



การศึกษาสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเลตที่จังหวัดนครปฐม

โดย

นายสมเจตน์ ภัทรพานิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาแปลกรรมของรังสีอัลตราไวโอเลตที่จังหวัดนครปฐม

โดย

นายสมเจตน์ ภัทรพานิชชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A STUDY OF SOLAR ULTRAVIOLET SPECTRUM AT NAKHON PATHOM

By

Somjet Pattarapanitchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Physics

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การศึกษาสเปกตรัม
ของรังสีอัลตราไวโอเลตที่จังหวัดนครปฐม ” เสนอโดย นายสมเจตน์ ภัทรพานิชชัย เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะดังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์จำนงค์ ชำรงมาศ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นามประกาย)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย)

...../...../.....

49306208 : สาขาวิชาฟิสิกส์

คำสำคัญ : สเปกตรัม/รังสียูวี/รังสีอัลตราไวโอเลต

สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย : การศึกษาสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเลตที่จังหวัดนครปฐม. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย. 122 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ ด้วยเครื่อง spectroradiometer (Bentham, DMc150) ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) จากนั้นได้นำข้อมูลสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตจำนวน 1 ปี (มกราคม – ธันวาคม 2551) มาทำการวิเคราะห์ โดยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 305, 310, 315, 320, 340 และ 380 nm พบว่า สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตแปรค่าในลักษณะคล้ายกับกราฟรูปไซน์ (sinusoidal) โดยมีค่าสูงสุดที่เวลาเที่ยงวัน และความเข้มสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น และยังได้ทำการศึกษากการแปรค่าของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตตามความยาวคลื่นทั้งในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ และท้องฟ้าทั่วไป พบว่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการอินทิเกรตสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อให้ได้ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA, 320 – 340 nm) รังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB, 280-320 nm) และรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV, 280 – 320 nm โดยถ่วงน้ำหนักด้วยค่าการตอบสนองของผิวหนัง) จากนั้นได้ทำการศึกษากการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของรังสีอัลตราไวโอเลตเอ รังสีอัลตราไวโอเลตบี และรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ พบว่ารังสีทั้ง 3 ชนิด มีค่าสูงสุดในตอนเที่ยงวัน ในด้านของการแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปี พบว่ารังสีทั้ง 3 ช่วงความยาวคลื่นมีลักษณะการแปรค่าคล้ายกัน กล่าวคือมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงระหว่างเดือนเมษายน ถึงเดือนกันยายน สูดท้ายผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์การแจกแจงทางสถิติของ UVA, UVB และ EUV และพบว่า การแจกแจงทางสถิติของ EUV ตลอดทั้งปีที่อยู่ในระดับ High (125 – 175 mW/m²) Very high (175-250 mW/m²) และ Extreme (มากกว่า 250 mW/m²) มีค่าเท่ากับ 15.2% 14.0% และ 2.9% ตามลำดับ

ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

49306208 : MAJOR : PHYSICS

KEY WORD : SPECTRUM/UV/ULTRAVIOLET/RADIATION

SOMJET PATTARAPANITCHAI : A STUDY OF SOLAR ULTRAVIOLET SPECTRUM
AT NAKHON PATHOM. THESIS ADVISOR : .ASSOC.PROF.SERM JANJAI, Ph.D. 122 pp.

In This work, the spectrum of solar Ultraviolet (UV) radiation were measured by using a spectroradiometer (Bentham, model DMC150) at Silpakorn University (13.82°N, 100.04°E), Nakhon Pathom, Thailand. A one-year period (January – December, 2008) of the spectral data from this measurement was analyzed. A diurnal variation of the ultraviolet spectrum at the wavelength of 305, 310, 320, 340, and 380 nm for clear sky were investigated. The diurnal variation has sinusoidal shapes with the peak at solar noon and the peak spectral irradiance increases with the wavelength. The variation of the spectral irradiance with wavelength under clear and general skies was also presented. The spectral irradiance increase with wavelength for both clear and general sky. Afterward, the spectral UV data were integrated to obtain ultraviolet A (UVA, 320- 380 nm), ultraviolet B (UVB, 280 – 320 nm) and erythral ultraviolet (EUV, 280 – 320 nm with erythral response). Diurnal variation of UVA, UVB and EUV showed the peak values at the solar noon. UVA, UVB and EUV have similar seasonal variation with high irradiances during April - September. Statistical distribution of UVA, UVB and EUV was also investigated. It was found that percentages of the number of hour with high ($125 - 175 \text{ mW/m}^2$), very high ($175-250 \text{ mW/m}^2$) and extreme ($> 250 \text{ mW/m}^2$) EUV were 15.2%, 14.0% and 2.9%, respectively.

Department of Physics	Graduate School, Silpakorn University	Academic Year 2008
Student's signature.....		
Thesis Advisor's signature.....		

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทน์ฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและให้คำแนะนำทางวิชาการ พร้อมทั้งจัดหาทุนวิจัย เครื่องมือ และข้อมูลที่เป็นสำหรัยใช้ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นามประกาย ที่ได้กรุณาเสียสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.อิสระ มะศิริ และนักวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ Dr.Manuel Nunez และ Dr.Gunther Seckmaya ผู้เชี่ยวชาญด้านรังสีอัลตราไวโอเลตจากต่างประเทศที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำวิธีการต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ คุณประ โยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดาและมารดา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณที่ได้ช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ญ
สัญลักษณ์	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
2 หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักทางวิชาการ	3
2.1.1 แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต	3
2.1.2 รังสีอัลตราไวโอเลตที่ผ่านบรรยากาศโลก.....	4
2.1.3 ผลของโอโซนต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลต.....	6
2.1.4 ผลของฝุ่นละอองในบรรยากาศต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลต.....	8
2.1.5 ผลของเมฆต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลต	8
2.1.6 ผลของสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิวโลกต่อปริมาณรังสี อัลตราไวโอเลต	10
2.2 การวัดรังสีอัลตราไวโอเลต.....	12
2.2.1 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อรังสีอัลตราไวโอเลต	13
2.2.2 ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต.....	15
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
3 วิธีการวิจัยและผล.....	22
3.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล	22
3.2 การสอบเทียบเครื่อง spectroradiometer	27
3.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล.....	33

บทที่	หน้า
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล.....	36
3.4.1 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรอบวัน (diurnal variation)	36
3.4.1.1 กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)	36
3.4.1.2 กรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky).....	35
3.4.2 การแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามความยาวคลื่น	46
3.4.2.1 กรณีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky).....	46
3.4.2.2 กรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky).....	48
3.4.3 การแปรค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ปริมาณเมฆต่างๆ กัน	61
3.4.4 การแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตตามปริมาณโอโซน	63
3.4.4.1 กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)	63
3.4.4.2 กรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky).....	66
3.5 การประยุกต์ใช้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบสเปกตรัม	67
3.5.1 การแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)	68
3.5.1.1 กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky).....	68
3.5.1.2 กรณีท้องฟ้าทั่วไป (general sky).....	72
3.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation).....	76
3.5.3 การแจกแจงความถี่ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมง..	79
4 สรุป.....	95
บรรณานุกรม	97
ภาคผนวกที่ 1: วิธีการสอบเทียบ spectroradiometer	100
ภาคผนวกที่ 2: แบบจำลองการถ่ายเทรังสี UVSPEC.....	105
ภาคผนวกที่ 3: การใช้โปรแกรม BenWin+ ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง spectroradiometer Bentham, DMc 150	112
ภาคผนวกที่ 4: Specification ของเครื่อง Bentham.....	120
ประวัติผู้วิจัย	118

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่าง (Webb, 1998)	9
2.2	แสดงดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (WHO, 2002)	15
3.1	แสดงสเปกตรัมที่มีการดูดกลืนสูงในช่วงของสเปกตรัมรังสีอัลตรา ไวโอเลต (Fraunhofer spectrum)	27
3.2	แสดงข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	34
3.3	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รายชั่วโมง	89
3.4	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมง.....	90
3.5	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมง.....	91
3.6	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)	92
3.7	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)	93
3.8	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)	94

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงต่างๆ	3
2.2	แสดงสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลกและรังสีอัลตรา- ไวโอเล็ตที่ผ่านบรรยากาศโลก	4
2.3	แสดงการดูดกลืนรังสีเนื่องจากโมเลกุลต่างๆ และโอโซน (เส้นสีดำ)	5
2.4	แสดงค่ามุมเซนธิของดวงอาทิตย์ในหน่วยองศาที่เวลาเที่ยงวัน ณ ตำแหน่ง ละติจูดและเดือนต่างๆ (Tevini, 1993)	6
2.5	แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ละติจูด และฤดูกาลต่างๆ(Tevini,1993)	7
2.6	แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนเนื่องจากโอโซน	7
2.7	แสดงอัตราส่วนของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกรณีมีเมฆปกคลุม ท้องฟ้าและกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ กับค่า cloud optical depth.....	9
2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับ cloud optical depth (Lubin et al.,1994)	9
2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกและ การเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มุมเซนธิ 0 องศา	11
2.10	แสดงสเปกตรัมการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตของพืช DNA และ ผิวหนัง (Madronich, 1993).....	13
2.11	แสดงกราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (CIE, 1987)	14
3.1	แสดงหัวรับรังสีของ spectroradiometer ที่ติดตั้งอยู่บนดาดฟ้า อาคาร วิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม	22
3.2	แสดงเครื่อง spectroradiometer ซึ่งตั้งอยู่ที่ห้องเก็บเครื่องมือใต้ดาดฟ้า ชั้น 10 อาคารวิทยาศาสตร์ 1	23
3.3	แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมและบันทึกข้อมูลของเครื่อง spectroradiometer	23

รูปที่		หน้า
3.4	แผนภูมิแสดงการทำงานของเครื่อง spectroradiometer (Bentham, DMc150).....	23
3.5	แสดงหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม BenWin+ สำหรับควบคุมเครื่อง spectroradiometer	24
3.6	แสดงค่า Normalize ของสัญญาณที่ความยาวคลื่น 400 nm กับค่า cosine.	25
3.7	แสดงค่า cosine correction factor ที่ได้มาจากการคำนวณด้วยสมการมาจาก บริษัท Bentham	26
3.8	แสดงฟรอนโฮเฟอร์สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์.....	28
3.9	แสดงความยาวคลื่นของสัญญาณที่ได้จาก spectroradiometer ก่อนและ หลังการปรับความยาวคลื่น	28
3.10	แสดงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดหลอดมาตรฐาน (V_λ)	29
3.11	แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตของหลอดมาตรฐาน (S_λ).....	30
3.12	แสดง sensitivity (R_λ) ของเครื่อง spectroradiometer ที่ได้จากการใช้ สมการที่ 3.4.....	30
3.13	แสดงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดรังสีอัลตราไวโอเลตจาก ดวงอาทิตย์.....	31
3.14	แสดงตัวอย่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตหลังจากการแปลงด้วยค่า sensitivity แล้ว.....	32
3.15	แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดและ จากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC.....	33
3.16	แสดงค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรวมรายวัน (daily dose) ในปี 2008 ที่ได้จาก เครื่อง spectroradiometer (ข้อมูล daily dose ได้มาจากการ integrate ข้อมูลสเปกตรัมจากความยาวคลื่น 280 – 320 nm)	35
3.17	แสดงสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงในวันที่ท้องฟ้าปราศจาก- เมฆแบบแยกเป็นสเปกตรัม	37
3.18	แสดงการแปรค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ normalize ในรอบวัน ในแต่ละความยาวคลื่น	38

รูปที่		หน้า
3.19	แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 305 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)	40
3.20	แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 310 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)	41
3.21	แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 315 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)	42
3.22	แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 320 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)	43
3.23	แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 340 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)	44
3.24	แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 380 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)	45
3.25	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเซนนิธในเดือนต่างๆในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)	47
3.26	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิธต่างๆ ในเดือนมกราคม	49
3.27	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิธต่างๆ ในเดือนกุมภาพันธ์	50
3.28	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิธต่างๆ ในเดือนมีนาคม.....	51
3.29	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิธต่างๆ ในเดือนเมษายน	52
3.30	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิธต่างๆ ในเดือนพฤษภาคม	53
3.31	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิธต่างๆ ในเดือนมิถุนายน.....	54
3.32	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิธต่างๆ ในเดือนกรกฎาคม.....	55

รูปที่		หน้า
3.33	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนิธต่างๆ ในเดือน สิงหาคม	56
3.34	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนิธต่างๆ ในเดือน กันยายน	57
3.35	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนิธต่างๆ ในเดือน ตุลาคม.....	58
3.36	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนิธต่างๆ ในเดือน พฤศจิกายน	59
3.37	แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนิธต่างๆ ในเดือน ธันวาคม	60
3.38	แสดงลักษณะเมฆปกคลุมแบบต่างๆ เวลา 12.00 น.	61
3.39	แสดงลักษณะของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามลักษณะท้องฟ้าที่ สอดคล้องกับสภาพท้องฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.37	62
3.40	แสดงการแปรค่าของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่โอโซนต่างกัน	63
3.41	แสดงการแปรค่าระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเมื่อค่าโอโซน เพิ่มขึ้นที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่มุมเซนิธ 60 องศา	64
3.42	แสดงกราฟการแปรค่าความความชันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับ โอโซนที่ความยาวคลื่นต่างๆ	65
3.43	แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า normalize ความเข้มรังสีอัลตราไว- โอเล็ตต่อปริมาณโอโซนในสภาพท้องฟ้าทั่วไปในช่วงความยาว- คลื่น 300 nm และ 398 nm	67
3.44	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UVA) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ	69
3.45	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UVB) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ	70
3.46	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ	71

รูปที่		หน้า
3.47	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รายชั่วโมงเฉลี่ย ต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน [error bar หมายถึงค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD].....	73
3.48	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมงเฉลี่ย ต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน [error bar หมายถึงค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD].....	74
3.49	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน [error bar หมายถึงค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD].....	75
3.50	แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	77
3.51	แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	77
3.52	แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันเฉลี่ย ต่อเดือน	78
3.53	แสดงการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ	80
3.54	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ.....	81
3.55	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มี- ผลต่อผิวหนังมนุษย์(EUV)รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ	82
3.56	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย).....	83
3.57	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)	84
3.58	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มี- ผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย).....	85
3.59	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่ารังสีอัลตราไวโอเลตเอรายชั่วโมง ตลอดทั้งปี	86

รูปที่		หน้า
3.60	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตปีรายชั่วโมง ตลอดทั้งปี.....	87
3.61	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิว- หนังมนุษย์รายชั่วโมงตลอดทั้งปี	87
3.62	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UVA) รายชั่วโมงตลอดทั้งปี (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)	87
3.63	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UVB) รายชั่วโมงตลอดทั้งปี (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)	88
3.64	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มี- ผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมงตลอดทั้งปี (ช่วงเช้าและ ช่วงบ่าย)	88
A1.1	แสดงหลอดมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องวัด spectroradiometer Bentham DMc150	101
A1.2	แสดงแหล่งจ่ายไฟ 705 p.s.u. สำหรับควบคุมหลอดมาตรฐาน CL7	102
A1.3	แสดงการต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายเข้ากับหลอดมาตรฐาน	102
A1.4	แสดงการยึดหลอดมาตรฐานเข้ากับหัวรับรังสี	102
A1.5	แสดงแผงหน้าปัดของแหล่งจ่ายไฟ 705 p.s.u.	103
A1.6	แสดงกราฟค่าสัญญาณไฟฟ้าจากการวัดสเปกตรัมของหลอดมาตรฐาน ..	103
A1.7	แสดงตัวอย่างการสอบเทียบเครื่อง spectroradiometer ที่สถานีวัด มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม	104
A2.1	แสดงตัวอย่างสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนวณจาก UVSPEC.....	111
A3.1	แสดงการติดตั้งโปรแกรม BenWin+	113
A3.2	แสดงการ initialising Monochromator ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อเครื่อง คอมพิวเตอร์กับ spectroradiometer	114
A3.3	การตั้งค่าจำนวนครั้งในการเก็บข้อมูลต่อ 1 ความยาวคลื่น.....	114
A3.4	แสดงเมนูที่ใช้สำหรับการวัดสเปกตรัม	115
A3.5	แสดงบานหน้าต่างกำหนดค่าตารางเวลา (Schedule) ในการวัดข้อมูล	118

สัญลักษณ์

C_λ	=	ค่าสัญญาณที่ได้มาจากการวัดในแต่ละความยาวคลื่น [nA]
E_λ	=	ค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัด [mW/m ²]
EUV	=	ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (Erythmal Ultraviolet Irradiance) [mW/m ²]
$f_2(\varepsilon, \varphi)$	=	ค่า Cosine correction [-]
I_λ	=	ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในแต่ละความยาวคลื่น [mW/m ² -nm]
$R_{E\lambda}, R_\lambda$	=	ฟังก์ชันการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ [-]
S_λ	=	sensitivity ของเครื่องวัดต่อรังสีอัลตราไวโอเลตในแต่ละความยาวคลื่น [nA/(mW/m ²)-nm]
UVA	=	ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA irradiance) [W/m ²]
UVB	=	ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB irradiance) [W/m ²]
V_λ	=	ค่าสัญญาณที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม [nA-nm]
$Y_{reading}(\varepsilon, \varphi)$	=	ค่าความเข้มรังสีจากการวัดที่แต่ละความยาวคลื่น [mW/m ² -nm]
$Y_{reading}(\varepsilon = 0^\circ, \varphi) \cos(\varepsilon)$	=	ค่าความเข้มรังสีจากการวัดในอุดมคติ [mW/m ² -nm]
ε	=	ค่ามุมตกกระทบ (เซนติ) [องศา]
λ	=	ความยาวคลื่น [nm]
φ	=	ค่ามุมอซิมุท [องศา]

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์เป็นรังสีในช่วงความยาวคลื่นสั้นระหว่าง 100-400 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานโฟตอนสูง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงคือรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (UVC, 100-280 nm) รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UVB, 280-320 nm) และรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UVA, 320 – 400 nm) โดยที่ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นโลกได้รับจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเนื่องจากผลของปริมาณโอโซนในบรรยากาศ แต่จากการลดลงของปริมาณโอโซนในบริเวณขั้วโลกใต้และขั้วโลกเหนือรวมถึงบริเวณอื่นๆ ในเขตศูนย์สูตรทำให้ปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นโลกมีค่าเพิ่มขึ้น รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์โดยจะเพิ่มความเสี่ยงในการก่อให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนังและการเสื่อมของภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลเสียกับระบบนิเวศทางทะเลอีกด้วย ดังนั้นโครงการสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (UNEP : UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME) จึงได้ออกมาตรการเพื่อหยุดยั้งการทำลายชั้นบรรยากาศโอโซนที่เรียกว่า Montreal Protocol ซึ่งประเทศไทยได้ร่วมลงนามด้วย ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวัดสูง เนื่องจากปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโอโซนและโมเลกุลอากาศจึงทำให้ปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มาถึงยังพื้นผิวโลกมีน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์อื่นๆ

สำหรับกรณีของประเทศไทยการศึกษาทางด้านความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในยังอยู่ในวงจำกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะทำการวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ด้วยเครื่อง spectroradiometer ข้อมูลความเข้มรังสีที่ได้จะสามารถนำไปวิเคราะห์ให้เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีได้ ซึ่งจะช่วยให้ทราบการแปรค่าเชิงสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในจังหวัดนครปฐม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. เพื่อศึกษาลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่จังหวัดนครปฐม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะมีขอบเขตอยู่กับการวัดและการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สถานีนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) ตั้งอยู่ที่อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

บทที่ 2

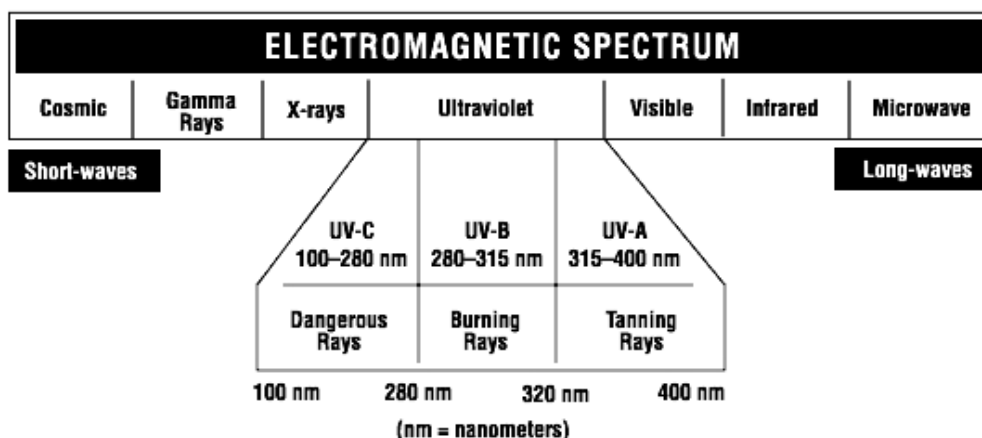
หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักทางวิชาการ

2.1.1 แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

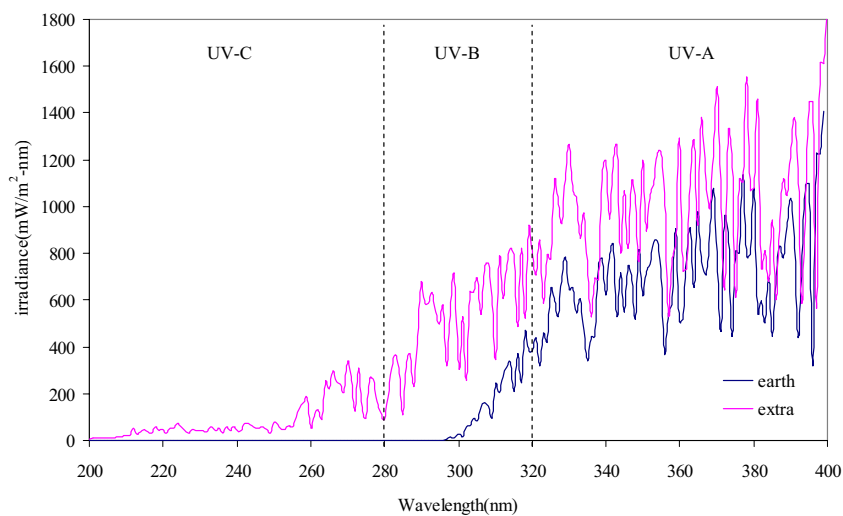
รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 100-400 nm ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งในธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยมีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติที่สำคัญที่สุด เป็นที่ทราบกันดีว่า ดวงอาทิตย์มีลักษณะคล้ายกับวัตถุดำ (blackbody) ที่สามารถแผ่สเปกตรัมของรังสีออกมาได้ โดยลักษณะของสเปกตรัมรังสีที่แผ่ออกมาจะขึ้นกับอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดซึ่งเป็นไปตามกฎของพลังค์ (Planck's law) ส่วนใหญ่รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์จะถูกปล่อยออกมาจากบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ (photosphere) ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 6000 K อย่างไรก็ตามรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นสั้นจะถูกปล่อยออกมาจากบริเวณอื่นๆ ของดวงอาทิตย์ เช่น รังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 300 nm จะมาจากบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์ (chromospheres, 4500-5000 K) และรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 50 nm จะมาจากบรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ที่เรียกว่าโคโรนา (Webb, 1998) เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถแบ่งสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้เป็น 3 ช่วง ตามผลทางชีววิทยา ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ได้แก่

- 1) UV-A มีความยาวคลื่นระหว่าง 315-400 nm
- 2) UV-B มีความยาวคลื่นระหว่าง 280-315 nm
- 3) UV-C มีความยาวคลื่นระหว่าง 100-280 nm



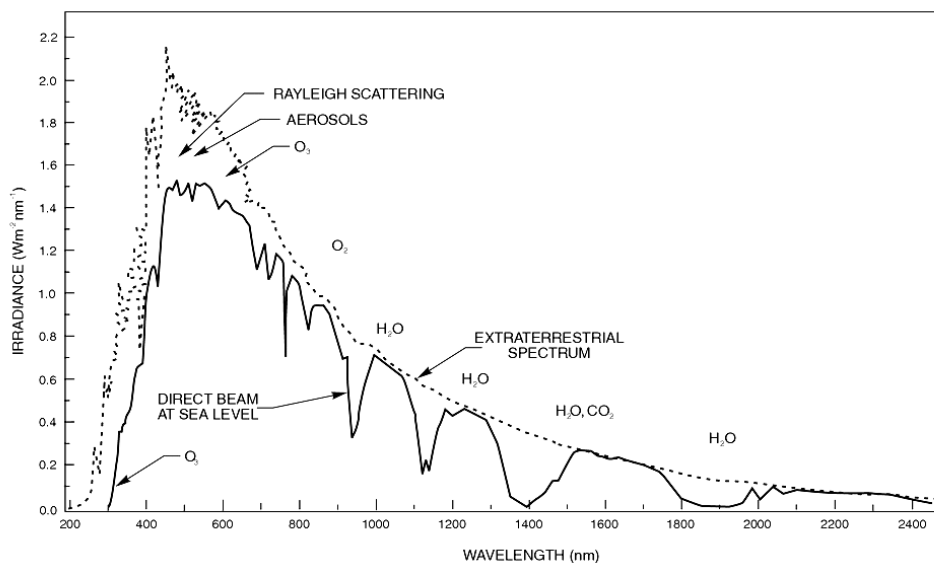
รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงต่างๆ

2.1.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านบรรยากาศโลก



รูปที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลกและรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านบรรยากาศโลก

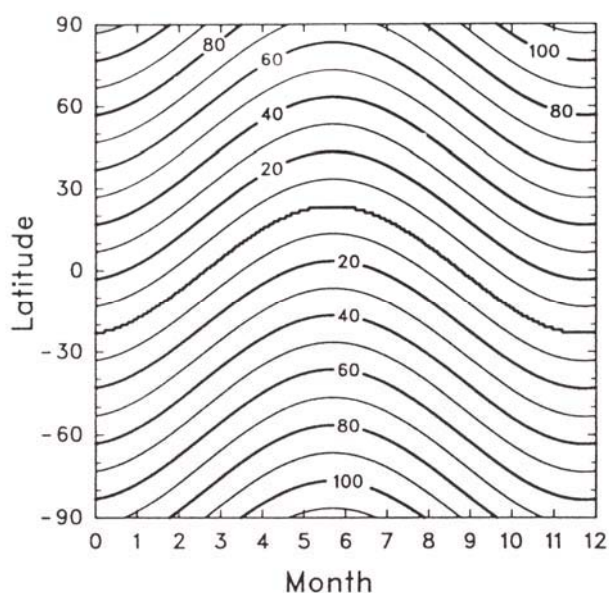
สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตประมาณ 9.3 เปอร์เซ็นต์ ของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ดังกล่าวเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศจะเกิดการดูดกลืน การสะท้อนและการกระเจิง ทั้งนี้ขึ้นกับความยาวคลื่นของรังสี ซึ่งเป็นสาเหตุให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกเปลี่ยนไปจากเดิม โดยที่รังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 85 nm จะถูกดูดกลืนโดยอะตอมของไฮโดรเจนและไนโตรเจน ส่วนรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 200 nm จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของออกซิเจนและไนโตรเจน (Iqbal, 1983) และการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 200-280 nm เกิดขึ้นจากโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการดูดกลืนรังสีเนื่องจากโมเลกุลต่างๆ และโอโซน (เส้นสีดำ)

ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่โลกได้รับจะแปรค่าตามเวลาในรอบวัน ลักษณะทางทางภูมิศาสตร์ องค์ประกอบของบรรยากาศ และการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงอีกด้วย (Blumthaler et al., 1996)

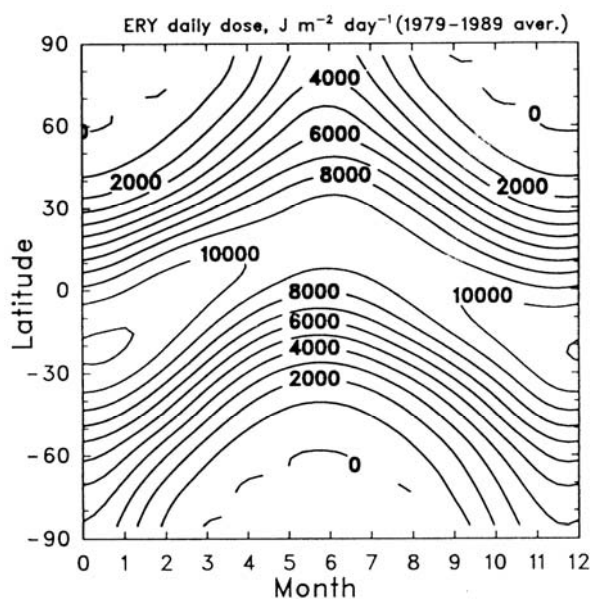
เนื่องจากการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ทำให้มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ณ ตำแหน่งต่างๆ มีค่าไม่เท่ากันและระยะทางที่รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมีผลโดยตรงต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกลงสู่พื้นผิวโลกซึ่งโดยทั่วไปแล้วระยะทางดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (solar zenith angle, θ_z) ซึ่งเป็นปริมาณที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าโดยมีค่าขึ้นกับเวลาและวันในรอบปี ละติจูด และลองจิจูด โดยที่เวลา 12.00 น. จะมีการแปรค่าของมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ในรอบปีแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



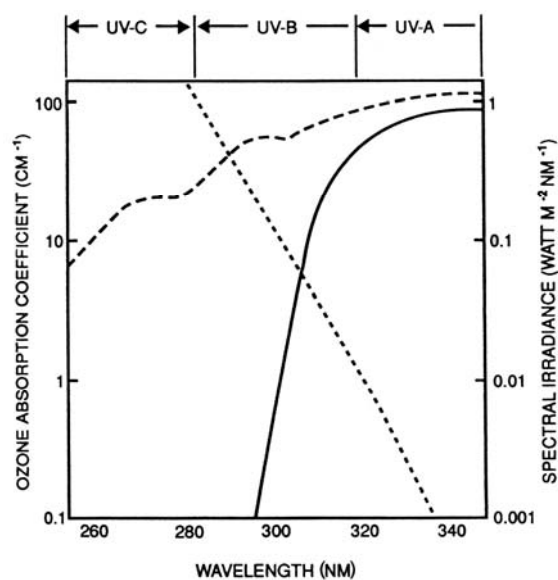
รูปที่ 2.4 แสดงค่ามุมเซนธิของดวงอาทิตย์ในหน่วยองศาที่เวลาเที่ยงวัน ณ ตำแหน่งละติจูดและเดือนต่างๆ (Tevini, 1993)

2.1.3 ผลของโอโซนต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลต

ที่ตำแหน่งละติจูดที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณโอโซนในบรรยากาศซึ่งโอโซนจะส่งผลต่อค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตจากนอกบรรยากาศโลกที่เข้ามายังโลกได้ถึง 90 % โดยความสามารถในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตของโอโซนจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลตโดยที่รังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าจะมีการดูดกลืนเนื่องจากโอโซนมากกว่า ดังแสดงในรูป 2.6 ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นสั้นมีการลดลงอย่างมากก่อนที่จะตกลงสู่พื้นผิวโลกโดยเฉพาะ UVC จะไม่สามารถผ่านบรรยากาศชั้นโอโซนตกลงมาสู่พื้นผิวโลกได้



รูปที่ 2.5 แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ละติจูดและฤดูกาลต่างๆ (Tevini, 1993)



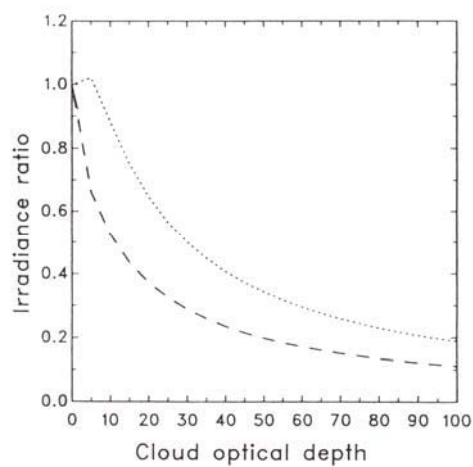
รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนเนื่องจากโอโซน(-----) สเปกตรัมรังสีนอกบรรยากาศโลก (- - - -) สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก(—)

2.1.4 ผลของฝุ่นละอองในบรรยากาศต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต

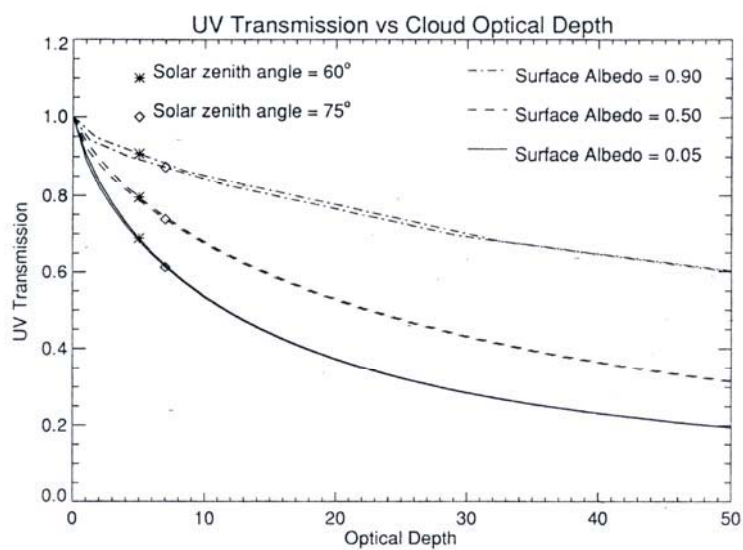
ฝุ่นละอองในบรรยากาศชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ มีผลต่อการลดลงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยเป็นตัวลดทอนรังสีตรงและเพิ่มปริมาณรังสีกระจาย พบว่าภายหลังจากที่เกิดการระเบิดของภูเขาไฟ Pinatubo ในปี ค.ศ. 1991 ทำให้ฝุ่นละอองลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ซึ่งฝุ่นละอองนี้กระจายออกสู่บรรยากาศโดยรอบทำให้ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด

2.1.5 ผลของเมฆต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เมฆเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกลงสู่พื้นผิวโลก เนื่องจากเมฆสามารถดูดกลืนและสะท้อนอัลตราไวโอเล็ตได้ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะแปรค่าตามชนิดและลักษณะของเมฆ โดยปริมาณของเมฆจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสถานที่ การบอกปริมาณและคุณสมบัติของเมฆสามารถทำได้โดยการสังเกตด้วยตาตรวจจับด้วยเรดาร์และจากการใช้ข้อมูลดาวเทียม โดยทั่วไป กรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั่วท้องฟ้า (Overcast) จะส่งผลให้ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตลดลง แต่ในกรณีที่ท้องฟ้ามีบางส่วนอาจทำให้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมที่รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบก่อนเมฆ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเมฆเกี่ยวกับความหนาและองค์ประกอบเชิงแสงของเมฆเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถวัดได้ทั่วไปทำให้การศึกษาผลกระทบของเมฆที่มีต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นไปได้ยากด้วยเช่นกัน ปริมาณใช้ที่บอกการดูดกลืนของเมฆจะเป็นค่า cloud optical depth ซึ่งสัมพันธ์กับค่าของสัดส่วนความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมต่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงอัตราส่วนของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกรณีมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าและกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ กับค่า cloud optical depth ที่มุม เซนติส 0 องศา(.....) และที่มุมเซนติส 70 องศา(-----)



รูปที่ 2. 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเลตกับ cloud optical depth (Lubin et al.,1994)

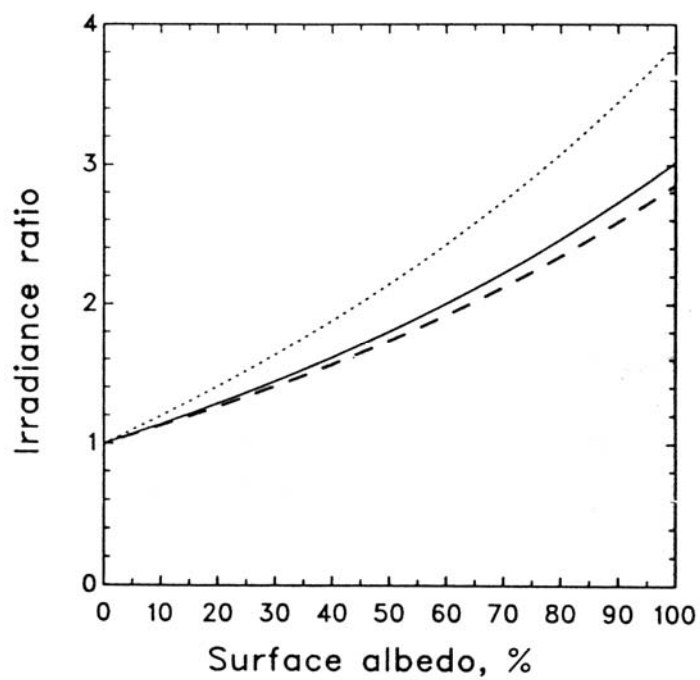
2.1.6 ผลของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ตัวแปรสำคัญอีกตัวหนึ่งในการพิจารณาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตคือสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกกับรังสีที่ตกกระทบที่พื้นผิวโลก โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพื้นผิวและความยาวคลื่นของรังสี โดยในบางพื้นที่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวมาก เช่น พื้นหิมะจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตประมาณ 0.02 ขณะที่ฤดูหนาวในบริเวณที่พื้นมีหิมะปกคลุมจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตประมาณ 0.6-1.0 โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกจะมีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นยาวกว่า ดังแสดงในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่าง (Webb, 1998)

ความยาวคลื่น (nm)	ดิน	หญ้า	คอนกรีต	ทราย	หิมะ
UV-B (<315)	0.044	0.017	0.098	0.152	0.630-0.762
UV-A (315-400)	0.065	0.019	0.131	0.203	0.656-0.790
Visible	0.158	0.089	0.236	0.324	0.687
IR	0.269	0.587	0.266	0.381	0.745

การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การสะท้อนของรังสีที่พื้นผิวโลกกับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกดังที่ได้แสดงในตารางที่ 2.1 นั้นสามารถเขียนแสดงได้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกและการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มุมเซนธิ์ 0 องศา (---) 70 องศา (.....) และที่มุมเซนธิ์ใด ๆ (—) (Tevini, 1993)

2.2 การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

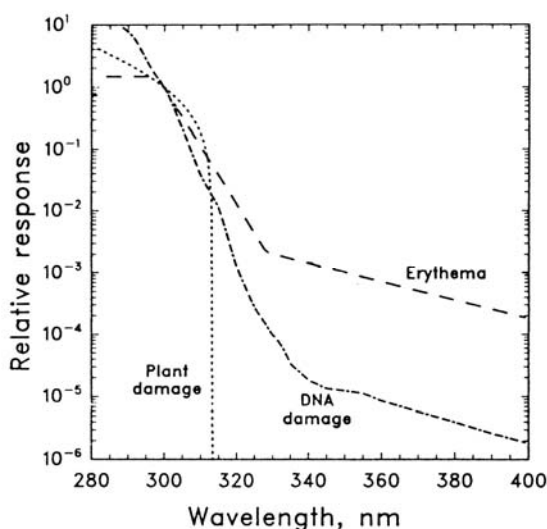
การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งได้ออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. การวัดโดยใช้หลักการทางชีววิทยา การวัดชนิดนี้ใช้ในงานด้านการแพทย์ โดยจะแสดงปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในรูปของการเกิดการไหม้ของผิวหนังหรือความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัส
2. การวัดโดยใช้หลักการทางเคมี การวัดชนิดนี้จะใช้สารเคมีซึ่งมีปฏิกิริยากับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเช่น ปฏิกิริยาระหว่าง methylene ใน acetate-oxalic acid โดยจะวัด dose ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากปริมาณของสารที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี
3. การวัดโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ การวัดโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับใช้ในการตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์อย่างเป็นประจำและต่อเนื่องเป็นระยะยาวอุปกรณ์ที่ใช้วัดมีหลายแบบเช่น การใช้ phototubes, photovoltaic cells, ionization chambers และ photographic films เป็นต้น

การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีความยุ่งยากมากกว่าการวัดรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านบรรยากาศลงมายังพื้นผิวโลกจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะแบ่งได้ 3 ประเภท คือ การวัดสเปกตรัม (Spectrometer) การวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband detector) และการวัดปริมาณรังสีที่ได้รับในพื้นที่สนใจในช่วงเวลาหนึ่งเวลาใด (dosimetry) เครื่องวัดสเปกตรัมจะเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระดับยาวคลื่น โดยทั่วไปเรียกว่า spectroradiometer ได้แก่ Brewer และ Bentham เป็นต้น สำหรับการตรวจวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้างจะใช้ broadband UV detector ได้แก่ Robertson-Berger sunburn meter, Biometer เป็นต้น ส่วนการวัด dosimetry เป็นการวัดพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นผิวที่สนใจในช่วงเวลาหนึ่งได้แก่ polysulphone film เป็นต้น

2.2.1 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อรังสีอัลตราไวโอเลต

ในสิ่งมีชีวิตต่างๆ จะมีการตอบสนองหรือได้รับผลจากรังสีอัลตราไวโอเลตแตกต่างกันโดยจะมีการแปรค่าตามความยาวคลื่นเช่น ผิวหนังมนุษย์ พืช และ DNA ลักษณะของการตอบสนองดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.10



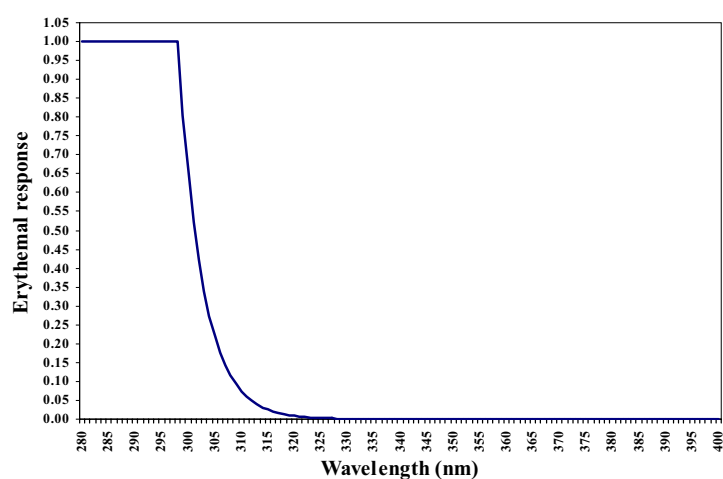
รูปที่ 2.10 แสดงสเปกตรัมการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตของพืช DNA และผิวหนัง (Madronich, 1993)

เมื่อผิวหนังมนุษย์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตในปริมาณมาก ผิวหนังจะแดงและมีอาการแสบร้อน หรือที่เรียกว่า ผิวหนังถูกแดดเผา (sun burn) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอาการผิวหนังแดงจะเกิด 1-5 ชั่วโมงหลังจากถูกแดดเผา โดยผลของรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นสั้นจะมีอันตรายต่อผิวหนังรุนแรงกว่าที่ในช่วงความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น การตอบสนองดังกล่าวเรียกว่า erythema response โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่คำนึงถึงผลของการตอบสนองของผิวหนังแล้วจะเรียกว่า erythema ultraviolet radiation หรือ EUV ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (Dubrovsky, 2000)

$$I_{EUV} = \int R_{E\lambda} I_{\lambda} d\lambda \quad (2.1)$$

- เมื่อ I_{EUV} = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
 I_{λ} = สเปกตรัมของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลก
 $R_{E\lambda}$ = ฟังก์ชันการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์
 λ = ความยาวคลื่น

International Commission of Illumination (Centre International of Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานของ $R_{E\lambda}$ ไว้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงกราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (CIE, 1987)

กราฟในรูปที่ 2.10 สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ (McKinlay and Diffy, 1987)

$$R_{E\lambda} = \begin{cases} 1.0 & ; \lambda < 298 \text{ nm} \\ 10^{[0.094(298-\lambda)]} & ; 298 < \lambda \leq 328 \\ 10^{[0.015(139-\lambda)]} & ; 328 < \lambda \leq 400 \end{cases} \quad (2.2)$$

เมื่อ $R_{E\lambda}$ = ฟังก์ชันการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์
 λ = ความยาวคลื่น

จากสมการที่ 2.2 ปริมาณ EUV สามารถคำนวณได้จากค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งค่าดังกล่าวจะสามารถหาได้จากการวัดหรืออาจได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองการแผ่รังสี (radiative transfer model) เครื่องมือที่สามารถวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ได้ เช่น UV-Biometer (solar light) ซึ่งจะมีราคาถูกมากกว่าการใช้เครื่องวัดสเปกตรัม

2.2.2 ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดอาการผิวหนังถูกแดดเผาและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งผิวหนังซึ่งความรุนแรงของผลดังกล่าวจะขึ้นกับระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้นกับระดับความรุนแรงดังกล่าว องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) จึงได้แบ่งระดับความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์โดยใช้ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV index) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการบอกระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต (WHO, 2002)

ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต [-]	ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต (mW/m ²)	ระดับ	สี
0-2	0-50	Low	
3-5	50-125	Moderate	
6-7	125-175	High	
8-10	175-250	Very high	
มากกว่า 11	มากกว่า 250	Extreme	

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ferderick et al. (1993) ได้ทำการศึกษาสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ Ushuaia, Argentina ($54^{\circ}59'S$) ระหว่างเดือนกันยายน ค.ศ. 1990 จนถึงเดือนมีนาคม ค.ศ. 1991 ในช่วงที่มีการลดลงของปริมาณโอโซนที่บริเวณ Antarctica พบว่าที่ความยาวคลื่น 300 และ 310 nm นั้นมีค่าอยู่ในช่วงของค่าเฉลี่ยราย 10 ปี ของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยเฉพาะช่วงเดือนธันวาคมค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 306.5 nm นั้นมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยถึง 45% โดยที่ค่าความเข้มสูงสุดที่วัดได้ที่ Ushuaia นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ที่ละติจูดที่น้อยกว่า Ushuaia 20° ที่เวลา summer solstice

Piazena (1996) แห่ง Institute of Botanical and Pharmaceutical Biology ประเทศเยอรมัน ได้ทำการศึกษาผลของระดับความสูงต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่เทือกเขา Andes ประเทศชิลี โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบ Grasnich filter photometer ทำการวัด UV-A ในช่วงความยาวคลื่น 313-374 nm และ UV-B ในช่วงความยาวคลื่น 313-318 nm ที่ระดับความสูงต่างๆ จนถึงระดับความสูง 5,000 m จากผลการศึกษาพบว่า UV-B ที่ความเข้มเพิ่มขึ้น 8-10 % ต่อความสูง 1,000 m และสำหรับ UV-A มีความเข้มเพิ่มขึ้น 7-15 % ต่อความสูง 1,000 m

ในต้นปี ค.ศ. 1993 the Federal Office for Radiation Protection (BfS, Salzgitter) ร่วมกับ the Federal Environmental Office (UBA, Berlin) ได้จัดตั้งเครือข่ายการวัดรังสีอัลตราไวโอเลตขึ้นที่ Zingst, Offenbach, Schauinsland และ Neuherberg ในประเทศ Germany เครือข่ายการวัดดังกล่าวได้ใช้เครื่อง Bentham DM 150 double monochromator งานวิจัยของ Steinmetz (1997) ได้นำข้อมูลที่ได้จากการวัดที่สถานีเครือข่ายการวัดดังกล่าวมาทำการศึกษาค่าสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นระหว่าง 290-450 nm โดยวิเคราะห์ผลเป็นค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาจะสามารถทำให้ทราบถึงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ครอบคลุมพื้นที่ในประเทศ Germany ในเขตต่างๆ

ในปี 1994 Orce et al. (1997) ได้เข้าร่วมในโครงการ The UVR-PAR Argentinean Monitoring Network โดยทำการวัดค่ารังสีอัลตราไวโอเลตและรังสีที่พืชใช้สังเคราะห์แสงด้วย Spectroradiometer (GUV-511, Biospherical Instruments, Inc.) โดยในงานนี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือไว้ที่ศูนย์วิจัยที่ตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งละติจูดที่ห่างกันประมาณ 8-12 องศา เริ่มต้นตั้งแต่แถบ Subantarctic-Fueguian ไปจนถึง Tropic of Capricorn ทำให้เครื่องมือที่นำไปใช้วัดอยู่ในเขตที่มีสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินแสดงให้เห็นถึงการแปรค่าของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีการแปรค่าจากค่าในเขตใต้ศูนย์สูตรมาจนสูงที่เหนือเขตศูนย์สูตร

ในปี 1995 Seckmeyer et al. (1997) ได้รายงานการตรวจวัดค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้ในประเทศ Germany ในเขต 47.5°N , 11.1°E ซึ่งมีสถานีวัดสองสถานีติดกันคือ Garmisch-Partenkirchen และ Zugspitze โดยในช่วงเดือนมีนาคมและมิถุนายน สถานี Garmisch-Partenkirchen ตรวจวัดค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์สูงผิดปกติ ในงานวิจัยได้ทำการหาค่าความเข้มรายวันและทำการแจกแจงความถี่ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากทั้งสองสถานีวัดที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลต่างกัน พบว่าค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากสถานี Zugspitze จะมีค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์สูงกว่าสถานี Garmisch-Partenkirchen ประมาณ 25-90% ซึ่งในรายงานอธิบายถึงค่าของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่มากผิดปกตินั้นสาเหตุเกิดจากมุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบกับเมฆ หากพิจารณาถึงค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีการแปรค่ามาอย่างรวดเร็วจะมีอันตรายมากกว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระยะยาวเนื่องจากการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ไม่สามารถที่จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตอย่างรวดเร็วได้

Madronich et al. (1998) ได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีในระยะยาว โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ คือโอโซน เมฆและฝุ่นละออง โดยใช้ข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ทั้งการวัดภาคพื้นดินและดาวเทียมมาทำการศึกษา พบว่าค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์มีแนวโน้มมากขึ้นและในบางพื้นที่ของ Antarctica (64°S) มีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุดของความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้ ณ บริเวณละติจูดกลางที่ San Diego, CA, USA (32°N) ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ได้อธิบายถึงผลของโอโซนต่อความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตปี ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาผลกระทบของโอโซนต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทย

ในระหว่างปี 1995 ถึงปี 1996 Feister และ Gericke (1998) ได้ทำการศึกษา cloud flags ซึ่งเป็นค่าที่ใช้แสดงปริมาณของเมฆในขณะที่ทำการวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวัดสเปกตรัม Brewer spectroradiometer MKII และ MKIII ทำการวัดข้อมูลจากสถานีวัด Postdam, Germany จากข้อมูลการวัดสเปกตรัมทั้งหมด 16217 ข้อมูล พบว่ามี 807 สเปกตรัมหรือคิดเป็น 5% เป็นข้อมูลที่วัดในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ข้อมูลอีกจำนวน 15384 หรือ 95% เป็นข้อมูลจะวัดได้ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม โดยข้อมูลที่ได้จะนำมาหาค่า direct/diffuse ratio ซึ่งทำให้สามารถบอกสภาพท้องฟ้าแบบปราศจากเมฆหรือมีเมฆปกคลุมได้

ในระหว่างปี 1991-1996 Kevin Robert Gurney (1998) ได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากข้อมูลการวัดที่ Point Barrow, Alaska (71.2°N , 159°W) โดยทำการวัดความเข้ม

สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต 18 สเปกตรัมในช่วง 290 – 320 nm แล้วทำการพิจารณาแนวโน้มในระยะยาวพบว่าที่ความยาวคลื่น 305 nm มีการเพิ่มขึ้น 3-10 % ต่อปี และพบว่าการลดลงอย่างต่อเนื่องของปริมาณโอโซนที่บริเวณนี้ส่งผลให้ค่าความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 305 nm มีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจากงานวิจัยนี้สามารถที่จะอธิบายได้ว่าโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโทรสเฟียร์มีผลต่อการดูดกลืนปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตคลื่นสั้นในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีโดยเฉพาะที่ความยาวคลื่น 305 nm

Zerefos และคณะ (1998) จาก Laboratory of Atmospheric Physics, Aristotle University of Thessaloniki ประเทศกรีซ ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตระยะยาว ที่เมือง Thessaloniki โดยใช้ข้อมูล spectral UV-B ซึ่งวัดโดยเครื่องวัด Brewer spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 305 และ 325 nm ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มรังสีUV-B ที่ความยาวคลื่น 305 nm เพิ่มขึ้น 10 % ในระยะเวลา 10 ปี ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโอโซน

Lovengreen et al. (1999) ได้ทำการวิเคราะห์การแปรค่าในรอบวันและรายปีของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ Valdivia, Chile (39.8°S) ตั้งแต่ มกราคม 1995 จนถึง มีนาคม 1999 จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณ Erythemat dose rate และ daily dose ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนมกราคมและกรกฎาคมมีการแปรค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน $20 \mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ และข้อมูล Erythemat daily dose มีค่าอยู่ระหว่าง 300 ถึง 6000 Jm^{-2} และจากการวิเคราะห์ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงโอโซนและเมฆในงานวิจัยนี้พบว่าส่งผลให้ค่าความเข้มรายวันของ UVB เปลี่ยนแปลงได้ถึง 77%

Kikas et al. (2001) ได้ทำการศึกษาผลของฝุ่นละอองที่ระดับพื้นดินที่มีผลต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในระหว่างมิถุนายน ถึง สิงหาคม ปี 1999 ที่ Pärnu, Estonia โดยทำการวัดปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม PC1000 ของบริษัท Ocean Optics Inc. และทำการวัดขนาดของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง EAS (electric aerosol spectrometer) จากนั้นได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับฝุ่นละอองในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่น 300-400 nm มีการกระเจิงได้ดีกับฝุ่นละอองขนาดเล็กผ่านศูนย์กลาง 100-560 nm

Palanca และ Toselli (2002) ได้ทำการศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ด้วยเครื่องวัด YES UVB-1 โดยทำการศึกษาในเขตชุมชนเมืองที่ Córdoba ประเทศ Argentina ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน ปี 1998 ถึงเดือนธันวาคม ปี 1999 ในงานวิจัยได้ศึกษาถึงการแปรค่าในรอบวันและรายปีพบว่าค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่วัดได้ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณเนื่องจากมลภาวะในบรรยากาศ ตัวแปรทางฟิสิกส์

และ ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ โดยพบว่าในเขตนี้ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีผลต่อการลดลงของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตถึง 40% ในขณะที่โอโซนและโมเลกุล SO_2 มีผลต่อการดูดกลืนความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์น้อยกว่า

ในปี 2002 Harrison และ Young (2002) แห่ง Department of Environmental Dermatology, King's College London ประเทศอังกฤษ ได้ทำการศึกษาผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ โดยการศึกษารังสี UVB ซึ่งพิจารณาจาก minimal erythema dose (MED) ที่มีผลต่อผิวหนัง 4 ชนิด ผลที่ได้พบว่าค่า MED ไม่สามารถที่จะนำมาใช้อธิบายการเกิดรอยไหม้แดงในแต่ละชนิดของผิวหนังชัดเจน จึงได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ standard erythema dose (SED) ซึ่งผลที่ได้พบว่าค่า SED สามารถที่จะอธิบายการเกิดอาการรอยไหม้แดงในแต่ละชนิดของผิวหนังได้ดีกว่า

Lam et al.(2002) ได้ศึกษาการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของโอโซน ที่ Hong Kong ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม Brewer MKIII #115 ในระหว่างปี ค.ศ. 1995 – 2001 พบว่าปริมาณความเข้มรังสี UVB มีการแปรค่าจากความเข้มต่ำสุดที่เดือนมกราคมไปถึงสูงสุดที่เดือนพฤษภาคมโดยที่มุมของดวงอาทิตย์ (SZA) โอโซน และ เมฆ เป็นตัวควบคุมปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามช่วงเวลาดังกล่าว จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสี UVB กับปริมาณโอโซนในวันที่สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ $\text{SZA} = 45$ องศา มีความสัมพันธ์กันดังนี้ คือเมื่อปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้น 1% จะทำให้ปริมาณความเข้มรังสี UVB ลดลง 1%

Casiccia et al. (2003) ได้ทำการตรวจวัดปริมาณโอโซนและรัง UVB ที่ Punta Arenas ประเทศ Chile ที่วัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม Brewer MK-IV ในช่วงเวลาที่มีการขยายพื้นที่ของ Antarctic Ozone Hole โดยครอบคลุมพื้นที่ 28.3 km^2 ระหว่างเดือนสิงหาคม – ตุลาคม ปี ค.ศ. 2000 พบว่าในบางช่วงมีปริมาณโอโซนซึ่งต่ำกว่าค่าขีดต่ำสุดของปริมาณโอโซนที่ 220 DU ที่นิยามว่าเป็น Ozone Hole จากผลของการวิเคราะห์พบว่าในบางช่วงเวลามีปริมาณโอโซนลดลงเหลือเพียง 170 DU หรือคิดเป็น 49% จากค่าเฉลี่ยของปริมาณโอโซนในเดือนตุลาคมที่เขตนี้ ซึ่งผลจากการลดลงของปริมาณโอโซนนี้ทำให้ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 100% และบางช่วงของสเปกตรัมรังสี UVB จะมีความเข้มเพิ่มขึ้นถึง 1000% จากค่าความเข้ม UVB ในวันที่โอโซนมีค่าอยู่ในช่วงปกติ

ในปี 2004 Adam และ Shazly (2007) ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากเมฆต่อการลดลงของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่ Qena ประเทศ Egypt ทำได้โดยใช้ข้อมูลรายชั่วโมงจากการวัดด้วยเครื่อง UVB-1 ของบริษัท Yankee Environmental Systems Inc. ระหว่างปี ค.ศ. 2004-2005 มาทำการวิเคราะห์ผลของการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากปริมาณเมฆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งปริมาณของเมฆออกเป็น 8 ระดับด้วย cloud modification factor (CMF) ผลที่ได้พบว่าเมฆสามารถ

ดูกลืนความเข้มรังสี UVB ได้เป็นอย่างดี โดยที่เมื่อมีปริมาณเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้าจะทำให้ความเข้มของ UVB ลดลงได้ถึง 83%

Guarnieri et al. (2004) ได้ทำการศึกษา anticorrelations ระหว่างโอโซนและรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ Southern Space Observatory, Brasil โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต Eko model MS-210W ร่วมกับ Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) ที่วัดในช่วงเดือน กรกฎาคม ค.ศ. 1999 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2001 ที่ค่ามุมเซนติเดียนในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยทำการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับปริมาณโอโซนซึ่งพบว่าเมื่อโอโซนมีปริมาณเพิ่มขึ้นค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีความเข้มลดน้อยลง

Stick et al. (2006) ได้ทำการศึกษาถึงค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีค่าสูงผิดปกติที่ตรวจวัดพบที่บริเวณตอนกลางของยุโรป โดยในเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 2005 ที่บริเวณตอนกลางในประเทศเยอรมนีพบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์สูงกว่าค่าเฉลี่ยกว่า 20% ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโอโซนที่ลดลงอย่างผิดปกติในขณะที่มุมเงยของดวงอาทิตย์มีค่ามากในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยได้เคยมีการพบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่มีค่าสูงเช่นเดียวกันนี้ในเดือนพฤษภาคมปี ค.ศ. 1994 ซึ่งเหตุการณ์เช่นนี้เรียกว่า “ozone mini-hole” ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าว

Gutiérrez-Marco et al. (2007) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ Iberian Peninsula ที่วัดด้วยเครื่อง spectroradiometer Brewer MKIV และ broadband YES UVB-1 ระยะยาวตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996 - 2002 จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับรังสีในช่วงที่ตามองเห็นในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ผลที่ได้พบว่าค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนวณด้วยค่ารังสีที่ตามองเห็นในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆมีความสัมพันธ์กับค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้เป็นอย่างดี

สำหรับการศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยได้มีการติดตั้งเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมที่อาคารวิทยาศาสตร์ 3 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ในปี ค.ศ. 1991 และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1992 (ทิพวรรณ สุธา, 1992) ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 (สมามลย์ บันเทิง, 2000) โดยได้ทำการวิเคราะห์การแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมรายวันและรายปี

ในปี ค.ศ. 2003-2004 สัมฤทธิ์ สุทธิประภา (2004) ได้ทำการพัฒนาวิธีการทำนายความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องวัด Brewer Spectrophotometer ที่สถานีกรุงเทพฯ และ สงขลา

ในปี ค.ศ. 2006 กิรติ เกิดศิริ ได้ทำการศึกษาลักษณะทางสถิติและแบบจำลองของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในประเทศไทยด้วยข้อมูลจากเครื่อง Biometer 501-A ของบริษัท Solar light จำนวน 5 ปี (2001 – 2005) จากสถานีวัด 4 แห่งในประเทศไทย คือ สถานีอุตุนิคมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่, อุบลราชธานี, สงขลา และสถานีวัดความเข้มรังสีอาคารวิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การแปรค่ารายวัน รายปี และนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับข้อมูลรังสีรวม(Global irradiation) ในสภาพที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและมีเมฆปกคลุม จากความสัมพันธ์ที่ได้เมื่อนำไปใช้งานจะมี Root Mean Square Difference (RMSD) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและมีเมฆเท่ากับ 15.4% และ 20.3% ตามลำดับ

จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดที่ผ่านมาจะเห็นว่าในประเทศไทยมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตค่อนข้างน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้เสนอที่จะทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยเครื่อง Spectrophotometer ของบริษัท Bentham model DMc150

บทที่ 3

วิธีการวิจัยและผล

การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มี การตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นสั้นระหว่าง 280 – 400 nm การวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถทำได้ด้วยเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบสเปกตรัม เครื่องมือดังกล่าวจะให้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แม่นยำและสามารถที่นำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้ ในขั้นแรกผู้วิจัยได้ ทำการศึกษาคุณสมบัติของเครื่องมือโดยละเอียด จากนั้นได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสี อัลตราไวโอเล็ตที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม โดยมีรายละเอียดต่างๆ ตามหัวข้อดังนี้

3.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้ง spectroradiometer ยี่ห้อ Bentham รุ่น DMC150 ที่ ดาดฟ้าชั้น 10 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) (รูปที่ 3.1) โดยทำการวัดตั้งแต่ วันที่ 11 สิงหาคม 2007 เครื่องมือดังกล่าวมีหัวรับรังสี ซึ่งจะติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าชั้น 10 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 โดยแสงที่ตกกระทบหัวรับรังสีนั้นจะเดินทางผ่านใย แก้วนำแสงมาเครื่องแยกความยาวคลื่น (monocromator) และวัดจำนวนโฟตอนด้วย PMT (Photo Multiplier Tube) ที่อยู่ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งจะมีระบบควบคุมและเก็บข้อมูลลงในเครื่อง คอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม BenWin+ ที่พัฒนาโปรแกรมโดยบริษัท Bentham ดังแสดงใน รูปที่ 3.2



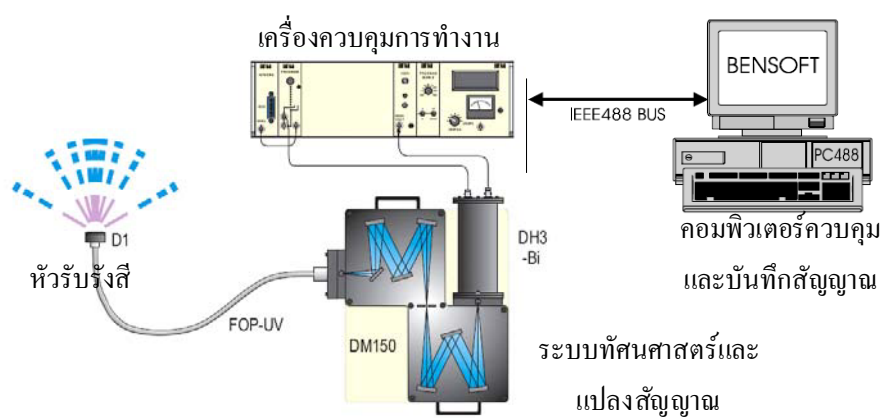
รูปที่ 3.1 แสดงหัวรับรังสีของ spectroradiometer ที่ติดตั้งอยู่บนดาดฟ้า อาคารวิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



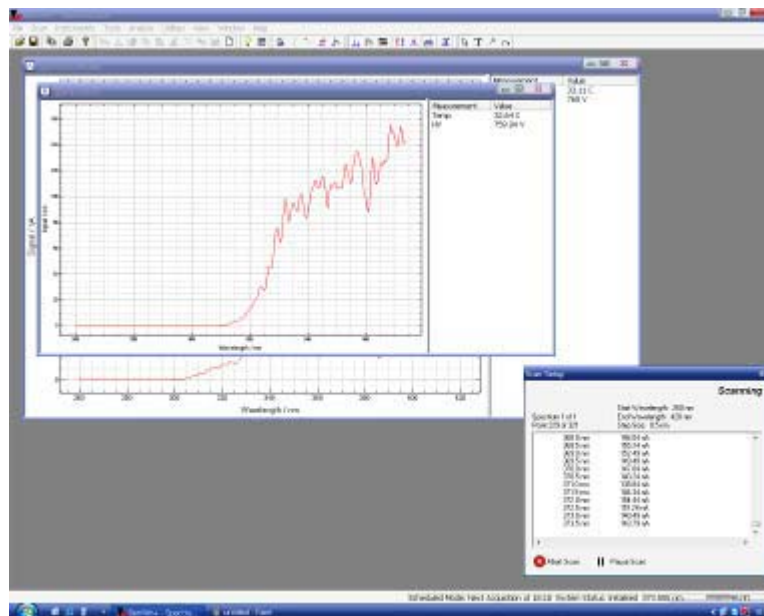
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่อง spectroradiometer ซึ่งตั้งอยู่ที่ห้องเครื่องมือได้คาดฟ้าชั้น 10 อาคาร
วิทยาศาสตร์ 1



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมและบันทึกข้อมูลของเครื่อง spectroradiometer



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการทำงานของเครื่อง spectroradiometer (Bentham, DMc150)



รูปที่ 3.5 แสดงหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม BenWin+ สำหรับควบคุมเครื่อง spectroradiometer

ผู้วิจัยจึงทำการตั้งค่าโปรแกรม BenWin+ ให้ทำการวัดทุก 10 นาที่ โดยที่เครื่องวัดสเปกตรัมจะใช้เวลาประมาณ 2 นาทีต่อการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต 1 ครั้ง โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นสัญญาณนับทางไฟฟ้าในแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งในการแปลผลจะต้องแปลงสัญญาณการวัดที่ได้มาให้อยู่ในรูปของพลังงานโดยใช้สมการ

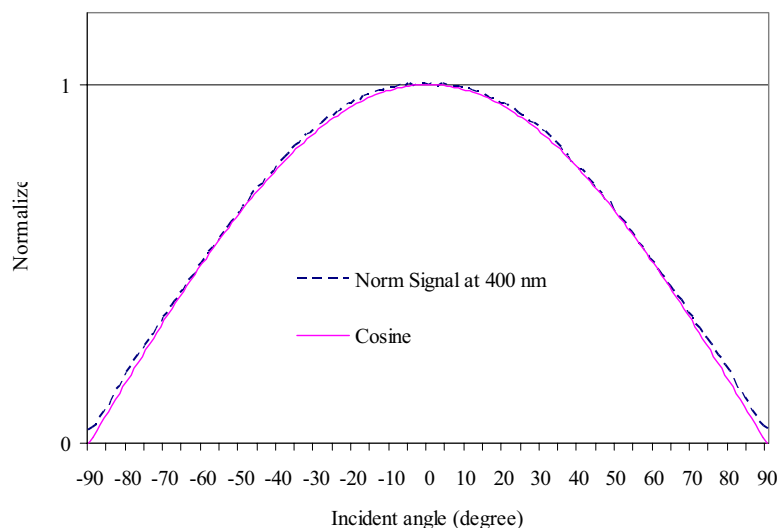
$$I_{\lambda} = \frac{C_{\lambda}}{S_{\lambda}} \quad (3.1)$$

I_{λ} = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแต่ละความยาวคลื่น[mW/m²-nm]

C_{λ} = ค่าสัญญาณที่ได้มาจากการวัดในแต่ละความยาวคลื่น[nA]

S_{λ} = sensitivity ของเครื่องวัดต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแต่ละความยาวคลื่น
[nA/(mW/m²)-nm]

เมื่อทำการแปลงค่าให้อยู่ในรูปความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการปรับแก้ผลของมุมตกกระทบรังสีดวงอาทิตย์ของหัววัดโดยใช้ cosine correction ที่ได้มาจากการคำนวณค่า normalize ของรังสีความยาวคลื่น 400 nm กับค่า cosine ที่ได้มาจากระบบที่แสดงในรูปที่ 3.6 โดยเมื่อทำการคำนวณตามสมการที่ 3.2 จะได้ค่า cosin correction เป็นไปตามรูปที่ 3.7



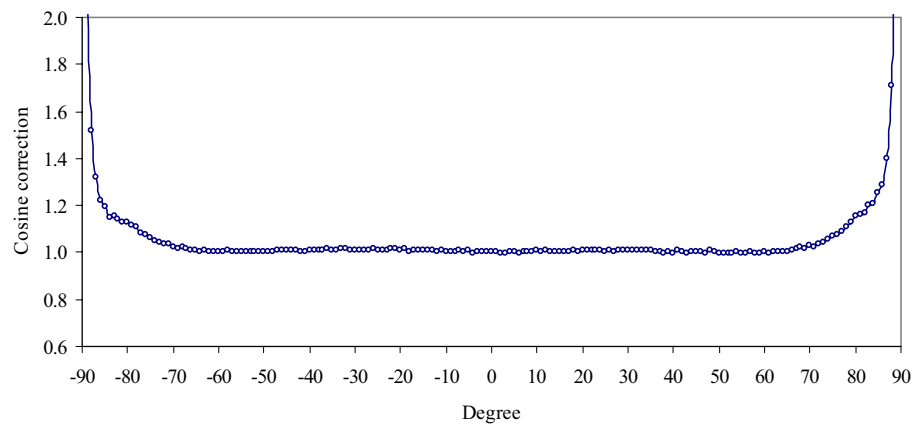
รูปที่ 3.6 แสดงค่า Normalize ของสัญญาณที่ความยาวคลื่น 400 nm กับค่า cosine

$$f_2(\varepsilon, \varphi) = \left[\frac{Y_{reading}(\varepsilon, \varphi)}{Y_{reading}(\varepsilon = 0^\circ, \varphi) \cos(\varepsilon)} - 1 \right] \times 100\% \quad (3.2)$$

โดยที่

$f_2(\varepsilon, \varphi)$	คือ	ค่า Cosine correction
$Y_{reading}(\varepsilon, \varphi)$	คือ	ค่าจากการวัดที่แต่ละความยาวคลื่น
$Y_{reading}(\varepsilon = 0^\circ, \varphi) \cos(\varepsilon)$	คือ	ค่าจากการวัดในอุดมคติ
φ	คือ	ค่ามุมอิมพิท
ε	คือ	ค่ามุมตกกระทบ(เซนติ)

จากสมการที่ 3.2 จะได้ค่า cosine correction factor ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงค่า cosine correction factor ที่ได้มาจากการคำนวณด้วยสมการ 3.2

โดยที่ใช้ค่าจากการวัดจริงกับสมการที่ 3.2 จะได้ค่าการวัดที่ได้แก้ไข cosine แล้วเป็นดังสมการที่ 3.3

$$Y_{reading}(\varepsilon = 0^\circ, \varphi) \cos(\varepsilon) = \left[\frac{Y_{reading}(\varepsilon, \varphi)}{\left(\frac{f_2(\varepsilon, \varphi)}{100} \right) + 1} \right] \quad (3.3)$$

ซึ่งค่า cosine correction factor นี้จะนำไปใช้แปลงข้อมูลการวัดทั้งหมด

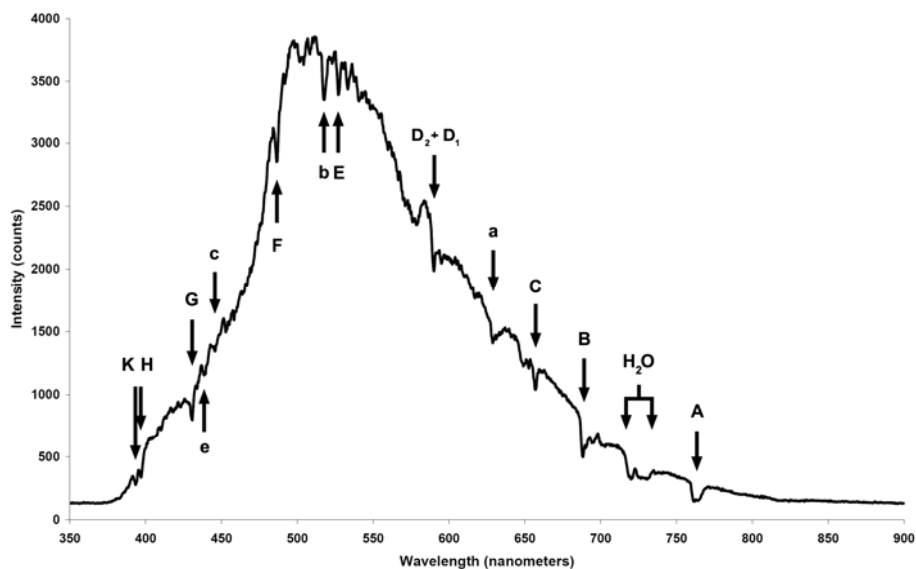
3.2 การสอบเทียบเครื่อง spectroradiometer

ในการวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจำเป็นต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือ (calibration) เพื่อให้เครื่องมือทำงานได้อย่างถูกต้องและมีมาตรฐาน สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดความเข้มแบบสเปกตรัมนั้นมีขั้นตอนที่สำคัญได้แก่ การสอบเทียบความแม่นยำในการวัดความยาวคลื่น (Wavelength alignment) และการสอบเทียบความถูกต้องในการวัดสัญญาณ (Spectral responsivity calibration)

โดยในส่วนของการสอบเทียบความแม่นยำในการวัดความยาวคลื่นนั้นสามารถทำได้โดยใช้หลอดมาตรฐานสำหรับสอบเทียบที่ให้สเปกตรัมเป็นเส้นที่แน่นอน เช่น หลอดปรอท ซึ่งมีสเปกตรัมเป็นแบบเส้น (line spectrum) ที่ความยาวคลื่น (253.652, 289.360, 296.728, 334.148, 404.656, 435.833 nm) โดยทำการปรับสัญญาณสเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมมีความยาวคลื่นให้ตรงกับสเปกตรัมของหลอดปรอท และอีกวิธีหนึ่งคือการนำสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดนำไปเปรียบเทียบกับสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์ของรังสีดวงอาทิตย์ (Sun's Fraunhofer spectrum) ซึ่งเป็นเส้นสเปกตรัมที่ทราบการดูดกลืนที่แน่นอน การสอบเทียบทำได้โดยทำการปรับค่าสเปกตรัมที่วัดได้ให้ตรงกับสเปกตรัมการดูดกลืนของสเปกตรัมฟรอนโฮเฟอร์

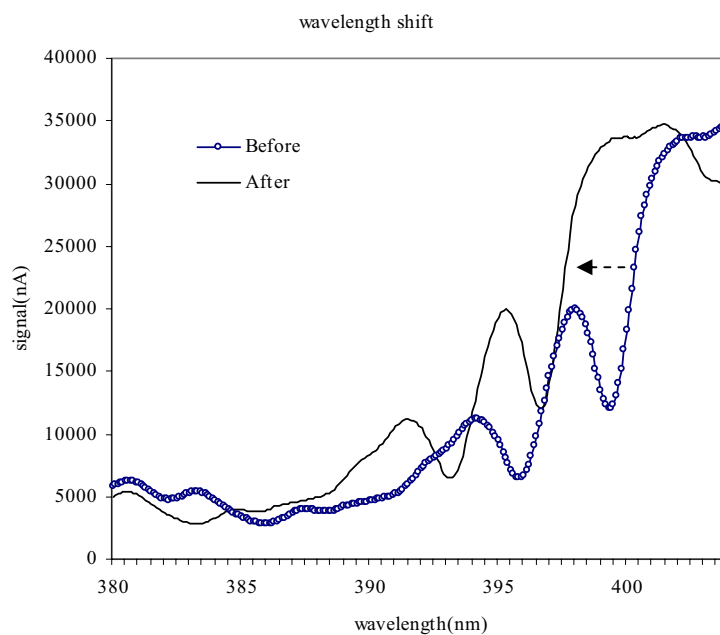
ตารางที่ 3.1 แสดงสเปกตรัมที่มีการดูดกลืนสูงในช่วงของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Fraunhofer spectrum)

Wavelength (nm)	Designation	Element
430.79	G	Fe
430.774	G	Ca
410.175	H	H δ
396.847	H	Ca ⁺
393.368	K	Ca ⁺
382.044	L	Fe
358.121	N	Fe
336.112	P	Ti ⁺



รูปที่ 3.8 แสดงฟลูออโรสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์

ตัวอย่างการปรับแก้ค่าสัญญาณสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 380 – 400 nm แสดงในรูปที่ 3.9 ทั้งนี้ในการตรวจสอบความแม่นยำของการวัดความยาวคลื่นนั้นควรกระทำอย่างเป็นประจำเพื่อให้ได้การวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 3.9 แสดงความยาวคลื่นของสัญญาณที่ได้จาก spectroradiometer ก่อนและหลังการปรับความยาวคลื่น

ในส่วนของการสอบเทียบความแม่นยำในการวัดสัญญาณของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบบสเปกตรัมนั้น ผู้วิจัยจะใช้หลอดมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงคงที่ จากนั้นจะทำการวัดปริมาณแสงของหลอดสอบเทียบดังกล่าวด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมแล้วนำค่าสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม (V_λ) ซึ่งจะเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ไปทำการแปลงให้เป็น Sensitivity (R_λ) ด้วยสเปกตรัมมาตรฐานของหลอดสอบเทียบที่ได้มาจากบริษัท (S_λ) โดยใช้สมการที่ 3.4

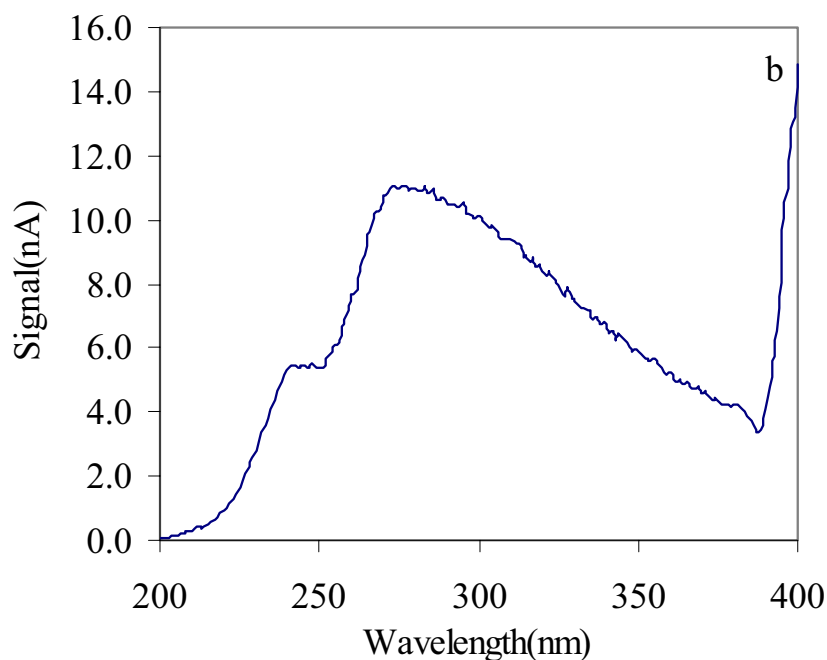
$$R_\lambda = \frac{V_\lambda}{S_\lambda} \quad (3.4)$$

โดยที่ S_λ คือค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตมาตรฐานของหลอดสอบเทียบ

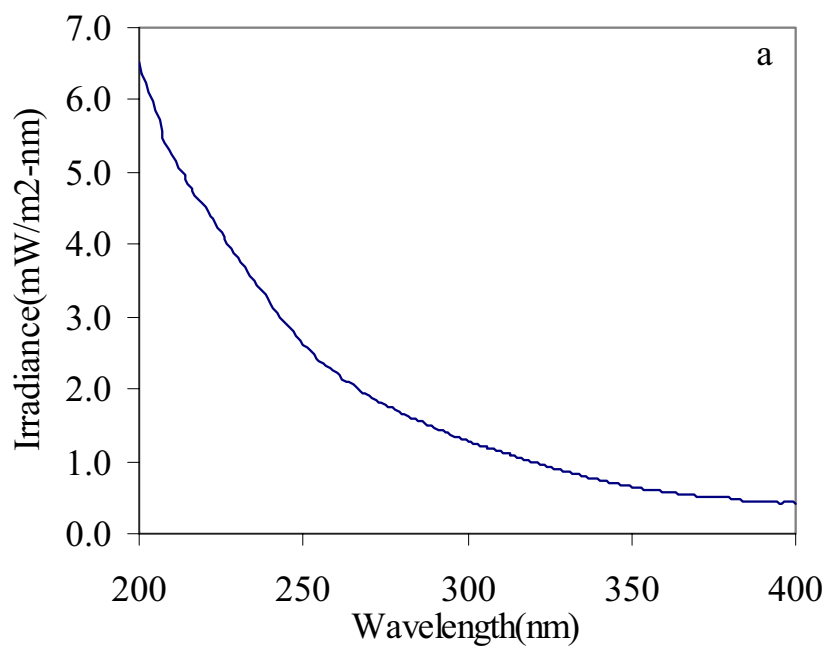
V_λ คือค่าสัญญาณที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม

R_λ คือค่า Sensitivity ของเครื่องวัดสเปกตรัม

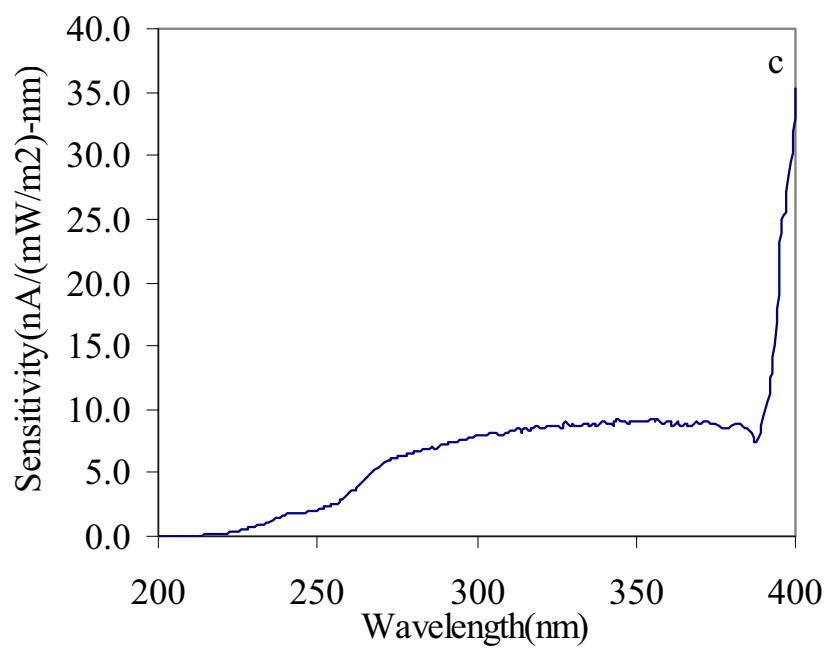
สำหรับ V_λ , S_λ และ R_λ ที่ได้ แสดงดังรูปที่ 3.10, 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 แสดงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดหลอดมาตรฐาน (V_λ)



รูปที่ 3.11 แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตของหลอดมาตรฐาน (S_λ)



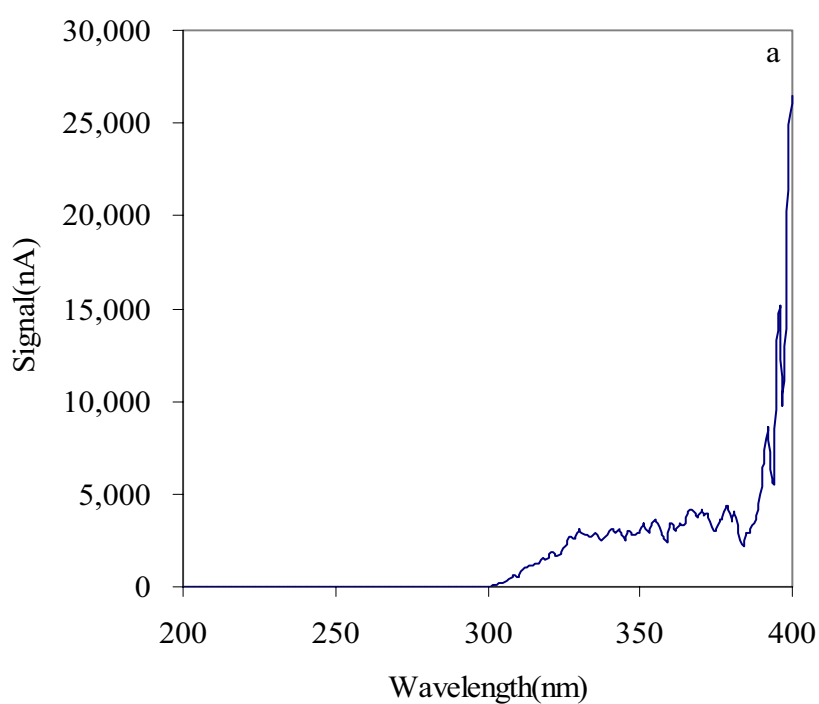
รูปที่ 3.12 แสดงค่า sensitivity (R_λ) ของเครื่อง spectroradiometer ที่ได้จากการใช้สมการที่ 3.4

ผู้วิจัยจะใช้ค่า sensitivity ดังกล่าวมาใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดให้เป็นค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้วิธีการตามสมการที่ 3.5

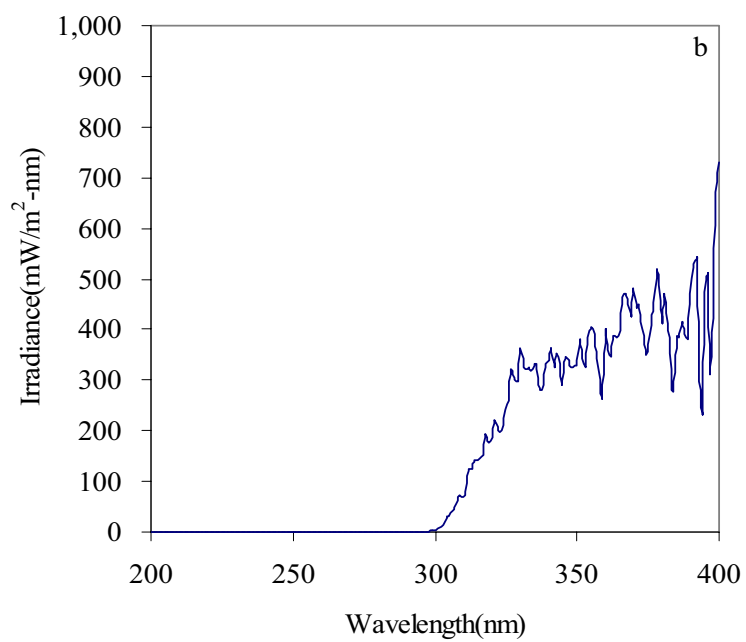
$$E_\lambda = \frac{V_\lambda}{R_\lambda} \quad (3.5)$$

โดยที่ E_λ คือค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัด
 V_λ คือค่าสัญญาณที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัม
 R_λ คือค่า sensitivity ของเครื่องวัดสเปกตรัม

ตัวอย่างค่าสัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องวัดสเปกตรัมที่แสดงในรูปที่ 3.13 มาทำการแปลงสัญญาณดังกล่าวด้วยสมการที่ 3.5 สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 แสดงค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์

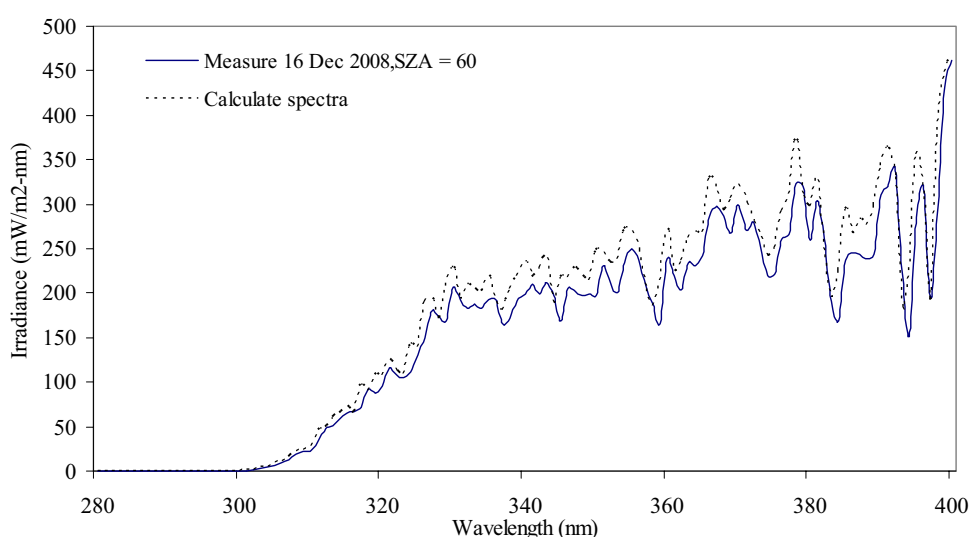


รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตหลังจากการแปลงด้วยค่า sensitivity แล้ว

3.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล

แม้ว่าเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะได้รับการสอบเทียบแล้วก็ตาม แต่ข้อมูลที่ได้ อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่างๆ เช่น การตั้งค่าการรับสัญญาณไม่ถูกระดับซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลรังสีที่ได้มีความผิดปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่บันทึกได้ ในงานวิจัยนี้จะทำการควบคุมคุณภาพข้อมูลโดยใช้วิธีการตรวจสอบทั่วไปและการตรวจสอบอย่างละเอียด การตรวจสอบทั่วไปทำได้โดยการสังเกตข้อมูลที่ทำกรวัดว่าค่าอยู่ในระดับที่ปกติไม่มากเกินไปหรือมีค่าติดลบ สำหรับการควบคุมคุณภาพของข้อมูลอย่างละเอียดผู้ดำเนินการวิจัยจะใช้โปรแกรมคำนวณสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต UVSPEC radiative transfer ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆที่พัฒนาโดย Mayer และคณะ(1997)

ขั้นตอนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีนี้ ในลำดับแรกจะทำการเลือกข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear day) และนำข้อมูลอุณหภูมิจากหอดูดาวที่วัดได้ทั้งวันและเวลาเดียวกันมาใช้เป็น input ของโปรแกรม UVSPEC และทำการคำนวณ โดยจะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ก็แสดงว่าข้อมูลมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 3.15



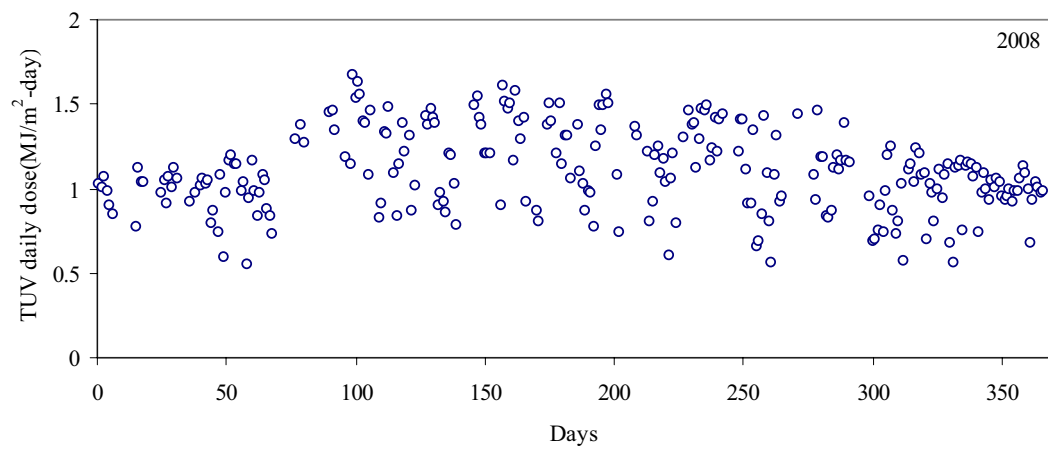
รูปที่ 3.15 แสดงตัวอย่างของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC

หลังจากที่ทำการควบคุมคุณภาพของข้อมูลแล้ว พบว่าข้อมูลในช่วงเริ่มต้นของการวัดมีข้อมูลขาดหายค่อนข้างมาก เนื่องจากมีปัญหาเครื่องมือชำรุดซึ่งจำเป็นต้องรอการซ่อมบำรุงและระบบการบันทึกข้อมูลนั้นได้ติดตั้งอยู่บนคอมพิวเตอร์รุ่นเก่าซึ่งมักจะมีปัญหาโปรแกรมขัดข้องบ่อย หลังจากที่ได้ทำการเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลแล้วจึงได้ข้อมูลที่มีความต่อเนื่องมากขึ้น

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลราย 10 นาที ที่คัดเลือกแล้วในช่วงเดือนมกราคม ถึง ธันวาคม 2008 มาทำการวิเคราะห์เชิงสถิติ ข้อมูลในแต่ละเดือนจะมีจำนวนดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.16

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

เดือน	จำนวนข้อมูล (วัน)
มกราคม	17
กุมภาพันธ์	23
มีนาคม	13
เมษายน	24
พฤษภาคม	21
มิถุนายน	22
กรกฎาคม	19
สิงหาคม	24
กันยายน	19
ตุลาคม	22
พฤศจิกายน	30
ธันวาคม	31
รวม	265



รูปที่ 3.16 แสดงค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรวมรายวัน (daily dose) ในปี 2008 ที่ได้จากเครื่อง spectroradiometer (ข้อมูล daily dose ได้มาจากการ integrate ข้อมูลสเปกตรัมจากความยาวคลื่น 280 – 320 nm)

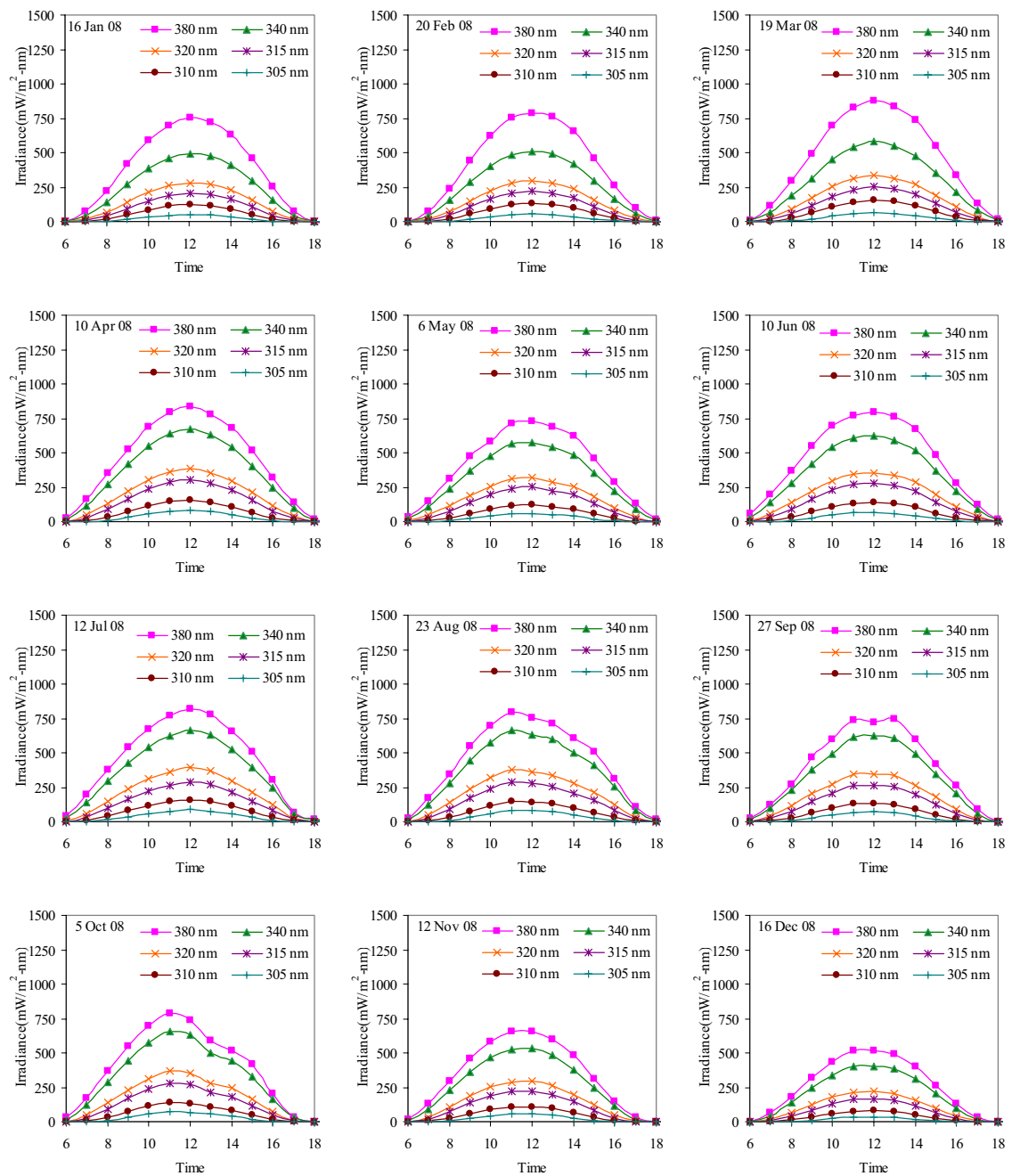
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

3.4.1 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเวลาในรอบวัน

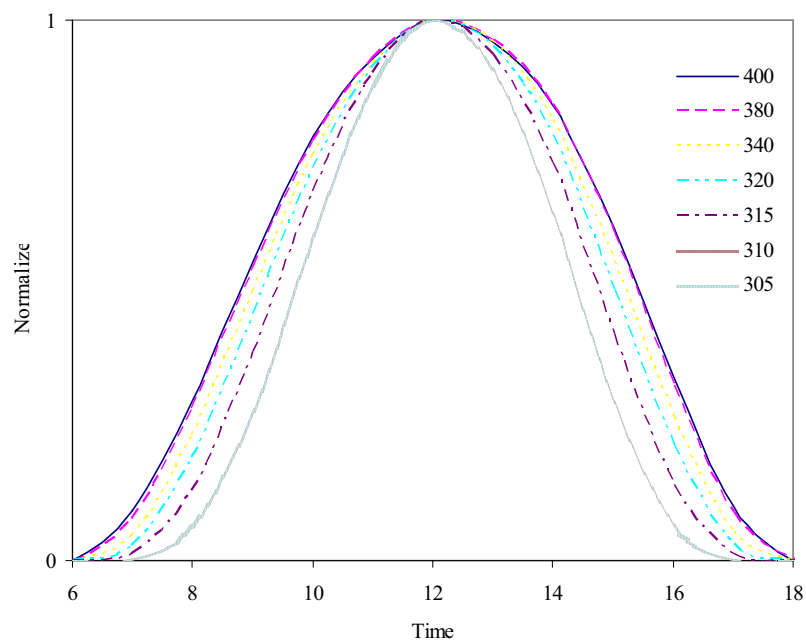
(diurnal variation)

3.4.1.1 กรณีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

ในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear day) ค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับสภาพท้องฟ้ามีเมฆ โดยค่าของความเข้มจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในตอนเที่ยงวัน และจะลดลงในช่วงบ่ายจนถึงช่วงเย็นตามการเปลี่ยนแปลงค่ามุมตกกระทบ (incident angle) ของดวงอาทิตย์ และการแปรค่าของมวลอากาศที่รังสีผ่าน (air mass) โดยที่ผู้วิจัย จะทำการเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ หรือวันที่มีปริมาณเมฆน้อยที่สุดในแต่ละเดือนมาทำการพล็อตกราฟกับเวลาในรอบวัน โดยแยกตามค่าสเปกตรัม คือ 305, 310, 315, 320, 340 และ 380 nm กราฟดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.17 ผลที่ได้พบว่าค่าสเปกตรัมความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีการแปรค่ารายชั่วโมงที่มีรูปแบบคล้ายระฆังคว่ำ แตกต่างกันที่ค่าความเข้ม และเมื่อทำการ normalize ค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วยค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้ในเวลาเที่ยงวัน ทำให้พบว่าที่ความยาวคลื่นสั้นจะมีการแปรค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาใกล้เที่ยงวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 แสดงสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆแบบแยกเป็นสเปกตรัม



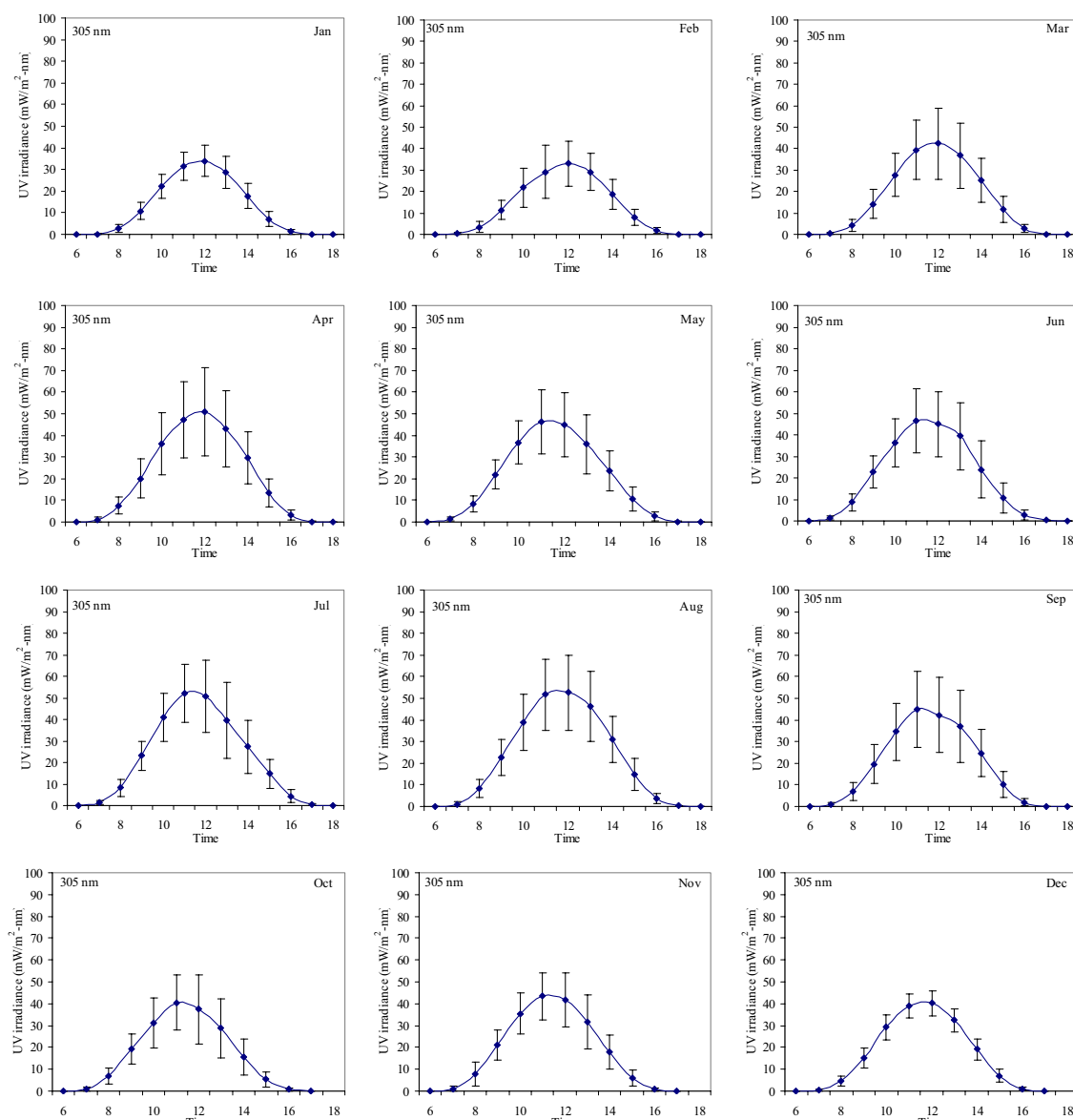
รูปที่ 3.18 แสดงการแปรค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ normalize ในรอบวันในแต่ละความยาวคลื่น

3.4.1.2 กรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)

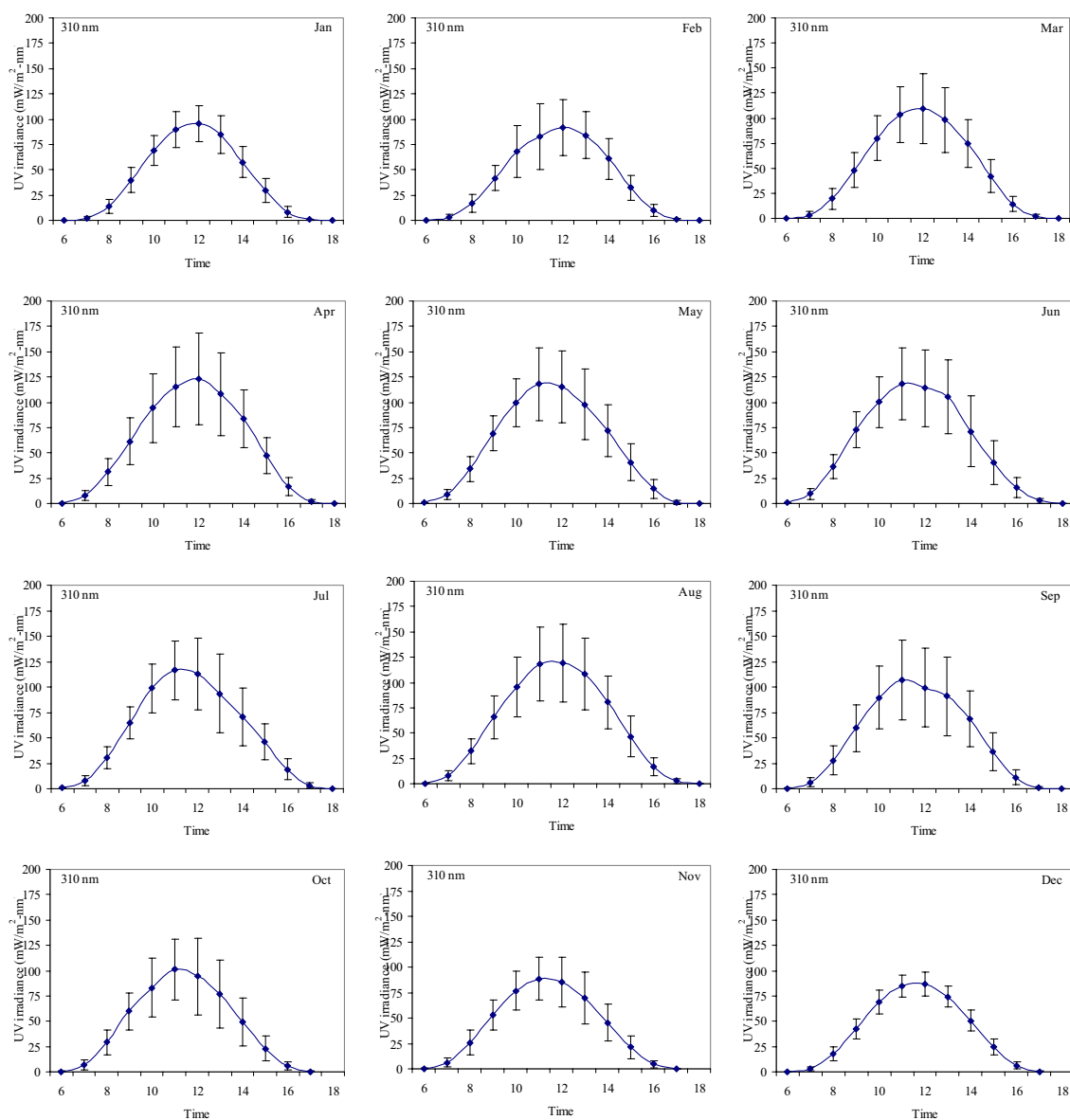
การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเวลาในรอบวันในสภาพท้องฟ้าทั่วไป การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีสาเหตุจากปัจจัยหลายสิ่ง ที่สำคัญคือ เมฆและการเปลี่ยนแปลงมุมตกกระทบของรังสี โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีที่ได้จาก spectroradiometer มาทำการหาค่าเฉลี่ยตามเวลาในรอบวัน ผลของการเปรียบเทียบในแต่ละความยาวคลื่นแสดงในรูปที่ 3.19 ถึง 3.24

ผลที่ได้พบว่าค่าสเปกตรัมความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีความเข้มเฉลี่ยในเดือนต่างๆ ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของมุมเซนทริรน้อยสุดของแต่ละเดือนที่มีค่าเปลี่ยนไปตามการโคจรของโลก จากค่า standard deviation (SD) ที่ได้ในแต่ละเดือนพบว่าในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายนจะมีค่ามาก เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าวมีปริมาณเมฆค่อนข้างมาก

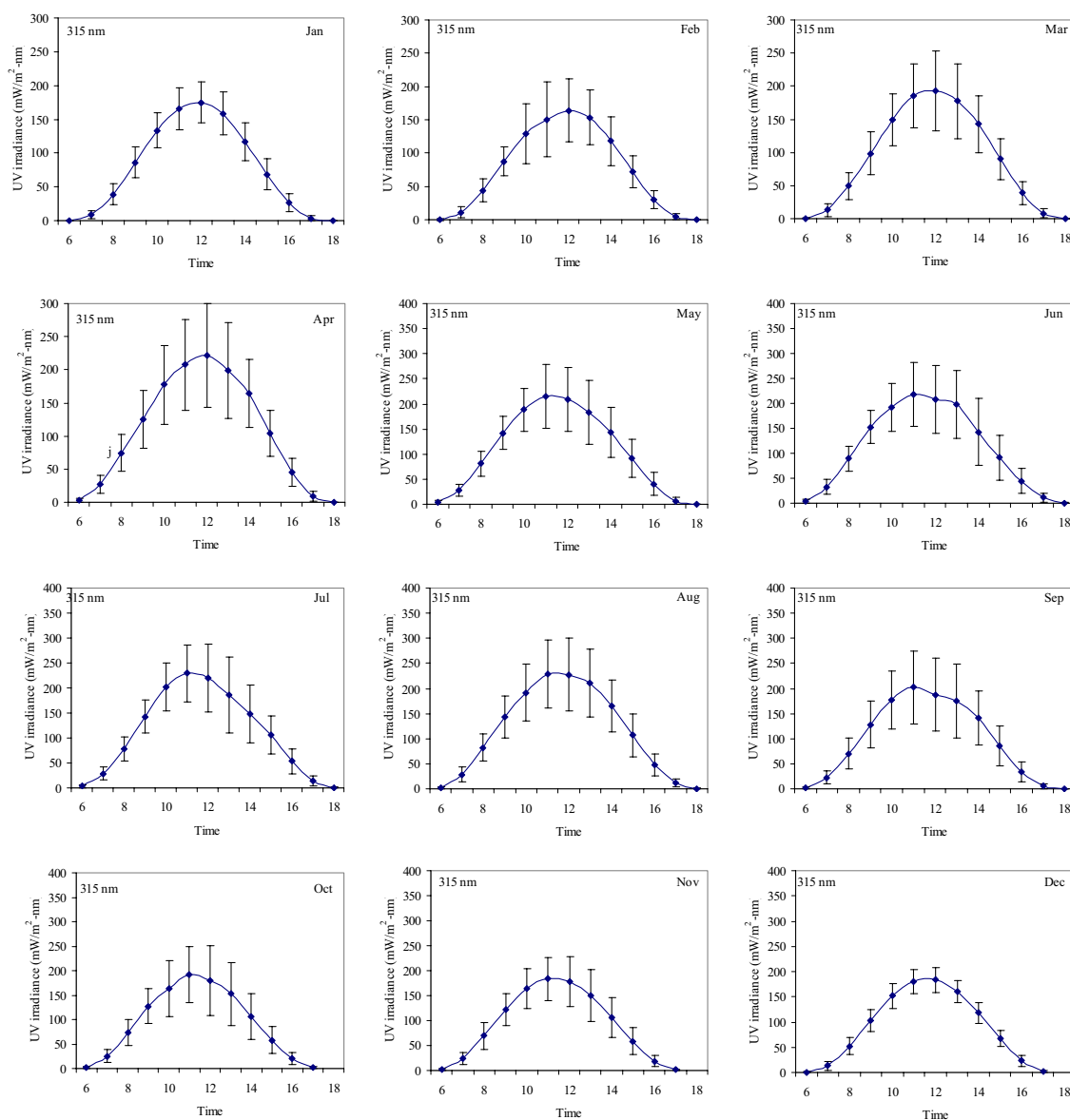
การแปรค่าในรอบวันที่สเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่นสั้นที่ 305 nm ในรูปที่ 3.19 เปรียบเทียบกับการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 380 nm ในรูปที่ 3.24 จะพบว่าการแปรค่าในรอบวันที่สเปกตรัมความยาวคลื่น 305 nm จะมีการแปรค่าในช่วงใกล้เที่ยงวันเป็นเส้นโค้งที่เรียบมากกว่าที่สเปกตรัมความยาวคลื่น 380 nm ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของเมฆในช่วงของเดือนดังกล่าวที่มีปริมาณมาก



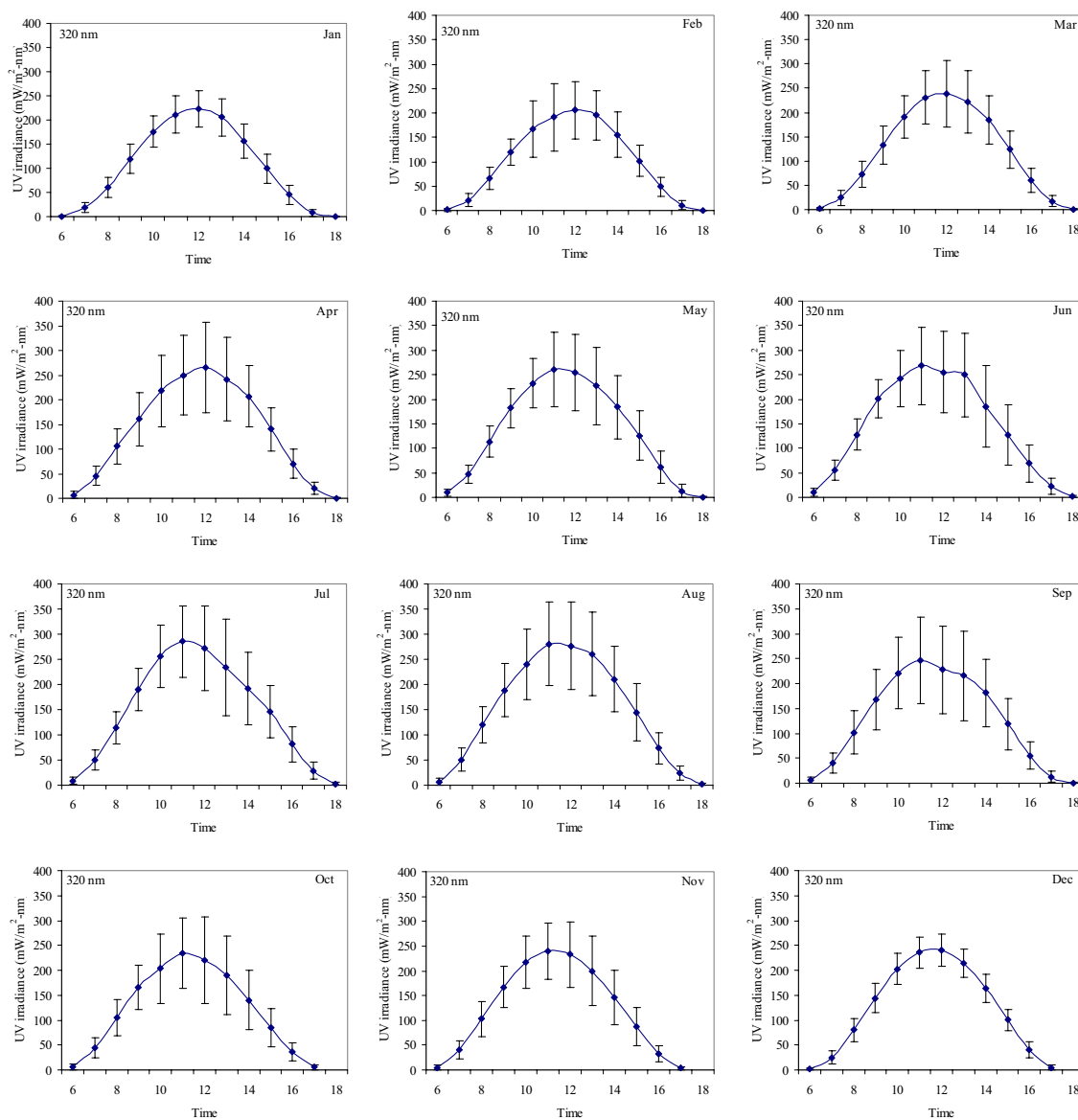
รูปที่ 3.19 แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 305 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)



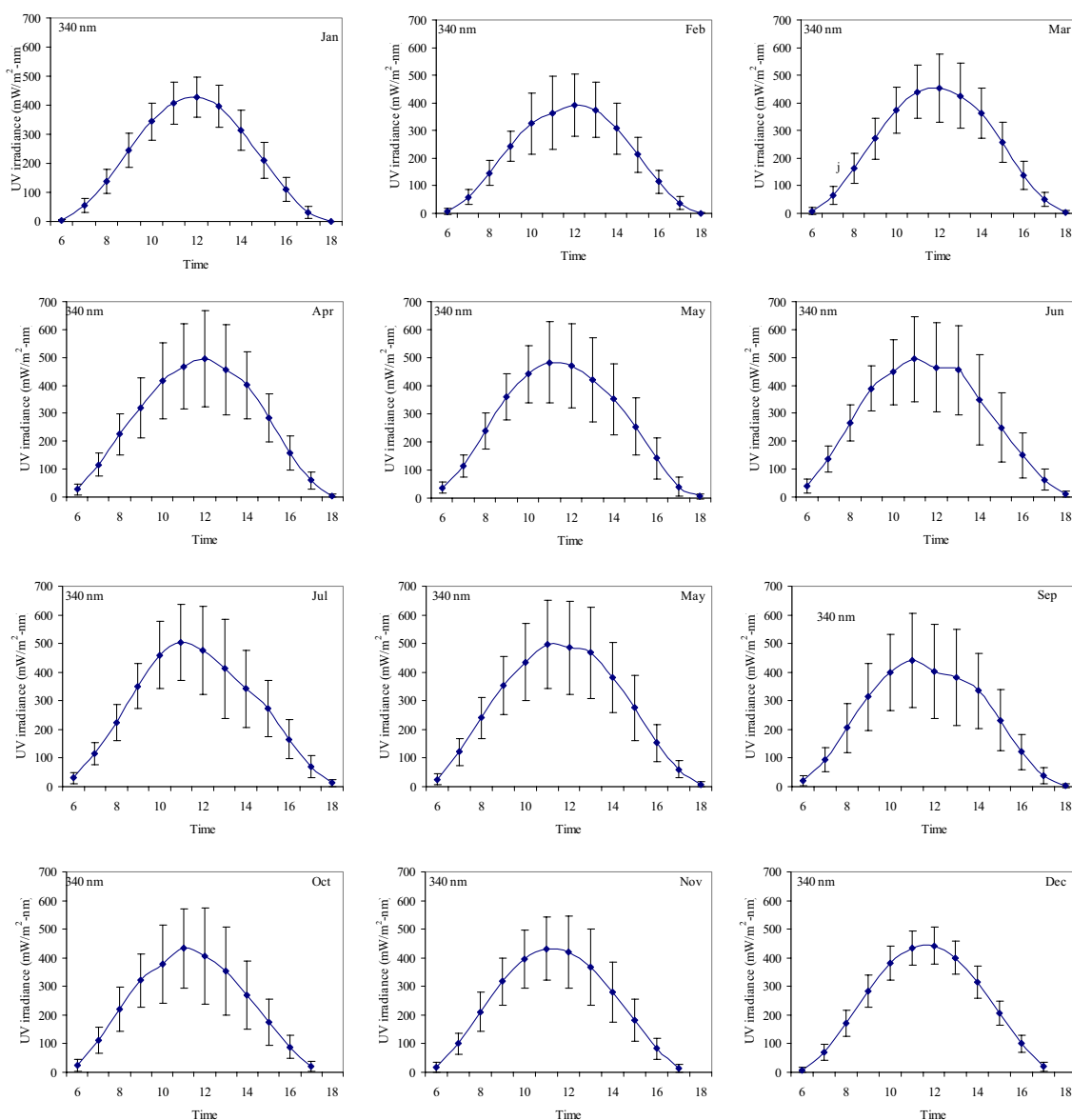
รูปที่ 3.20 แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 310 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)



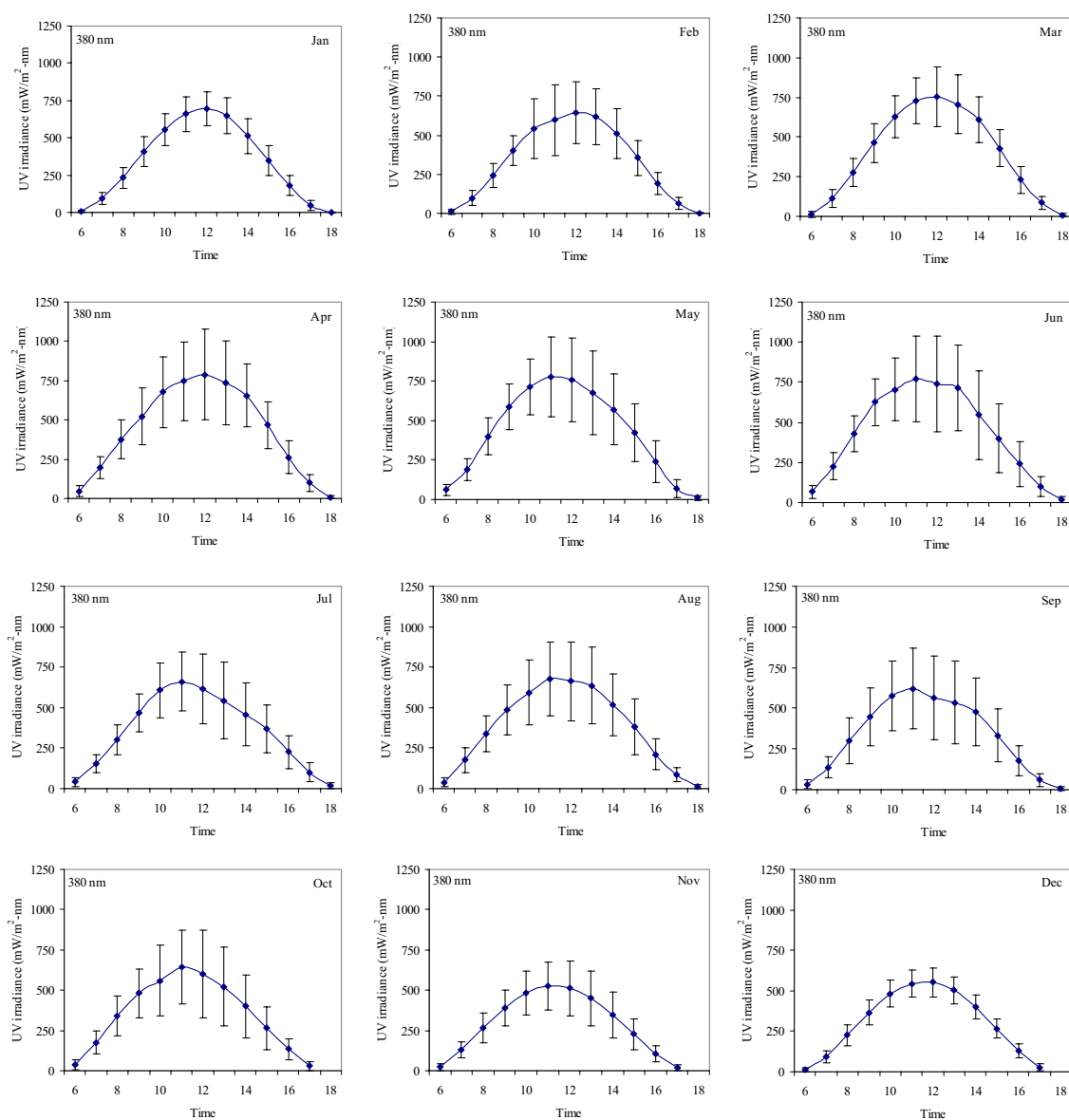
รูปที่ 3.21 แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 315 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)



รูปที่ 3.22 แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 320 nm
ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)



รูปที่ 3.23 แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 340 nm ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)



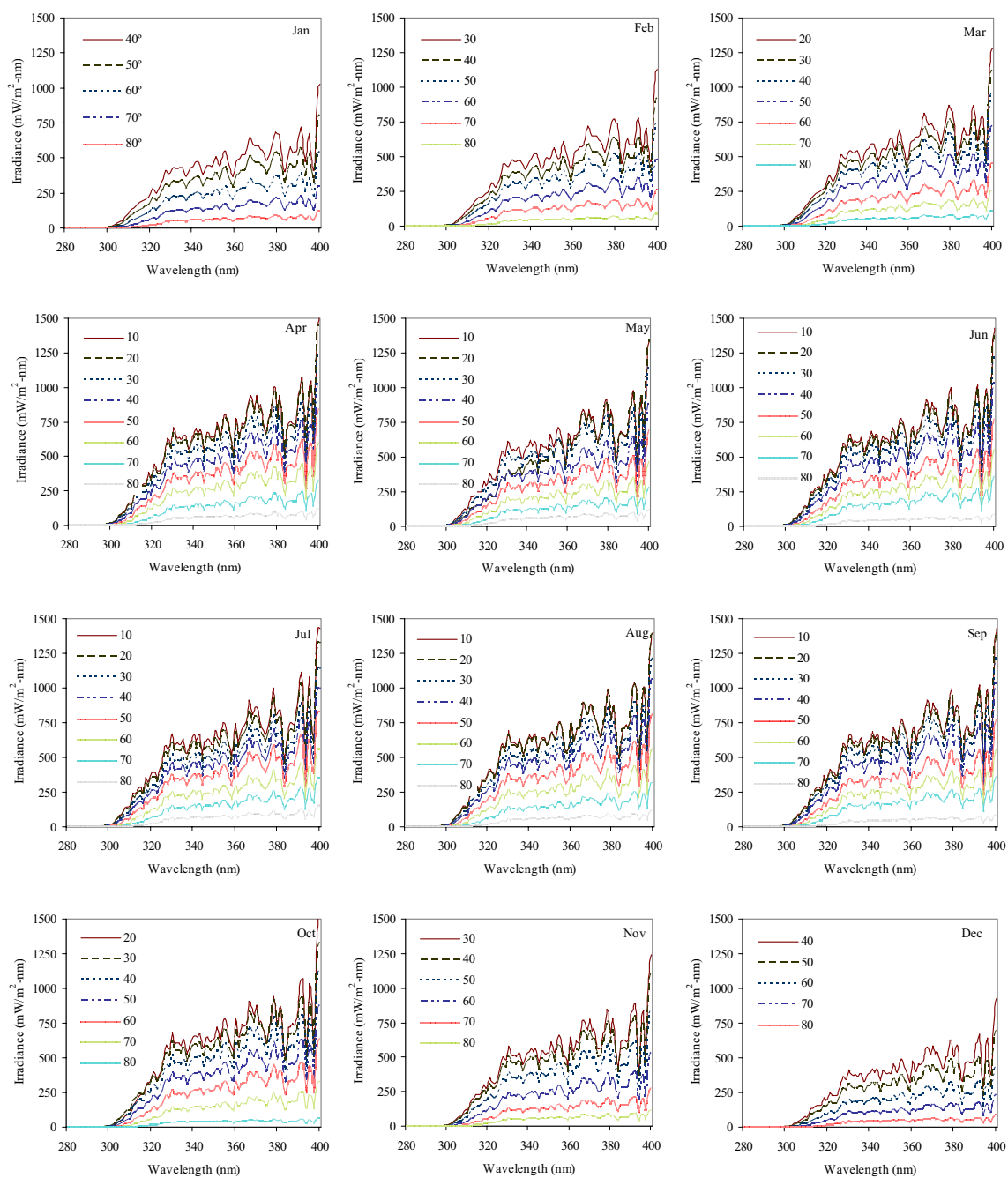
รูปที่ 3.24 แสดงการแปรค่าในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 380 nm
ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)

3.4.2 การแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามความยาวคลื่น

3.4.2.1 กรณีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ หรือวันที่มีปริมาณเมฆน้อยที่สุดในแต่ละเดือนและมาทำการเขียนกราฟความเข้มสเปกตรัมในแต่ละความยาวคลื่น โดยแยกตามมุมดวงอาทิตย์ (SZA) จากการศึกษาพบว่าค่าความเข้มสูงสุดของแต่ละสเปกตรัมในแต่ละเดือนจะมีค่าขึ้นอยู่กับมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ กล่าวคือเมื่อมุมเซนนิธมีค่าน้อยค่าความเข้มสเปกตรัมจะมีค่ามาก ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.25

จากรูปที่ 3.25 แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามความยาวคลื่น พบว่าความยาวคลื่นสั้นที่สุดที่สามารถนำค่ามาวิเคราะห์ได้ที่สถานีนครปฐม คือ ความยาวคลื่นประมาณ 300 nm และความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะค่อยๆ มีค่าสูงขึ้นตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น จนมีค่าสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 400 nm เมื่อพิจารณาเฉพาะที่ความยาวคลื่น 382, 393 และ 397 nm จะพบว่ามีความเข้มน้อยเมื่อเทียบกับสเปกตรัมที่อยู่ติดกันเนื่องมาจากที่ความยาวคลื่นนี้เป็นเส้นสเปกตรัมของ Fraunhofer

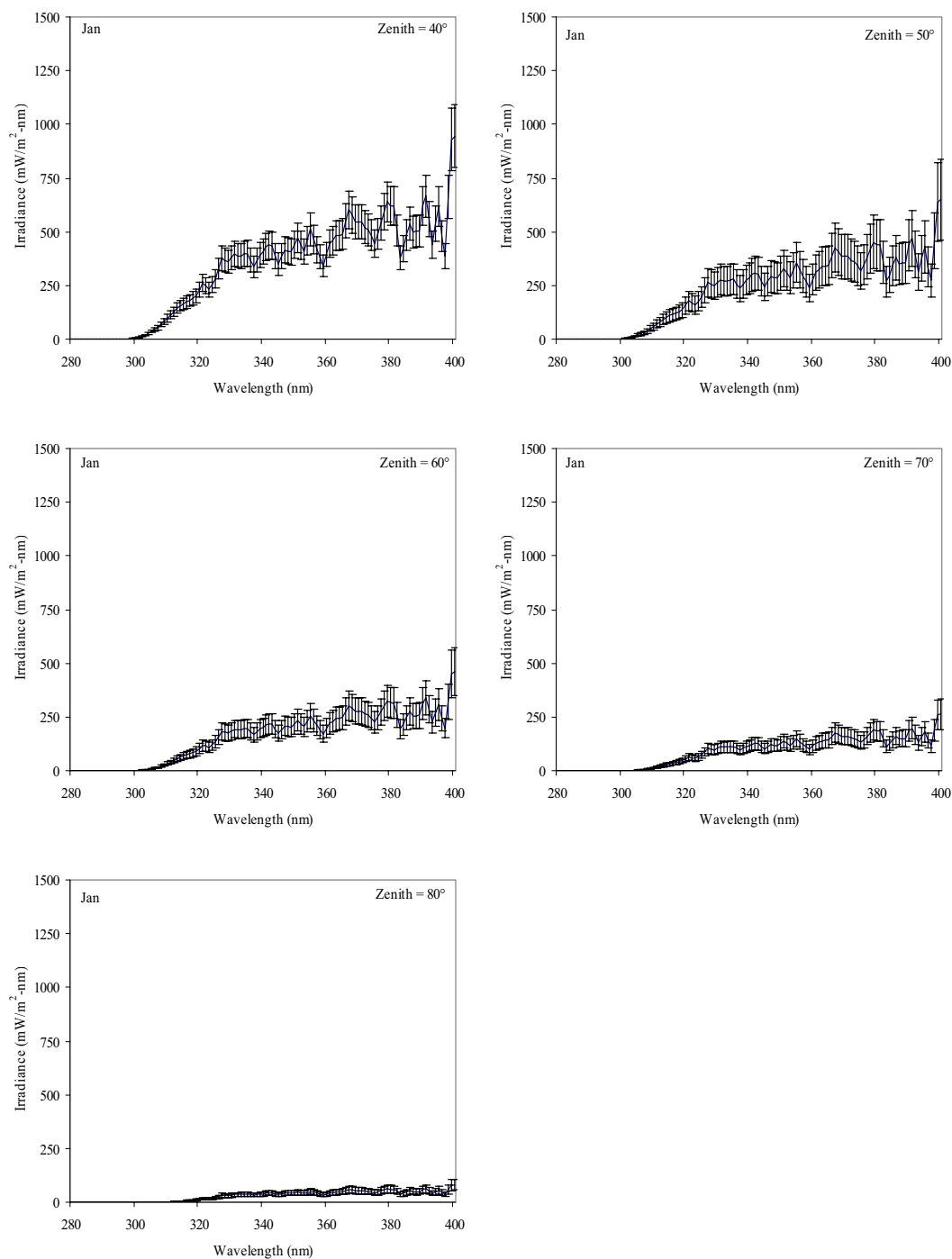


รูปที่ 3.25 แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเซนธิ์ในเดือนต่างๆในกรณี
ที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

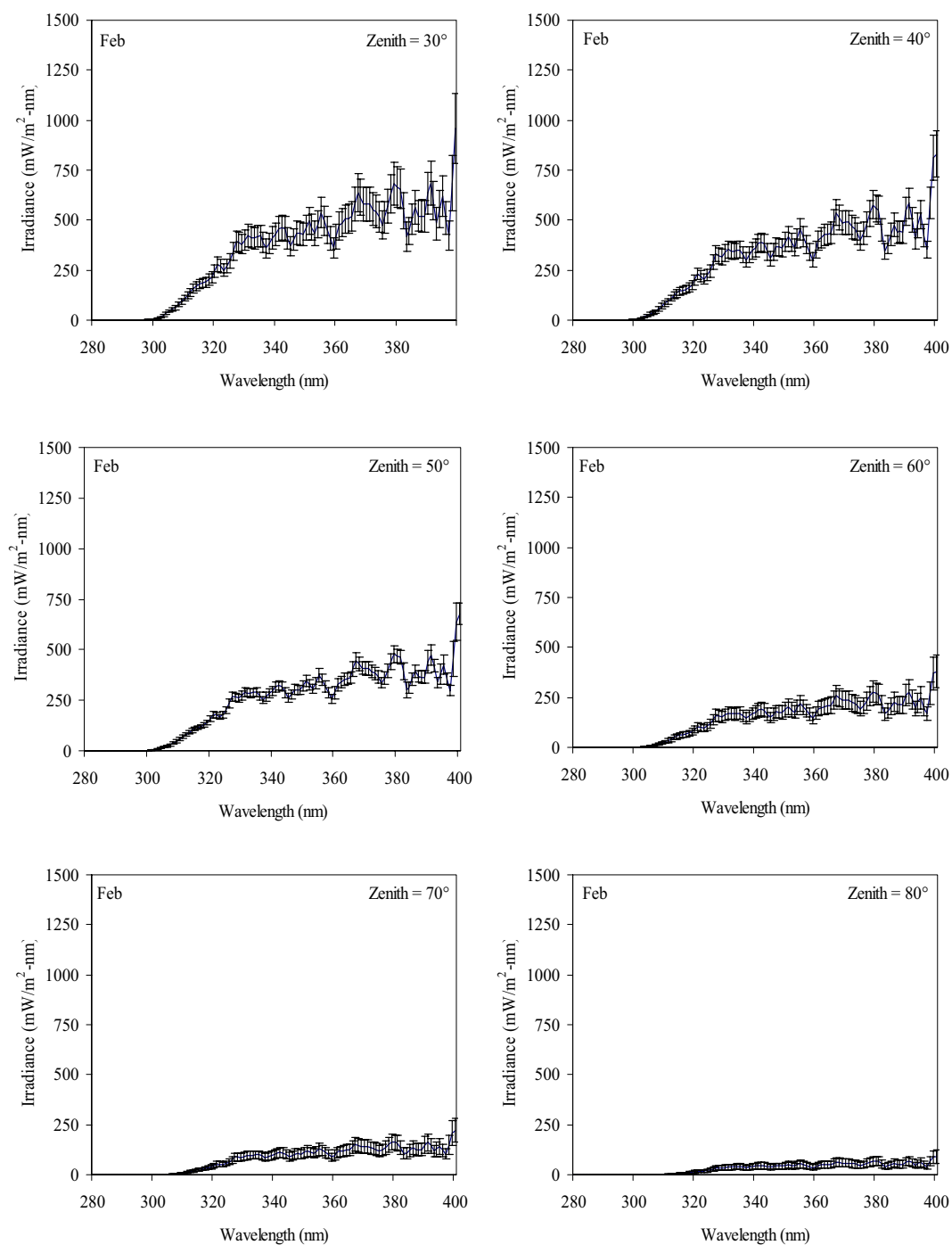
3.4.2.2 กรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)

การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ เช่น เมฆ โอโซน ฝุ่นละออง มีผลต่อค่าความเข้มสเปกตรัมความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าทั่วไป กล่าวคือจะส่งผลให้ความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้มีค่าน้อยลง ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยจากเครื่อง spectroradiometer ในช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. มาทำการหาค่าเฉลี่ยแยกตามมุมเซนนิธต่างๆ พร้อมกับคำนวณค่า standard deviation (SD) ผลการเปรียบเทียบของแต่ละเดือนแสดงในรูปที่ 3.26 ถึง 3.37 ซึ่งจะพบว่าเมื่อมุมเซนนิธมีค่ามากขึ้นค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้จะมีค่าลดลง โดยที่มุมเซนนิธน้อยสุดในแต่ละเดือนจะต่างกันไปเนื่องจากการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

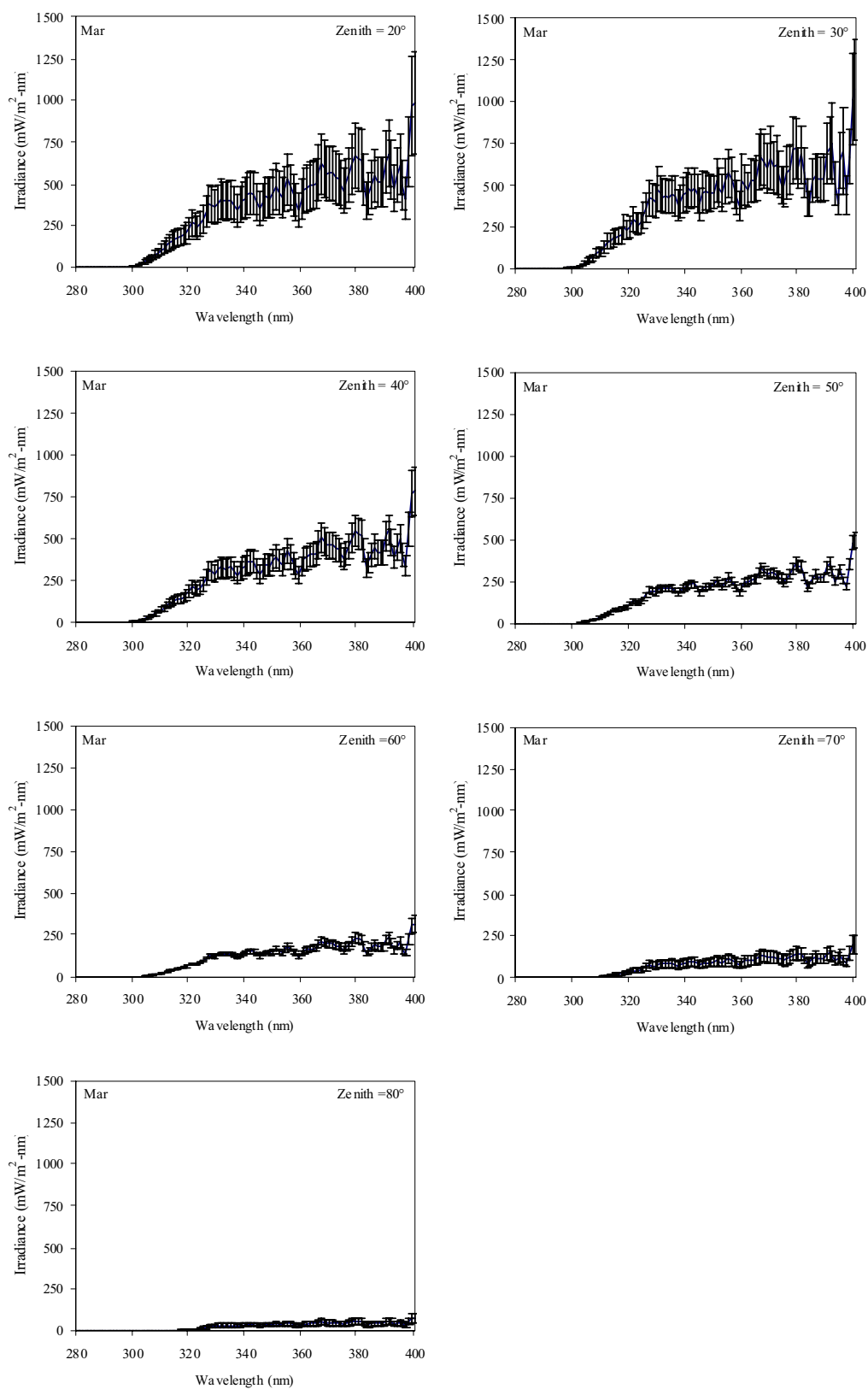
จากค่า standard deviation (SD) ในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤศจิกายนมีค่าสูงกว่าในเดือนมกราคม, กุมภาพันธ์ และธันวาคม เนื่องจากในเดือนดังกล่าวจะมีปริมาณเมฆมาก



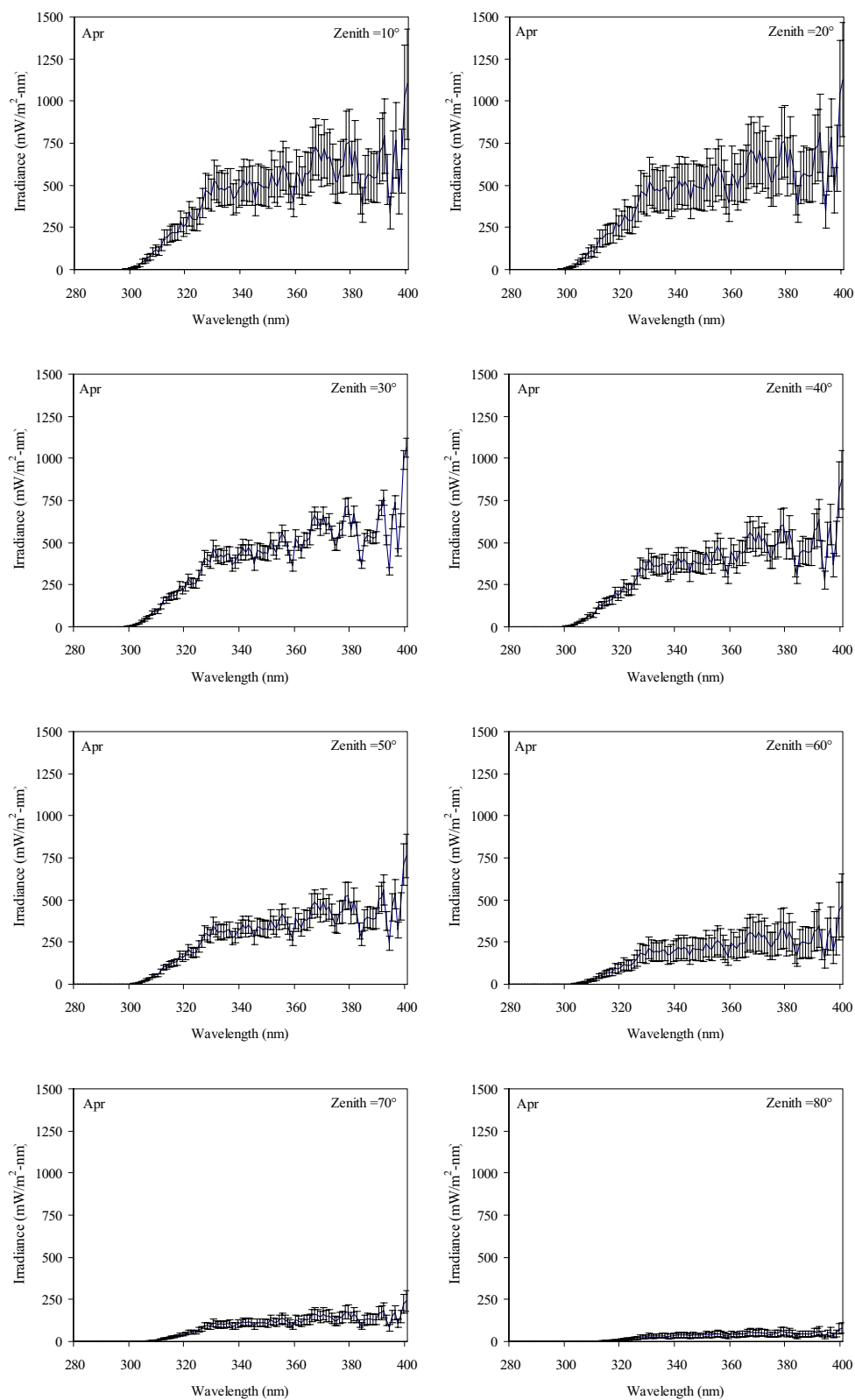
รูปที่ 3.26 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนมกราคม



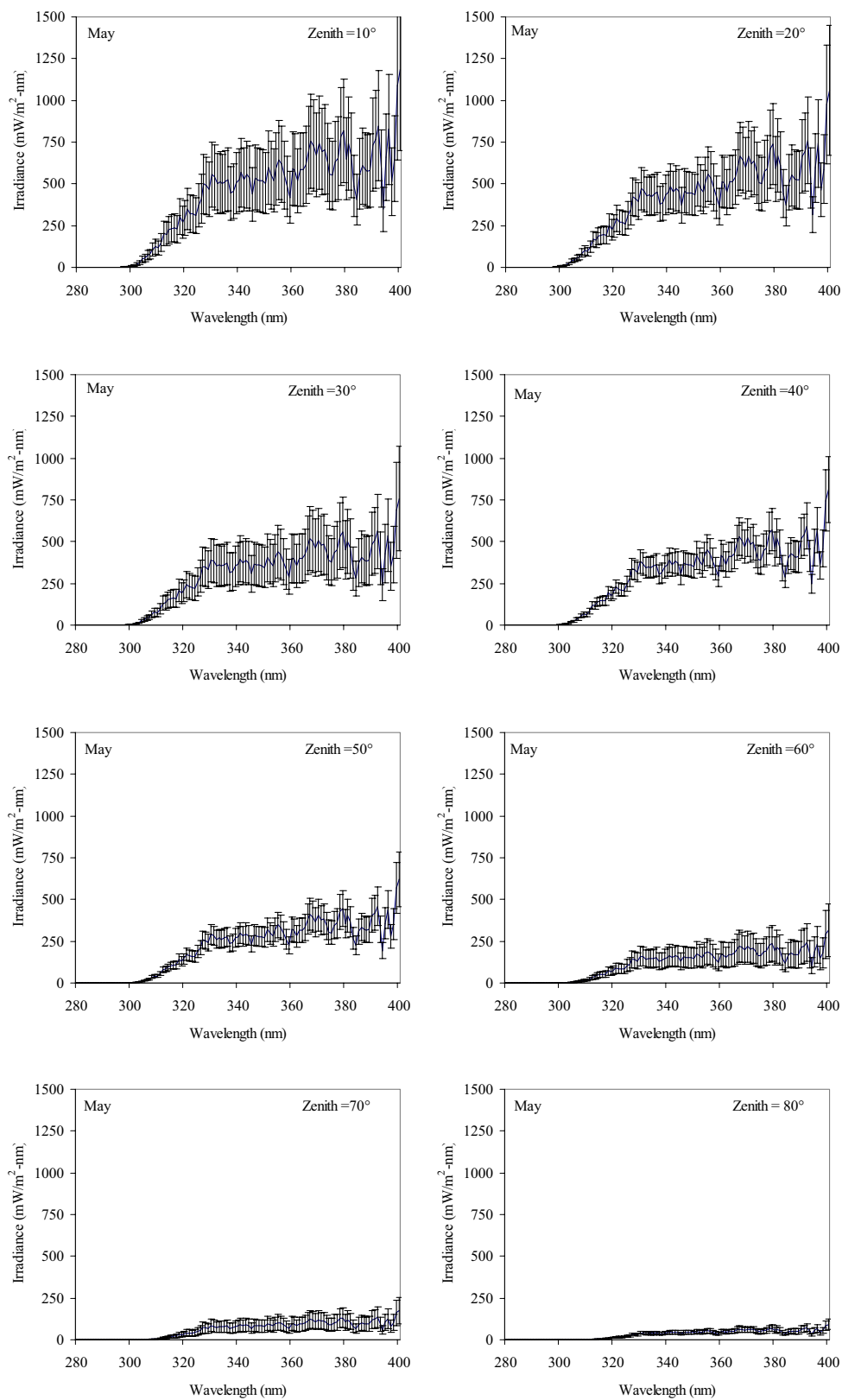
รูปที่ 3.27 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนกุมภาพันธ์



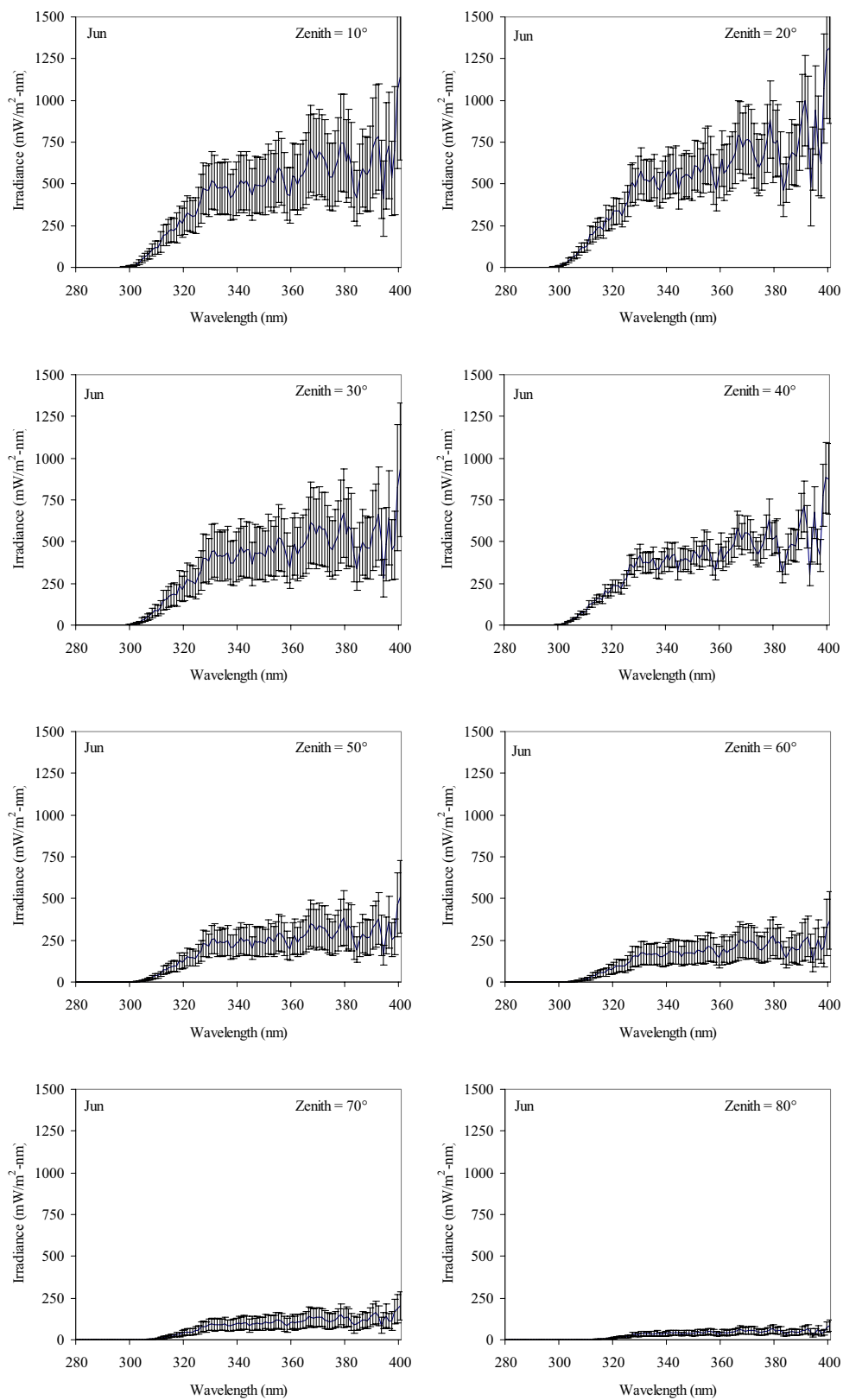
รูปที่ 3.28 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนมีนาคม



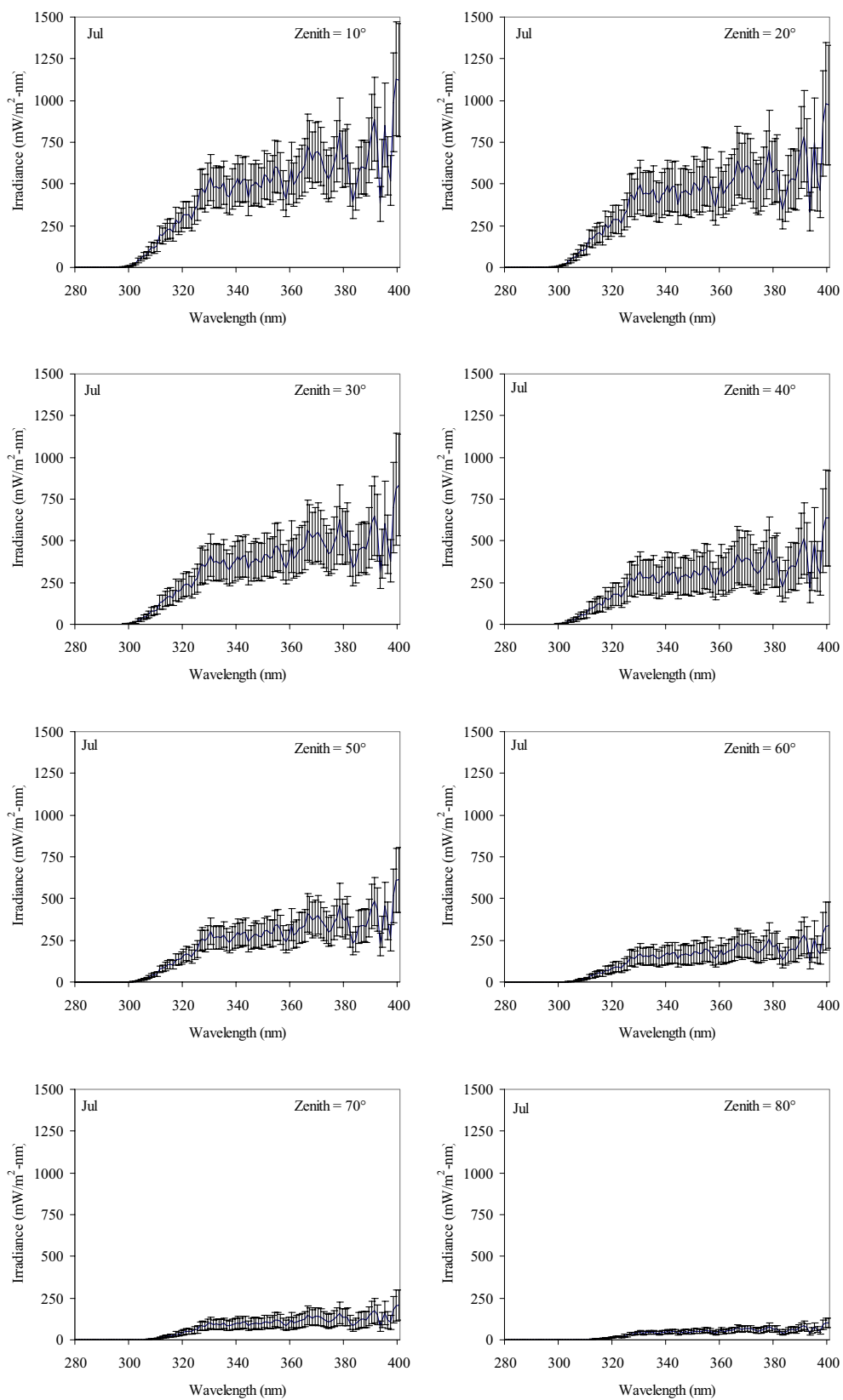
รูปที่ 3.29 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนเมษายน



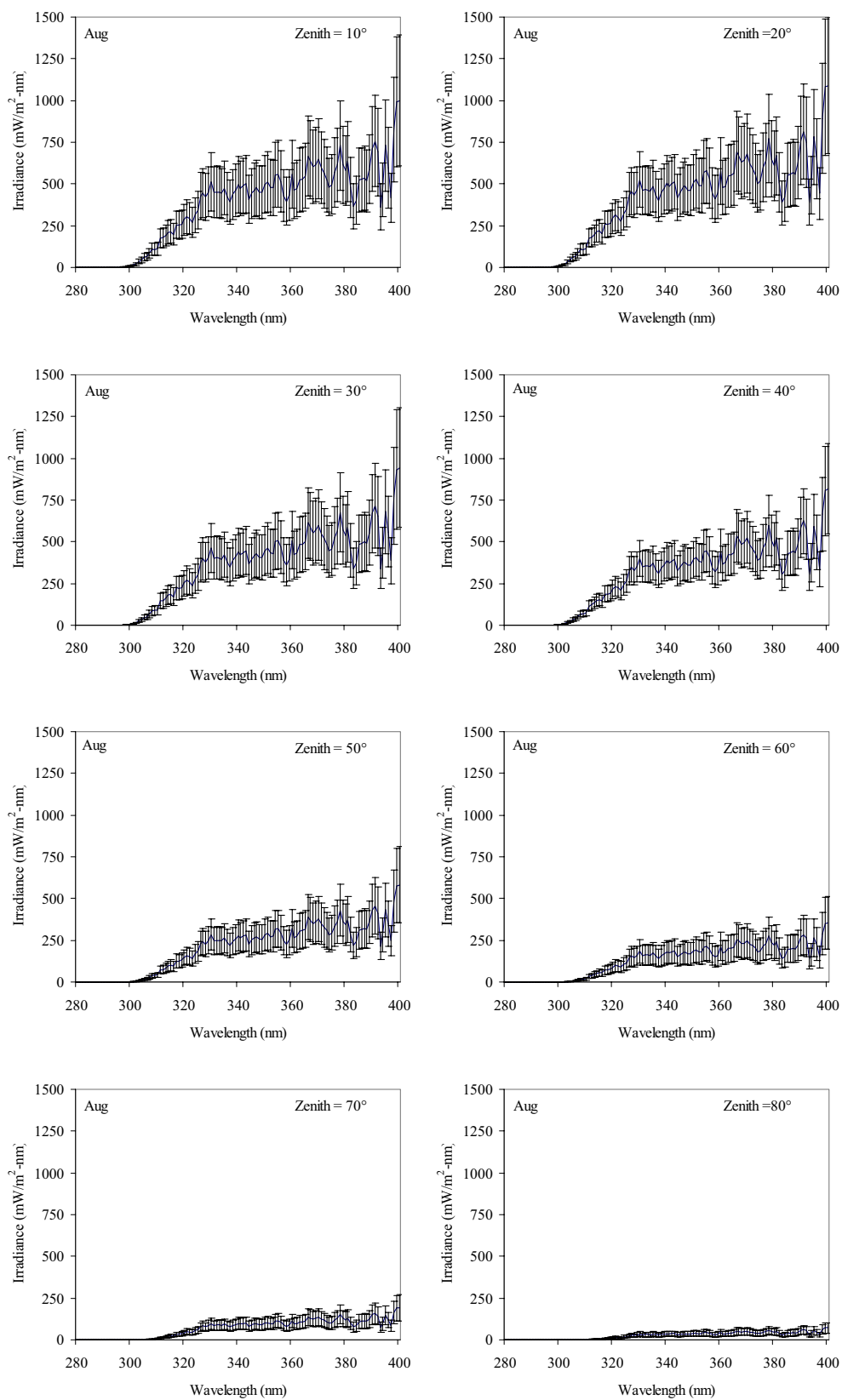
รูปที่ 3.30 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนพฤษภาคม



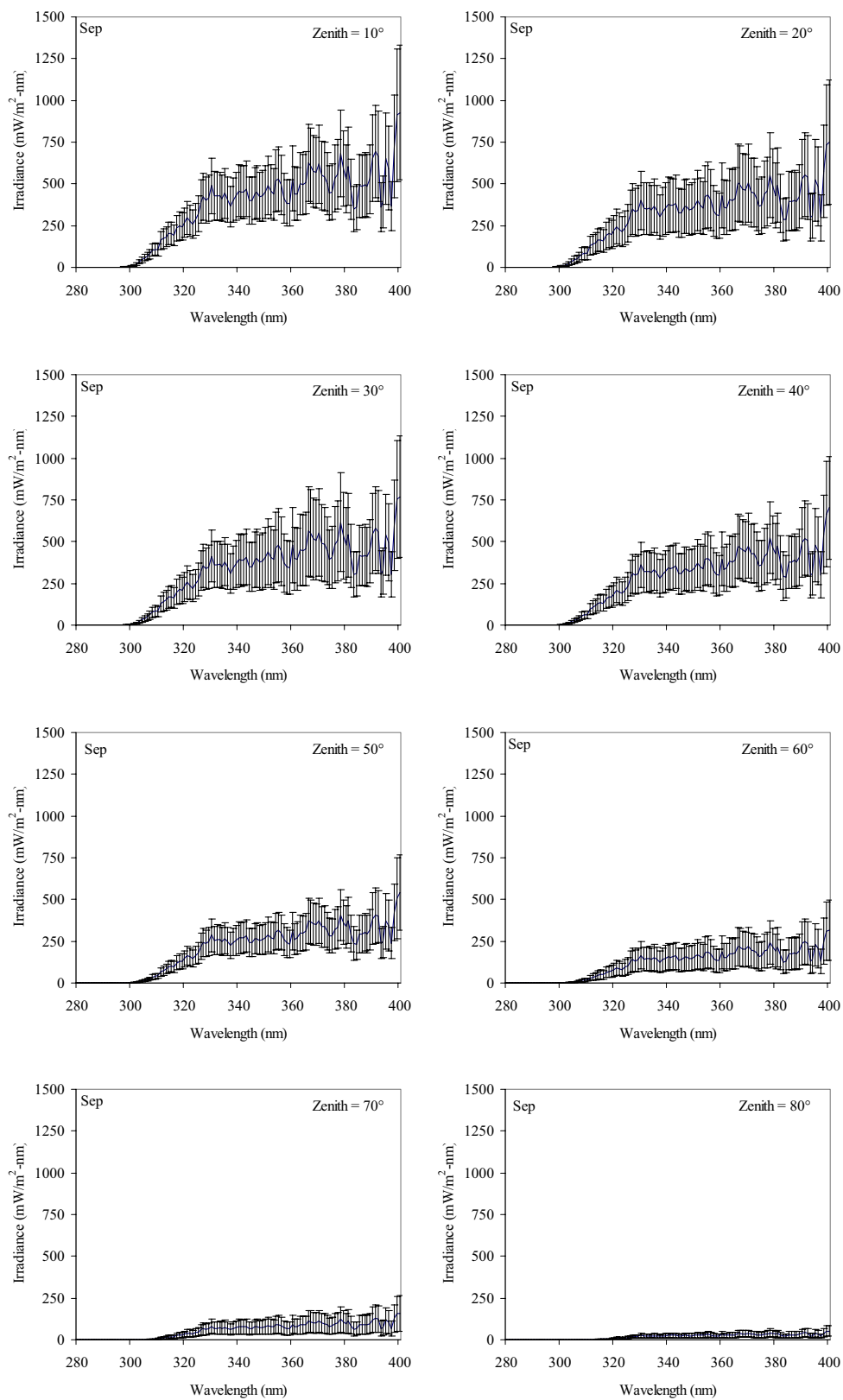
รูปที่ 3.31 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบ่งตามเซนนิคต่างๆ ในเดือนมิถุนายน



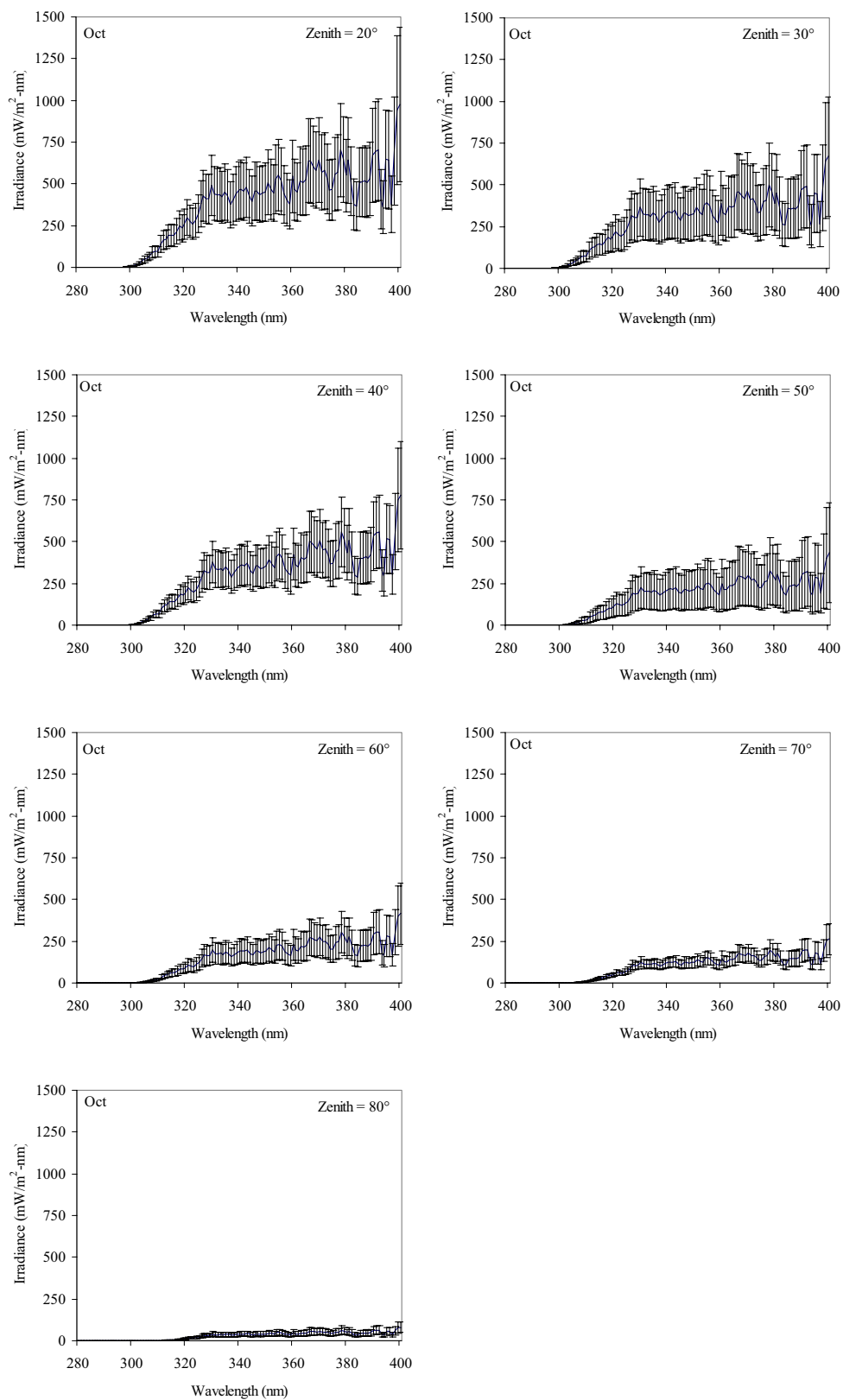
รูปที่ 3.32 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนกรกฎาคม



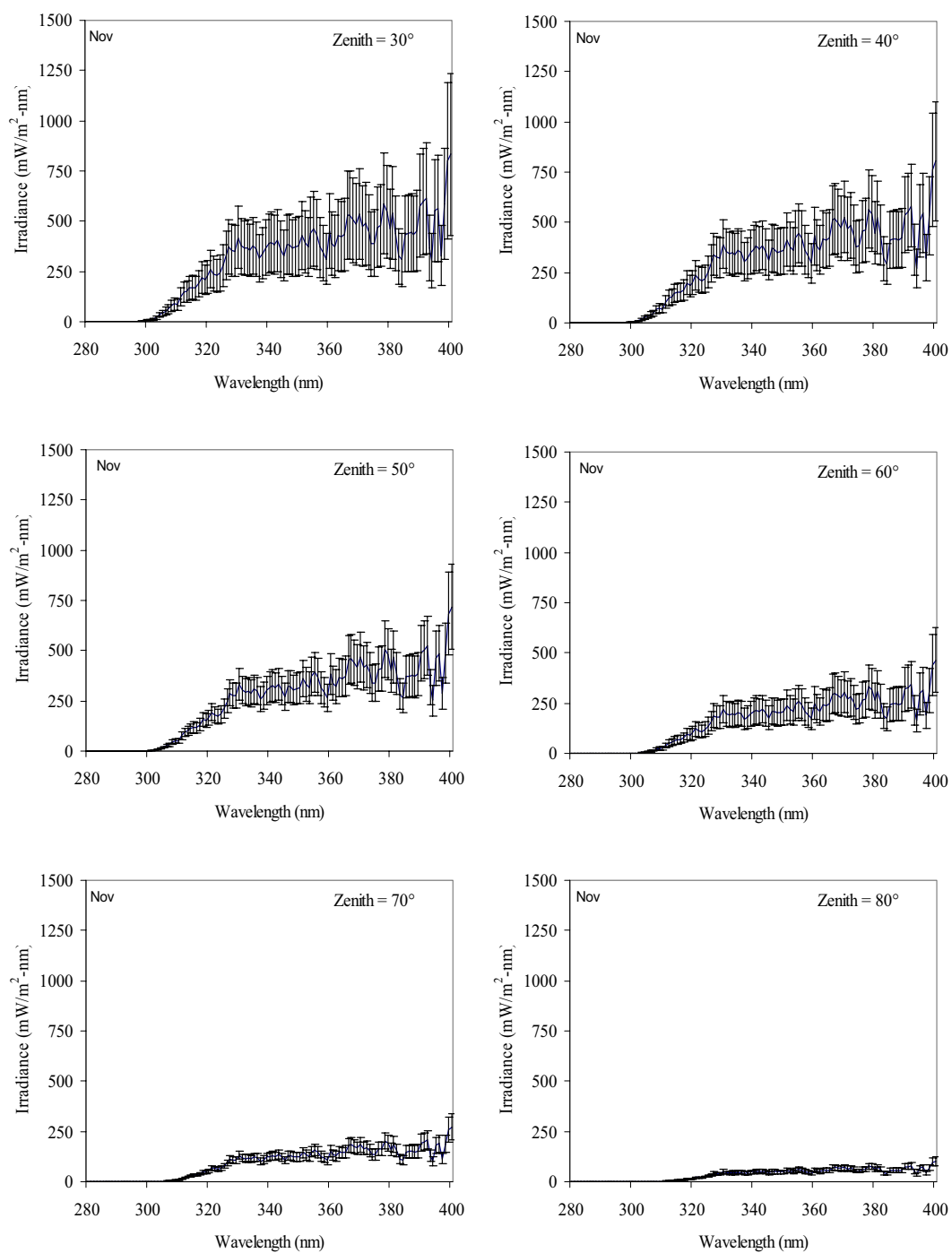
รูปที่ 3.33 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนสิงหาคม



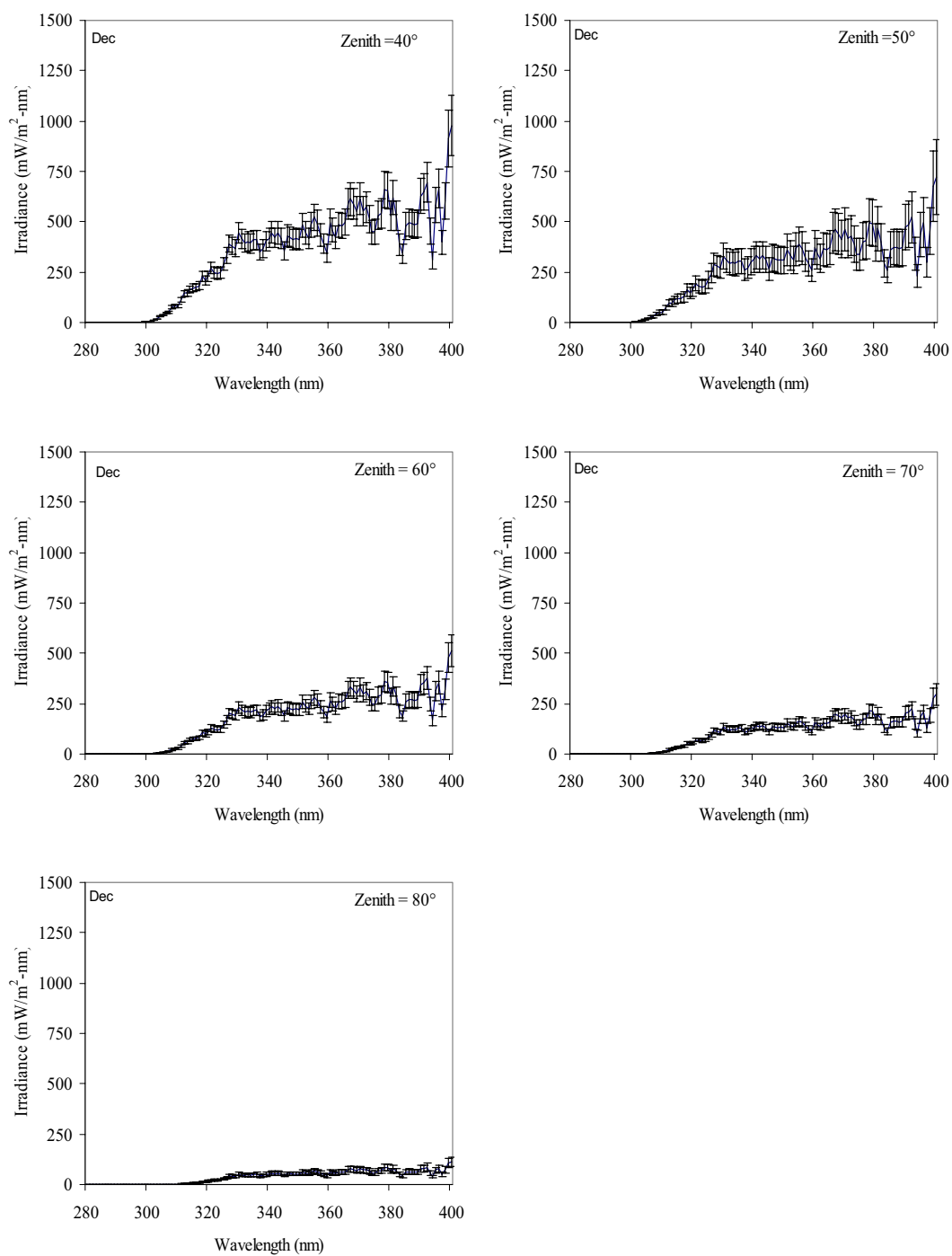
รูปที่ 3.34 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนกันยายน



รูปที่ 3.35 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนตุลาคม



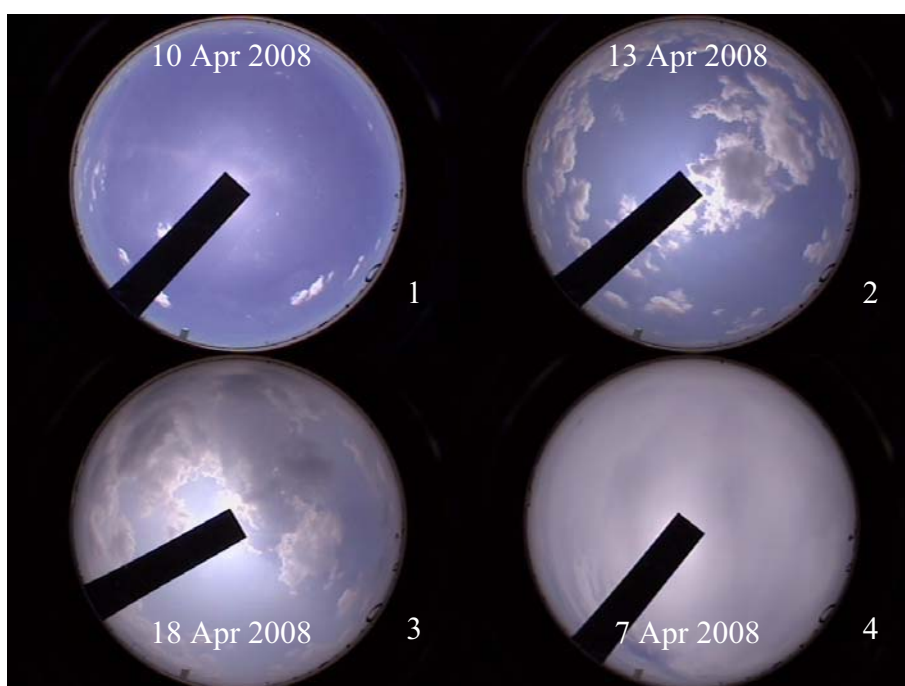
รูปที่ 3.36 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนธิ์ต่างๆ ในเดือนพฤศจิกายน



รูปที่ 3.37 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบ่งตามเซนนิชต่างๆ ในเดือนธันวาคม

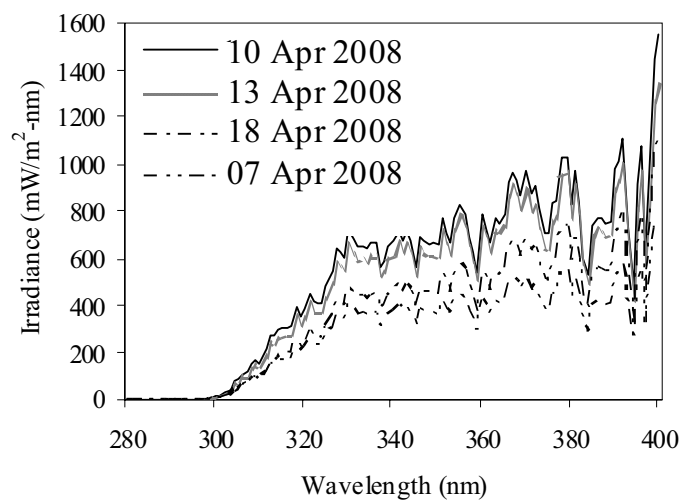
3.4.3 การแปรค่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ปริมาณเมฆต่างๆ กัน

จากที่ผ่านการวิเคราะห์ที่ผ่านมา พบว่า ตัวแปรสำคัญที่สุดต่อการลดทอนความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คือปริมาณเมฆและตำแหน่งเมฆบนท้องฟ้า ตัวอย่างของปริมาณเมฆบนท้องฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.38 โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะถูกลดทอนมากที่สุดในกรณีสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั่วท้องฟ้า (overcast sky)



รูปที่ 3.38 แสดงลักษณะเมฆปกคลุมแบบต่างๆ เวลา 12.00 น.

- (1) วันที่ 10 เมษายน 2008 สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ
- (2) วันที่ 13 เมษายน 2008 สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน
- (3) วันที่ 18 เมษายน 2008 สภาพท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆมาก
- (4) วันที่ 7 เมษายน 2008 สภาพท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆทั่วท้องฟ้า



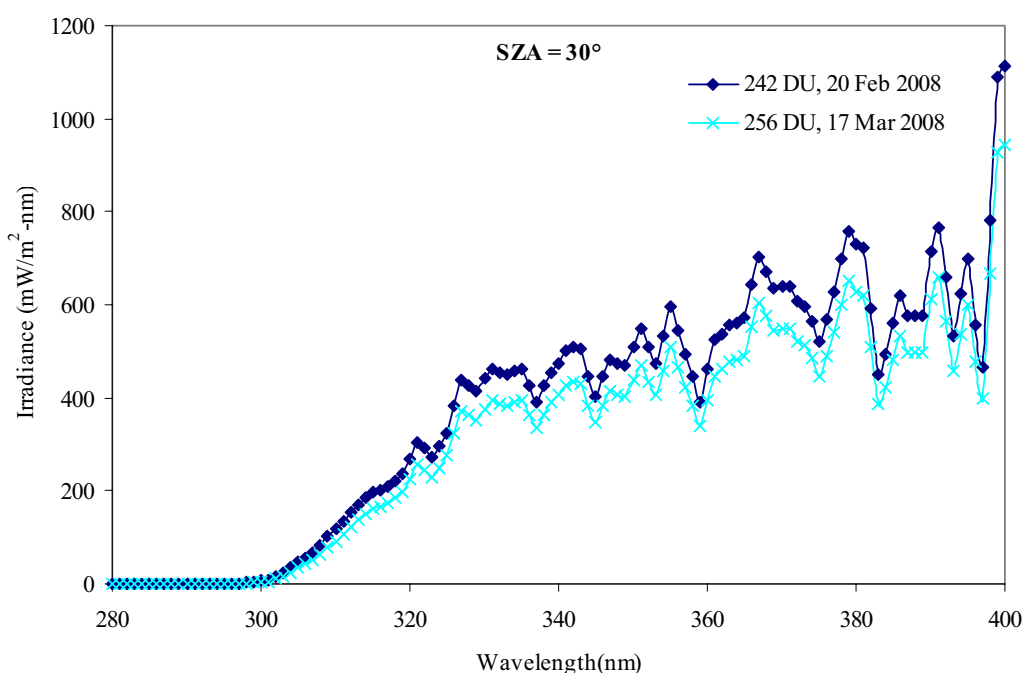
รูปที่ 3.39 แสดงลักษณะของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามลักษณะท้องฟ้าที่สอดคล้องกับสภาพท้องฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.38

จากรูปที่ 3.39 จะเห็นว่าสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้ในวันที่ 7 เมษายน 2008 ซึ่งเป็นวันที่เมฆปกคลุมทั่วท้องฟ้ามีปริมาณความเข้มเป็นครึ่งหนึ่งของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆในวันที่ 10 เมษายน 2008

3.4.4 การแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตตามปริมาณโอโซน

3.4.4.1 กรณีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

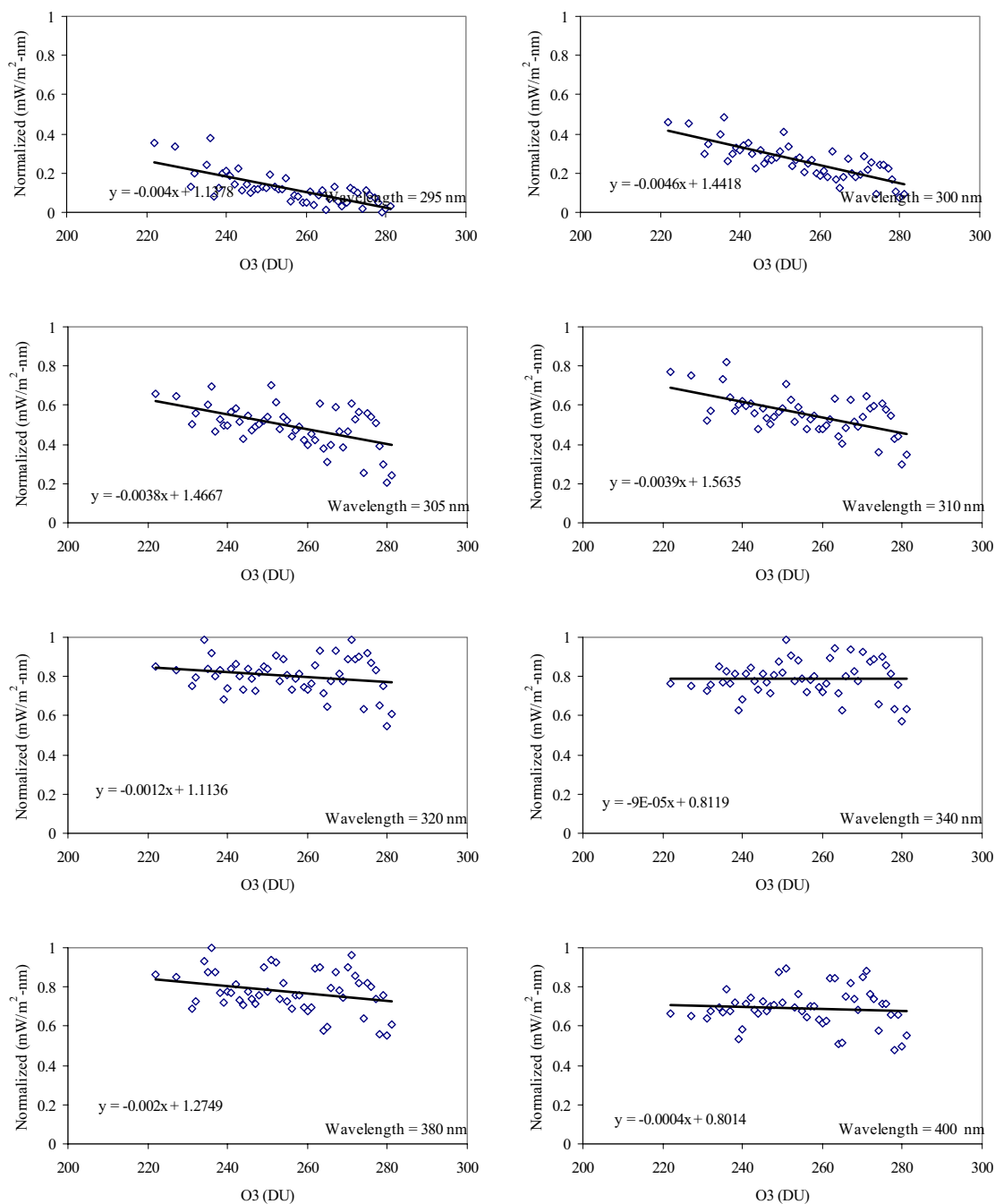
ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆการแปรค่าของรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะลดลงตามปริมาณโอโซนที่เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณโอโซนจะมีผลต่อการดูดกลืนความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่น 280-320 nm ดังแสดงในรูปที่ 3.40



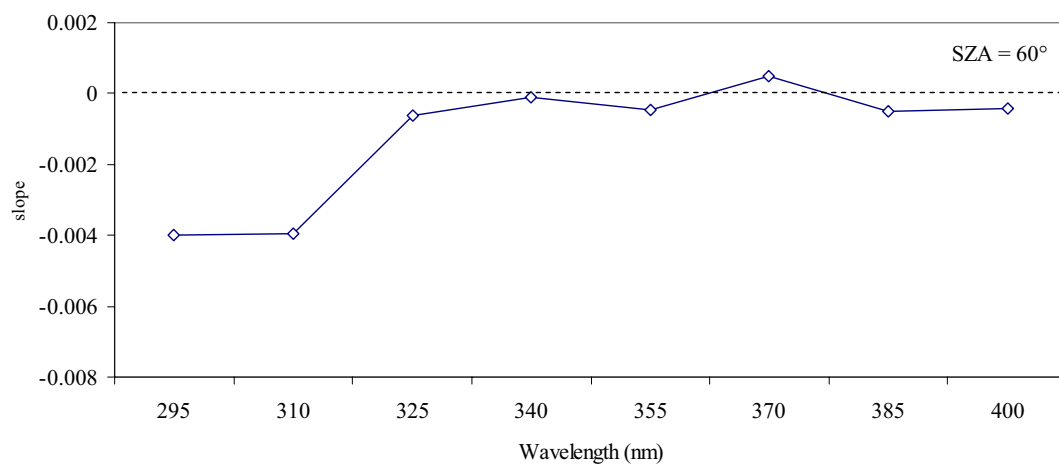
รูปที่ 3.40 แสดงการแปรค่าของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่โอโซนต่างกัน

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องวัดสเปกตรัมในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆมาทำการ normalize ด้วยค่าสเปกตรัมสูงสุดของแต่ละความยาวคลื่นมาทำการเขียนกราฟกับปริมาณโอโซน จากนั้นจึงทำการหาแนวโน้มความสัมพันธ์ของกราฟดังกล่าวในรูปของความชันของแต่ละสเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 3.41 ผลที่ได้พบว่า ปริมาณโอโซนมีส่วนในการลดทอนความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 295 – 320 nm

ผลการคำนวณค่าความชันของแต่ละช่วงสเปกตรัมแสดงอยู่ในรูปที่ 3.42 ผลดังกล่าวสรุปได้ว่าโอโซนสามารถดูดกลืนความเข้มรังสีในช่วง UVB ได้ดีกว่าช่วง UVA



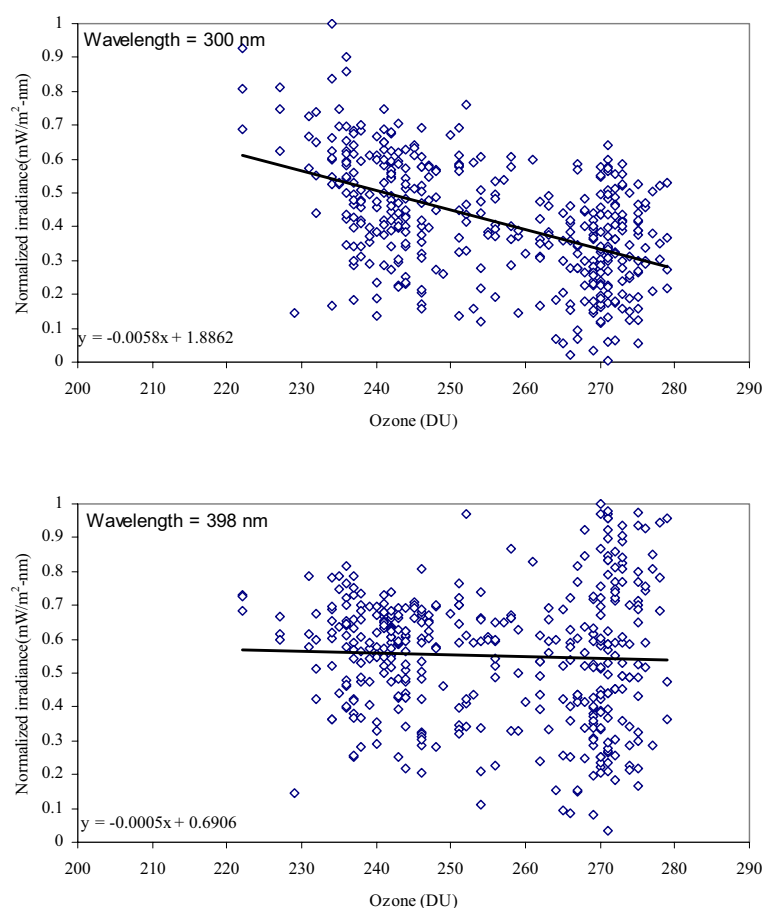
รูปที่ 3.41 แสดงการแปรค่าระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเมื่อค่าโอโซนเพิ่มขึ้นที่ความยาวคลื่นต่างๆ ที่มุมเซนติ 60 องศา



รูปที่ 3.42 แสดงกราฟการแปรค่าความความชันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับโอโซนที่ความยาวคลื่นต่างๆ

3.4.4.2 กรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)

ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปเมฆจะเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต อย่างไรก็ตามรูปแบบเฉพาะของการดูดกลืนเนื่องจากโอโซนสามารถพบเห็นได้ในบางช่วงของความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตในแต่ละความยาวคลื่นที่มุมเซนติ 50 องศา มาทำการ normalize ค่าด้วยค่าความเข้มสูงสุดของแต่ละความยาวคลื่น จากนั้นจึงนำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้มาทำการหาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณโอโซน พบว่า ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 300 nm ในช่วง UVB มีแนวโน้มของการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากปริมาณโอโซนมากที่ความยาวคลื่น 398 nm ในช่วง UVA ตัวอย่างการเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อปริมาณโอโซนที่ความยาวคลื่น 300 nm และ 398 nm แสดงไว้ในรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า normalize ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อปริมาณโอโซนในสภาพท้องฟ้าทั่วไปในช่วงความยาวคลื่น 300 nm และ 398 nm

3.5 การประยุกต์ใช้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบสเปกตรัม

ในการประยุกต์ใช้รังสีอัลตราไวโอเลตแบบสเปกตรัมนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการ integrate ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่อยู่ในรูปสเปกตรัมให้เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมในช่วงความยาวคลื่นที่พิจารณา เช่น UVA, UVB หรือ EUV โดยในงานวิจัยนี้จะทำการ integrate สเปกตรัมในช่วงต่างๆ ตามสมการต่อไปนี้

$$UVA = \int_{320}^{400} I_{\lambda} d\lambda \quad (3.6)$$

$$UVB = \int_{280}^{320} I_{\lambda} d\lambda \quad (3.7)$$

$$EUV = \int_{280}^{320} I_{\lambda} R_{\lambda} d\lambda \quad (3.8)$$

โดยที่

UVA คือ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA irradiance) (W/m^2)

UVB คือ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB irradiance) (W/m^2)

EUV คือ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (erythmal ultraviolet irradiance) (mW/m^2)

λ คือ ความยาวคลื่น (nm)

I_{λ} คือ ความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น λ (mW/m^2-nm)

R_{λ} คือ ค่าการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเลต (-)

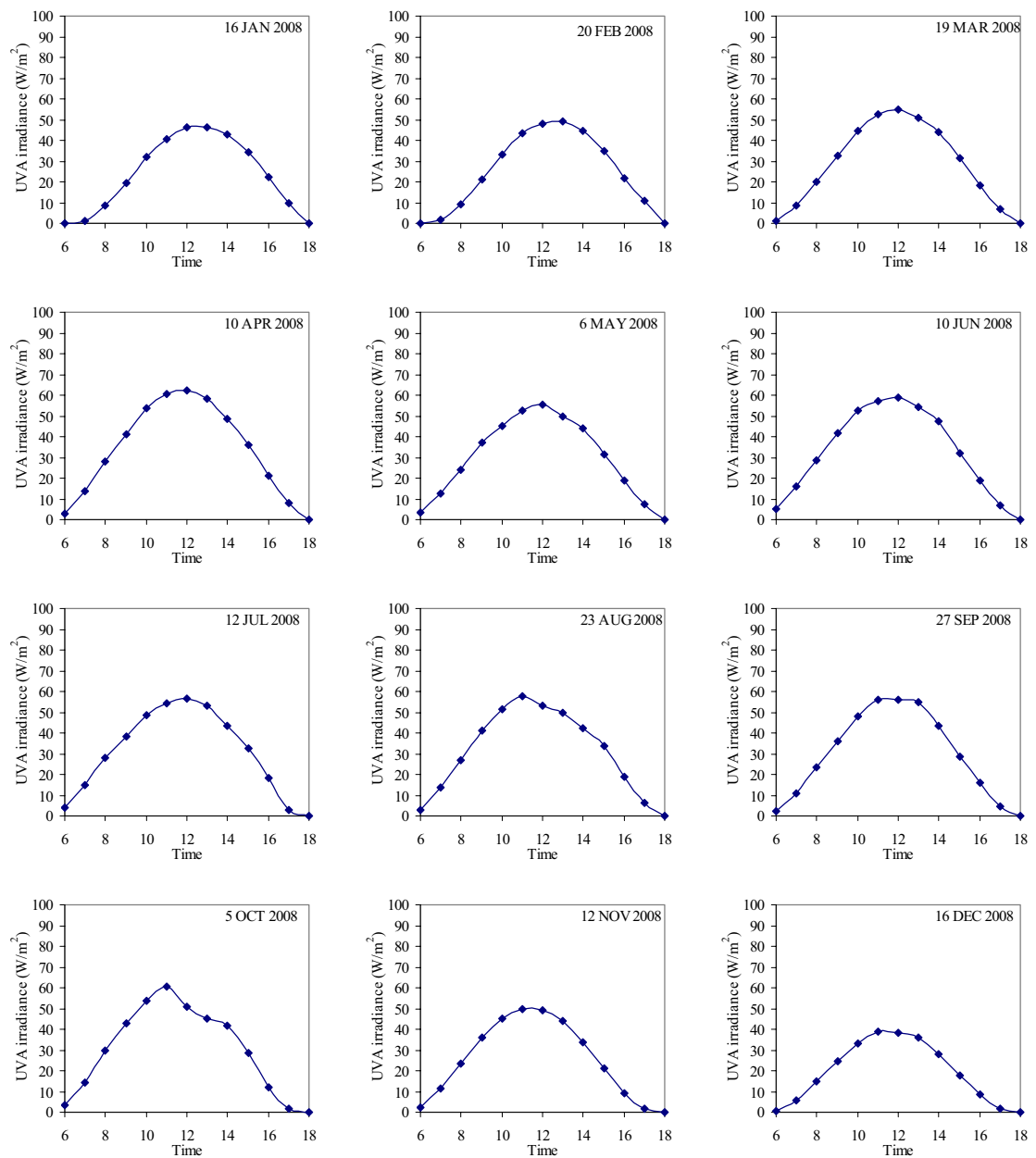
ผู้วิจัยได้ทำการหาปริมาณ UVA UVB และ EUV ด้วยวิธีการ integrate ตามสมการ 3.6, 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาการแปรค่าในรอบวันและการแจกแจงความถี่ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่คำนวณได้ดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังหัวข้อถัดไป

3.5.1 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)

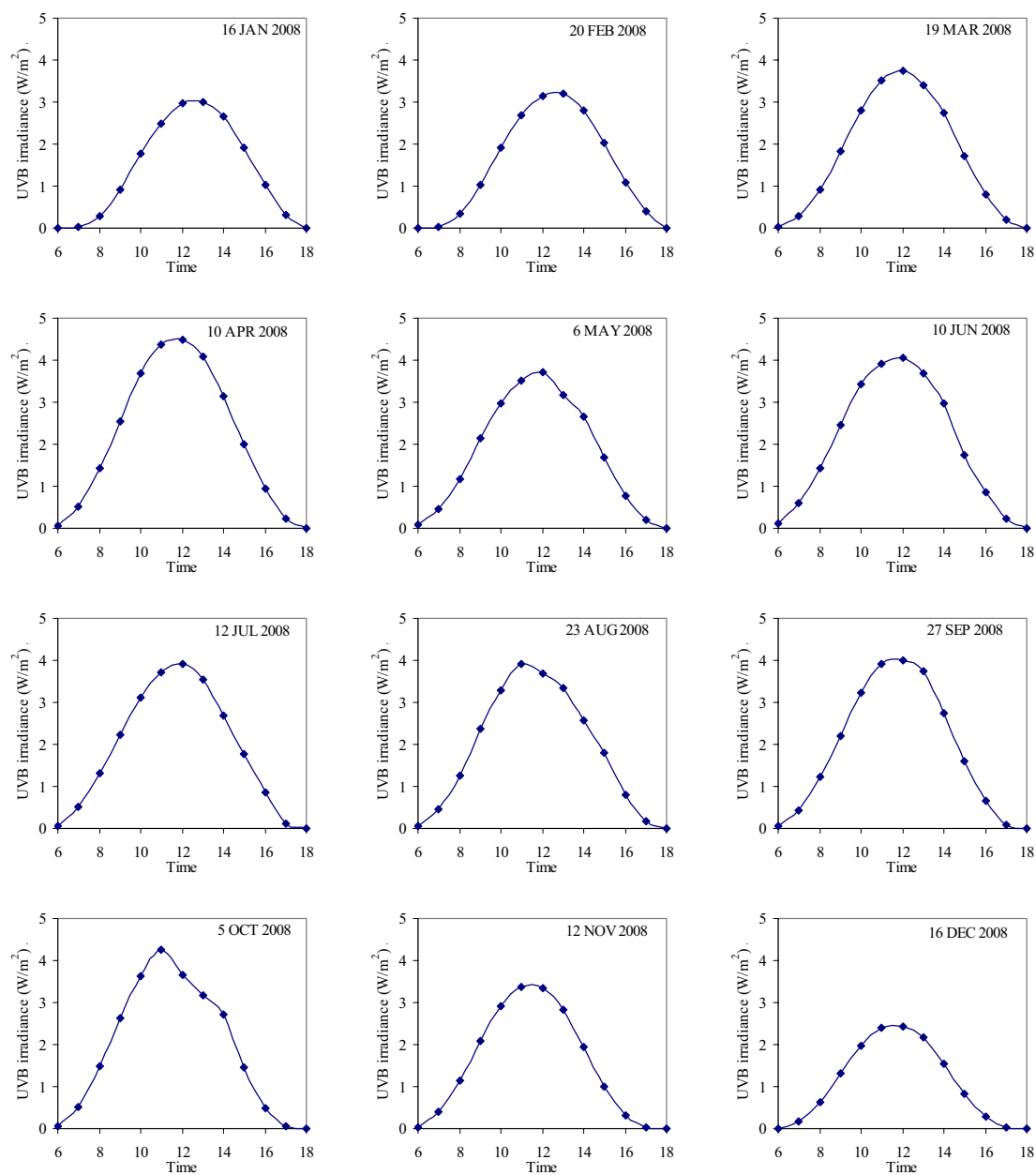
3.5.1.1 กรณีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

ในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้ทำการ integrate ในช่วง UVA, UVB และ EUV ซึ่งวัดในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆหรือมีเมฆน้อยที่สุดมาทำการพล็อตกราฟการแปรค่าความเข้มรายชั่วโมง ผลที่ได้แสดงในรูปแบบที่ 3.44, 3.45 และ 3.46 ตามลำดับ

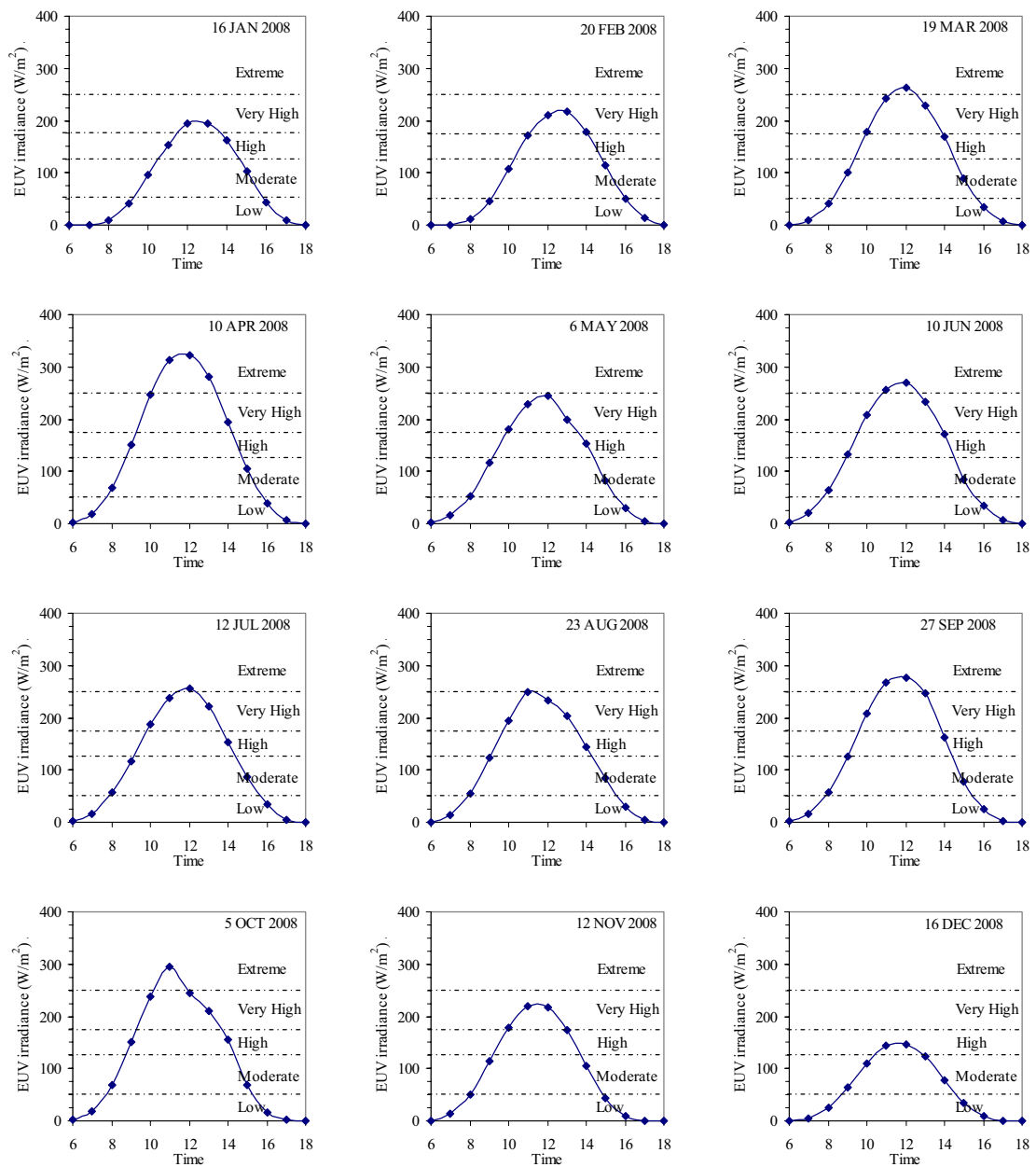
จากกราฟพบว่าค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับที่สูงโดยเดือนที่มีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงที่สุดคือเดือนเมษายนซึ่งมีค่าสูงสุดของ UVA, UVB และ EUV เท่ากับ 62.4 W/m^2 , 4.4 W/m^2 และ 322.0 W/m^2 ตามลำดับ ส่วนเดือนที่มีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่ำที่สุดคือเดือนธันวาคม



รูปที่ 3.44 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ



รูปที่ 3.45 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) ในวันที่
ท้องฟ้าปราศจากเมฆ



รูปที่ 3.46 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ

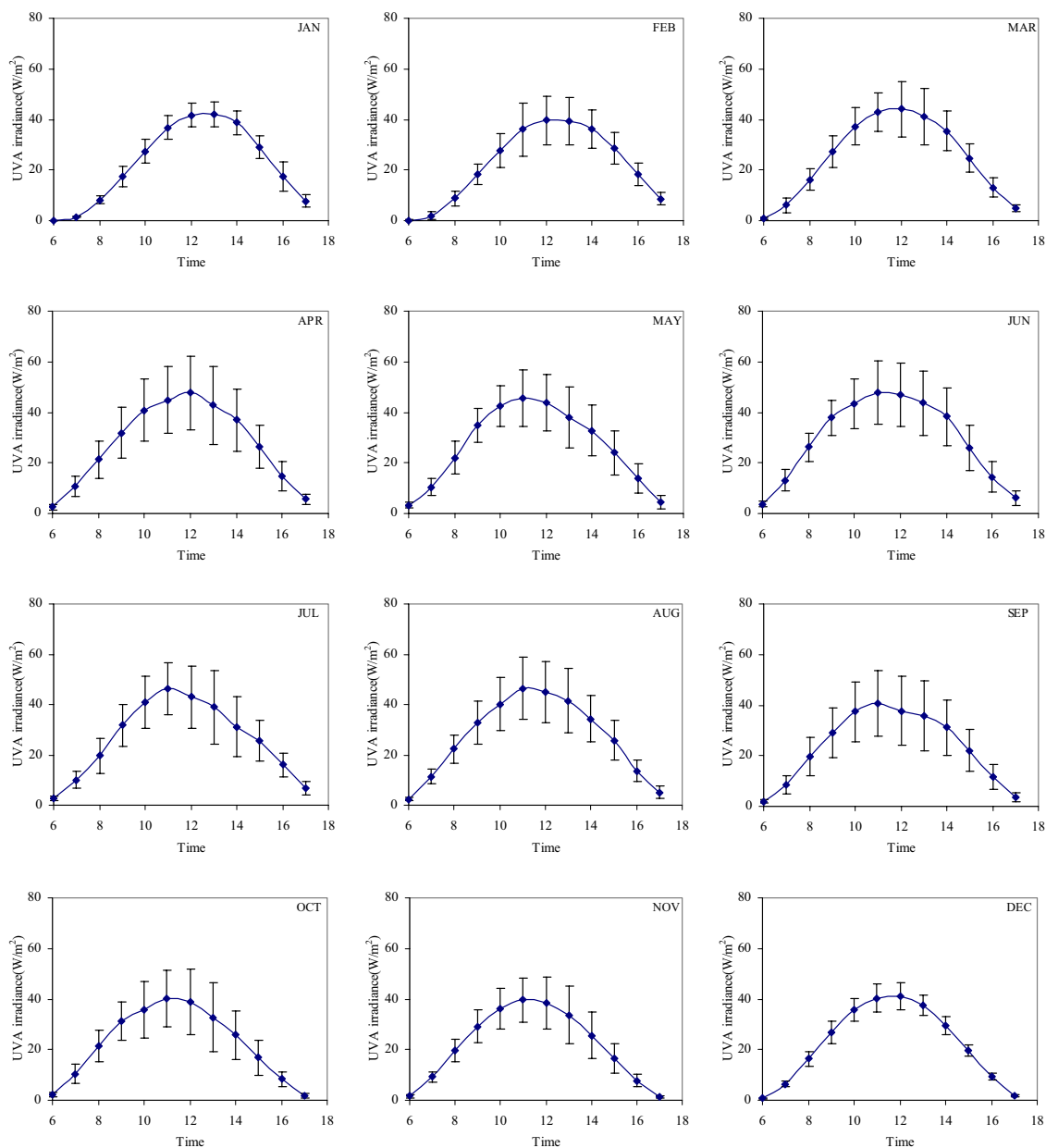
3.5.1.2 กรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไป (general sky)

สำหรับกรณีสภาพท้องฟ้าทั่วไปการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มรังสี UVA, UVB และ EUV ในรอบวันขึ้นอยู่กับปริมาณเมฆและมุมเซนธิรน้อยสุดของแต่ละเดือน โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี UVA, UVB และ EUV รายชั่วโมงพร้อมทั้งคำนวณค่า SD ของแต่ละเดือนแล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวันดังแสดงในรูปที่ 3.47, 3.48 และ 3.49 ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่าการแปรค่าของรังสี UVA, UVB และ EUV ในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมมีค่ามากเนื่องจากในเดือนดังกล่าวมีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวจะมีเมฆปกคลุมท้องฟ้ามาก ส่วนในเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคม และ กุมภาพันธ์ มีการแปรค่าน้อยอันเนื่องมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดพามวลอากาศเย็นและแห้งทำให้ท้องฟ้ามีสภาพปราศจากเมฆ

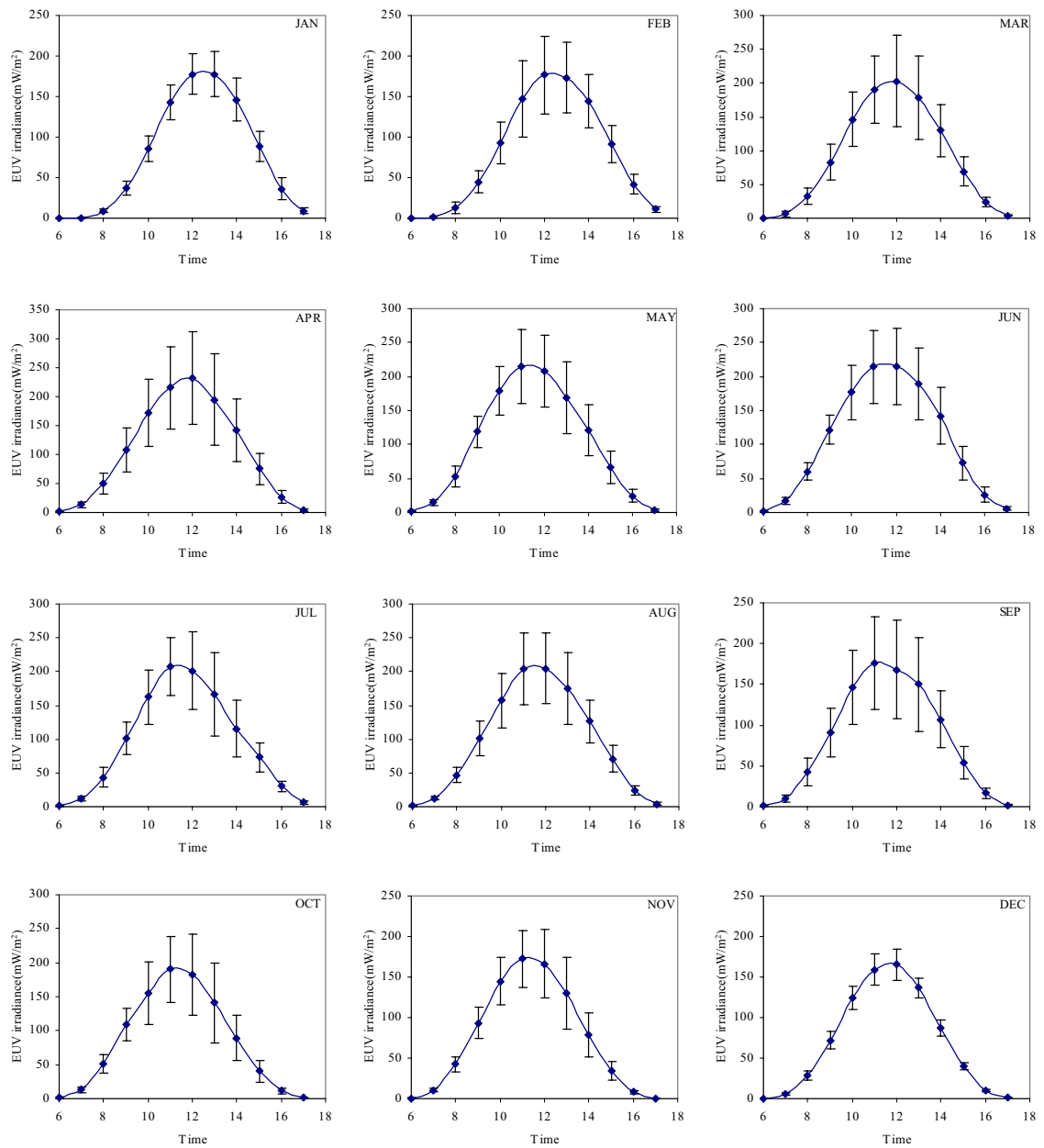
จากกราฟในรูปที่ 3.47 ซึ่งแสดงการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงของรังสี UVA โดยมีค่าสูงสุดที่เดือนมิถุนายน โดยมีค่าเท่ากับ 61.9 W/m^2

จากกราฟในรูปที่ 3.48 ซึ่งแสดงการแปรค่ารังสี UVB รายชั่วโมงนั้น จะพบว่า ที่เดือนเมษายนจะมีค่าความเข้มรังสี UVB สูงที่สุดคือ 4.4 W/m^2

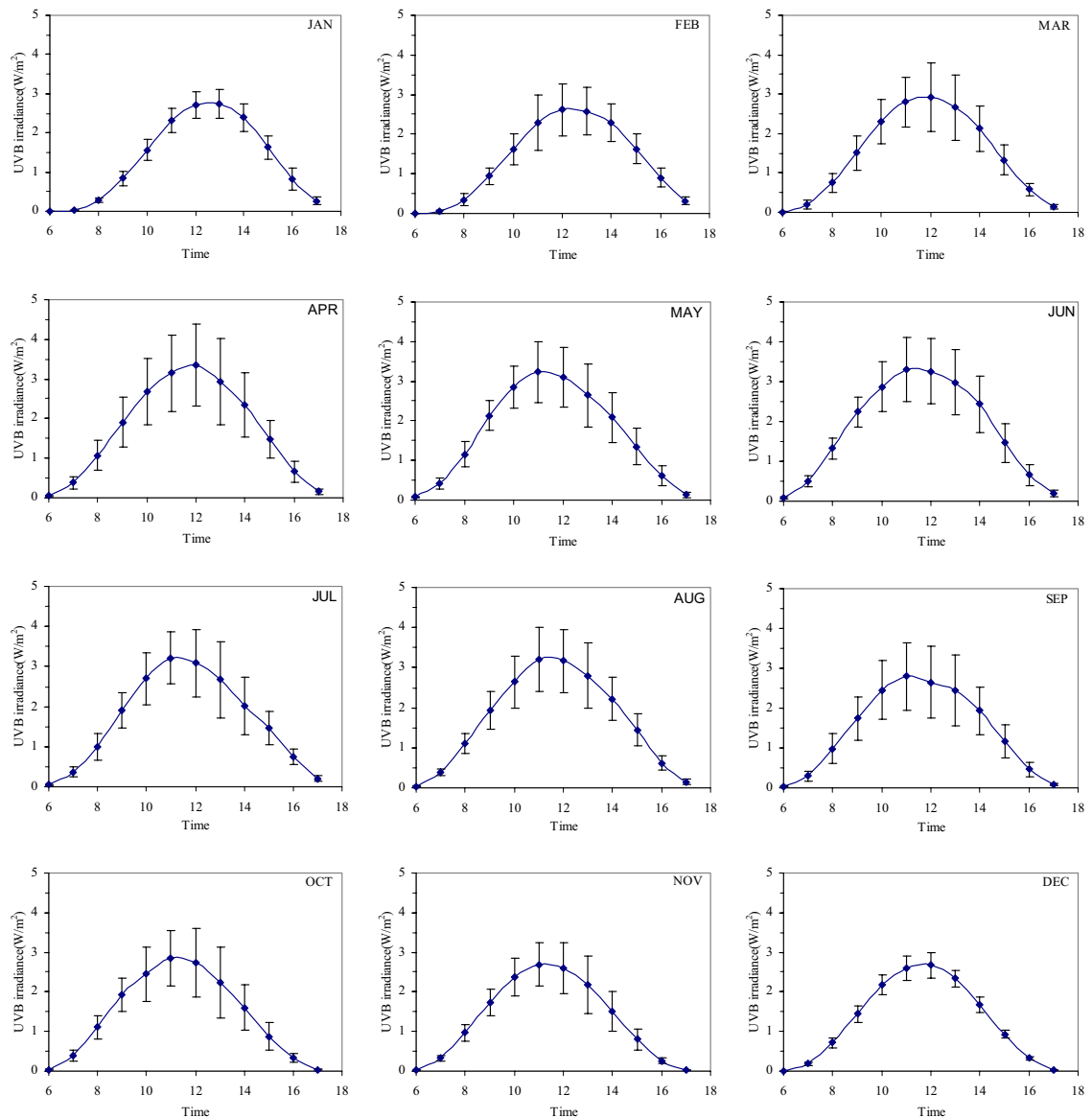
จากกราฟในรูปที่ 3.49 ซึ่งแสดงการแปรค่าความเข้มรังสี EUV รายชั่วโมง จะพบว่าในเดือนเมษายนจะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 311.2 mW/m^2



รูปที่ 3.47 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน [error bar หมายถึงค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.48 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน [error bar หมายถึงค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.49 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน [error bar หมายถึงค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]

3.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามฤดูกาลในรอบปี(seasonal variation)

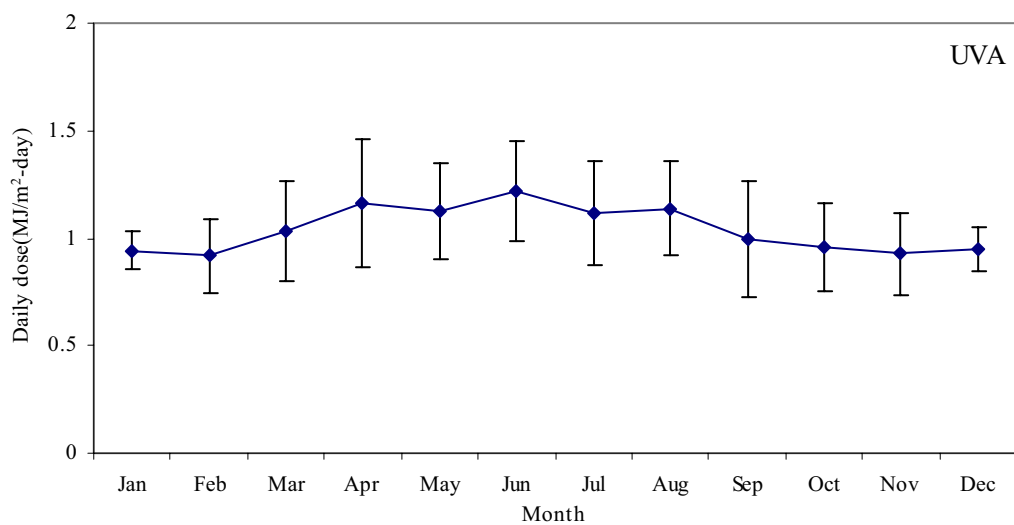
โดยทั่วไปค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัด ณ สถานที่หนึ่งจะแปรตามฤดูกาลในรอบปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าหรือการเปลี่ยนมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (solar declination) และปริมาณทางอุตุนิยมวิทยา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้ม UVA, UVB และ EUV มาทำการหาค่าพลังงานที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนแสดงในหน่วยของพลังงาน พร้อมทั้งแสดงค่า SD ของค่าความเข้มดังกล่าว ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.50 ถึง 3.52

จากกราฟในรูปที่ 3.50 ซึ่งแสดงการแปรค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงของรังสี UVA โดยมีค่าสูงสุดที่เดือนมิถุนายน โดยมีค่าเท่ากับ 1.24 MJ/m^2 และมีปริมาณรังสี UVA น้อยสุดที่เดือนพฤศจิกายน โดยมีค่าเท่ากับ 0.93 MJ/m^2 โดยมีค่าความเข้มเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 1.06 MJ/m^2

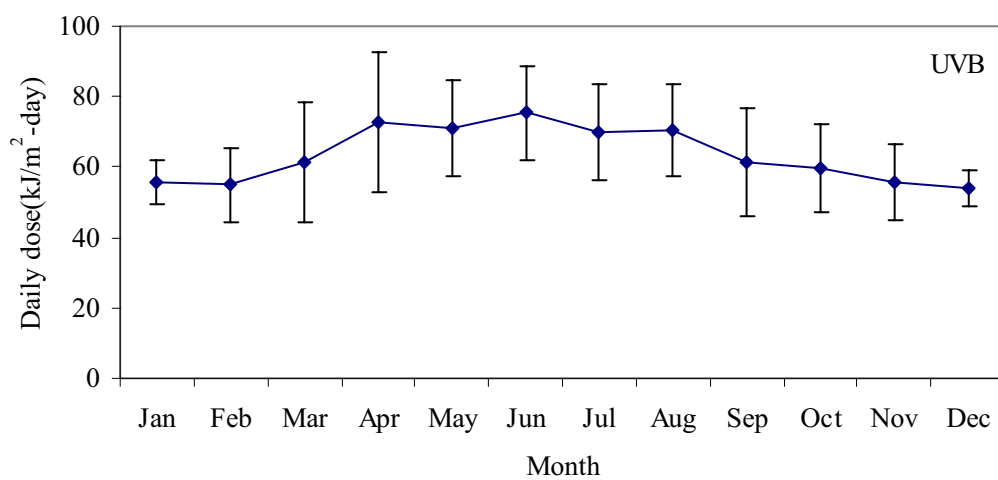
จากกราฟในรูปที่ 3.51 ซึ่งแสดงการแปรค่ารังสี UVB รายชั่วโมงนั้น จะพบว่า ที่เดือนเมษายนจะมีค่ารังสี UVB สูงที่สุดคือ 76.06 kJ/m^2 และจะมีปริมาณน้อยที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 54.32 kJ/m^2 โดยมีความเข้มเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 64.91 kJ/m^2

จากกราฟในรูปที่ 3.52 ซึ่งแสดงการแปรค่าความเข้มรังสี EUV รายชั่วโมง จะพบว่าในเดือนเมษายนจะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 4.4 kJ/m^2 และในเดือนธันวาคมจะมีค่าต่ำที่สุดคือ 2.98 kJ/m^2 โดยมีความเข้มเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าเท่ากับ 3.80 kJ/m^2

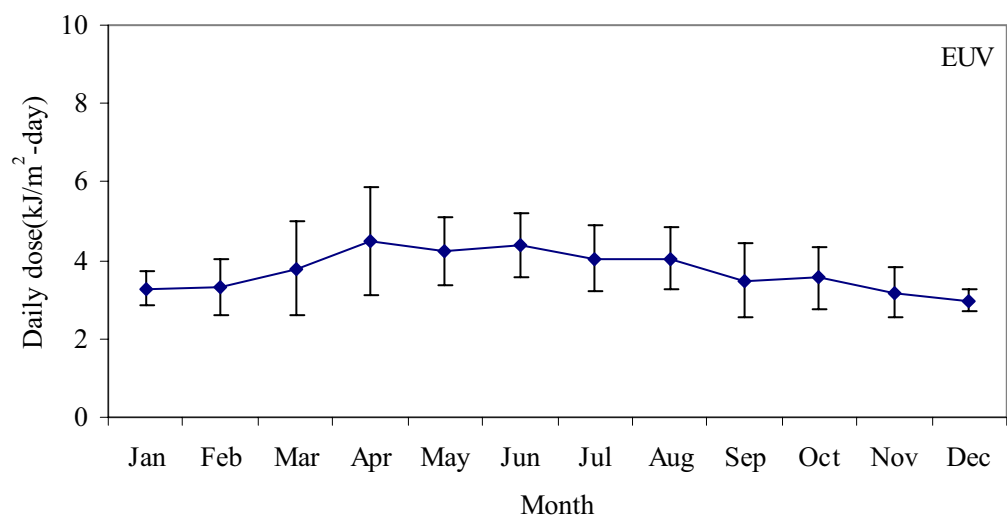
ในกรณีของความเข้มรังสี UVB และ EUV ในเดือนเมษายน จะมีค่าสูงเนื่องมาจากมุมของดวงอาทิตย์อยู่ในแนวเกือบตั้งฉากกับประเทศไทย สำหรับช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมที่มีอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และปริมาณโอโซนที่สูง จะลดทอนปริมาณรังสี EUV และ UVB ส่งผลให้ปริมาณดังกล่าวที่วัดได้น้อย ซึ่งแตกต่างจากการแปรค่าของปริมาณรังสี UVA ที่จะมีค่าสูงสุดอยู่ในเดือนมิถุนายน เนื่องจากปริมาณโอโซนมีผลในการลดทอนความเข้มรังสี UVA น้อยกว่า UVB และ EUV



รูปที่ 3.50 แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



รูปที่ 3.51 แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



รูปที่ 3.52 แสดงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน

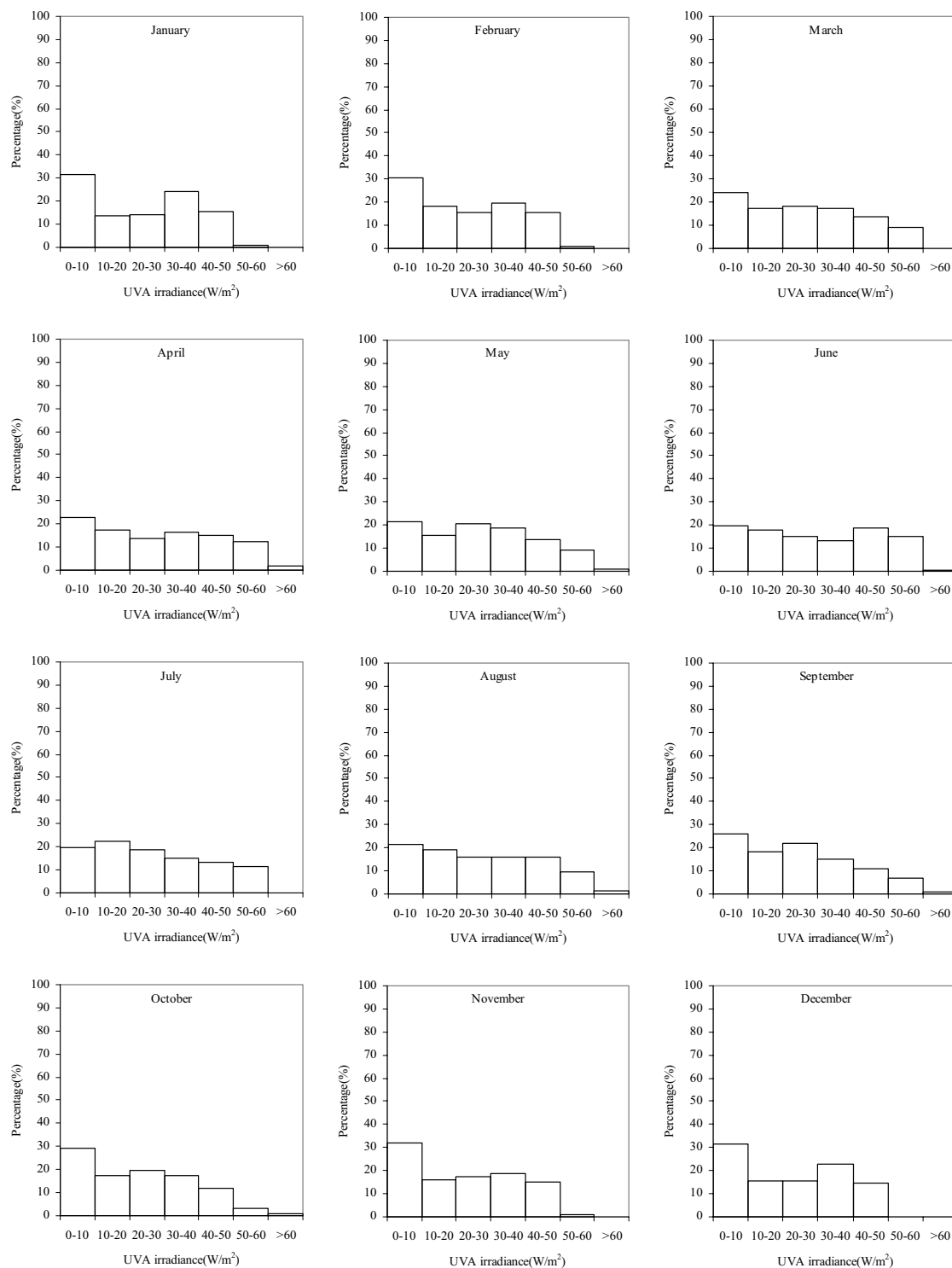
3.5.3 การแจกแจงความถี่ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมง

จากข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมง ผู้วิจัยได้นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการแจกแจงตามระดับความเข้มในแต่ละเดือน โดยจะแบ่งช่วงค่า UVA เป็นช่วงละ 10 W/m^2 และ UVB แบ่งเป็นช่วงละ 1 W/m^2 ส่วน EUV จะแบ่งช่วงความเข้มตามค่า UV index ของ WMO ซึ่งการแจกแจงดังกล่าวจะทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็น (probability) ที่จะได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ ของแต่ละเดือนในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.53 ถึง 3.55 ผู้วิจัยได้คำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะได้รับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ ในรอบปีดังแสดงในรูปที่ 3.59 ถึง 3.61 นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งช่วงเวลาของการแจกแจงออกเป็นข้อมูลในช่วงเช้า (6.00-12.00 น.) และในช่วงบ่าย (12.00 - 18.00 น.) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.56 ถึง 3.58

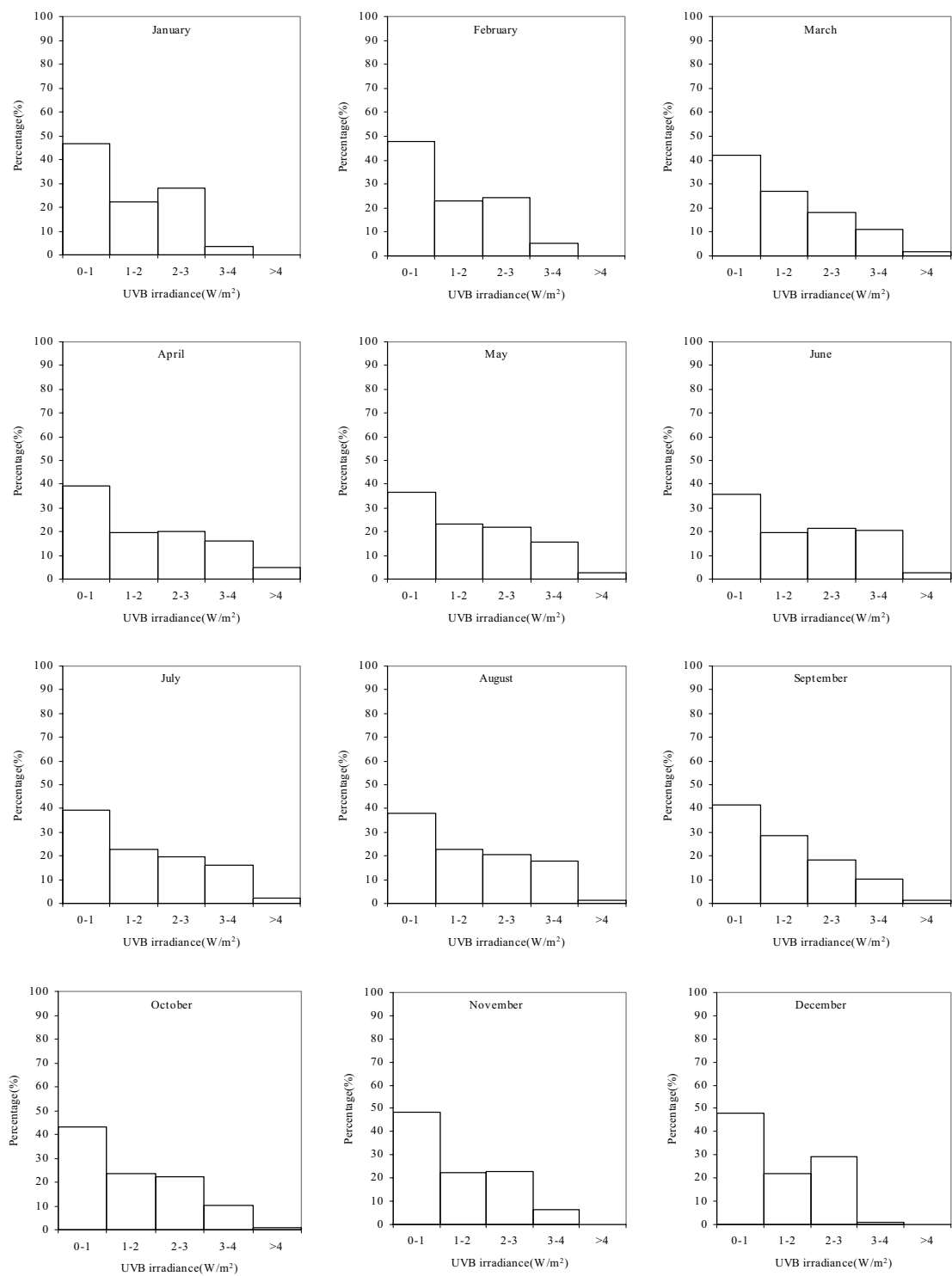
จากรูปที่ 3.56 และ 3.62 แสดงค่าการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ความถี่รายชั่วโมงในรอบปีของ UVA พบว่าปริมาณรังสี UVA ส่วนมากจะอยู่ในช่วงความเข้ม $0-10 \text{ W/m}^2$ มีปริมาณ 25% ต่อปี โดยที่ความเข้มในชั้น $>60 \text{ W/m}^2$ จะมีเพียง 0.53% ต่อปี เมื่อพิจารณาจากกราฟการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสี UVA ในช่วงเช้าและบ่ายในกราฟรูปที่ 3.62 แล้วพบว่าโอกาสที่จะได้รับความเข้มในช่วงต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเวลาเช้าและบ่าย

จากรูปที่ 3.57 และ 3.63 แสดงค่าการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ความถี่ของรังสี UVB พบว่ามีค่าเฉลี่ยความถี่รายชั่วโมงสูงสุดในช่วงความเข้ม $0-1 \text{ W/m}^2$ โดยมีปริมาณ 42.13% และที่ปริมาณความเข้ม UVB ที่มีค่ามากกว่า 4 W/m^2 คิดเป็น 4.75% และจากการพิจารณารูปที่ 3.60 และ 3.66 จะพบว่าในช่วงเวลาบ่ายมีโอกาสที่จะมีปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีในช่วง $3-4 \text{ W/m}^2$ และ $>4 \text{ W/m}^2$ มากกว่าช่วงเวลาเช้า คิดเป็น 0.91% ต่อปี สำหรับช่วงเวลาเช้า ในขณะที่ช่วงเวลาบ่ายจะมีค่าเป็น 1.95% ต่อปี เช่นเดียวกับที่ค่าความเข้มในช่วง $3-4 \text{ W/m}^2$ ซึ่งปริมาณในช่วงเวลาเช้าคิด 9.86% ในขณะที่ช่วงบ่ายมีค่าเป็น 12.40%

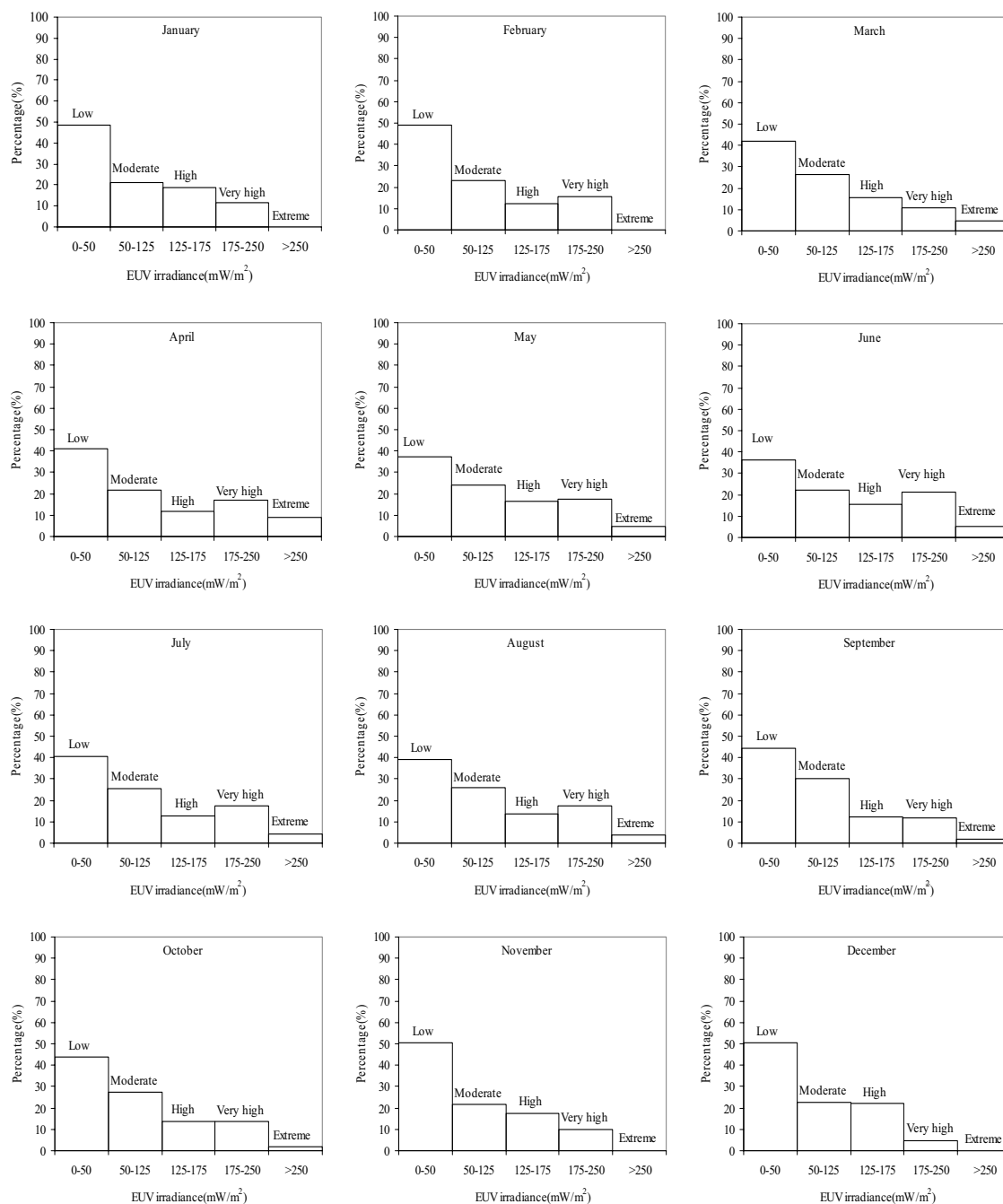
ในกรณีของค่า EUV ผลที่ได้พบว่าค่าของ EUV ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระดับ Low ที่มีความเข้มอยู่ระหว่าง $0-50 \text{ mW/m}^2$ หรือคิดเป็น 43.55% ต่อปี โดยที่ปริมาณความเข้มที่อยู่ในระดับ Extreme ที่มีค่าความเข้มมากกว่า 250 mW/m^2 มีค่าคิดเป็น 5.23% ต่อปี และเดือนที่มีโอกาสที่จะได้รับความเข้มในระดับ Extreme คือระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม โดยมีค่าสูงสุดที่เดือนเมษายนหรือคิดเป็น 8.83% ต่อเดือน จากกราฟรูปที่ 3.64 แสดงการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ความถี่ของรังสี EUV รายปี ในช่วงเวลาเช้าและบ่ายพบว่าในช่วงเวลาเช้าจะมีโอกาสที่จะได้รับความเข้มระดับ Extreme คิดเป็น 4.50% มากกว่าช่วงบ่ายซึ่งมีปริมาณคิดเป็น 0.73%



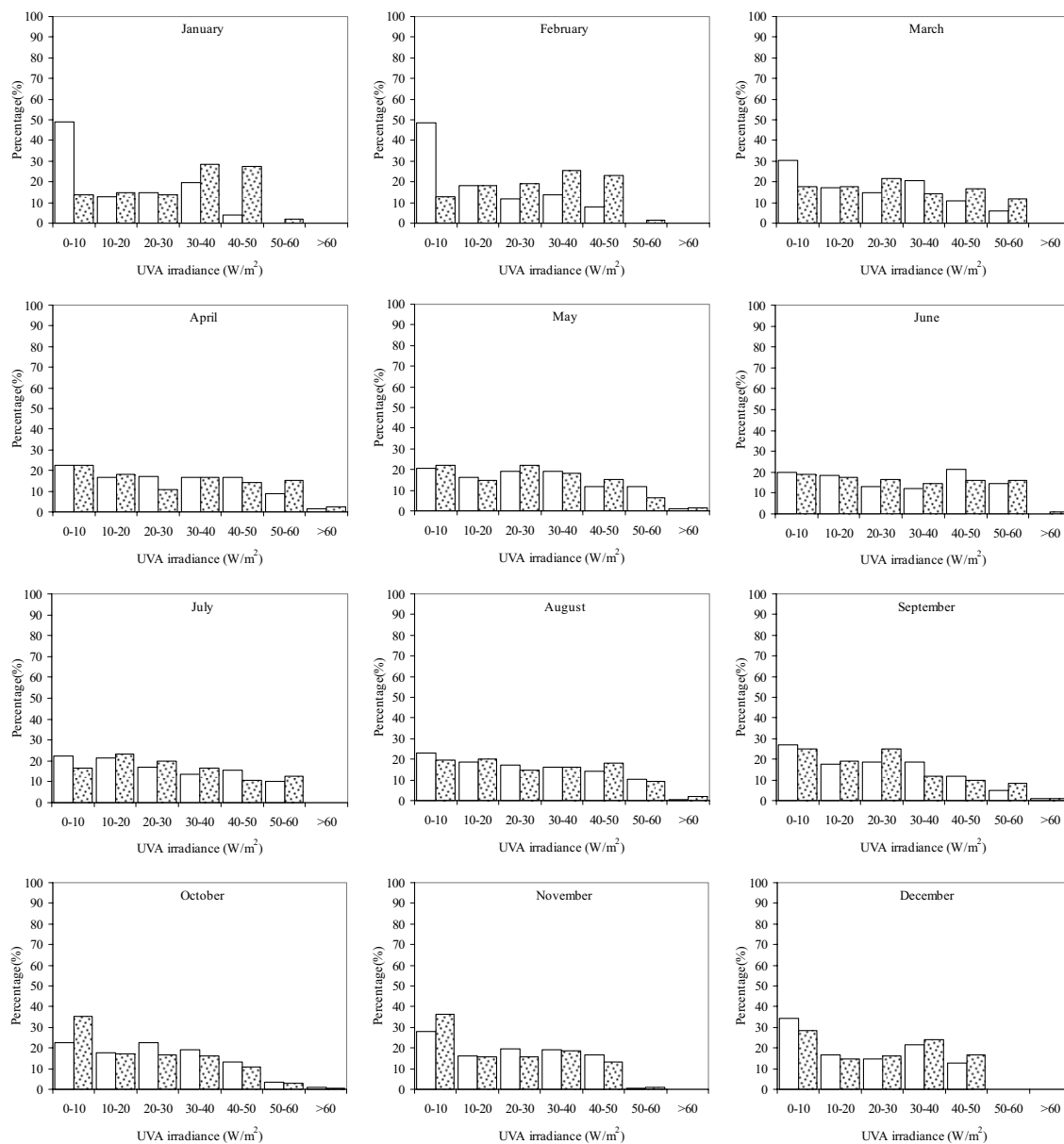
รูปที่ 3.53 แสดงการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ(UVA)รายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ



รูปที่ 3.54 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) ราย ชั่วโมงในเดือนต่างๆ

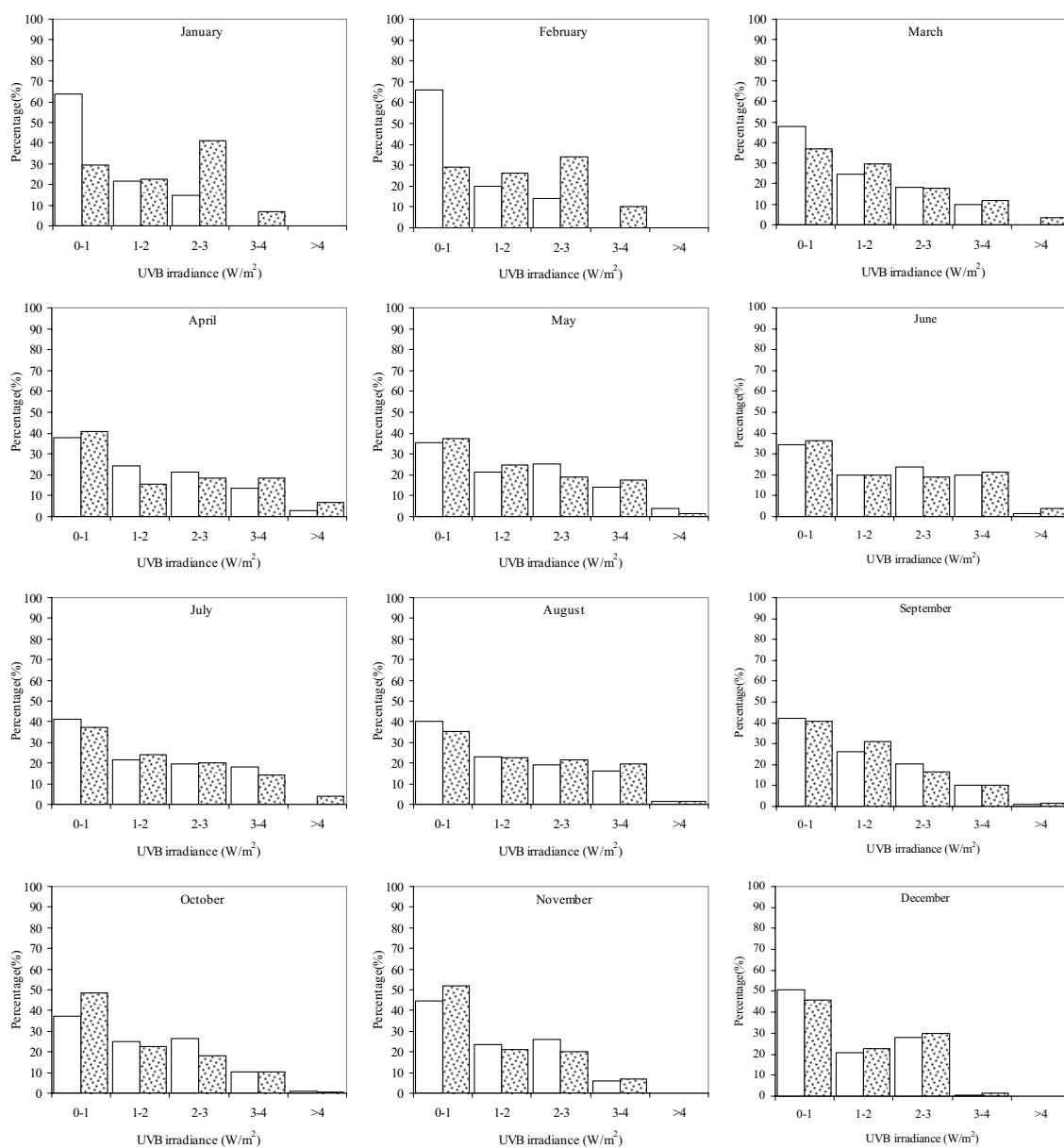


รูปที่ 3.55 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ



รูปที่ 3.56 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) ราย ชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

□ morning (6:00-12:00) ▨ afternoon (12:00-18:00)



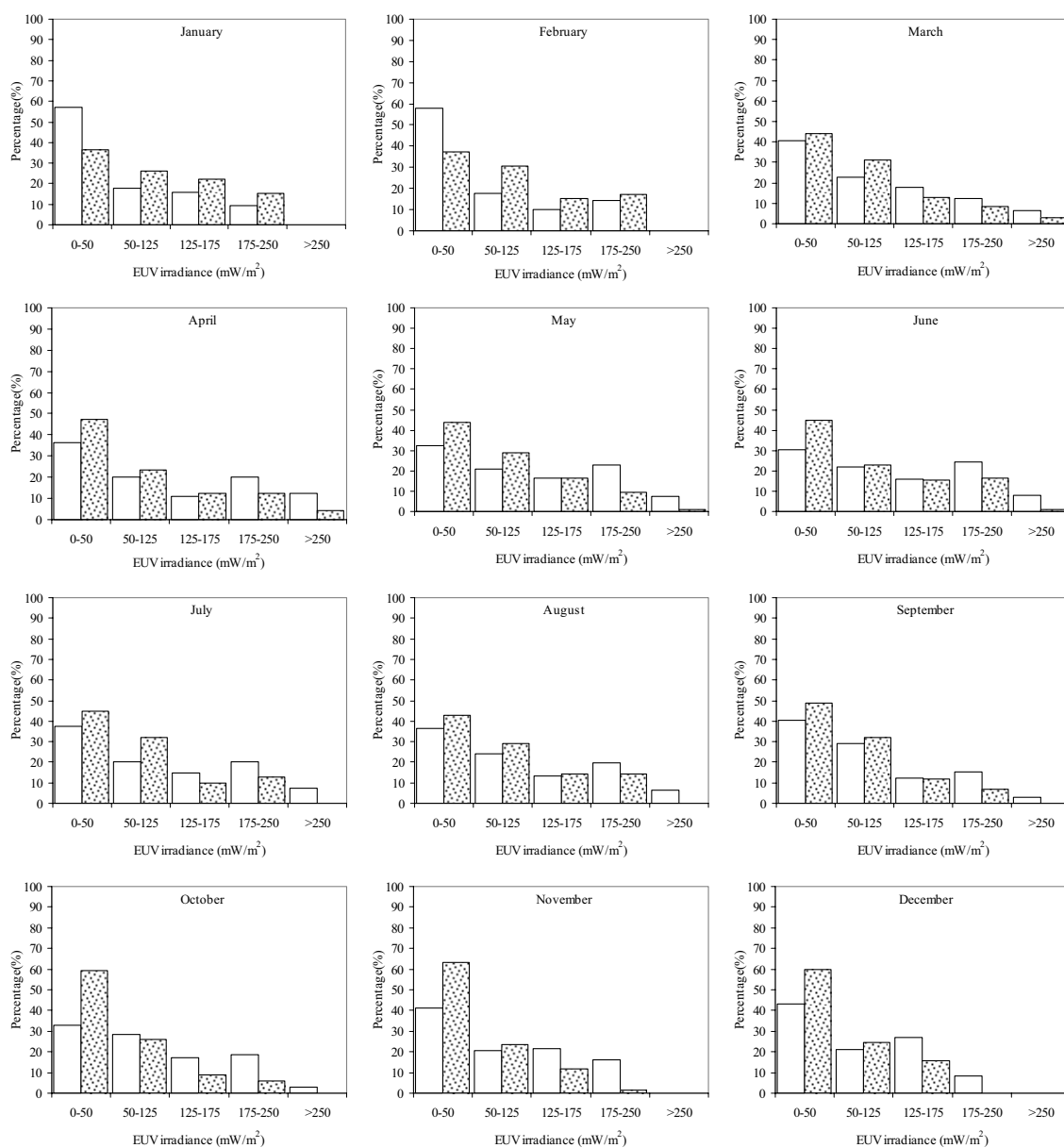
รูปที่ 3.57 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) ราย ชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)



morning (6:00-12:00)



afternoon (12:00-18:00)



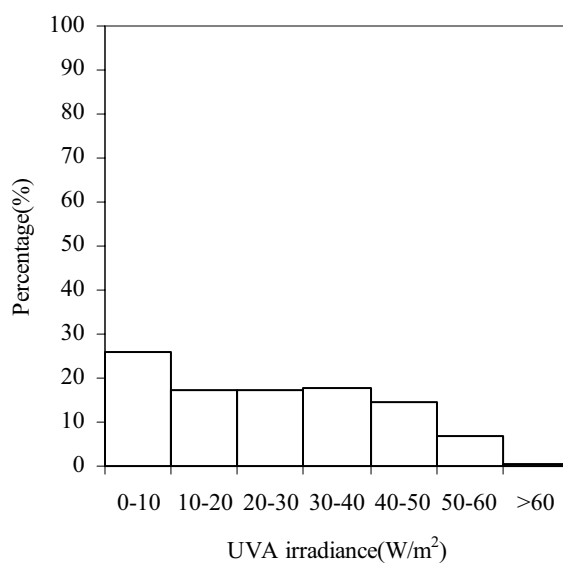
รูปที่ 3.58 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง-มนุษย์ (EUV) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)



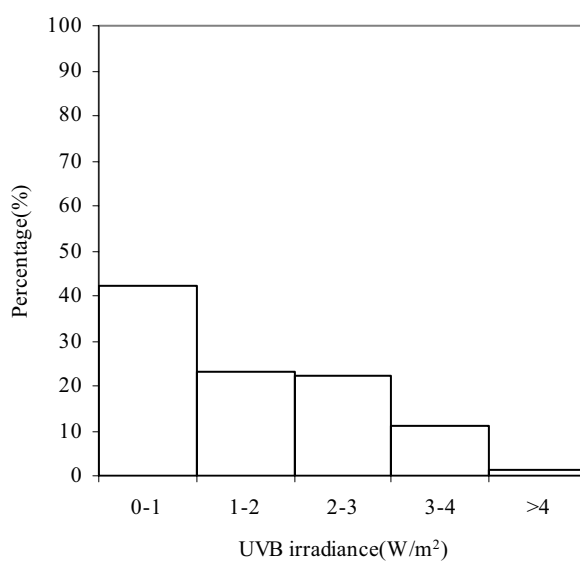
morning (6:00-12:00)



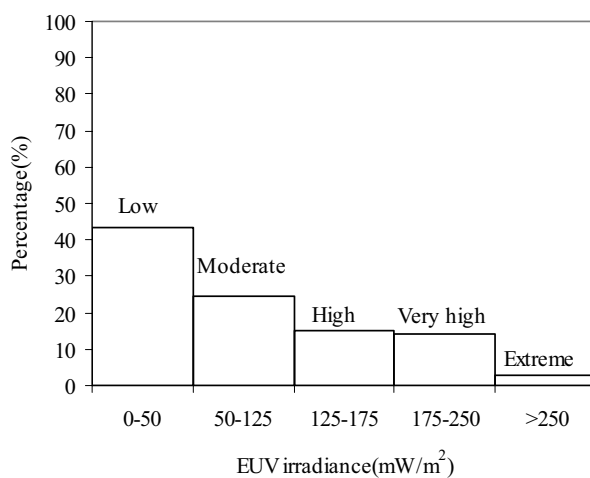
afternoon (12:00-18:00)



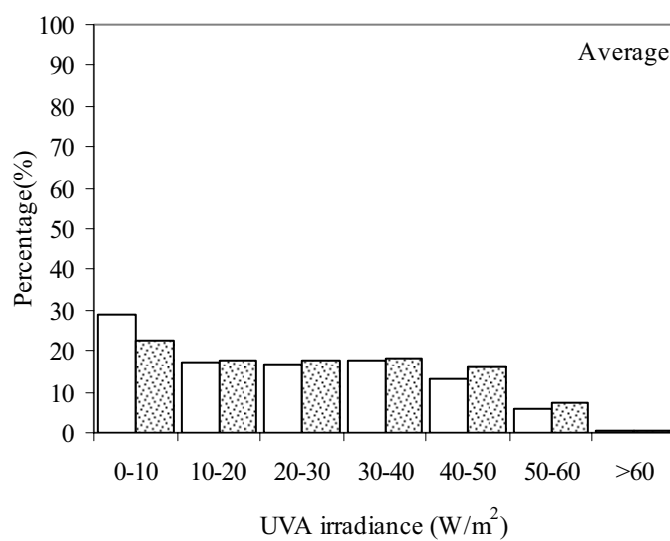
รูปที่ 3.59 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่ารังสีอัลตราไวโอเลตเอรายชั่วโมงตลอดทั้งปี



รูปที่ 3.60 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่ารังสีอัลตราไวโอเลตบีรายชั่วโมงตลอดทั้งปี

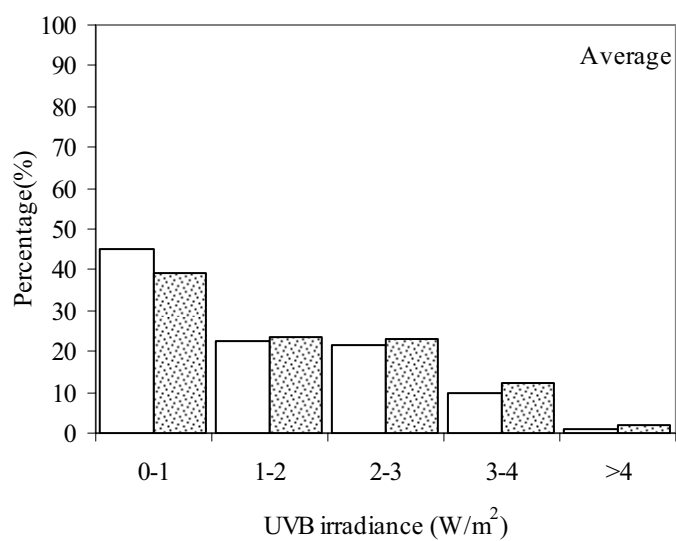


รูปที่ 3.61 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงตลอดทั้งปี



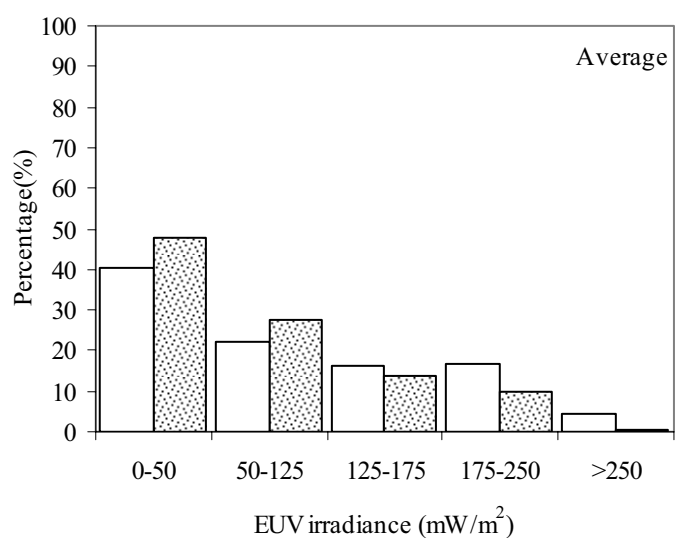
รูปที่ 3.62 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UVA) รายชั่วโมงตลอดทั้งปี (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

morning (6:00-12:00)
 afternoon (12:00-18:00)



รูปที่ 3.63 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมงตลอดทั้งปี (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

□ morning (6:00-12:00) ▨ afternoon (12:00-18:00)



รูปที่ 3.64 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมงตลอดทั้งปี (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

□ morning (6:00-12:00) ▨ afternoon (12:00-18:00)

ตารางที่ 3.3 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) ราย ชั่วโมง

Month	Percentage UVA%						
	0-10 (W/m ²)	10-20 (W/m ²)	20-30 (W/m ²)	30-40 (W/m ²)	40-50 (W/m ²)	50-60 (W/m ²)	>60 (W/m ²)
January	31.37	13.73	14.22	24.02	15.69	0.98	0.00
February	30.56	18.25	15.48	19.44	15.48	0.79	0.00
March	24.10	17.47	18.07	17.47	13.86	9.04	0.00
April	22.71	17.29	13.90	16.61	15.25	12.20	2.03
May	21.32	15.44	20.59	18.75	13.60	9.19	1.10
June	19.47	17.94	14.89	13.36	18.70	15.27	0.38
July	19.41	22.36	18.57	15.19	13.08	11.39	0.00
August	21.29	19.35	16.13	16.13	16.13	9.68	1.29
September	26.05	18.49	21.85	15.13	10.92	6.72	0.84
October	29.20	17.52	19.71	17.52	12.04	3.28	0.73
November	32.18	15.80	17.53	18.68	14.94	0.86	0.00
December	31.45	15.59	15.32	22.85	14.78	0.00	0.00
Average	25.76	17.44	17.19	17.93	14.54	6.62	0.53

ตารางที่ 3.4 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) ราย ชั่วโมง

Month	Percentage UVB %				
	0-1 (W/m ²)	1-2 (W/m ²)	2-3 (W/m ²)	3-4 (W/m ²)	>4 (W/m ²)
January	46.57	22.06	27.94	3.43	0.00
February	47.62	23.02	24.21	5.16	0.00
March	42.17	27.11	18.07	10.84	1.81
April	39.32	19.66	20.00	16.27	4.75
May	36.40	23.16	22.06	15.81	2.57
June	35.50	19.85	21.37	20.61	2.67
July	39.24	22.78	19.83	16.03	2.11
August	37.74	22.90	20.32	17.74	1.29
September	41.60	28.57	18.49	10.08	1.26
October	43.07	23.72	22.26	10.22	0.73
November	48.28	22.41	22.99	6.32	0.00
December	48.12	21.77	29.03	1.08	0.00
Average	42.13	23.09	22.21	11.13	1.43

ตารางที่ 3.5 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ-
ผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมง

Month	Percentage EUV %				
	Low	Moderate	High	Very high	Extreme
	0-50 (mW/m ²)	50-125 (mW/m ²)	125-175 (mW/m ²)	175-250 (mW/m ²)	>250 (mW/m ²)
January	48.53	21.08	18.63	11.76	0.00
February	49.21	23.02	12.30	15.48	0.00
March	42.17	26.51	15.66	10.84	4.82
April	40.99	21.55	11.66	16.96	8.83
May	37.13	24.26	16.54	17.28	4.78
June	36.26	22.14	15.65	20.99	4.96
July	40.51	25.32	12.66	17.30	4.22
August	39.03	26.13	13.55	17.42	3.87
September	44.12	30.25	12.18	11.76	1.68
October	43.80	27.37	13.50	13.50	1.82
November	50.57	21.84	17.53	10.06	0.00
December	50.27	22.58	22.31	4.84	0.00
Average	43.55	24.34	15.18	14.02	2.92

ตารางที่ 3.6 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UVA) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

Month	Percentage UVA %													
	0-10 (W/m ²)		10-20 (W/m ²)		20-30 (W/m ²)		30-40 (W/m ²)		40-50 (W/m ²)		50-60 (W/m ²)		>60 (W/m ²)	
	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon
January	49.02	13.73	12.75	14.71	14.71	13.73	19.61	28.43	3.92	27.45	0.00	1.96	0.00	0.00
February	48.41	12.70	18.25	18.25	11.90	19.05	13.49	25.40	7.94	23.02	0.00	1.59	0.00	0.00
March	30.49	17.86	17.07	17.86	14.63	21.43	20.73	14.29	10.98	16.67	6.10	11.90	0.00	0.00
April	22.76	22.67	16.55	18.00	17.24	10.67	16.55	16.67	16.55	14.00	8.97	15.33	1.38	2.67
May	20.74	21.90	16.30	14.60	19.26	21.90	19.26	18.25	11.85	15.33	11.85	6.57	0.74	1.46
June	20.00	18.94	18.46	17.42	13.08	16.67	12.31	14.39	21.54	15.91	14.62	15.91	0.00	0.76
July	22.22	16.67	21.37	23.33	17.09	20.00	13.68	16.67	15.38	10.83	10.26	12.50	0.00	0.00
August	23.08	19.48	18.59	20.13	17.31	14.94	16.03	16.23	14.10	18.18	10.26	9.09	0.64	1.95
September	27.12	25.00	17.80	19.17	18.64	25.00	18.64	11.67	11.86	10.00	5.08	8.33	0.85	0.83
October	22.79	35.51	17.65	17.39	22.79	16.67	19.12	15.94	13.24	10.87	3.68	2.90	0.74	0.72
November	28.16	36.21	16.09	15.52	19.54	15.52	18.97	18.39	16.67	13.22	0.57	1.15	0.00	0.00
December	34.41	28.49	16.67	14.52	14.52	16.13	21.51	24.19	12.90	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00
Average	29.10	22.43	17.30	17.57	16.73	17.64	17.49	18.38	13.08	16.01	5.95	7.27	0.36	0.70

ตารางที่ 3.7 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (UVB) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

Month	Percentage UVB %									
	0-1 (W/m ²)		1-2 (W/m ²)		2-3 (W/m ²)		3-4 (W/m ²)		>4 (W/m ²)	
	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon
January	63.73	29.41	21.57	22.55	14.71	41.18	0.00	6.86	0.00	0.00
February	65.87	29.37	19.84	26.19	14.29	34.13	0.00	10.32	0.00	0.00
March	47.56	36.90	24.39	29.76	18.29	17.86	9.76	11.90	0.00	3.57
April	37.93	40.67	24.14	15.33	21.38	18.67	13.79	18.67	2.76	6.67
May	35.56	37.23	21.48	24.82	25.19	18.98	14.07	17.52	3.70	1.46
June	34.62	36.36	20.00	19.70	23.85	18.94	20.00	21.21	1.54	3.79
July	41.03	37.50	21.37	24.17	19.66	20.00	17.95	14.17	0.00	4.17
August	40.38	35.06	23.08	22.73	19.23	21.43	16.03	19.48	1.28	1.30
September	42.37	40.83	26.27	30.83	20.34	16.67	10.17	10.00	0.85	1.67
October	37.50	48.55	25.00	22.46	26.47	18.12	10.29	10.14	0.74	0.72
November	44.83	51.72	23.56	21.26	25.86	20.11	5.75	6.90	0.00	0.00
December	50.54	45.70	20.97	22.58	27.96	30.11	0.54	1.61	0.00	0.00
Average	45.16	39.11	22.64	23.53	21.43	23.01	9.86	12.40	0.91	1.95

ตารางที่ 3.8 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

Month	Percentage EUV%									
	0-50 (mW/m ²)		50-125 (mW/m ²)		125-175 (mW/m ²)		175-250 (mW/m ²)		>250 (mW/m ²)	
	Low		Moderate		High		Very high		Extreme	
	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon
January	57.14	36.47	17.65	25.88	15.97	22.35	9.24	15.29	0.00	0.00
February	57.82	37.14	17.69	30.48	10.20	15.24	14.29	17.14	0.00	0.00
March	40.63	44.29	22.92	31.43	17.71	12.86	12.50	8.57	6.25	2.86
April	36.20	47.50	20.25	23.33	11.04	12.50	20.25	12.50	12.27	4.17
May	32.28	43.86	20.89	28.95	16.46	16.67	22.78	9.65	7.59	0.88
June	30.26	44.55	21.71	22.73	15.79	15.45	24.34	16.36	7.89	0.91
July	37.23	45.00	20.44	32.00	14.60	10.00	20.44	13.00	7.30	0.00
August	36.26	42.97	24.18	28.91	13.19	14.06	19.78	14.06	6.59	0.00
September	40.58	49.00	28.99	32.00	12.32	12.00	15.22	7.00	2.90	0.00
October	32.70	59.13	28.30	26.09	16.98	8.70	18.87	6.09	3.14	0.00
November	41.38	63.45	20.69	23.45	21.67	11.72	16.26	1.38	0.00	0.00
December	43.32	60.00	21.20	24.52	27.19	15.48	8.29	0.00	0.00	0.00
Average	40.48	47.78	22.07	27.48	16.09	13.92	16.85	10.09	4.50	0.73

บทที่ 4

สรุป

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง spectroradiometer (Bentham, DMc150) ที่สถานีวัดมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลระยะยาว 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม 2551 ถึงเดือนธันวาคม 2551 โดยผู้วิจัยได้ศึกษาการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 305, 310, 315, 320, 340 และ 380 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นหลักของรังสีอัลตราไวโอเล็ต และการศึกษาพบว่า ความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน (solar noon) จากนั้นได้ศึกษาการแปรค่าตามความยาวคลื่นของความเข้มของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ค่าต่างๆ โดยพบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์มีค่าลดลง ในขั้นตอนถัดมาผู้วิจัยได้ทำการอินทิเกรตสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตใน 3 ช่วงความยาวคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (UVA, 320 – 400 nm) รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (UVB, 280 – 320 nm) และ รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV, 280 – 320 nm) จากนั้นได้ศึกษาการแปรค่าในรอบวันและในรอบปี ของ UVA, UVB และ EUV ผลการศึกษาพบว่า UVA, UVB และ EUV มีความแปรปรวนมาก ยกเว้นเดือนมกราคมและเดือนธันวาคมซึ่งมีความแปรปรวนน้อย การแปรค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสี UVA และ UVB จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับจากเดือนมกราคมและมีค่าสูงสุดในเดือนมิถุนายนและหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยสุดในเดือนธันวาคม ในขณะที่ปริมาณรังสี EUV จะมีค่าสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายน

จากการแจกแจงความถี่ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ส่วนใหญ่จะเป็นของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตน้อยๆ และเปอร์เซ็นต์ความถี่จะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อแยกพิจารณาช่วงเช้าและช่วงบ่าย พบว่าค่า EUV ในระดับ Low และ Moderate (Index <6) ช่วงบ่าย (12.00-18.00 น.) จะมีปริมาณในมากกว่าในช่วงเช้า (06.00 – 12.00 น.) แต่ในระดับ High(125 – 175 mW/m²) - Extreme(มากกว่า 250 mW/m²) ในช่วงเช้าจะมีปริมาณมากกว่าในช่วงบ่าย โดยตลอดทั้งปีจะมีปริมาณ EUV ในระดับ High Very high และ Extreme มีค่าเท่ากับ 15.2% 14.0% และ 2.9% ตามลำดับ

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิตินี้ได้มาจากจังหวัดนครปฐมซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ในภาคกลางของประเทศไทย ดังนั้นจึงคาดว่าผลที่ได้มานี้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลตัวแทนในเขตภาคกลางได้

ในปัจจุบันการวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะว่าควรจัดตั้งสถานีวิัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตเพิ่มเติมโดยอย่างน้อยควรมีการวัดในภูมิภาคหลัก ภูมิภาคละ 1 แห่ง ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่เป็นตัวแทนของแต่ละภาคสำหรับการใช้ในการศึกษาผลกระทบของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมต่อไป

บรรณานุกรม

- Adam, M. E-N., El Shazly, S.M. Attenuation of UV-B radiation in the atmosphere: Clouds effect, at Qena (Egypt), *Atmospheric Environment* 41, 4856-4864, 2007
- Casaccia, C., Kirchhoff, V.W.J.H., Torres, A. Simultaneous measurements of ozone and ultraviolet radiation : spring 2000, Punta Arenas, Chile, *Atmospheric Environment* 37, 383-389, 2003
- CIE, A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, Research note, International Commission on Illumination, vol. 6, No. 1, 1987.
- Frederick, J.E., Soulen, P.F., Diaz, S.B., Smolskaia, I., Booth, C.R., Lucas, T., Neuschuler, D. Solar ultraviolet irradiance observed from southern Argentina: September 1990 to March 1991, *Journal of Geophysical Research* 98, 8891-8897, 1993.
- Feister, U., Gericke, K. Cloud flagging of UV spectral irradiance measurements, *Atmospheric Research* 49, 115-138, 1998.
- Guarnieri, R.A., Padilha, L.F., Guarnieri, F.L., Echer, E., Makita, K., Pinheiro, D.K., Schuch, A.M.P., Boeira, L.S., Schuch, N.J. A study of the anticorrelations between ozone and UV-B radiation using linear and exponential fits southern Brazil, *Advances in Space Research* 34, 764-768, 2004.
- Gurney, K.R. Evidence for increasing ultraviolet irradiance at Point Barrow, *Geophysical Research Letters* 25, 903-906, 1998.
- Gutiérrez-Marco, E., Hernández, E., Camacho, J.L., Labajo, A. Analysis of UVB values in the centre of the Iberian Peninsula, *Atmospheric Research* 84, 345-352, 2007.
- Harrison, G.I., Young, A.R. Ultraviolet radiation-induced erythema in human skin, *Methods* 28, 14-19, 2002.
- Iqbal, M, An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, New York, 1983.
- Kikas, Ü., Reinart, A., Vaht, M., Veismann, U. A case study of the impact of Boundary layer aerosol size distribution on the surface UV irradiance, *Atmospheric Environment* 35, 5041-5055, 2001.

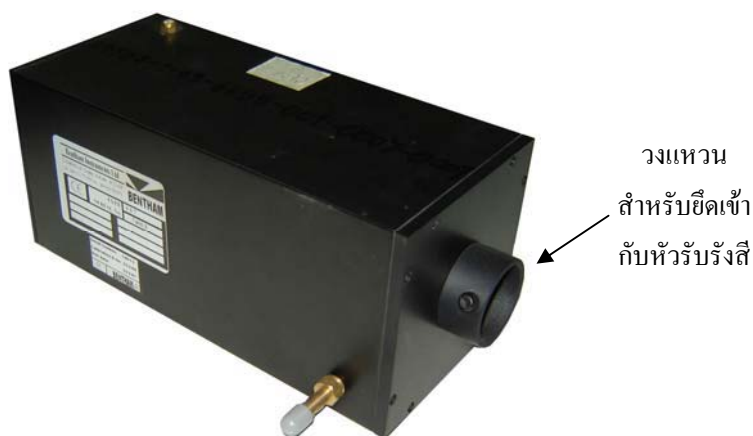
- Lam, K.S., Ding, A., Chan, L.Y., Wang, T., Wang, T.J. Ground-base measurements of total ozone and UV radiation by the Brewer spectrophotometer #115 at Hong Kong, *Atmospheric Environment* 36, 2003-2012, 2002.
- Lovengreen, C., Fuenzalida, H., Villanueva, L. Ultraviolet solar radiation at Valdivia, Chile (39.8 °S), *Atmospheric Environment* 34, 4051-4061, 2000.
- Madronich, S., McKenzie, R.L., Björn, L.O., Caldwell, M.M. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface, *Journal of Photochemistry and photobiology B: Biology* 46, 5-19, 1998.
- Orce, V.L., Helbling, E.W. latitudinal UVR-PAR measurements in Argentina: extent of the ozone hole, *Global and Planetary Change* 15, 113-121, 1997.
- Palanca, G.G., Toselli, B.M., Erythemal ultraviolet irradiance in Córdoba, Argentina, *Atmospheric Environment* 36, 278-292, 2002.
- Seckmeyer, G., Mayer, B., Bernhard, G., Erb, R., Albold, A., Jager, H., Stockwell, W.R. New maximum UV irradiance levels observed in central Europe, *Atmospheric Environment* 31, 2971-2976, 1997.
- Steinmetz, M. Continuous solar UV monitoring in Germany, *Journal of Photochemistry and photobiology B: Biology* 41, 181-187, 1997.
- Stick, C., Krüger, K., Schade, N.H., Sandmann, H., Macke, A. Episode of unusual high solar ultraviolet radiation over central Europe due to dynamical reduced total ozone in May 2005, *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, 1771-1776, 2006.
- Tevini, M. UV-B radiation and Ozone Depletion: effects on humans, animals, plants, microorganisms, and materials, Lewis Publishers, America, 1993.
- Thorseth, T. M., Solar Ultraviolet irradiance measurements, instrumentation, intercomparison, and interpretations, Norwegian University of Science and Technolog (NTNU), 2000.
- Webb, A. R., UVB Instrumentation and Applications, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, Netherland, 1998.
- WMO, Seckmeyer, G. Instruments to measure solar ultraviolet radiation Part 1: Spectral instrument, GAW Rep. 125.

- กীরติ เกิดศิริ. 2548, “การศึกษาลักษณะทางสถิติและแบบจำลองของรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในประเทศไทย” รายงานการศึกษาวิชาการศึกษารายบุคคล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ทิพวรรณ สุธา. 2539, “การศึกษาลักษณะทางสถิติของรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งวัดที่จังหวัดนครปฐม.” รายงานการศึกษาวิชาการศึกษารายบุคคล สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สุมามาลย์ บรรเทิง. 2543, “การศึกษาลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงและรายวันซึ่งวัดที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม” รายงานการศึกษาวิชาการศึกษารายบุคคล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาคผนวก 1
วิธีการสอบเทียบ spectroradiometer

วิธีการสอบเทียบ spectroradiometer

ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด spectroradiometer (Bentham, DMc150) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้หลอดมาตรฐานจากบริษัท Bentham รุ่น CL7 (deuterium lamp) (รูป A1.1) ที่ได้รับการสอบเทียบตรงตามมาตรฐานของ National Physical Laboratory (NPL Teddington UK) มาใช้ทำการสอบเทียบที่สถานีวัดอาคารวิทยาศาสตร์ จังหวัดนครปฐม



รูป A1.1 แสดงหลอดมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัด spectroradiometer Bentham DMc150

CL7 จะมีวงแหวนสำหรับสวมต่อเข้ากับหัวรับรังสีเพื่อใช้ในการยึดจับหัวรับรังสีกับหลอดมาตรฐาน ทำให้ระยะระหว่างไส้หลอดกับหัวรับรังสีอยู่ในระยะพอดีและทำให้แนวระหว่างไส้หลอดมาตรฐานกับกึ่งกลางหัวรับรังสีตรงกัน โดยที่หลอดมาตรฐานนี้จะถูกควบคุมด้วย 705 p.s.u. (รูป A1.2)



รูป A1.2 แสดงแหล่งจ่ายไฟ 705 p.s.u. สำหรับควบคุมหลอดมาตรฐาน CL7

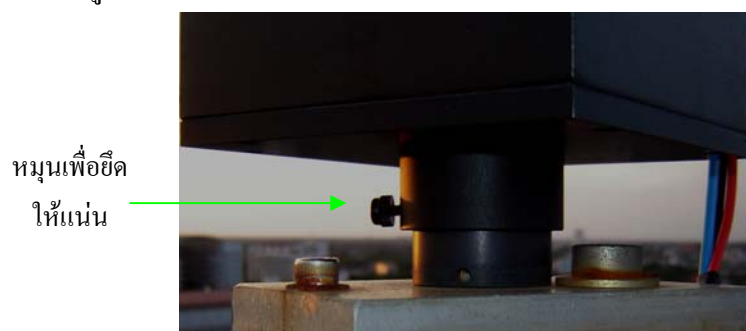
ขั้นตอนสำหรับการสอบเทียบเครื่อง spectroradiometer Bentham, DMc150 มีวิธีการดังนี้

1. ต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายเข้ากับหัววัดรังสี ดังรูป A1.3 โดยต่อสายไฟเข้ากับช่องเสียบที่มีสีเดียวกับสายไฟ (ดำ – CATHODE, แดง – ANODE, น้ำเงิน – HEATER)



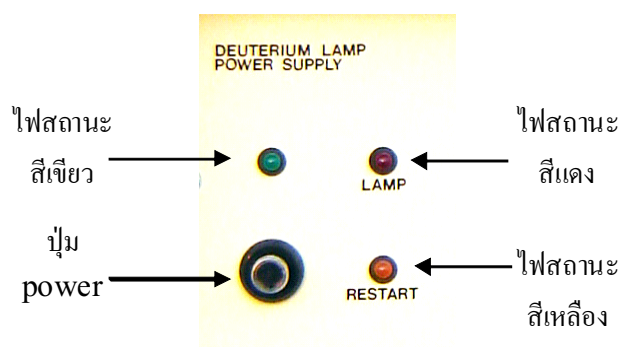
รูป A1.3 แสดงการต่อสายไฟจากแหล่งจ่ายเข้ากับหลอดมาตรฐาน

2. ต่อหลอดมาตรฐานเข้ากับหัววัดรังสีโดยใช้วงแหวนด้านหน้ายึดเข้าไว้กับหัวรับรังสี ดังรูป A1.4



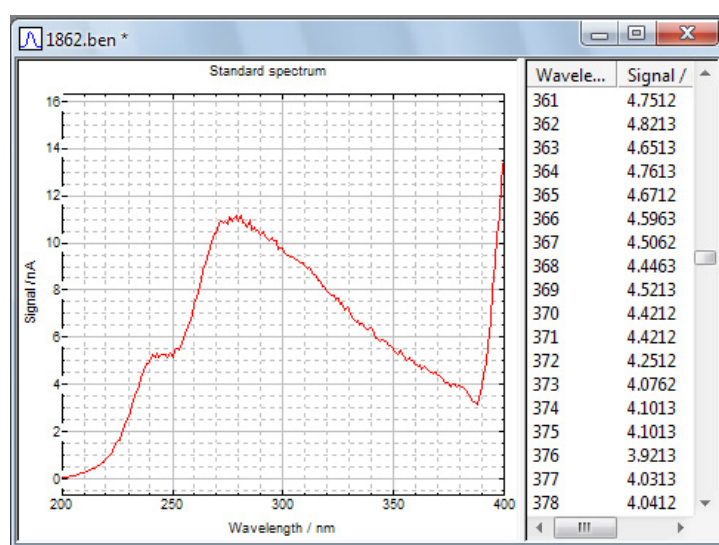
รูป A1.4 แสดงการยึดหลอดมาตรฐานเข้ากับหัวรับรังสี

3. เสียบสายไฟของ 705 p.s.u. เข้ากับไฟบ้าน 220 V (สำหรับประเทศไทย)
4. กดปุ่ม power เพื่อเปิดเครื่อง สังเกตว่าไฟสีแดงที่หน้าปัดเครื่องจะสว่างประมาณ 1 นาที และจะเปลี่ยนเป็นไฟสีเขียว (ถ้าเปิดเครื่องมาแล้วไฟสีเหลืองสว่างแสดงว่าต่อสายไฟด้านหลังไม่แน่นหรือต่อสายผิด ให้ทำการต่อสายใหม่) หน้าปัดของแหล่งจ่าย 705 p.s.u. แสดงดังรูป A1.5



รูป A1.5 แสดงแผงหน้าปัดของแหล่งจ่ายไฟ 705 p.s.u.

5. เมื่อไฟสีเขียวสว่างแล้วรอ 20 นาที เพื่อให้หลอดมาตรฐานปล่อยแสงอัลตราไวโอเลตที่คงที่ แล้วจึงทำการวัดสเปกตรัมหลอดมาตรฐาน โดยควบคุมจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ให้ทำการวัดที่ step size 1 nm หรือน้อยกว่า ตัวอย่างค่าการวัดแสดงดังรูป A1.6

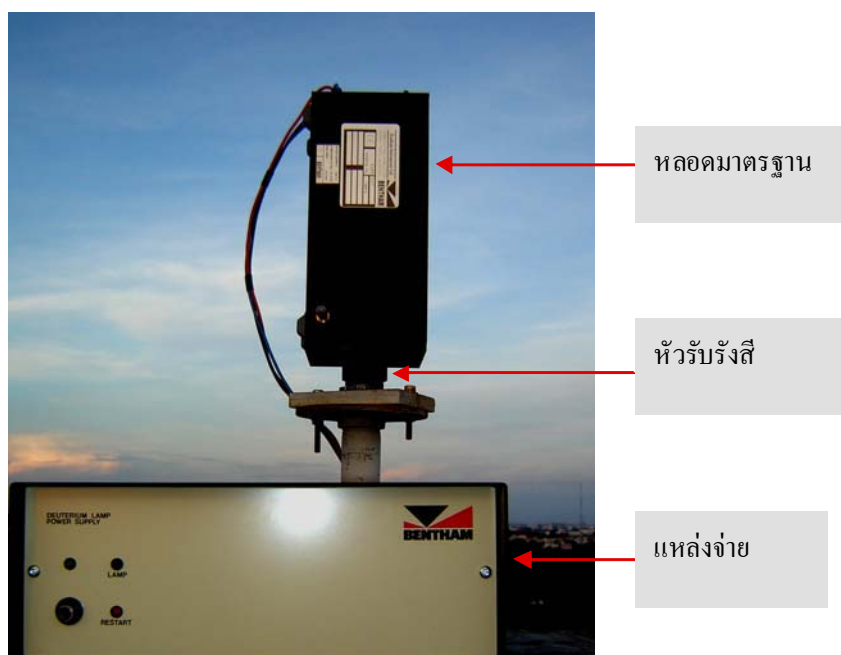


รูป A1.6 แสดงกราฟค่าสัญญาณไฟฟ้าจากการวัดสเปกตรัมของหลอดมาตรฐาน

6. ควรทำซ้ำอย่างน้อย 2 รอบ เพื่อพิจารณาค่าจากการวัด เนื่องจากหลอด Deuterium มีสัญญาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ไม่ราบเรียบจึงควรทำการวัดหลายๆ ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
7. หลังจากที่ได้สัญญาณจากหลอดมาตรฐานแล้วจะต้องทำการแปลงให้เป็นค่า sensitivity ด้วยค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้มาจากบริษัทถือเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการสอบเทียบเครื่อง spectroradiometer

การสอบเทียบเครื่อง spectroradiometer ควรกระทำอย่างเป็นประจำ อย่างน้อยทุก 1 ปี สำหรับการสอบเทียบค่าตอบสนองต่อสัญญาณการวัด (sensitivity)

ในการเก็บรักษาหลอดมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบจำเป็นต้องเก็บรักษาเป็นอย่างดี โดยจะทำการเก็บรักษาไว้ในตู้ที่มีประตูปิดมิดชิดและควบคุมอุณหภูมิ



รูป A1.7 แสดงตัวอย่างการสอบเทียบเครื่อง spectroradiometer ที่สถานีวัดมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

ภาคผนวก 2
แบบจำลองการถ่ายเทรังสี UVSPEC

การใช้งานแบบจำลองการถ่ายเทรังสี UVSPEC

แบบจำลองการถ่ายเทรังสี (radiative transfer model) เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย Chandrasekhar (1960) สำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่างถึงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตบี โดยจะเป็นการจำลองการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมายังพื้นโลก ซึ่งมีแนวความคิดว่า เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศที่เป็นตัวกลางลงมาสู่พื้นโลก จะมี interaction กับตัวกลาง ซึ่งในที่นี้คือบรรยากาศโลกด้วย 2 ขบวนการ คือ extinction process และ emission process ซึ่ง extinction process จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมายังพื้นโลกมีค่าลดลงอันเนื่องมาจากการดูดกลืน (absorption) และการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ เมฆ (scattering) และฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศ สำหรับ emission process จะทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของ specific intensity ได้ดังนี้

$$\mu \frac{dU_v(\tau_v, \mu, \phi)}{d\tau} = U_v(\tau_v, \mu, \phi) - S_v(\tau_v, \mu, \phi) \quad (\text{A } 2.1)$$

เมื่อ	$U_v(\tau_v, \mu, \phi)$	= specific intensity ในทิศ μ, ϕ ที่ความลึกเชิงแสง (optical depth) τ
	S_v	= source function
	τ_v	= ความลึกเชิงแสง
	μ	= cosine ของมุมเซนิธ (zenith angle)
	ϕ	= มุมอาซิมูธ (azimuth angle)
	v	= ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สมการข้างบนจะเรียกว่า radiative transfer equation ซึ่งจะเป็นสมการพื้นฐานสำหรับนำมาใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับวิธีการในการแก้สมการการถ่ายเทรังสี (radiative transfer equation) จะต้องใช้วิธีการเชิงตัวเลข (numerical method) โดยมีแนวความคิดว่าบรรยากาศประกอบไปด้วยชั้นระนาบที่ขนานกันหลาย ๆ ชั้น ซึ่งในแต่ละชั้นจะมีคุณสมบัติขององค์ประกอบของบรรยากาศที่เหมือนกัน อาทิเช่น อุณหภูมิ ความกดอากาศ ค่าความลึกเชิงแสง เป็นต้น ซึ่งวิธีการเชิงตัวเลขที่ใช้มีหลายวิธีด้วยกันได้แก่

1. Two - stream approximation

2. Discrete - ordinate method (DISORT)
3. Adding - doubling method
4. Monte Carlo method
5. Spherical Harmonic Discrete method (SHDOM)
6. Eddington and Delta - Eddington approximation

วิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปในงานวิจัยด้านรังสีอัลตราไวโอเล็ตคือ Discrete - ordinate method (DISORT) ซึ่งพัฒนาโดย Stamnes และคณะ (1988) หลังจากนั้น Mayer et. al (1997) จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) ซึ่งมีชื่อว่า UVSPEC สำหรับช่วยในการคำนวณ ซึ่งโปรแกรมนี้ได้รับการทดสอบจากนักวิจัยต่างๆ (Zeng et. al, 1994) และใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในการใช้งานโปรแกรม UVSPEC ค่าตั้งต้น (input) ที่จะต้องใส่ลงในโปรแกรมได้แก่ วันในรอบปี (Julian day) มุมเซนธิ (zenith angle) สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ (solar spectrum file) ปริมาณโอโซน ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (surface albedo) ค่าความยาวคลื่น (wavelength) ข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (extraterrestrial spectrum data) ชนิดและฤดูกาลของฝุ่นละออง (aerosol type and aerosol season) ค่าทัศนวิสัย ค่าความสูงสำหรับการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

output ที่ได้จากแบบจำลอง UVSPEC คือ

- ค่าความยาวคลื่น (λ)
- ค่าความเข้มรังสีตรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ลงมายังพื้นผิวโลก (edir)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ลงมายังพื้นผิวโลก (edn)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สะท้อนกลับสู่บรรยากาศ (eup)
- ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีเฉลี่ย (uavg)
- ค่าความเข้มรังสีตรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีสำหรับความเข้มรังสีเฉลี่ย (uavgdir)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีเฉลี่ยที่ลงมายังพื้นผิวโลก (uavgdn)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีเฉลี่ยที่สะท้อนกลับสู่บรรยากาศ (uavgup)

ดังนั้นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีทั้งหมดที่ลงมายังพื้นผิวโลก จะมีค่าเท่ากับ ผลรวมของค่าความเข้มรังสีตรงของรังสีอัลตราไวโอเลตบีที่ลงมายังพื้นผิวโลกกับค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเลตบีที่ลงมายังพื้นผิวโลก ดังสมการ

$$\text{irr_down} = \text{edir} + \text{edn}$$

ตัวอย่าง input ของโปรแกรม UVSPEC

```
data_files_path data/
atmosphere_file data/atmmod/afglt.dat
solar_file data/solar_flux/apm_1nm
albedo 0.05
day_of_year 1
sza 32.57
ozone_column 270.5
wvn 280.0 400.0
rte_solver disort
deltam on
nstr 6
aerosol_vulcan 1
aerosol_haze 6
aerosol_season 1
aerosol_visibility 7
```

เมื่อ data_files_path = ระบุตำแหน่งไฟล์ข้อมูลที่นำมาใช้งานในการ run โปรแกรม
 atmosphere_file = ข้อมูล profile ของบรรยากาศ
 solar_file = ไฟล์สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก
 albedo = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก
 wvn = ช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการจะทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์
 rte_solver = วิธีการที่เลือกใช้ในการแก้สมการการถ่ายเทรังสี
 deltam = Delta – M scaling
 nstr = จำนวน stream ที่ใช้ในสมการการถ่ายเทรังสี
 zout = ค่าความสูงของจากพื้นดินที่จะให้ทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (กม.)

aerosol_vulcan = condition ของฝุ่นละอองที่ความสูงเหนือ 2 กม.
 aerosol_haze = ชนิดของฝุ่นละอองที่ความสูงต่ำกว่า 2 กม.
 aerosol_season = กำหนดฤดูกาลที่จะนำมาใช้กับ profile ของฝุ่นละออง
 aerosol_visibility = ค่าทัศนวิสัย (กม.)
 ozone_column = ปริมาณโอโซน (ชม.)
 day_of_year = Julian day เช่น วันที่ 1 ม.ค. จะได้ค่า Julian day เป็น 1
 sza = ค่า cosine มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (องศา)

การเรียกใช้งานโปรแกรม UVSPEC

โปรแกรมที่ใช้งานในปัจจุบันจะทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ซึ่งเมื่อกรอกข้อมูลค่า input ที่จำเป็นต้องใช้เรียบร้อยแล้ว (ในที่นี้จะเป็น input file ที่มีนามสกุล “txt”) จะต้องเข้าสู่การทำงานใน Dos mode หลังจากนั้นจะทำการ run โปรแกรมโดยใช้รูปแบบคำสั่ง ดังนี้

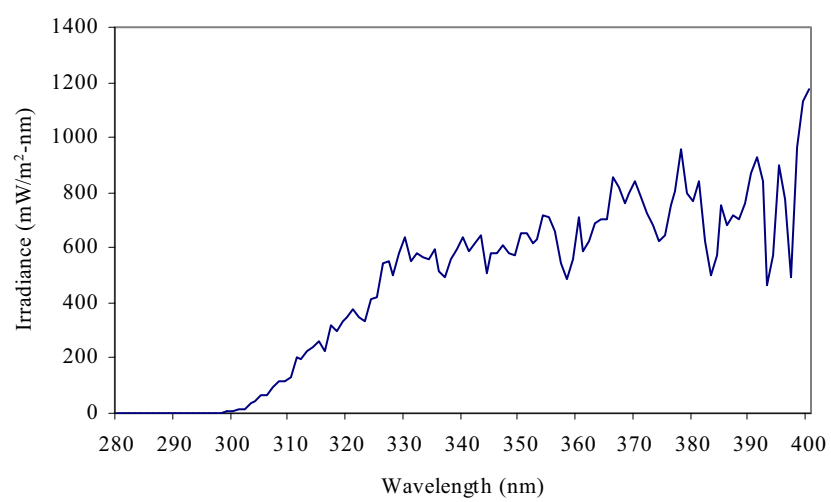
```
...\\libRadtran-1.3>UVSPEC < input_file > output_file
```

ในที่นี้ input file คือ input.txt สำหรับ output_file จะใส่เป็นชื่ออะไรก็ได้แต่ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็น Unicode สามารถเรียกดูได้ด้วยโปรแกรมประยุกต์ที่เป็น text editor ทั่วไปรวมทั้ง spread sheet ด้วย

ตัวอย่าง output ของโปรแกรม UVSPEC

Lambda (nm)	edir (mW/m ²)	edn (mW/m ²)	eup (mW/m ²)	uavgdir (mW/m ²)	uavgdn (mW/m ²)	Uavgup (mW/m ²)
280	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
281	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
282	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
283	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
284	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
285	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
286	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
287	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
288	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
289	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
290	3.79E-04	1.08E-03	2.45E-04	3.96E-05	1.43E-04	4.95E-05
291	1.32E-03	3.82E-03	9.69E-04	1.38E-04	5.10E-04	1.91E-04
292	5.84E-03	1.73E-02	4.50E-03	6.10E-04	2.33E-03	8.87E-04
293	1.45E-02	4.36E-02	1.15E-02	1.52E-03	5.91E-03	2.28E-03
294	4.13E-02	1.26E-01	3.42E-02	4.31E-03	1.73E-02	6.76E-03
295	9.09E-02	2.82E-01	7.75E-02	9.48E-03	3.88E-02	1.54E-02
296	2.47E-01	7.81E-01	2.18E-01	2.57E-02	1.08E-01	4.33E-02
297	3.96E-01	1.27E+00	3.61E-01	4.13E-02	1.77E-01	7.17E-02
298	8.34E-01	2.72E+00	7.85E-01	8.68E-02	3.81E-01	1.56E-01
299	1.27E+00	4.19E+00	1.22E+00	1.32E-01	5.89E-01	2.44E-01
300	1.93E+00	6.45E+00	1.91E+00	2.00E-01	9.12E-01	3.80E-01
301	3.27E+00	1.10E+01	3.27E+00	3.40E-01	1.56E+00	6.55E-01
302	4.14E+00	1.40E+01	4.17E+00	4.31E-01	1.99E+00	8.35E-01
303	8.94E+00	3.04E+01	9.10E+00	9.29E-01	4.33E+00	1.82E+00
304	1.01E+01	3.43E+01	1.03E+01	1.05E+00	4.90E+00	2.07E+00
305	1.50E+01	5.10E+01	1.54E+01	1.55E+00	7.31E+00	3.09E+00
306	1.56E+01	5.28E+01	1.59E+01	1.62E+00	7.58E+00	3.21E+00
307	2.14E+01	7.26E+01	2.20E+01	2.22E+00	1.04E+01	4.42E+00
308	2.64E+01	8.92E+01	2.70E+01	2.74E+00	1.28E+01	5.45E+00
309	2.65E+01	8.91E+01	2.71E+01	2.75E+00	1.28E+01	5.46E+00
310	2.97E+01	9.98E+01	3.04E+01	3.08E+00	1.44E+01	6.13E+00
311	4.64E+01	1.54E+02	4.70E+01	4.81E+00	2.23E+01	9.51E+00
312	4.62E+01	1.53E+02	4.67E+01	4.79E+00	2.21E+01	9.44E+00
313	5.32E+01	1.75E+02	5.34E+01	5.50E+00	2.53E+01	1.08E+01
314	5.70E+01	1.85E+02	5.67E+01	5.90E+00	2.69E+01	1.15E+01
315	6.09E+01	1.97E+02	6.04E+01	6.31E+00	2.86E+01	1.22E+01
316	5.43E+01	1.74E+02	5.33E+01	5.62E+00	2.52E+01	1.08E+01
317	7.72E+01	2.45E+02	7.51E+01	7.99E+00	3.56E+01	1.53E+01
318	7.16E+01	2.25E+02	6.89E+01	7.40E+00	3.26E+01	1.40E+01
319	8.09E+01	2.53E+02	7.77E+01	8.36E+00	3.68E+01	1.58E+01
320	8.65E+01	2.65E+02	8.14E+01	8.94E+00	3.85E+01	1.65E+01

ตัวอย่างกราฟสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนวณได้จาก UVSPEC



รูปที่ A2.1 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนวณจาก UVSPEC

ภาคผนวก 3

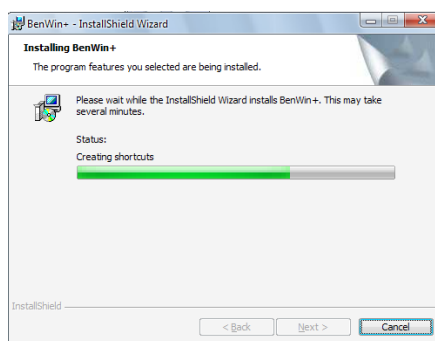
**การใช้โปรแกรม BenWin+ ในการควบคุมการทำงานของ
เครื่อง spectroradiometer Bentham, DMc 150**

โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง spectroradiometer Bentham, DMC 150

A3.1 การติดตั้งโปรแกรม BenWin+

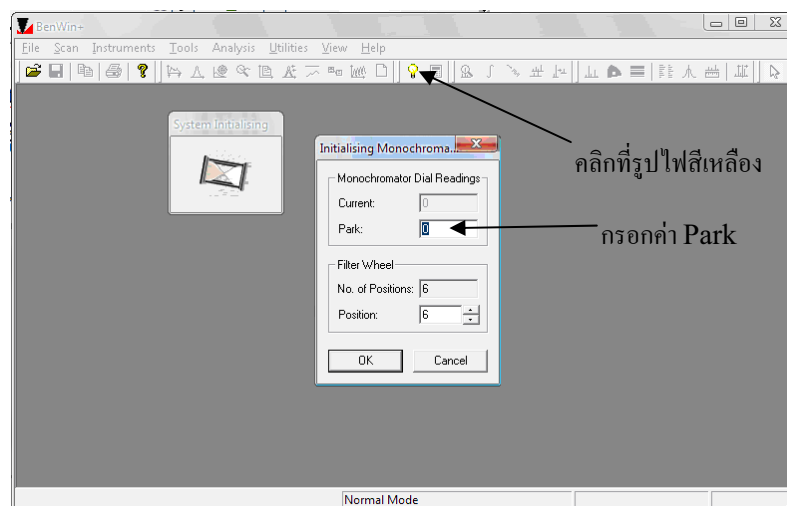
หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์ของเครื่องวัดสเปกตรัม spectroradiometer Bentham, DMC150 เรียบร้อยแล้ว spectroradiometer จะยังไม่สามารถที่จะทำงานได้เนื่องจากต้องใช้ชุดคำสั่งในการสั่งการให้เครื่องทำการตรวจวัด ซึ่งชุดคำสั่งดังกล่าวได้ถูกรวบรวมอยู่ในชุดโปรแกรม BenWin+ ที่พัฒนาโปรแกรม Bentham instruments Limited ในขั้นตอนถัดจากนี้จะเป็นการติดตั้งโปรแกรมและทำการตั้งค่าเริ่มแรกให้กับเครื่องมือ spectroradiometer ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เปิดเครื่อง spectroradiometer Bentham และต่อสาย USB เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์
2. รอให้คอมพิวเตอร์ตรวจเจอไดรเวอร์ของเครื่องมือ (ถ้าใช้วินโดวส์ xp จะมีอยู่ในตัววินโดวส์อยู่แล้ว)
3. ติดตั้งโปรแกรม BenWin+ ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ (รันไฟล์ Setup.exe)



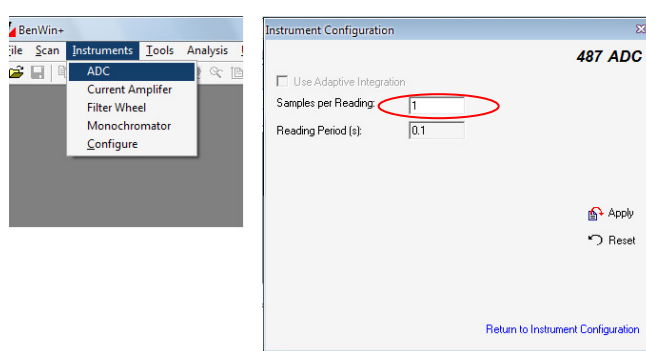
รูปที่ A3.1 แสดงการติดตั้งโปรแกรม BenWin+

4. หลังจากติดตั้งโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องทำการติดตั้ง configuration ที่ใช้สำหรับในการติดต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่อง spectroradiometer ที่อยู่ในแผ่นติดตั้งในโฟลเดอร์ ...system\ โดยคัดลอกมายังโฟลเดอร์ ..\Program Files\Bentham\ BenWin+\
5. เครื่อง spectroradiometer ที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Environbox) จะต้องทำการคัดลอกไฟล์ ENV_487.dll จากโฟลเดอร์ ..\Add on\ ที่อยู่ในแผ่นติดตั้งมาไว้ที่ ...Program Files \Bentham\ BenWin+\Add on\
6. เมื่อเริ่มต้นโปรแกรมครั้งแรกจะต้องทำการกำหนดค่าของระบบโดยทำการเริ่มระบบก่อนเป็นขั้นตอนแรก วิธีการแสดงดังรูป A3.2 กรอกรค่า Park ตามที่บริษัทให้มา (ในที่นี้เป็น 835.45)



รูปที่ A3.2 แสดงการ initialising Monochromator ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์กับ spectroradiometer

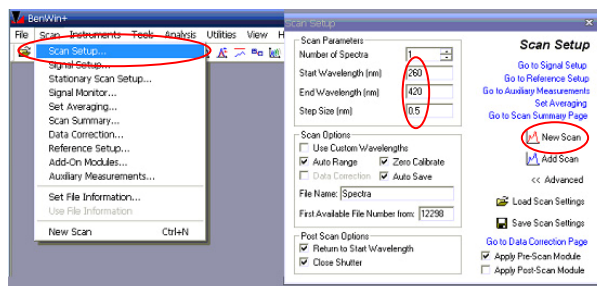
7. ก่อนที่จะทำการวัดควรทำการตั้งค่าจำนวนครั้งในการวัดต่อข้อมูล 1 ความยาวคลื่นที่เหมาะสมโดยสามารถที่จะทำได้ดังรูปที่ A3.3 (ค่าปกติอยู่ที่ 5) โดยที่ค่ายิ่งมากการวัดจะมีความถูกต้องมากแต่จะเสียเวลาในการวัดนานขึ้น



รูปที่ A3.3 การตั้งค่าจำนวนครั้งในการเก็บข้อมูลต่อ 1 ความยาวคลื่น

8. โปรแกรม BenWin+ สามารถที่จะทำการ integrate spectrum ได้ทันที แต่ผู้วิจัยแนะนำให้ควรเก็บข้อมูลการวัดในรูปแบบของข้อมูลดิบเนื่องจากสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้มากกว่า

9. การวัดรังสีอัลตราไวโอเลตสามารถทำการวัดได้โดยใช้คำสั่งดังรูปที่ A3.4 โดยผู้ใช้งานต้องทำการกำหนดช่วงความยาวคลื่นและ step size ที่จะทำการเก็บข้อมูล เมื่อกำหนดค่าเสร็จแล้ว เริ่มต้นการวัดค่าด้วยการกดที่ New Scan



รูปที่ A3.4 แสดงเมนูที่ใช้สำหรับการวัดสเปกตรัม

ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการวัด

VERSION: BenWin+ Version: 1.0.4.13

CREATED: 1 มีนาคม 2551 10:10:48AM

TIME CODE: 0x307d8, 0x10006, 0xa000a, 0x24b0030

NO SPECTRA: 0

SCAN SUMMARY START:

200: Start Scan. Step Size: 2 nm

200: Samples per reading: 1

200: DM150 Monochromator: Grating selected

200: Filter Wheel: Position 1

200: 487 DC Amplifier: Channel 1

600: End Scan

SCAN SUMMARY END

SPECTRUM NAMES:

s24882_1

SPECTRUM NAMES END

ZERO CALIBRATION INFO:

1

1, 1, 200 nm, 0.017 nA, 392

ZERO CALIBRATION INFO END

PRE-SCAN MODULE:

Name: ENV_487.dll

Description: Envirobox(487)

Information: Y

Applied to all spectra.

PRE-SCAN MODULE END

MEASUREMENT TYPE/UNITS: Signal / nA

MEASUREMENT TYPE/UNITS CODE: 0 100

X AXIS TYPE: 0

INTEGRALS:

1	Irradiance	1109209.9	0	nm nA
---	------------	-----------	---	-------

INTEGRALS END

ADD-ON MODULE MEASUREMENTS:

1	Temp	22.72	0	C
---	------	-------	---	---

1	HV	757.13	0	V
---	----	--------	---	---

ADD-ON MODULE MEASUREMENTS END

ADD-ON MODULE CURVE MEASUREMENTS:

ADD-ON MODULE CURVE MEASUREMENTS END

COLORIMETRY:

s24882_1

x: 0.1573

y: 0.1535

u: 0.1390

v: 0.2035

u': 0.1390

v': 0.3052

Dominant Wavelength: 476 nm

Purity: 75.3 %

Colour Temperature: Not defined

Ra: 0.0 %

R1: 0.0 %

R2: 0.0 %

R3: 0.0 %

R4: 0.0 %

R5: 0.0 %

R6: 0.0 %

R7: 0.0 %

R8: 0.0 %

R9: 0.0 %

R10: 0.0 %

R11: 0.0 %

R12: 0.0 %

R13: 0.0 %

R14: 0.0 %

In Region: None

COLORIMETRY END

POINTS IN SPECTRUM:

201

POINTS IN SPECTRUM END

200	0.002677
-----	----------

...	...
-----	-----

...	...
-----	-----

...	...
-----	-----

396	9779.98
-----	---------

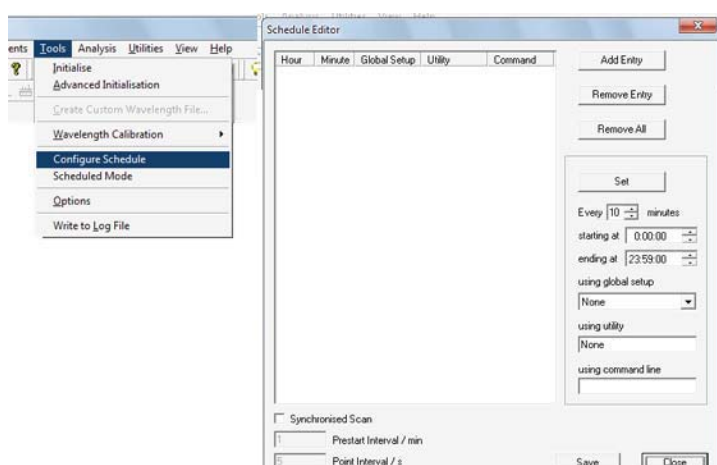
398	8024.98
-----	---------

400	19400
-----	-------

A3.2 การตั้งค่าสำหรับการตรวจวัดสเปกตรัมอย่างต่อเนื่อง

สำหรับการตรวจวัดข้อมูลรังสีอัลตราไวโอเลตระยะยาว เครื่อง spectroradiometer ของบริษัท Bentham มีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการควบคุมให้เครื่องทำการวัดในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ได้ โดยการตั้ง mode การวัด schedule ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

1. ที่หน้าต่างหลักโปรแกรม BenWin+ เข้าไปที่เมนู Tools แล้วเลือกที่ Configure Schedule เมื่อเลือกเข้าไปแล้วจะมีหน้าต่างเกิดขึ้นดังรูปที่ A3.5 ซึ่งก็คือหน้าต่างสำหรับกำหนดค่า schedule



รูปที่ A3.5 แสดงบานหน้าต่างกำหนดค่าตารางเวลา (Schedule) ในการวัดข้อมูล

2. ในหน้าต่าง schedule editor สามารถระบุเวลาให้เครื่อง spectroradiometer ทำการวัด ได้โดยคลิกที่ Add Entry และระบุเวลาลงไปในช่องเวลาที่ปรากฏขึ้น
3. ในโปรแกรมนี้สามารถที่จะตั้งการรอบของการวัด(นาที)ได้ที่ช่องกรอกข้อมูล หลังคำว่า Every แล้วคลิกที่ Set
4. หลังจากตั้งค่าเรียบร้อยแล้วให้ทำการ save schedule ไว้
5. ในการใช้งาน ให้ไปที่เรียกเมนู tools แล้วเลือกที่ Schedule Mode เปิดไฟล์ Schedule ที่ได้ Save ไว้ขึ้นมา (หากโปรแกรมยังไม่ได้ initialize โปรแกรมจะเรียกเครื่องให้ทำการ initialize โดยอัตโนมัติ)
6. หลังจากที่ได้เรียกการทำงานของ Schedule Mode แล้วที่บริเวณ Status bar ด้านล่างของจอจะมีตัวอักษรขึ้นแสดงเวลาถัดไปที่เครื่อง spectroradiometer จะทำการตรวจวัดข้อมูล (Scheduled Mode: Next Acquisition at XX:XX)

ในขณะที่ schedule ทำงานโปรแกรม BenWin+ จะทำการวัดตามเวลาใน schedule ก่อน โดยจะหยุดการวัดอื่นไว้ชั่วคราว รอให้การวัดใน schedule เสร็จก่อน จึงทำการวัดที่ค้างไว้ใน บางครั้งอาจทำให้โปรแกรมขัดข้อง จึงไม่สมควรที่จะทำการวัดสเปกตรัมในขณะที่ใช้ schedule mode

ในการตั้งช่วงเวลาของ schedule ช่วงเวลาของการวัดจะเป็น 2 เท่าของเวลาที่กำหนด ตัวอย่าง เช่น เมื่อกำหนดช่วงเวลาในการวัดเป็นช่วงละ 10 นาที จะทำให้ช่วงเวลาที่เครื่อง spectroradiometer ทำการวัดจะเป็นทุก 20 นาที ดังนั้นถ้าต้องการให้เครื่อง spectroradiometer ทำการวัดทุกๆ 10 นาที จึงต้องลดเวลาใน schedule เป็น 5 นาที

ภาคผนวก 4
Specification ของเครื่อง Bentham

Specification ของเครื่อง spectroradiometer Bentham

Specification : DMc150F

Configuration	Two symmetrical Czerny Turner monochromators arranged for additive dispersion (or subtractive dispersion - factory set only)
Focal Length	Total focal length - 300mm; Individual Units - 150mm
Aperture Ratio	F/4
Slits	Interchangeable fixed slits, micrometer adjusted, variable or motorized (see over)
Order Sorting	Unit can be fully order sorted from 200 nm to 30 microns by using option 252 and Bentham OS series of order sorting filters.
Gratings	33 mm square plain gratings kinematically mounted to allow change-over without loss of calibration. A range of gratings covers 200nm to 30 microns.
Resolution	Limit resolution with 1200 lines/mm gratings is better than 0.5nm
Stray Light.	For measurement of notch filter in visible with quartz halogen light, stray light is less than 10^{-8}
Wavelength Scanning	By integral stepping motor and micro stepping drive electronics
Maximum Scanning.	Speed For 1200 lines/mm grating maximum scanning speed is 30nm/second
Wavelength Accuracy	$\pm 0.3\text{nm}$ over normal operating range of 1200 lines/mm grating (no software correction) $\pm 0.05\text{nm}$ with software correction
Reciprocal Dispersion	2.7 nm/mm with 1200 lines/mm grating
PC Interface 8	Integral IEEE-48
Power Supply	Mains input 110/220V 50/60Hz
Weight	12 kg
Overall Dimensions	300 mm x 400 mm x 180 mm high
Construction	Single aluminium casting with rebated lid

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อสกุล

นายสมเจตน์ ภักธรพานิชชัย

ที่อยู่

บ้านเลขที่ 63 หมู่ 5 ตำบลหนองสาหร่าย
อำเภอคอนเจดีย์ จังหวัดสุพรรณบุรี 72170

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย

อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม

พ.ศ. 2548

สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

พ.ศ. 2549

ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม