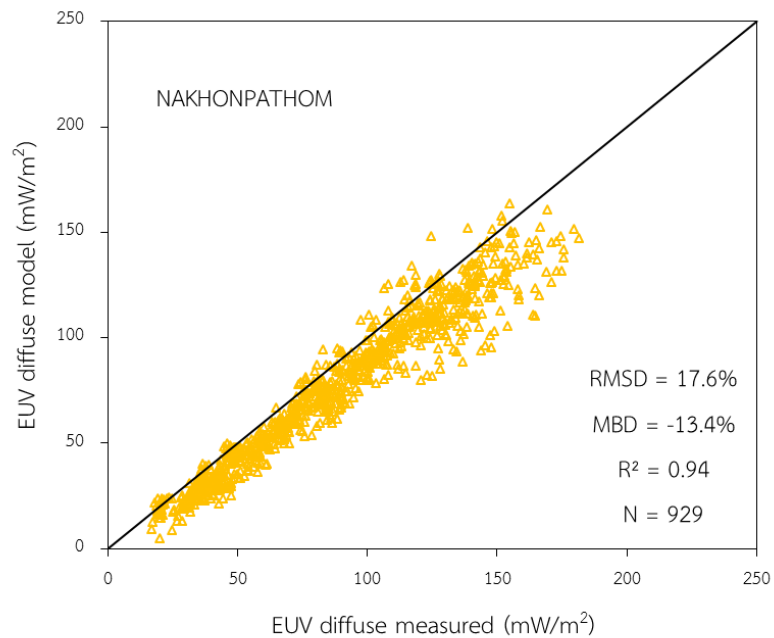
$a_1 = -304.709776685739, a_2 = -16.9747672358243, a_3 = 163.993013813569$

และ  $a_4 = 1.96058898438815$

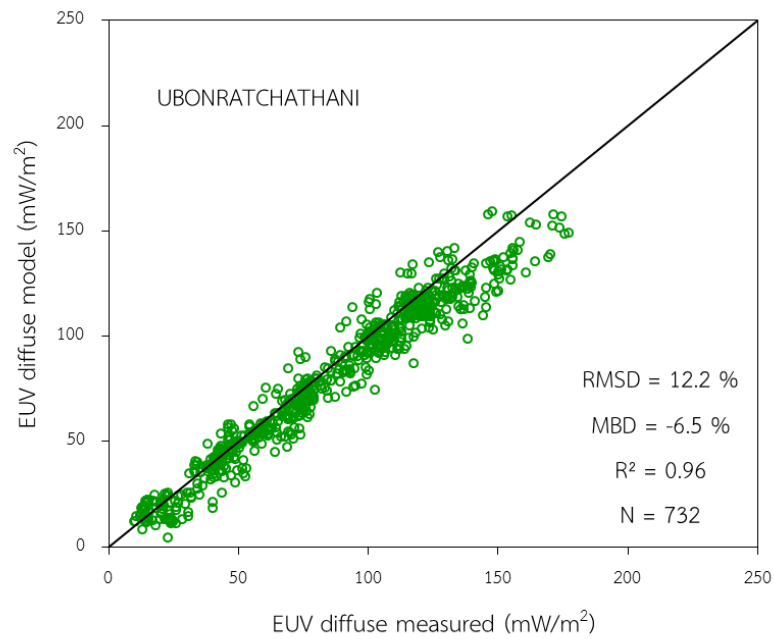
จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองการหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจาย โดยผลการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 44-48



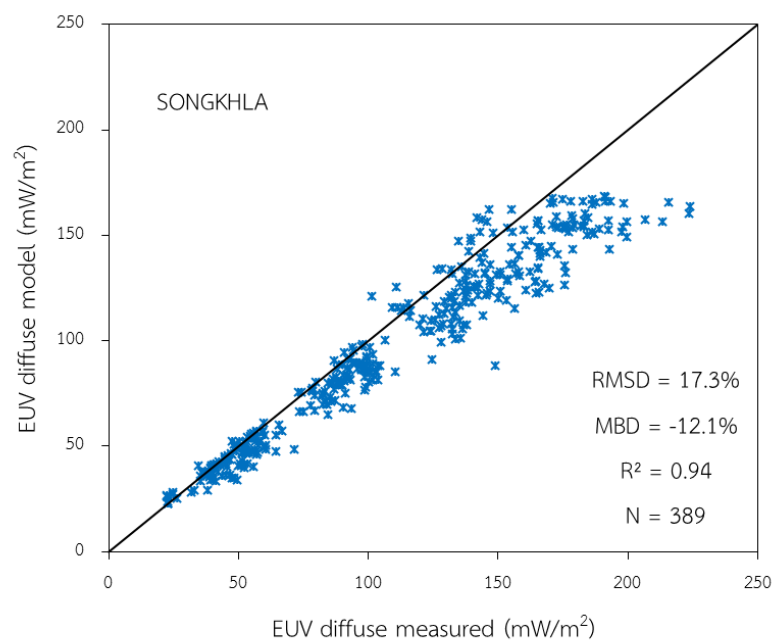
รูปที่ 44 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีเชียงใหม่



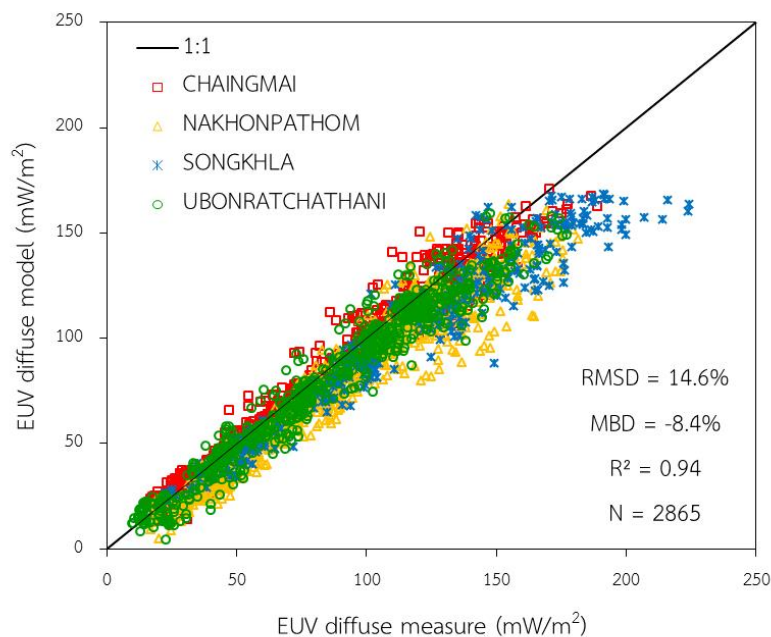
รูปที่ 45 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีนครปฐม



รูปที่ 46 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 47 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่สถานีสงขลา



รูปที่ 48 การเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่ได้จากการวัด (EUV diffuse measured) และการคำนวณ (EUV diffuse model) ที่ 4 สถานี

จากการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและการคำนวณด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นที่แต่ละสถานีดังรูปที่ 44-47 พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายที่ได้จากการวัดและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน โดยข้อมูลจากการคำนวณของแต่ละสถานีมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวัดทุกสถานี ซึ่งความแตกต่างในรูปของ RMSD ของสถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานี และสถานีสงขลา มีค่าเท่ากับ 9.3% 17.6% 12.2% และ 17.3% ตามลำดับ ความแตกต่างในรูปของ MBD มีค่าเท่ากับ -2.3% -13.4% -6.5% และ -12.1% ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและการคำนวณของทุกสถานี ดังรูปที่ 48 พบว่า มีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD และในรูปของ MBD เท่ากับ 14.6% เท่ากับ -8.4% ตามลำดับ

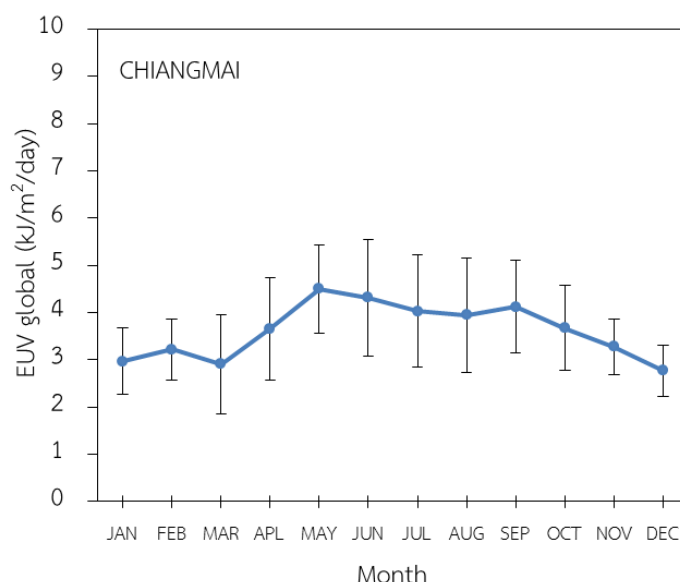
### 3.3 การศึกษาสถิติของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ในการศึกษาสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ผู้วิจัยจะทำการศึกษาการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังในรอบปี การแจกแจงค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆรายชั่วโมง และการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆรายปี โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรอบปี

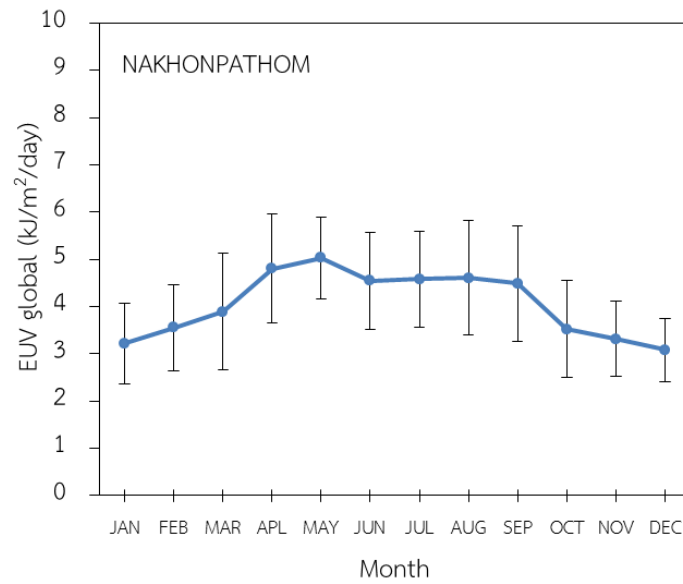
สำหรับการศึกษาการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในรอบปีจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีของรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมและรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายของสถานีทั้ง 4 แห่ง โดยผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงที่ได้จากการวัด ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 มาคำนวณเป็นข้อมูลรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว แล้วเขียนกราฟการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในรอบปีของแต่ละสถานี ผลที่ได้แสดงได้ดังนี้

- กรณีของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวม

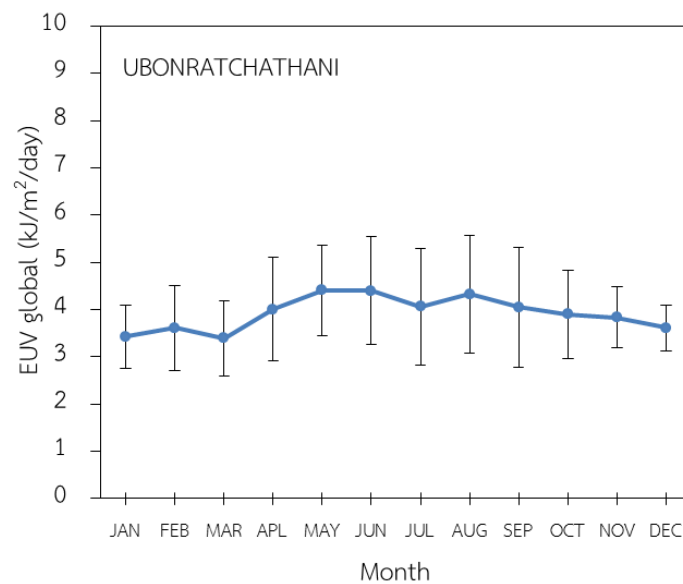


รูปที่ 49 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีเชียงใหม่ (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)

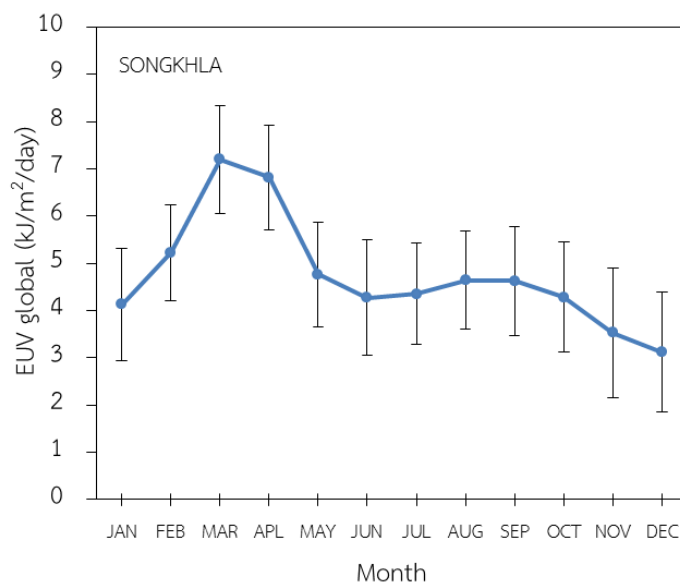




รูปที่ 50 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีนครปฐม (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)



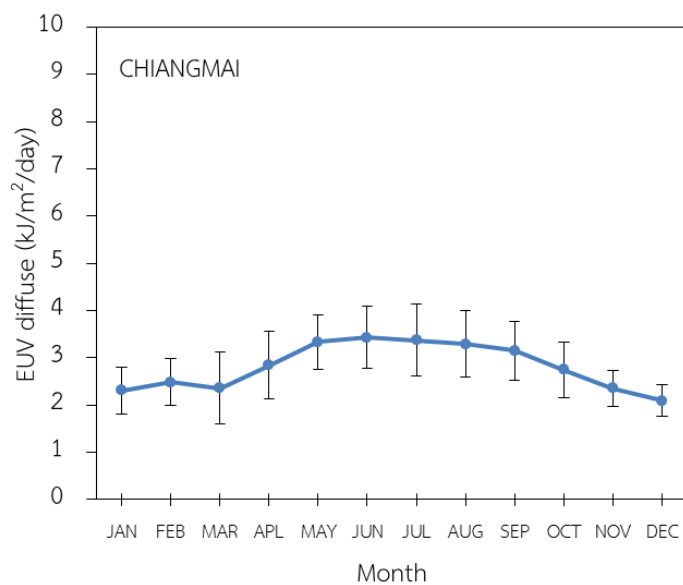
รูปที่ 51 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานี (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)



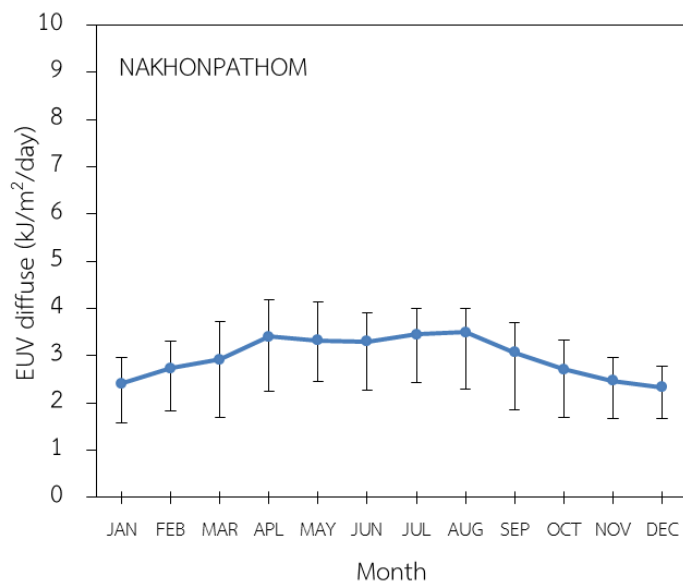
รูปที่ 52 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายวัน เฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีสงขลา (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)

จากรูปที่ 49-52 ซึ่งเป็นกราฟการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเลตในรอบปีของแต่ละสถานีในกรณี รังสีอัลตราไวโอเลตรวม จะเห็นว่าที่สถานีเชียงใหม่ ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตจะมีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ต้นปี จนมีค่ามากที่สุดในเดือนพฤษภาคม ซึ่งความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าเท่ากับ 4.49 กิโลจูลต่อ ตารางเมตรต่อวัน จากนั้นจึงมีค่าลดลง ในทำนองเดียวกันที่สถานีนครปฐม ค่ารังสีอัลตราไวโอเลตจะ เพิ่มขึ้นสูงสุด 5.03 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนพฤษภาคม จากนั้นจึงมีค่าลดลงจนถึงเดือน ธันวาคม และสถานีอุบลราชธานี จะมีค่ารังสีสูงสุดในเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีความเข้มรังสี- อัลตราไวโอเลตเท่ากับ 4.41 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน สำหรับสถานีสงขลา ความเข้มรังสี- อัลตราไวโอเลตจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 7.20 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนมีนาคม จากนั้นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจึงมีค่าลดลงจนถึงเดือนมิถุนายน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึง เดือนสิงหาคม จากนั้นความเข้มรังสีจึงลดลงต่ำสุดในเดือนธันวาคม นอกจากนี้จะสังเกตว่าความเข้ม รังสีอัลตราไวโอเลตของสถานีสงขลาจะมีค่าสูงกว่าสถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานี ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งของสถานีสงขลาอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากกว่าสถานีอื่น ๆ

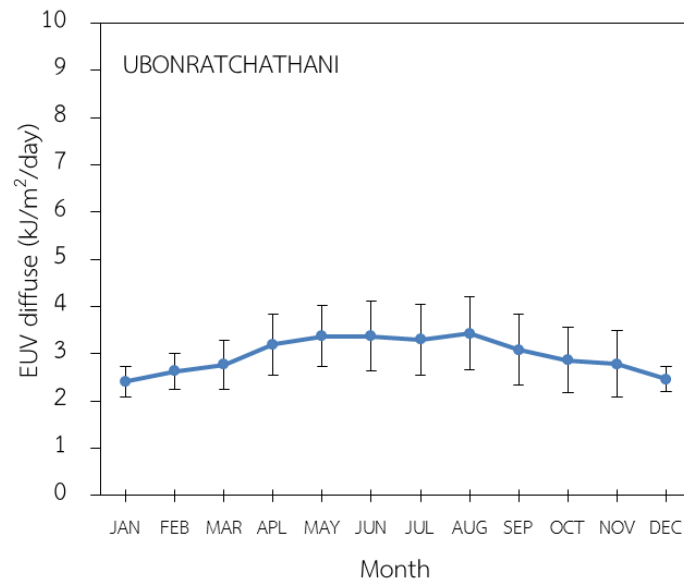
- กรณีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจาย



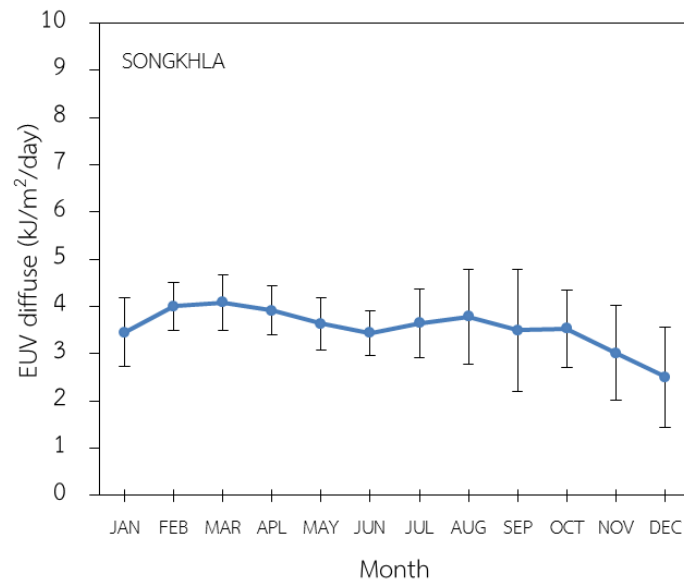
รูปที่ 53 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีเชียงใหม่ (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)



รูปที่ 54 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีนครปฐม (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)



รูปที่ 55 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีอุบลราชธานี (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)

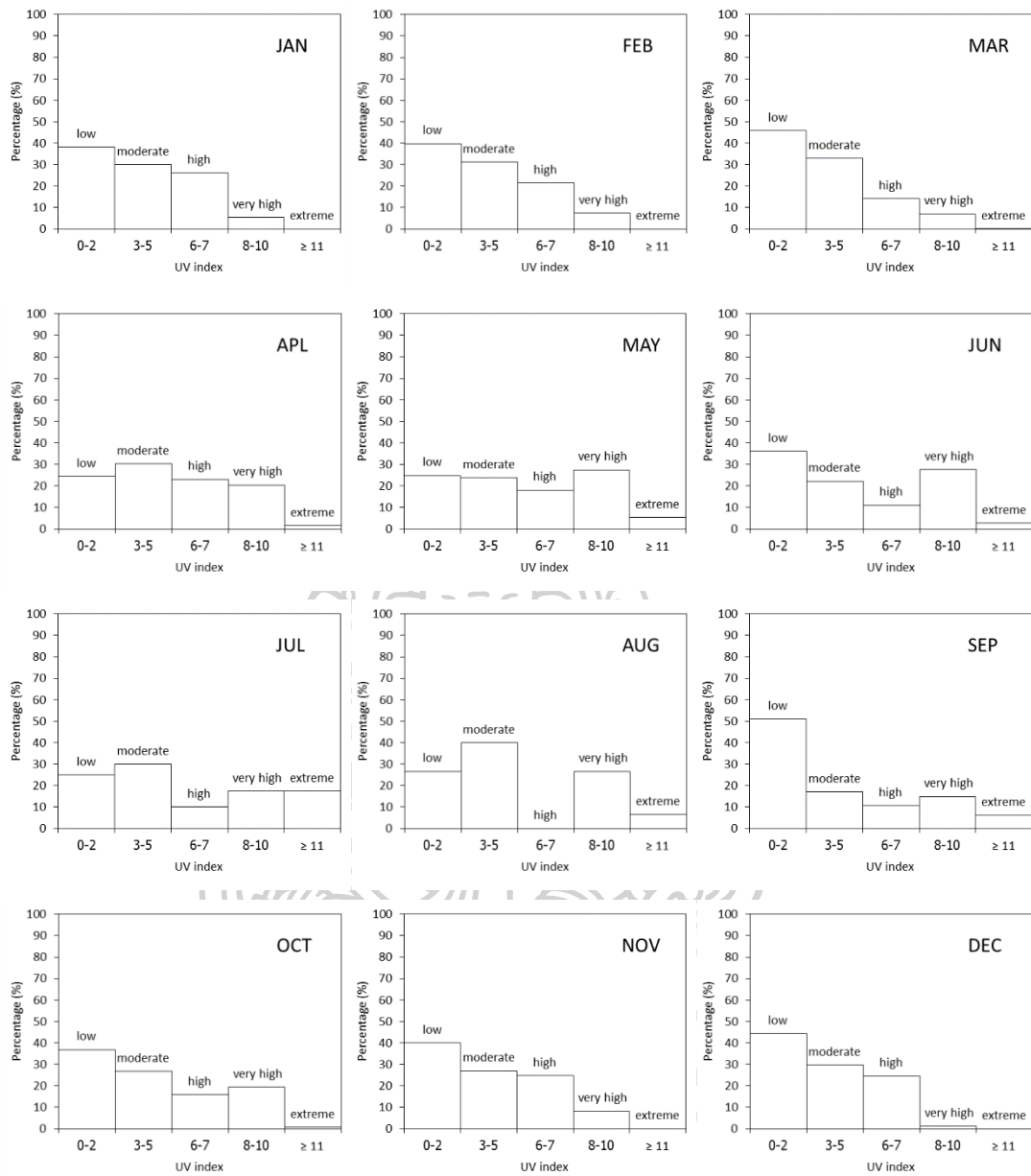


รูปที่ 56 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระจายในรอบปี โดยใช้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีสงขลา (error bar หมายถึง  $\pm 1$  standard deviation, SD)

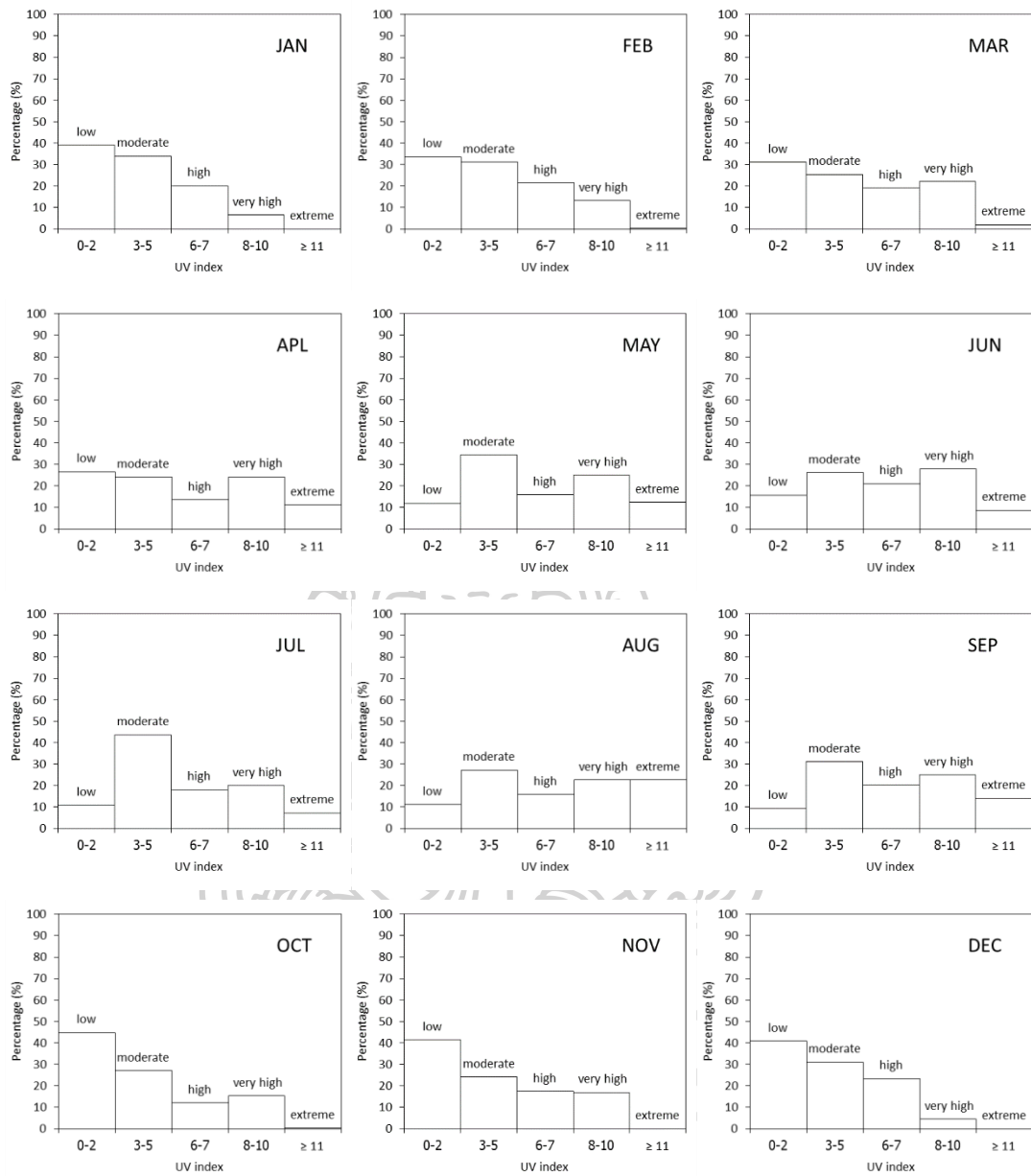
จากรูปที่ 53-56 กราฟการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในรอบปีของแต่ละสถานีในกรณีรังสี-อัลตราไวโอเล็ตกระจาย พบว่าที่สถานีเชียงใหม่ ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าค่อย ๆ สูงขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคม จนมีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงสุดเท่ากับ 3.43 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนมิถุนายน จากนั้นจึงมีค่าค่อย ๆ ลดลงต่ำสุดเท่ากับ 2.09 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนธันวาคม สำหรับสถานีนครปฐม จะมีค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.49 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนสิงหาคม และจึงมีค่าลดลง โดยจะเห็นว่าช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม มีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกันที่สถานีอุบลราชธานี จะมีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงสุดเท่ากับ 3.43 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนสิงหาคม จากนั้นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าลดลง โดยในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม จะมีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตใกล้เคียงกัน สำหรับสถานีสงขลา ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าสูงกว่าสถานีอื่น ๆ ตั้งแต่เดือนมกราคม โดยจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนมีค่าความเข้มสูงสุดเท่ากับ 4.08 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนมีนาคม จากนั้นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงมีค่าลดลงจนถึงเดือนมิถุนายน และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นความเข้มรังสีจึงลดลงจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.12 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ในเดือนธันวาคม

### 3.3.2 การแจกแจงค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆรายชั่วโมง

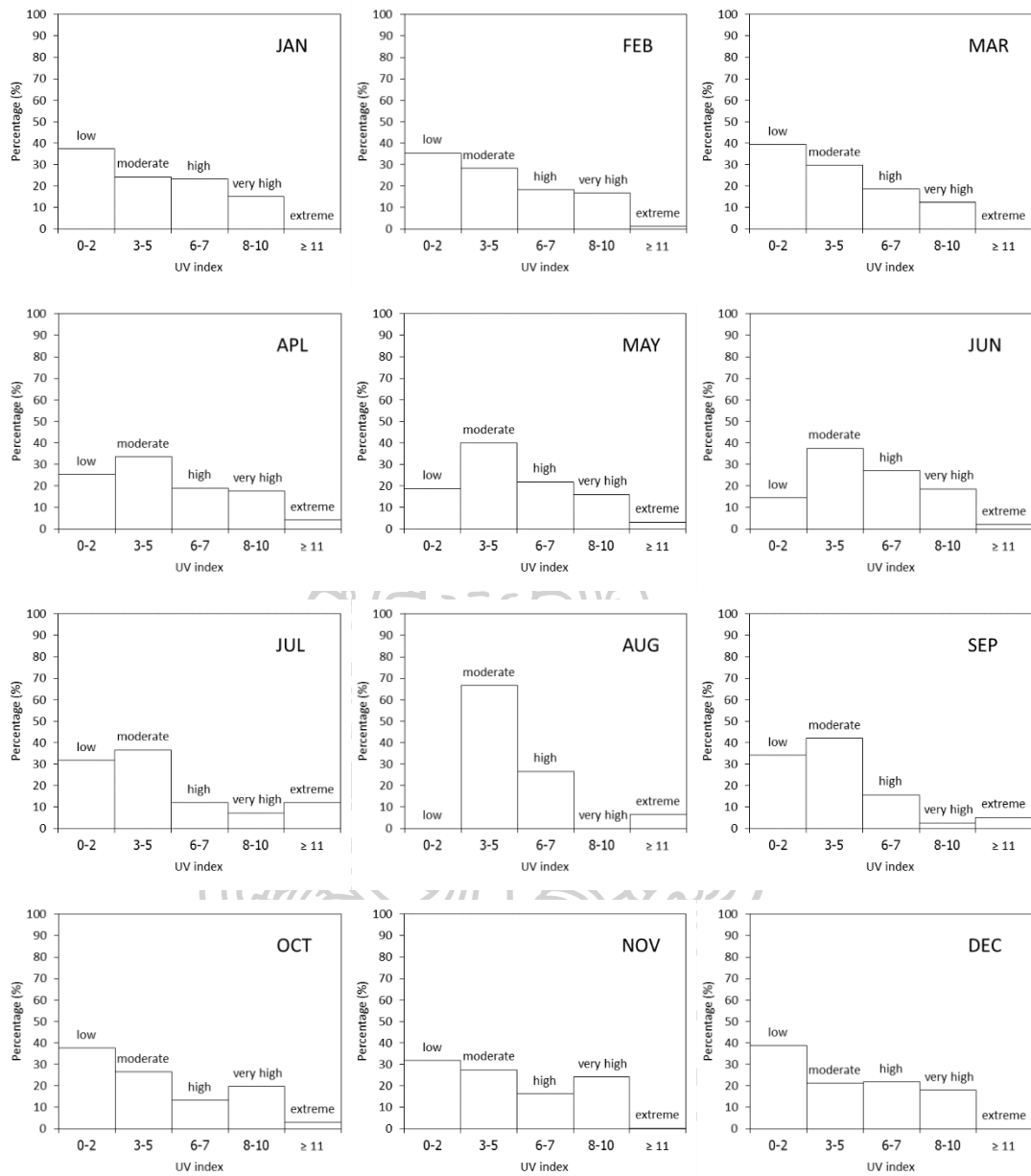
ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมรายชั่วโมงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ในช่วงปี ค.ศ. 2011-2018 ของสถานีทั้ง 4 แห่ง คือ สถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานี และสถานีสงขลา มาแปลงเป็นดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยการแจกแจงค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต ผู้วิจัยได้ทำการหาเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตแต่ละช่วง ซึ่งแบ่งช่วงดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกเป็น 5 ช่วง ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง ระดับสูง ระดับสูงมาก และระดับสูงสุดขีด จากนั้นผู้วิจัยจึงแสดงการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตแต่ละช่วงในรูปของกราฟแผนภูมิแท่งในเดือนต่าง ๆ ในแต่ละสถานี ดังนี้



รูปที่ 57 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี จังหวัดเชียงใหม่

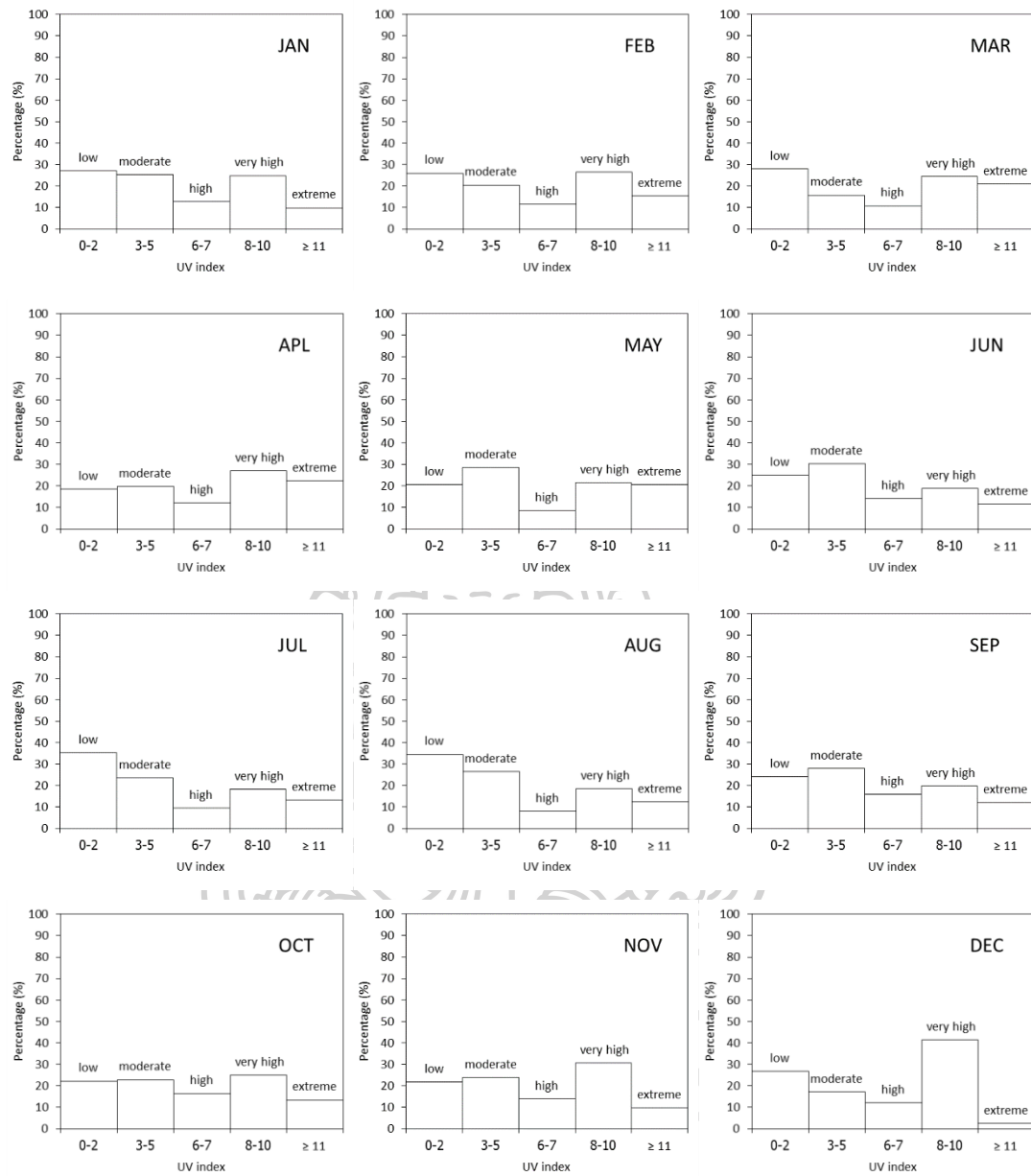


รูปที่ 58 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 59 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี จังหวัดอุบลราชธานี





รูปที่ 60 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงในเดือนต่าง ๆ ของสถานี จังหวัดสงขลา

จากรูปที่ 57 เป็นการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงของสถานี เชียงใหม่ จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมจะอยู่ในระดับต่ำ 38-46% ส่วนเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีในช่วงอื่นจะมีค่าลดลงตามลำดับ และในเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม เปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตของระดับต่ำจะลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ระดับสูงมากและสูงสุดขีดจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่เปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่ในช่วงเดือนนี้ ยังคงอยู่ในระดับปานกลางและสูงมาก สำหรับช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พบว่าเปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับต่ำ 37-51% นอกจากนี้จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ในระดับสูงจัดจะลดลงในช่วงนี้

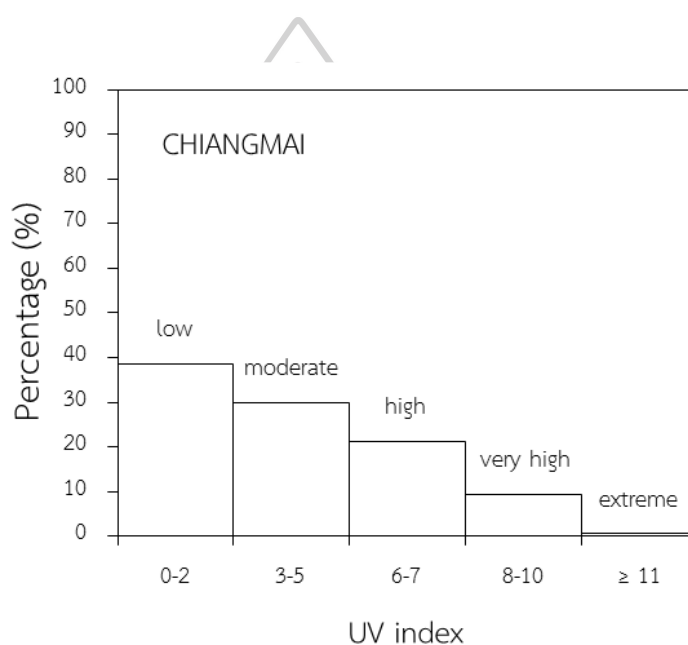
จากรูปที่ 58 สำหรับสถานีนครปฐม การแจกแจงของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมจะอยู่ในระดับต่ำ 31-39% และในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน เปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีในระดับต่ำจะมีค่าน้อยลง เปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่ของดัชนีรังสีอยู่ในระดับปานกลางและระดับสูงมากจะมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ที่ช่วงประมาณ 24-44% และ 20-25% ตามลำดับ และในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะอยู่ในระดับต่ำ 41-45% ส่วนเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีในช่วงอื่นจะมีค่าลดลง

จากรูปที่ 59 สถานีอุบลราชธานี ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ส่วนใหญ่เปอร์เซ็นต์ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะอยู่ในระดับต่ำ 35-39% และในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวในระดับปานกลางและระดับสูงสุดขีดจะเพิ่มขึ้นอยู่ที่ช่วงประมาณ 14-20% และ 4-7% ในช่วงเดือนนี้จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ในระดับต่ำจะมีเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 34-67% และ 2-12% ส่วนในเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะอยู่ในระดับต่ำ

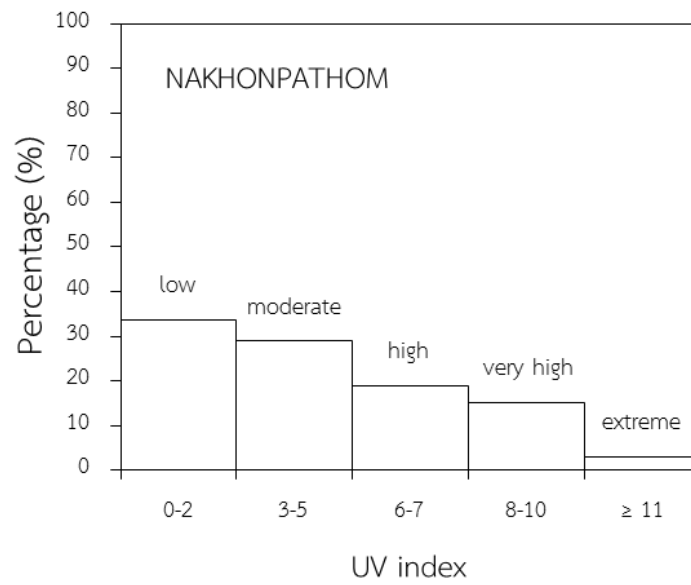
จากรูปที่ 60 สำหรับสถานีสงขลา การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแต่ละเดือนจะมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือในระดับสูงมากจะมีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีสูงสุด 18-41% และในระดับสูงจะมีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีต่ำสุดอยู่ในช่วง 8-16% ทั้งนี้จากเปอร์เซ็นต์การแจกแจงดังกล่าว จะเห็นว่าในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่สถานีสงขลามีปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตค่อนข้างมากกว่าสถานีอื่น ๆ

### 3.3.3 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆรายปี

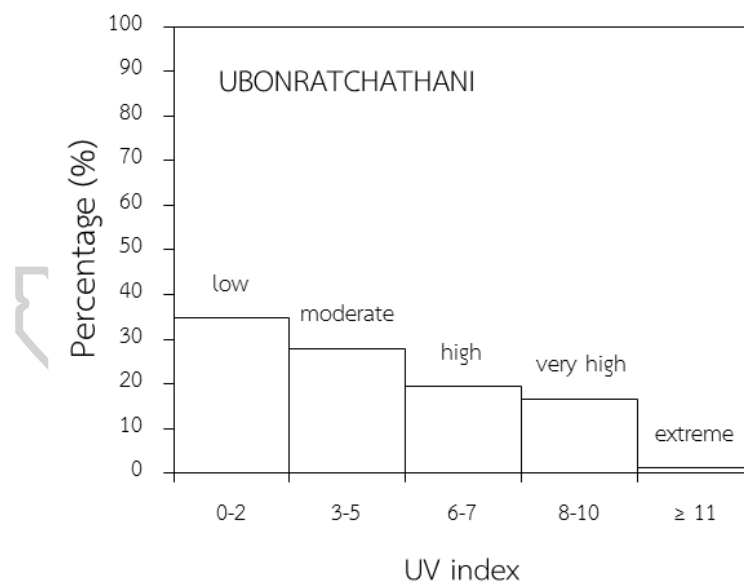
สำหรับการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายปี ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงในช่วงปี ค.ศ. 2011-2018 ของทั้ง 4 สถานี และทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตแต่ละช่วงในรูปของกราฟแผนภูมิแท่งของที่แต่ละสถานี ดังรูปที่ 61-64



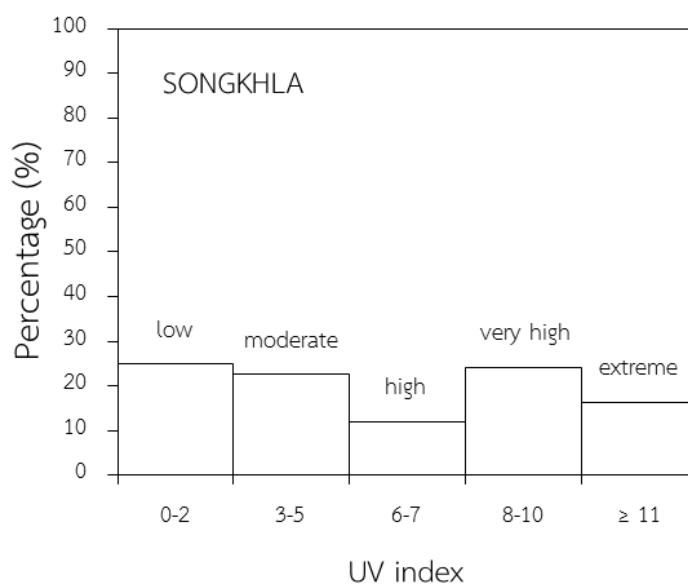
รูปที่ 61 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายปีของสถานีจังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 62 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายปีของสถานีจังหวัดนครปฐม



รูปที่ 63 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายปีของสถานีจังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 64 การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายปีของสถานีจังหวัดสงขลา

จากรูปที่ 61-64 จะเห็นว่า สถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม และสถานีอุบลราชธานี จะมีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับต่ำประมาณ 38% 34% และ 35% ส่วนเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงอื่นจะมีค่าลดลงตามลำดับ เนื่องจากช่วงที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆส่วนใหญ่อยู่ในฤดูร้อนและฤดูหนาว ซึ่งในช่วงนี้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีค่าต่ำ จึงทำให้ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตอยู่ในระดับต่ำเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในฤดูฝนจะมีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงเนื่องจากทางเดินของดวงอาทิตย์ แต่มีช่วงที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆค่อนข้างน้อยจึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระดับสูงสุดขีดมีค่าน้อย สำหรับสถานีสงขลามีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตอยู่ในระดับสูงมากเป็นส่วนใหญ่ และมีเปอร์เซ็นต์ในระดับต่ำระดับปานกลาง ระดับสูงสุดขีด และระดับสูง ลดลงมาจากค่ามากไปน้อย นอกจากนี้จะเห็นว่าที่ระดับสูงมากและระดับสูงสุดขีดของสถานีสงขลามีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สูงกว่าทุกสถานี

## บทที่ 4

### สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวม และความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและทำการศึกษาสถิติของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัดและการคำนวณด้วยแบบจำลองที่พัฒนา พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดทั้ง 4 สถานี ซึ่งความแตกต่างในรูปของ RMSD ของสถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานีและสถานีสงขลาเท่ากับ 13.4% 18.6% 13.9% และ 14.5% ตามลำดับ และในรูปของ MBD เท่ากับ 3.0% -13.9% -10.8% และ -9.2% ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดและการคำนวณด้วยแบบจำลองรวมทุกสถานี มีความแตกต่างในรูปของ RMSD เท่ากับ 15.2% และในรูปของ MBD เท่ากับ -6.5%

จากการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ได้จากการวัดและการคำนวณด้วยแบบจำลอง พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกระจายที่ได้จากการวัดและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งความแตกต่างในรูปของ RMSD ของสถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานี และสถานีสงขลา มีค่าเท่ากับ 9.3% 17.6% 12.2% และ 17.3% ตามลำดับ ความแตกต่างในรูปของ MBD มีค่าเท่ากับ -2.3% -13.4% -6.5% และ -12.1% ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดและการคำนวณของทุกสถานี พบว่ามีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD และในรูปของ MBD เท่ากับ 14.6% เท่ากับ -8.4% ตามลำดับ

จากการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรวมในรอบปีของแต่ละสถานี พบว่าที่สถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานี และสถานีสงขลา มีค่ารังสีอัลตราไวโอเลตมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 4.49 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน 5.03 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน 4.41 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และ 7.20 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ สำหรับการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเลตกระจายใน

รอบปีของแต่ละสถานี พบว่าที่สถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานี และสถานีสงขลา มีค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.43 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน 2.09 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน 3.49 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และ 3.43 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ

จากการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงของสถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม สถานีอุบลราชธานี พบว่าเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมจะอยู่ในระดับต่ำ 38-46% 31-39% และ 35-39% ตามลำดับ และในเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม เปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลางและสูงมาก สำหรับช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พบว่าเปอร์เซ็นต์ส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับต่ำ ส่วนที่สถานีสงขลา การแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแต่ละเดือนจะอยู่ในระดับสูงมากจะมีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีสูงสุด 18-41%

จากการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายปีพบว่า สถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม และสถานีอุบลราชธานีจะมีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับต่ำ ประมาณ 38% 34% และ 35% ส่วนเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงอื่นจะมีค่าลดลงมาตามลำดับ สำหรับสถานีสงขลามีเปอร์เซ็นต์ของดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตอยู่ในระดับสูงมากเป็นส่วนใหญ่

**ข้อเสนอแนะ** เนื่องจากการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยยังมีอยู่ค่อนข้างน้อย ผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้เพิ่มสถานีวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้มากขึ้น เพื่อนำผลไปวิเคราะห์อย่างกว้างขวางต่อไป





### การตอบสนองต่อมุมตกกระทบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (cosine response)

โดยทั่วไปหัววัดรังสีจะมีการตอบสนองที่ต่างกันในแต่ละมุมตกกระทบของรังสี โดยหัววัดที่ดีจะต้องมีการตอบสนองต่อมุมตกกระทบลักษณะเดียวกับการตอบสนองของฟังก์ชันโคไซน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น 501A จำนวน 2 หัว ซึ่งมีรายละเอียดในการทดสอบและผลการทดสอบดังนี้

อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้ (รูปที่ 65-70)

1. เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รุ่น 501A ที่ผลิตโดยบริษัท solar light
2. ชุดปรับมุมแบบละเอียด
3. เครื่องควบคุมชุดปรับมุมแบบละเอียด
4. เลเซอร์ฮีเลียมนีออน
5. หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน
6. เครื่องควบคุมความเข้มแสงของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน



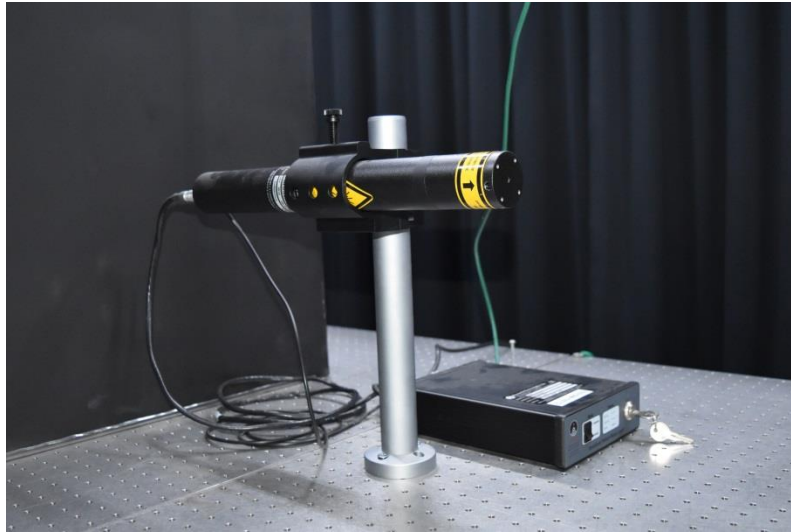
รูปที่ 65 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รุ่น 501A ที่ผลิตโดยบริษัท Solar Light



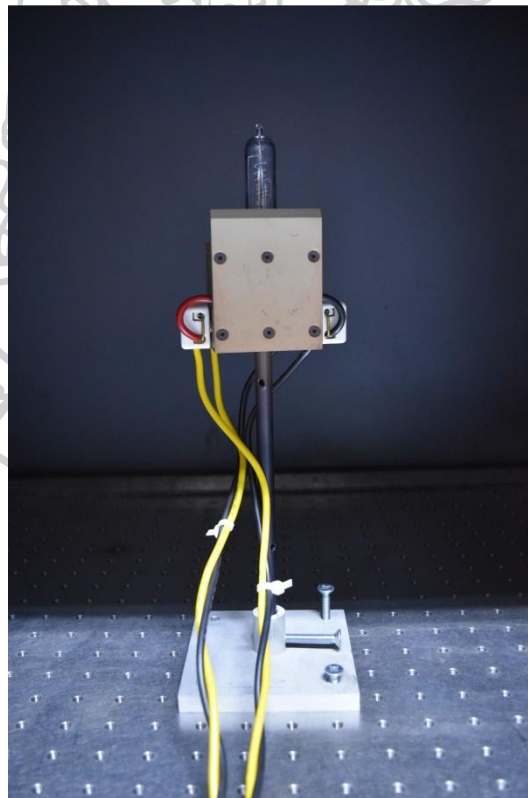
รูปที่ 66 ชุดปรับมุมแบบละเอียด



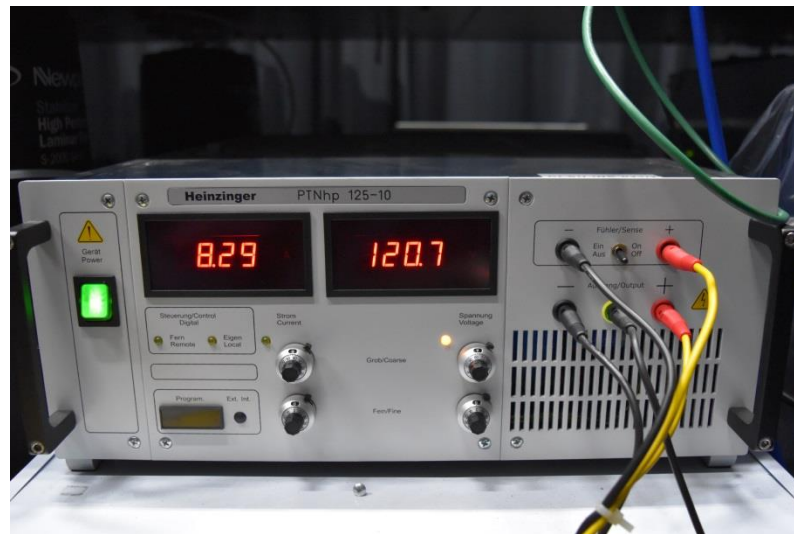
รูปที่ 67 เครื่องควบคุมชุดปรับมุมแบบละเอียด



รูปที่ 68 เลเซอร์ฮีเลียมนีออน

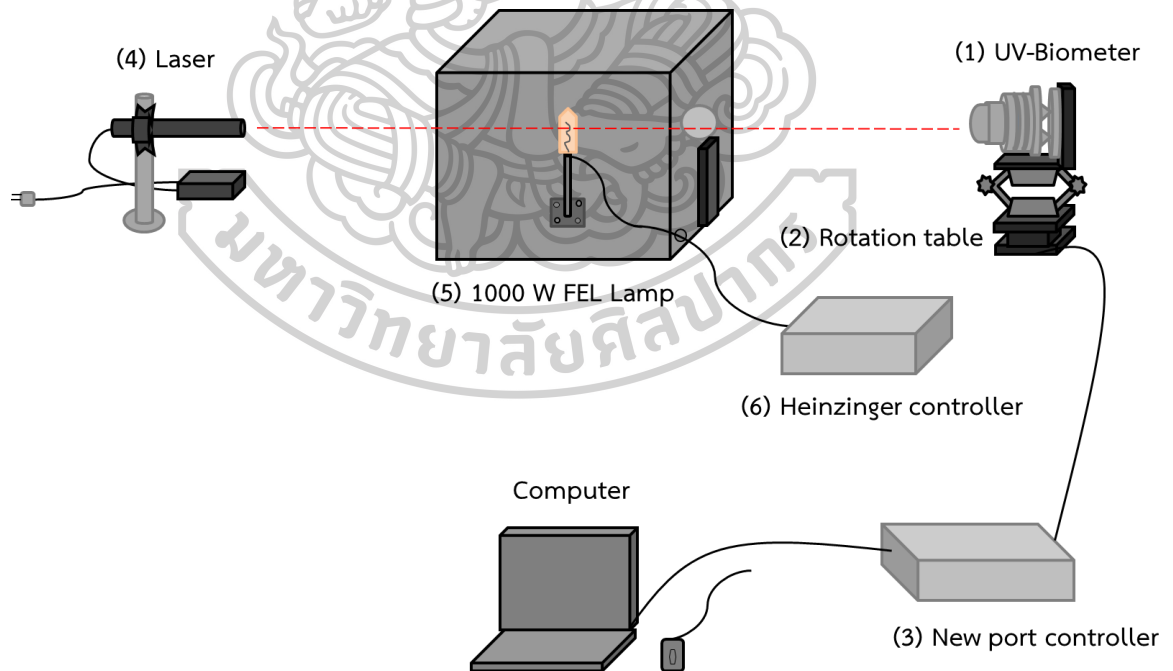


รูปที่ 69 หลอดทั้งสแตนฮาไลเจน



รูปที่ 70 เครื่องควบคุมความเข้มแสงของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน

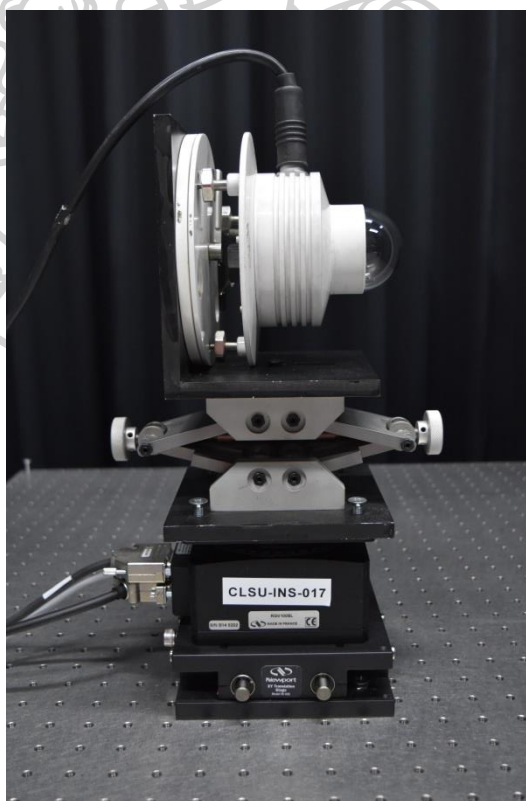
แผนภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 71



รูปที่ 71 การติดตั้งอุปกรณ์ในการสอบเทียบการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ขั้นตอนการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. ติดตั้งเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (1) บนแท่นของชุดปรับมุมแบบละเอียด (2) ดังรูปที่ 72
2. ต่อสายแลนจากเครื่องควบคุมชุดปรับมุมแบบละเอียด (3) เข้ากับคอมพิวเตอร์ พร้อมเปิดโปรแกรมและทำการปรับมุมให้เท่ากับ 0 องศา ดังรูปที่ 73
3. ปรับระดับเลเซอร์ฮีเลียมนีออน (4) ให้ตรงกึ่งกลางหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังรูปที่ 74
4. ปรับหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน (5) ที่อยู่ภายในกล่องสีดำที่ครอบเพื่อป้องกันการกระจายของแสงให้ตรงกับแนวของเลเซอร์ โดยมีระยะห่างจากหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตเท่ากับ 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 75
5. ตั้งค่าเครื่องควบคุมความเข้มแสงของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน (6) ให้เท่ากับ 1000 วัตต์
6. ทำการปรับมุมทีละ 2 องศา ตั้งแต่ -90 ถึง 90 องศา และทำการบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้
7. ทำการแปรค่าระยะห่างระหว่างหลอดทั้งสแตนฮาโลเจนกับหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้เท่ากับ 50 80 100 120 150 180 และ 200 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 72 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตบนแท่นของชุดปรับมุมแบบละเอียด

Newport FRONT PANEL TERMINAL FUNCTIONAL TESTS DOCUMENTATION  
 Move Jog Spindle I/O view I/O set Positioner errors Hardware status Driver status

| Move     |       |         |                 |          |            |            |               |   |   |
|----------|-------|---------|-----------------|----------|------------|------------|---------------|---|---|
| Position | State | Action  | Positioner name | Velocity | Abs move 1 | Abs move 2 | Relative move |   |   |
| 0        | 11    | Disable | Group1.Pos      | 2        | 0 Go       | Go         | 2             | < | > |

Kill All

NOTE : The new velocity gets only applied with the next motion.

Refresh delay (milliseconds) : 1000 Set

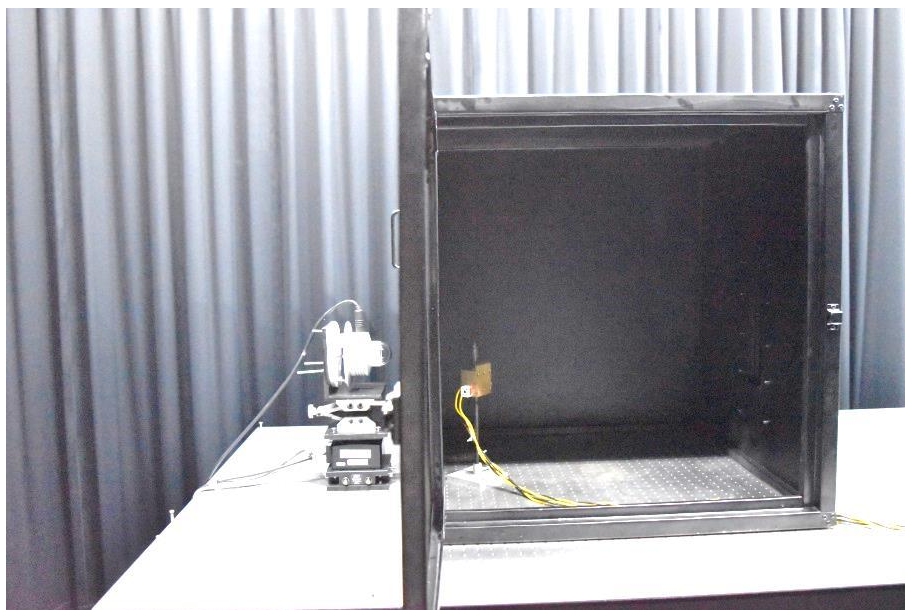
Newport Spectra-Physics Solutions to Make, Manage and Measure Light™

Windows taskbar: 22:19 19/2/2563

รูปที่ 73 โปรแกรมสำหรับการปรับมุมต่าง ๆ



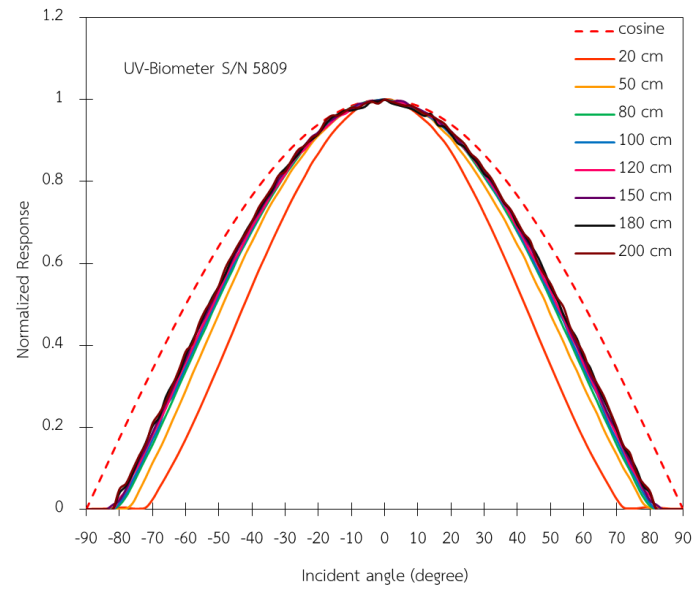
รูปที่ 74 ระดับเลเซอร์ฮีเลียมนีออนที่ตรงกับกึ่งกลางของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต



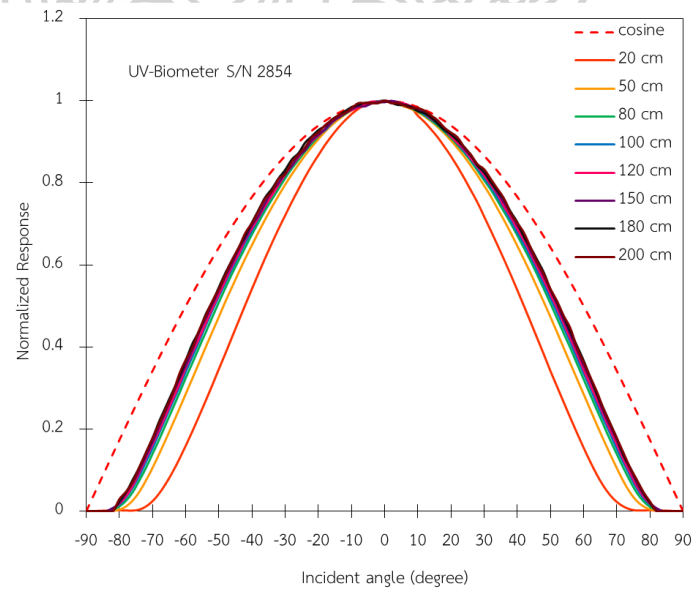
รูปที่ 75 ระดับเลเซอร์ฮีเลียมเนียนที่ตรงกับกึ่งกลางของหลอดทั้งสแตนฮาโลเจน โดยมีระยะห่างจากหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตเท่ากับ 20 เซนติเมตร

ในการทดสอบการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ผู้วิจัยได้ใช้หัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น 501A จำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ UV-Biometer S/N 5809 และ UV-Biometer S/N 2854 มาทำการทดสอบ 2 รอบต่อเครื่อง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและทำการ normalize และพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับฟังก์ชันโคไซน์ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 76-77

ผลการแปรค่าการตอบสนองของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อมุมตกกระทบ



รูปที่ 76 การแปรค่าการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น 501A S/N 5809



รูปที่ 77 การแปรค่าการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรุ่น 501A S/N 2854

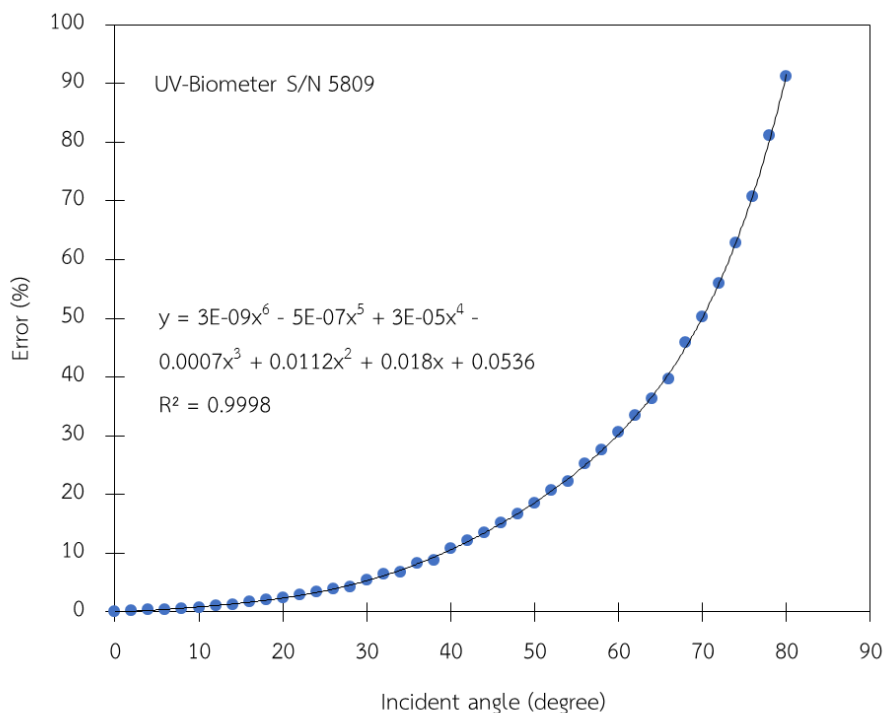


จากการทดสอบการแปรค่าของการตอบสนองต่อมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต S/N 5809 ในรูปที่ 76 และ S/N 2854 รูปที่ 77 โดยใช้หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดแสง จะเห็นว่า การตอบสนองของหัววัดรังสีทั้ง 2 เครื่อง จะคงที่อยู่ที่ระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีกับหลอด ทั้งสแตนฮาโลเจนประมาณ 100 เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งในการตอบสนองของหัววัดที่มุมต่ำ ๆ จะมีการแปรค่าเช่นเดียวกับโคซายน์ แต่ที่มุมสูง ๆ จะไม่เป็นเช่นนั้น ดังนั้นในการคำนวณค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเป็นต้องทำการแก้ค่าเนื่องจากโคซายน์ ตัวอย่างค่าสัญญาณที่วัดได้ที่แต่ละมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต S/N 5809 แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ที่แต่ละมุมตกกระทบของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต S/N 5809

| มุม (องศา) | ศักย์ไฟฟ้า (มิลลิโวลต์) | Normalized Response |
|------------|-------------------------|---------------------|
| 90         | 0                       | 0                   |
| ...        | ...                     | ...                 |
| 12         | 0.03815                 | 0.965822785         |
| 10         | 0.03855                 | 0.975949367         |
| 8          | 0.03885                 | 0.983544304         |
| 6          | 0.03905                 | 0.988607595         |
| 4          | 0.03925                 | 0.993670886         |
| 2          | 0.03935                 | 0.996202532         |
| 0          | 0.0395                  | 1                   |
| -2         | 0.03945                 | 0.998734177         |
| -4         | 0.0393                  | 0.994936709         |
| -6         | 0.03915                 | 0.991139241         |
| -8         | 0.0389                  | 0.984810127         |
| -10        | 0.0387                  | 0.979746835         |
| -12        | 0.0383                  | 0.969620253         |
| ...        | ...                     | ...                 |
| -90        | 0                       | 0                   |

เนื่องจากหัววัดมีการตอบสนองคงที่ในระยะ 100 เซนติเมตรขึ้นไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้ข้อมูล ที่ระยะ 100 เซนติเมตรในการหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการตอบสนอง ของหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากค่าฟังก์ชันโคไซน์ ที่แต่ละมุมตกกระทบ ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้แสดง ดังรูป 78 โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5.1



รูปที่ 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการตอบสนองของหัววัด UV-Biometer S/N 5809 จากค่า cosine ที่แต่ละมุมตกกระทบ

ความสัมพันธ์ที่ได้จากกราฟจะอยู่ในรูปแบบสมการโพลิโนเมียลดังนี้

$$\text{Error} = 3 \times 10^{-9}\theta^6 - 5 \times 10^{-7}\theta^5 + 3 \times 10^{-5}\theta^4 - 0.0007\theta^3 + 0.0112\theta^2 + 0.018\theta + 0.0536 \quad (\text{ก})$$

เมื่อ Error คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%)

$\theta$  คือ มุมตกกระทบ (องศา)

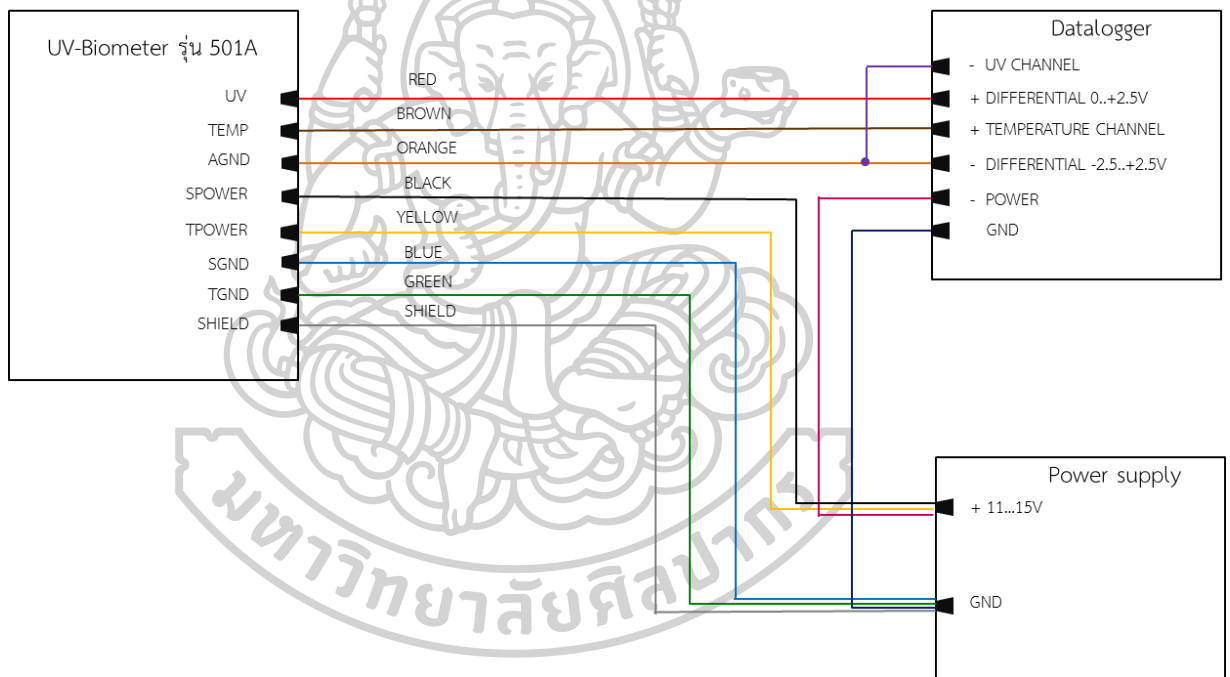
ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการตอบสนองของหัววัด UV-Biometer S/N 5809 จากค่า cosine ที่มุมตกกระทบต่าง ๆ

| มุม (องศา) | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%) |
|------------|--------------------------------|
| 0          | 0                              |
| 2          | 0.192364442                    |
| 4          | 0.3268214                      |
| 6          | 0.467408276                    |
| 8          | 0.615071186                    |
| 10         | 0.706701559                    |
| 12         | 1.065900661                    |
| 14         | 1.308960683                    |
| 16         | 1.764129221                    |
| 18         | 2.040987717                    |
| 20         | 2.405468841                    |
| 22         | 2.863611466                    |
| 24         | 3.422596694                    |
| 26         | 3.879642484                    |
| 28         | 4.233317233                    |
| 30         | 5.504569866                    |
| 32         | 6.412043176                    |
| 34         | 6.785309169                    |
| 36         | 8.311919644                    |
| 38         | 8.839514297                    |
| 40         | 10.85224904                    |
| ...        | ...                            |
| 80         | 91.25250053                    |



## วิธีการต่อสายสัญญาณของหัววัด UV-biometer

สำหรับหัววัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต รุ่น 501A จะทำการวัดค่าสัญญาณซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตและอุณหภูมิของหัววัดที่จำเป็นต่อการคำนวณในการปรับแก้เพื่อให้ได้ค่าความเข้มรังสีที่ถูกต้อง โดยสายสัญญาณย่อยจากหัววัดจะมีทั้งหมด 8 คอร์ ซึ่งแต่ละคอร์จะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลและแหล่งจ่ายไฟ ดังรูปที่ 79 และเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ผู้วิจัยได้สรุปการต่อหัวของสายสัญญาณไว้ดังตารางที่ 4 ซึ่งในการตั้งค่าของเครื่องบันทึกสำหรับการบันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 0-2.5 V และแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้จะเท่ากับ 11-15 V



รูปที่ 79 แผนภาพการเชื่อมต่อสายสัญญาณของหัววัด UV-biometer รุ่น 501A

ตารางที่ 4 การต่อขั้วของสายสัญญาณ

| ขั้วสายสัญญาณ | ขั้วต่อสายสัญญาณ               | ชื่อสายสัญญาณ | สีสายสัญญาณ |
|---------------|--------------------------------|---------------|-------------|
| 1             | ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ          | SPOWER        | ดำ          |
| 2             | ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ           | SGND          | ฟ้า         |
| 3             | ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ           | TGND          | เขียว       |
| 4             | ขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟ          | TPOWER        | เหลือง      |
| 5             | ขั้วลบของdatalogger            | AGND          | ส้ม         |
| 6             | ขั้วบวกของ datalogger ช่องที่1 | UV            | แดง         |
| 7             | ขั้วบวกของ datalogger ช่องที่2 | TEMP          | น้ำตาล      |
| SHIELD        | ขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟ           | SHIELD        |             |



## รายการอ้างอิง

- Badarinath, K., Kharol, S. K., Prasad, V. K., Sharma, A. R., Reddi, E., Kambezidis, H., & Kaskaoutis, D. (2008). Influence of natural and anthropogenic activities on UV Index variations—a study over tropical urban region using ground based observations and satellite data. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 59(3), 219-236.
- Bilbao et al., J. (2015). UV and global irradiance measurements and analysis during the Marsaxlokk (Malta) campaign. *Adv. Sci. Res*, 12, 147-155.
- CIE. (1998). Erythema reference action spectrum and standard erythema dose. *CIE S*, 7, E1998.
- Cutchis, P. (1980). *A formula for comparing annual damaging ultraviolet (DUV) radiation doses at tropical and mid-latitude sites. Final report.* Retrieved from
- Kasten, F. (1965). A new table and approximation formula for the relative optical air mass. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 14(2), 206-223.
- Lunde, P. J. (1980). Solar thermal engineering: space heating and hot water systems.
- Mateos et al., D. (2010a). Dependence of ultraviolet (erythemal and total) radiation and CMF values on total and low cloud covers in Central Spain. *Atmospheric research*, 98(1), 21-27.
- Mateos et al., D. (2010b). Empirical models of UV total radiation and cloud effect study. *International Journal of Climatology*, 30(9), 1407-1415.
- Notton, G. (2010). Hybrid wind–photovoltaic energy systems. 216-253.
- Nunez et al. (2002). Using broadband erythemal UV instruments to measure relative irradiance. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D24), ACH 20-21-ACH 20-14.
- Webb, A. R. (1998). *UVB instrumentation and applications*: CRC Press.
- Webb et al., A. (2006). *A practical guide to operating broadband instruments measuring erythemally weighted irradiance*: EUR-OP.
- WHO. (2002). *Global solar UV index: a practical guide* (9241590076). Retrieved from

- เกิดศิริ, ก. (2548). การศึกษาลักษณะทางสถิติและแบบจำลองของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เสริม จันทร์ฉาย. (2560). รังสีอาทิตย์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์เพชรเกษมพริ้นติ้ง กรุ๊ป: นครปฐม.







## ประวัติผู้เขียน

|                   |   |
|-------------------|---|
| ชื่อ-สกุล         | นางสาวปรารณา ไหลวารินทร์  |
| วัน เดือน ปี เกิด | 6 กรกฎาคม 2537  |
| สถานที่เกิด       | โรงพยาบาลสนามจันทร์ จ.นครปฐม  |
| วุฒิการศึกษา      | พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนมารีย์อุปถัมภ์<br>อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม<br>พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์<br>คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม<br>พ.ศ. 2560 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร<br>จังหวัดนครปฐม |
| ที่อยู่ปัจจุบัน   | 95 หมู่ที่ 4 ตำบลท่าข้าม อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม 73110   |

