



การศึกษารังสีอัลตราไวโอเลตที่สถานีวัด 4 แห่งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย

โดย

นายสุภวัฒน์ วิสิฐศิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษารังสีอัลตราไวโอเลตที่สถานีวัด 4 แห่งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย

โดย

นายสุวัฒน์ วิสุทธิศิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**A STUDY OF SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION AT FOUR STATIONS SITUATED IN
THE MAIN REGIONS OF THAILAND**

By
Supawat Wisitsirikun

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

MASTER OF SCIENCE

Department of Physics

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สถานีวัด 4 แห่งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย” เสนอโดย นายสุภวัฒน์ วิสิฐศิริกุล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัทสนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส แซ่ด่าน)

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

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา)

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

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย)

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

51306206 : สาขาวิชาฟิสิกส์

คำสำคัญ : รังสีอัลตราไวโอเลต, ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต, เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลต

แบบหลายช่องสัญญาณ, Ozone Monitoring Instrument

ศุภวัฒน์ วิสิฐศิริกุล : การศึกษารังสีอัลตราไวโอเลตที่สถานีวัด 4 แห่งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย. 136 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ ที่สถานีวัดที่ตั้งในภูมิภาคหลัก 4 แห่ง ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ (18.78°N, 98.98°E) ในภาคเหนือ สถานีอุบลราชธานี (15.25°N, 104.87°E) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สถานีนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) ในภาคกลาง และสถานีสงขลา (7.20°N, 100.60°E) ในภาคใต้ โดยผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ด้วยเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณ (multi channel ultraviolet radiometer) จากนั้นได้นำข้อมูลจำนวน 3-6 ปี จากสถานีดังกล่าวมาทำการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (erythemal ultraviolet) และดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต หลังจากนั้นได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ พบว่า ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต สูงสุดในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา มีค่าเท่ากับ 12, 12, 15 และ 18 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า การแปรค่าตามฤดูกาลของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยลักษณะการแปรค่าดังกล่าวจะแตกต่างจากสถานีสงขลา นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่า ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต จากดาวเทียม OMI/Aura กับค่าที่ได้จากวัดที่ 4 สถานี ผลที่ได้พบว่า ค่า ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต จากดาวเทียม OMI/Aura จะสูงกว่าค่าจากการวัด ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา เท่ากับ 30.0 %, 28.2 %, 12.9 % และ 16.4 % ตามลำดับ สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลของฝุ่นละอองและเมฆ ที่มีผลต่อความแตกต่างระหว่าง ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต จาก OMI/Aura และค่าจากการวัด

ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

51306206: MAJOR: PHYSICS

KEY WORD: ULTRAVIOLET, UV INDEX, MULTI-CHANNEL FILTER INSTRUMENT,
OZONE MONITORING INSTRUMENT

SUPAWAT WISITSIRIKUN: A STUDY OF SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION AT
FOUR STATIONS SITUATED IN THE MAIN REGIONS OF THAILAND. THESIS ADVISOR:
ASSOC. PROF. SERM JANJAI.136 pp.

In this work, solar ultraviolet (UV) radiation at four stations located in the main regions of Thailand was investigated, namely Chiang Mai (18.87°N , 98.98°E) in the North, Ubon Ratchathani (15.25°N , 104.87°E) in the Northeast, Nakhon Pathom (13.82°N , 100.04°E) in the central region and Songkhla (7.20°N , 100.6°E) in the South. UV radiation was measured by using multichannel UV radiometers. The UV data for the period of 3-6 years from these stations were used to derive erythemal ultraviolet (EUV) radiation and UV index. Then EUV and UV index were analysed. The maximum UV index under clear skies at Chiang Mai, Ubon Ratchathani, Nakhon Pathom and Songkhla are 12, 12, 15 and 18, respectively. The seasonal variations of monthly average of EUV daily dose of Chiang Mai, Ubon Ratchathani and Nakhon Pathom are in similar pattern. However, this pattern is different from that of Songkhla. In addition, values of UV index from OMI/Aura Satellite were also compared with those derived from the measurements at four stations. It was found values of UV index from that OMI/Aura were overestimated by 30.0 %, 28.2 %, 12.9 % and 16.4 % for Chiang Mai, Ubon Ratchathani, Nakhon Pathom and Songkhla, respectively. Finally, the effects of aerosols and clouds on the discrepancy between UV index from OMI/Aura and UV measurements were also analysed.

Department of Physics	Graduate School, Silpakorn University	Academic Year 2011
Student's signature		
Thesis Advisor's signature		

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิต ผู้วิจัยได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทน์ฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และให้คำแนะนำทางวิชาการ พร้อมทั้งจัดหาทุนวิจัย เครื่องมือ และข้อมูลที่เป็นสำหรัใช้ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูง และผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สุมาลย์ บรรเทิง อาจารย์ ดร.อิสระ มะศิริ และคุณสมเจตน์ ภัทรพานิชชัย ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ Dr.Binod Kumar Bhattarai จาก Tribhuvan University ประเทศเนปาล และ Dr.Bernhard Germar จากบริษัท Biospherical Instrument Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ให้คำแนะนำด้านอุปกรณ์และการแปลงข้อมูล

สุดท้ายนี้ คุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดาและมารดา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณที่ได้ช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ

บทที่

1	บทนำ.....	1
	ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
	ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2	หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
	หลักทางวิชาการ.....	4
	แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์.....	4
	รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านบรรยากาศโลก.....	5
	การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	11
	ผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	12
	การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	13
	ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	15
	ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่ำสุดที่ทำให้ผิวหนังแดง.....	16
	ระยะเวลาที่ทำให้ผิวหนังเกรียม (sunburn time)	17
	Ozone Monitoring Instrument (OMI)	18
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21

บทที่	หน้า
3	วิธีการวิจัยและผล..... 32
	การวัดและบันทึกข้อมูล..... 32
	การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต
	แบบหลายช่องสัญญาณ..... 37
	การคำนวณหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ จากเครื่องวัด
	รังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณ..... 46
	การควบคุมคุณภาพข้อมูล 49
	จำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ 52
	การวิเคราะห์ข้อมูลและผล..... 52
	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
	ตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)..... 52
	กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)..... 52
	กรณีท้องฟ้าทั่วไป..... 58
	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
	ตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation)..... 63
	การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ
	ผิวหนังมนุษย์ระหว่างปีต่างๆ (inter-annual variation)..... 68
	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
	รายชั่วโมง..... 71
	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
	รายวัน..... 90
	การแปรค่าตามสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ
	ผิวหนังมนุษย์..... 96
	การเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตจาก Aura/Ozone Monitoring
	Instrument (OMI) และจากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลาย
	ช่องสัญญาณ 97
	การเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต กรณีท้องฟ้าทั่วไป 97

การเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต	
ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ.....	99
การแปลค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามฤดูกาลในรอบปี	
จากการวัดของ OMI และการวัดที่ภาคพื้นดิน.....	103
ผลของฝุ่นละอองที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ	
ค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดระหว่าง OMI และ	
การวัดภาคพื้นดิน.....	106
ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของเมฆที่มีผลต่อ	
เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต	
จากการวัดระหว่าง OMI และ GUV กับค่า	
cloud transmission factor	108
 4 สรุป.....	 110
 บรรณานุกรม.....	 113
 ภาคผนวก.....	 119
ภาคผนวก ก แบบจำลองการถ่ายเทรังสี UVSPEC	120
ภาคผนวก ข สัญลักษณ์	126
ภาคผนวก ค การแปลค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง รายวันเฉลี่ยต่อเดือน	
ตามฤดูกาลในรอบปี	128
ภาคผนวก ง การแปลค่าของปริมาณเมฆตามฤดูกาลในรอบปี	132
 ประวัติผู้วิจัย.....	 136

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ (Webb, 1998).....	10
2	ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (WHO, 2002).....	15
3	ชนิดผิวหนังกับ MED (COST-173 Action, 2000)	17
4	ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลาย ช่องสัญญาณของสถานีเชียงใหม่.....	44
5	ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลาย ช่องสัญญาณของสถานีอุบลราชธานี.....	44
6	ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลาย ช่องสัญญาณของสถานีนครปฐม	45
7	ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลาย ช่องสัญญาณของสถานีสงขลา.....	45
8	ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีเชียงใหม่	48
9	ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีอุบลราชธานี.....	48
10	ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีนครปฐม	48
11	ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีสงขลา	48
12	ช่วงเวลาของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์.....	52
13	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีเชียงใหม่.....	77
14	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีอุบลราชธานี.....	78
15	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีนครปฐม.....	79
16	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีสงขลา.....	80

ตารางที่		หน้า
17	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานี เชียงใหม่.....	86
18	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานี อุบลราชธานี.....	87
19	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานี นครปฐม.....	88
20	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานี สงขลา.....	89

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงต่างๆ.....	4
2	สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและที่พื้นผิวโลก.....	5
3	ค่ามุมเซนธิของดวงอาทิตย์ในหน่วยองศาที่เวลาเที่ยงวัน ณ ตำแหน่งละติจูด และเดือนต่าง ๆ (Tevini, 1993).....	6
4	ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ที่ละติจูดและ ฤดูกาลต่างๆ (Tevini, 1993).....	7
5	สเปกตรัมการดูดกลืนของโอโซน (...) สเปกตรัมรังสีนอกบรรยากาศโลก (---) และสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (—) (Webb, 1998).....	8
6	อัตราส่วนของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกรณีมีเมฆปกคลุมท้องฟ้า และท้องฟ้าปราศจากเมฆ กับค่า Cloud optical depth ที่มุมเซนธิ 0 องศา (—)และที่มุมเซนธิ 70 องศา (----).....	9
7	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกและการเปลี่ยน แปลงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มุมเซนธิ 0 องศา (---) 70 องศา (.....) และที่มุมเซนธิใดๆ (—) (Tevini, 1993).....	10
8	relative response ที่มีผลต่อ DNA พืช และผิวหนัง.....	12
9	กราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต (CIE, 1987)....	14
10	ค่า UV index และวิธีป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ระดับต่างๆ.....	16
11	ระยะเวลาที่ทำให้ผิวหนังเกรียมในหน่วยนาที่และค่า MED ที่สอดคล้อง กับผิวหนังชนิดต่างๆ ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (COST-173 Action, 2000)	18
12	การโคจรของดาวเทียมแบบขั้วโลก	19
13	ลักษณะของดาวเทียม Aura	19
14	อุปกรณ์ OMI ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aura	20
15	ส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ	33
16	เครื่องคอมพิวเตอร์และการทำงานของโปรแกรม Logger	33
17	ลักษณะภายในของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ	34

รูปที่	หน้า
18	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดซึ่งติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่ใช้ในงานวิจัยนี้..... 34
19	เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีเชียงใหม่ 35
20	เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีอุบลราชธานี.... 35
21	เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีนครปฐม..... 36
22	เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีสงขลา..... 36
23	การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานีเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2009 38
24	การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานีอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 5-6 พฤษภาคม 2009 38
25	การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานีนครปฐม เมื่อวันที่ 24-25 เมษายน 2009 39
26	การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานีสงขลา เมื่อวันที่ 11-12 มีนาคม 2008 39
27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้ จากหัววัด GUV มาตรฐาน กับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2009 40
28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้ จากหัววัด GUV มาตรฐาน กับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 5-6 พฤษภาคม 2009 41
29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้ จากหัววัด GUV มาตรฐาน กับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีนครปฐม เมื่อวันที่ 24-25 เมษายน 42
30	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้ จากหัววัด GUV มาตรฐาน กับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีสงขลา เมื่อวันที่ 11-12 มีนาคม 2008 43
31	การตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ กับเครื่อง Bentham spectroradiometer 46

รูปที่	หน้า
32	ตัวอย่างความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เห็นได้จาก เครื่องคอมพิวเตอร์ 50
33	ตัวอย่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ที่ได้จากการวัด และการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC ในวันที่ท้องฟ้า ปราศจากเมฆ 51
34	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามเวลาในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูล ของสถานีเชียงใหม่ 54
35	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามเวลาในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูล ของสถานีอุบลราชธานี..... 55
36	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามเวลาในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูล ของสถานีนครปฐม 56
37	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามเวลาในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูล ของสถานีสงขลา 57
38	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันในวันของสถานีเชียงใหม่ [error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD] 59
39	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันในวันของสถานีอุบลราชธานี [error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD] 60
40	การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันในวันของสถานีนครปฐม [error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD] 61

รูปที่	หน้า
41	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันในวันของสถานีสงขลา [error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD] 62
42	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีเชียงใหม่..... 64
43	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีอุบลราชธานี..... 64
44	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีนครปฐม..... 65
45	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีสงขลา..... 65
46	ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของแต่ละสถานี 67
47	การแปลค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ นอกบรรยากาศโลกตามฤดูกาลในรอบปีที่สถานีต่างๆ..... 68
48	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน ตามปีต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่..... 69
49	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน ตามปีต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี..... 69
50	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน ตามปีต่างๆ ของสถานีนครปฐม..... 70
51	การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน ตามปีต่างๆ ของสถานีสงขลา..... 70
52	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่..... 72
53	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี..... 73
54	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม..... 74

รูปที่	หน้า
55	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา..... 75
56	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของสถานีด่างๆ..... 76
57	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีเชียงใหม่. 81
58	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานี อุบลราชธานี..... 82
59	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานี นครปฐม 83
60	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีสงขลา.... 84
61	การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ตลอดทั้งปีของ สถานีด่างๆ..... 85
62	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายวันในเดือนต่างๆของสถานีเชียงใหม่..... 91
63	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายวันในเดือนต่างๆของสถานีอุบลราชธานี..... 92
64	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายวันในเดือนต่างๆของสถานีนครปฐม 93
65	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายวันในเดือนต่างๆของสถานีสงขลา 94
66	การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ รายวันตลอดทั้งปีของสถานีด่างๆ 95

รูปที่	หน้า
67	การแปรค่าตามละติจูดของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผล ต่อผิวหนังมนุษย์ 96
68	การเปรียบเทียบค่า UV index จาก OMI กับสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐมและสงขลา ในกรณีท้องฟ้าทั่วไป..... 98
69	การเปรียบเทียบค่า UV index จาก OMI กับสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐมและสงขลา ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ..... 100
70	การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่..... 101
71	การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี..101
72	การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆ ของสถานีนครปฐม..... 102
73	การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆ ของสถานีสงขลา..... 102
74	การแปรค่า UV index ที่ overpass time เฉลี่ยต่อเดือน ตามฤดูกาลในรอบปี ของ OMI และที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา.105
75	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ UV index ระหว่าง OMI และ GUV กับค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา..... 107
76	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ UV index ระหว่าง OMI และ GUV กับ ค่า cloud transmission factor ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐมและสงขลา 109

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลกก่อนผ่านชั้นบรรยากาศประกอบด้วยรังสีหลายความยาวคลื่น เช่น รังสี X-rays (<100 nm) รังสีอัลตราไวโอเล็ต (100-400 nm) รังสีในช่วงที่สายตามนุษย์มองเห็น (400-700 nm) อินฟราเรด (700-3000 nm) และ คลื่นวิทยุ (>10⁷ nm) แต่รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมาถึงพื้นโลกนั้นจะเหลือเพียงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 290-3,000 nm ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ 1) รังสีอัลตราไวโอเล็ต(290-400 nm), 2) รังสีในช่วงที่สายตามนุษย์มองเห็น(400-700 nm) และ 3) อินฟราเรด (700-3,000 nm) เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นส่วนหนึ่งของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังผิวโลกได้ และมีค่าของพลังงานสูงสุดจึงเป็นที่สนใจและมีการศึกษาถึงบทบาทในส่วนนี้มาก รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-400 nm รังสีอัลตราไวโอเล็ตยังแบ่งได้เป็นอีก 3 ส่วนได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (315-400 nm) รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (280-315 nm) และรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (100-280 nm) โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเล็ตซีจะถูกชั้นบรรยากาศของโลกดูดกลืนจนหมดไม่สามารถผ่านมายังพื้นผิวโลกได้ จะมีเฉพาะรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอและรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีบางส่วนเท่านั้นที่ผ่านมายังพื้นผิวโลกได้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตบีถึงแม้ว่าจะมีความเข้มต่ำกว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตเอแต่มีค่าของพลังงานโฟตอนที่สูงกว่า ซึ่งถ้าได้รับในปริมาณมากก็จะก่อให้เกิดความเสียหายในระดับ DNA ทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางพันธุกรรมหรือทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้(WHO, 1979) ทั้งยังส่งผลต่อสิ่งไม่มีชีวิต คือ การเสื่อมสภาพของวัสดุที่ใช้ในงานกลางแจ้ง เช่น พลาสติก ไม้ และ สี นอกจากนี้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตยังมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ของโลกทำให้คุณภาพของอากาศลดลง แต่โดยปกติรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีจะถูกควบคุมด้วยโอโซนและก๊าซต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกให้มีปริมาณไม่มากเกินไป แต่ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาชั้นมนุษย์ได้มีการปล่อยสารเคมีหลายชนิดขึ้นไปทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะ สาร Chlorofluorocarbon (CFC)ทำให้ปริมาณโอโซนลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มขึ้น

จากผลการศึกษาของ UNEP (Van de leun et.al., 1989) ได้คาดการณ์ว่าถ้าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศลดลง 10% จะมีคนตาบอดเพิ่มขึ้นใหม่ทั่วโลกอีกประมาณ 1 ล้านรายต่อปี เนื่องจากผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังคาดว่า การลดลงของปริมาณโอโซนเพียง 1% ในระยะยาวอาจทำให้อัตราการเกิดมะเร็งผิวหนังเพิ่มขึ้น 2-3 % นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของรังสีอัลตราไวโอเล็ตยังมีผลในทางลบต่อ micro-organism ทั้งบนบกและในทะเลซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหารโดยรวมด้วย (Worrest, 1982; Grant, 1997)

ในปี ค.ศ. 1928 Findlay ได้แสดงให้เห็นว่าการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากหลอด mercury arc สามารถทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังในหนูทดลอง (Findlay, 1928) และในปี ค.ศ. 1939 Ruffo ได้แสดงว่าแสงแดธรรมชาติดำเนินทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ พร้อมกับแสดงว่ากระจกสามารถกรองแสงที่ทำให้เกิดมะเร็งได้นั้นคือแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 320 nm เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็งผิวหนังชนิด non melanoma skin cancer (NMSC) (Ruffo, 1939)

การศึกษาโดย Blum ในปี ค.ศ. 1959 ในหนังสือ carcinogenesis by ultraviolet light แสดงว่าการได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียง 1 ครั้งไม่สามารถทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ การเกิดมะเร็งผิวหนังนั้นขึ้นกับปริมาณและช่วงเวลาที่ได้รับรังสี หากปริมาณแสงที่ได้รับต่ำเกินไปก็ไม่สามารถทำให้เกิดมะเร็งได้เช่นกัน (Blum, 1959)

สำหรับกรณีของประเทศไทย การศึกษาความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเล็ตนั้นยังมีจำกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สถานีวัด 4 แห่งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย เพื่อหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตและวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากดวงอาทิตย์ ณ สถานีวัดดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1 เพื่อวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย
- 2 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย
- 3 เพื่อเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากดาวเทียมกับข้อมูลวัดภาคพื้นดิน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยนี้จะศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตและวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย โดยภาคเหนือได้จากการวัดที่จังหวัดเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุบลราชธานี ภาคกลางที่จังหวัดนครปฐม และภาคใต้ที่จังหวัดสงขลา

บทที่ 2

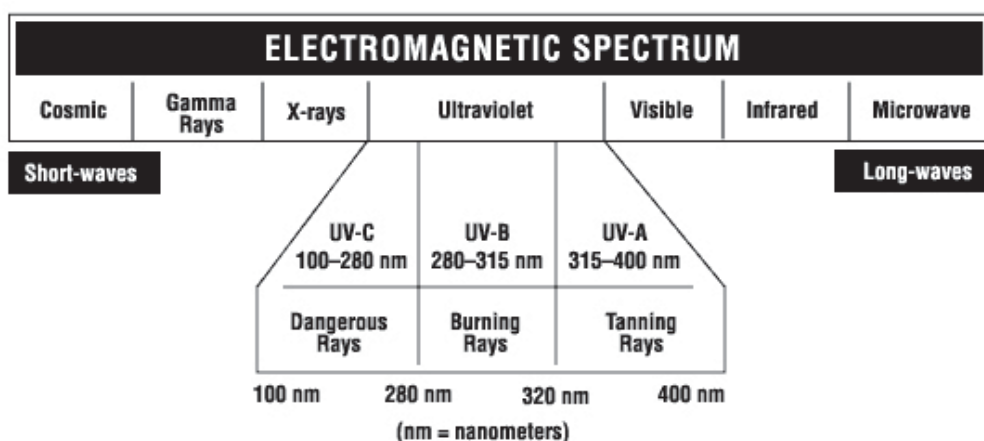
หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักทางวิชาการ

2.1.1 แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์

รังสีอัลตราไวโอเลตเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 100-400 nm ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากทั้งในธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยมีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติที่สำคัญที่สุด ถ้าพิจารณาว่าดวงอาทิตย์มีการแผ่รังสีแบบวัตถุดำ (blackbody) โดยลักษณะของสเปกตรัมรังสีที่แผ่ออกมาจะขึ้นกับอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดตามกฎของเพลงค์ (Planck's law) จะพบว่ารังสีส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่าง อย่างไรก็ตามจะมีรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 300 nm ซึ่งแผ่ออกมาจากบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์ (chromospheres) และโคโรนา (Webb, 1998) ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเลต โดยทั่วไปสามารถแบ่งสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ได้เป็น 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 1 ได้แก่

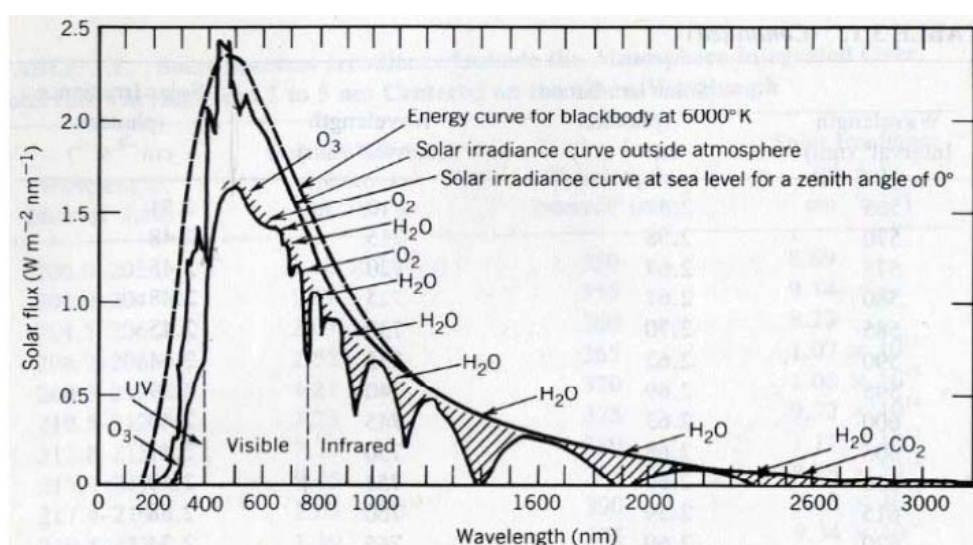
- 1 รังสีอัลตราไวโอเลตเอ (UV-A) มีความยาวคลื่นระหว่าง 315-400 nm
- 2 รังสีอัลตราไวโอเลตบี (UV-B) มีความยาวคลื่นระหว่าง 280-315 nm
- 3 รังสีอัลตราไวโอเลตซี (UV-C) มีความยาวคลื่นระหว่าง 100-280 nm



รูปที่ 1 สเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงต่างๆ

2.1.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านบรรยากาศโลก

สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียง 9.3% ของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด แต่เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศจะเกิดกระบวนการดูดกลืน การสะท้อนและการกระเจิง ทั้งนี้ขึ้นกับความยาวคลื่นของรังสีซึ่งเป็นสาเหตุให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 85 nm จะถูกดูดกลืนโดยอะตอมของไฮโดรเจนและไนโตรเจน ส่วนรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 200 nm จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของออกซิเจนและไนโตรเจน (Iqbal, 1983) นอกจากนี้ ยังมีการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 200-280 nm ซึ่งเกิดเนื่องจากโอโซนใน Hartley band เป็นผลให้ไม่มีรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 280 nm ตกถึงพื้นผิวโลกได้ โดยปริมาณ UV-B ที่พื้นผิวโลกคิดเป็นเพียง 1.5% ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกลงสู่พื้นผิวโลก และ UV-A คิดเป็น 6.3% ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกถึงพื้นผิวโลก ส่วน UV-C จะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลอากาศและโอโซน จนหมดไม่สามารถตกลงมาสู่พื้นผิวโลก ดังแสดงในรูปที่ 2

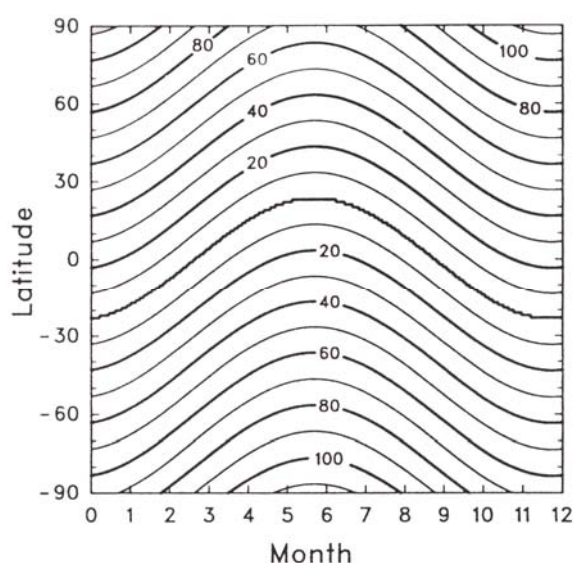


รูปที่ 2 สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและที่พื้นผิวโลก

(Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N., 1998)

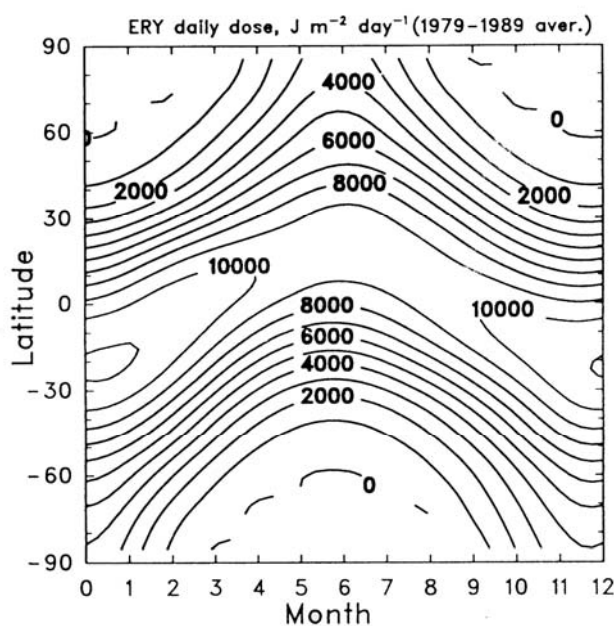
ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่โลกได้รับขึ้นกับเวลา ลักษณะทางภูมิศาสตร์ และตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ โดยพบว่า การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ทำให้ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ การเกิด sunspot cycle ในรอบ 11 ปี จะส่งผลกระทบต่อค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่น 280-400 nm น้อยกว่า 1% แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 280 nm ซึ่งมีความสำคัญต่อสมดุลระหว่างการเกิดและแตกตัวของโอโซน ทำให้ส่งผลทางอ้อมต่อปริมาณ UV-B ที่พื้นผิวโลก

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ทำให้มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก ณ ตำแหน่งต่างๆ ไม่เท่ากัน ระยะทางที่รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมีผลต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกลงสู่พื้นผิวโลก โดยทั่วไประยะทางดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (solar zenith angle, θ_z) ซึ่งเป็นปริมาณที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า และมีค่าขึ้นกับเวลาในรอบวัน วันในรอบปี ละติจูด และลองจิจูด โดยที่เวลา 12.00 น. จะมีการแปรค่าของมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ในรอบปี ดังแสดงในรูปที่ 3

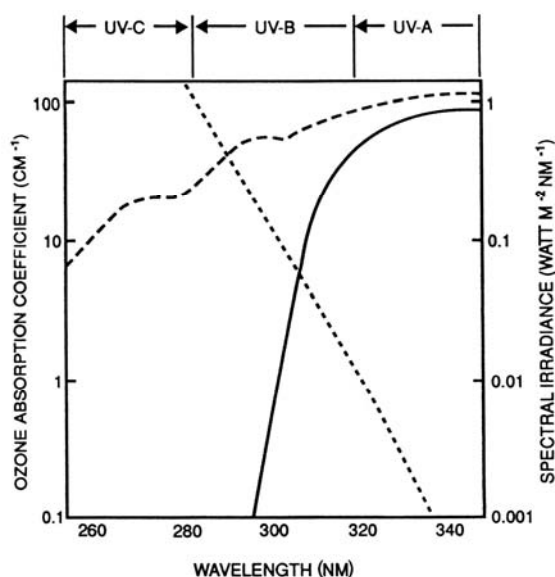


รูปที่ 3 ค่ามุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ในหน่วยองศาที่เวลาเที่ยงวัน ณ ตำแหน่งละติจูด และเดือนต่างๆ (Tevini, 1993)

นอกจากนี้ ละติจูดและฤดูกาลที่ต่างกันก็มีผลต่อปริมาณโอโซนในบรรยากาศด้วย ดังนั้นตำแหน่งละติจูดและฤดูกาลจึงมีผลต่อค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 สำหรับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกที่สำคัญ ได้แก่ โอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ถึง 90% และโอโซนในบรรยากาศชั้นนี้นอกจากจะมีผลต่อการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตแล้ว ยังมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีร่วมกับก๊าซดังกล่าวอีกด้วย ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ทั้งนี้ความสามารถในการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของโอโซนจะขึ้นกับความยาวคลื่นของรังสี ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งพบว่าความสามารถในการดูดกลืนรังสีที่ความยาวคลื่น 320 nm คิดเป็นเพียง 1% ของการดูดกลืนรังสีที่ความยาวคลื่น 280 nm เท่านั้น และที่ความยาวคลื่น 340 nm แทบจะไม่มี การดูดกลืนรังสีเนื่องจากโอโซนเลย ทำให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นสั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากก่อนที่จะตกลงสู่พื้นผิวโลก และไม่มี UV-C ตกถึงพื้นผิวโลกได้เลย



รูปที่ 4 ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ที่ละติจูดและฤดูกาลต่างๆ (Tevini, 1993)



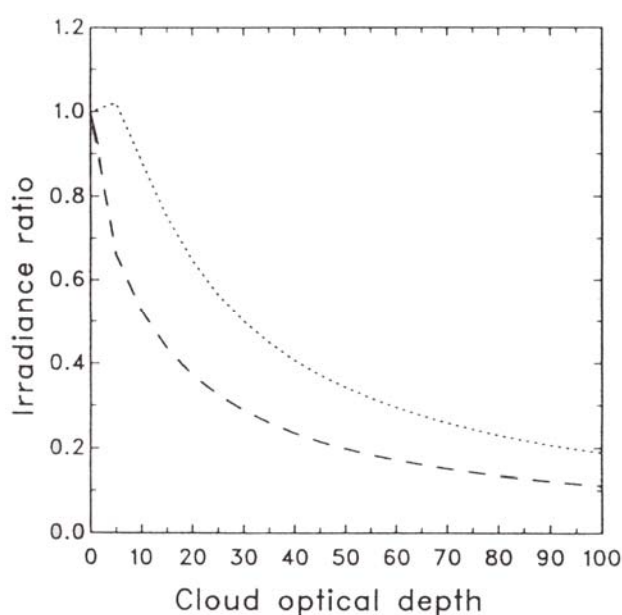
รูปที่ 5 สเปกตรัมการดูดกลืนของโอโซน (....) สเปกตรัมรังสีนอกบรรยากาศโลก
(---) และสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (—) (Webb, 1998)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์มีผลต่อการลดลงของรังสีอัลตราไวโอเลต โดยเป็นตัวลดทอนรังสีตรงแต่เพิ่มปริมาณรังสีกระจาย หลังการเกิดภูเขาไฟ Mount Pinatubo ระเบิดในปี ค.ศ. 1991 เป็นสาเหตุให้ฝุ่นละอองลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และผลที่เกิดขึ้นนี้กระจายออกสู่บรรยากาศโดยรอบ

สำหรับบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (troposphere) ซึ่งมีโมเลกุลอากาศที่ประกอบด้วย ก๊าซ SO_2 ก๊าซ NO_2 และโอโซน จะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต โดยรังสีอัลตราไวโอเลตส่วนใหญ่ในบรรยากาศชั้นนี้เป็นรังสีกระจาย ทำให้รังสีอัลตราไวโอเลตถูกดูดกลืนมากขึ้น

ในกรณีท้องฟ้ามีเมฆ จะพบว่าเมฆเป็นตัวกลางสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่ตกลงสู่พื้นผิวโลก เนื่องจากเมฆสามารถดูดกลืน สะท้อนและกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิด ความหนา และการกระจายตัวของเมฆด้วย เนื่องจากการกระจายตัวของเมฆมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและสถานที่ค่อนข้างสูง จึงยากที่จะบอกปริมาณและคุณสมบัติของเมฆได้ แต่ก็มี การสังเกตการกระจายตัวและปริมาณเมฆจากการสังเกตที่พื้นผิวโลกและจากการใช้ข้อมูลดาวเทียม โดยทั่วไป กรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั่วไปจะส่งผลให้ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตลดลง แต่ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆกระจายเป็นกลุ่มๆ อาจทำให้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับมุมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบเมฆ

ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6 อย่างไรก็ตาม ข้อมูลเมฆเกี่ยวกับความหนาและส่วนประกอบของเมฆนั้นค่อนข้างศึกษาได้ยาก ทำให้การศึกษาผลกระทบของเมฆที่มีต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นไปได้ยากด้วยเช่นกัน



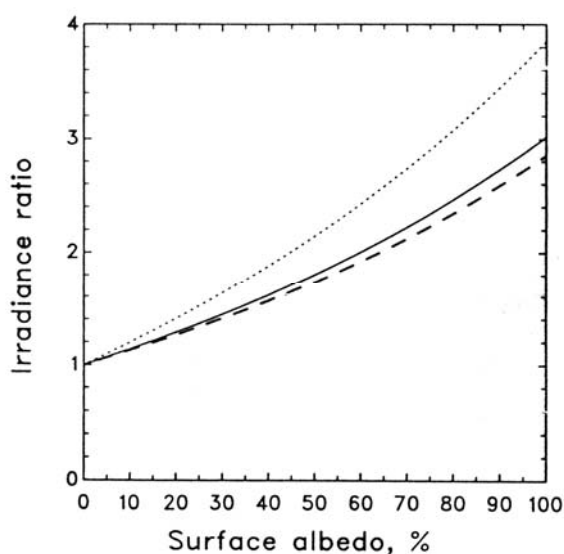
รูปที่ 6 อัตราส่วนของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกรณีมีเมฆปกคลุมท้องฟ้า และท้องฟ้าปราศจากเมฆ กับค่า Cloud optical depth ที่มุมเซนนิธ 0 องศา (.....) และที่มุมเซนนิธ 70 องศา (----)

สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของพื้นผิวโลกเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกกับรังสีที่ตกกระทบที่พื้นผิวโลก โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพื้นผิวและความยาวคลื่นของรังสีบางพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของพื้นผิวโลกตามฤดูกาลน้อยมาก ในขณะที่บางพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของพื้นผิวโลกค่อนข้างสูง เช่น ในฤดูร้อน บริเวณพื้นหญ้าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตประมาณ 0.02 ในขณะที่ฤดูหนาวซึ่งมีหิมะปกคลุมจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตประมาณ 0.6-1.0 โดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของพื้นผิวโลกจะมีค่าต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นยาวกว่า ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ (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

ดังนั้น ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกจึงมีค่าขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของพื้นผิวโลกด้วย แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่าผลกระทบที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นผิวโลกนั้นจะขึ้นอยู่กับมุมเซนนิทของดวงอาทิตย์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้เพราะรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกเป็นรังสีกระจาย



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกและการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่มุมเซนนิท 0 องศา (---) 70 องศา (.....) และที่มุมเซนนิทใดๆ (—) (Tevini, 1993)

2.1.3 การวัดรังสีอัลตราไวโอเลต

การวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

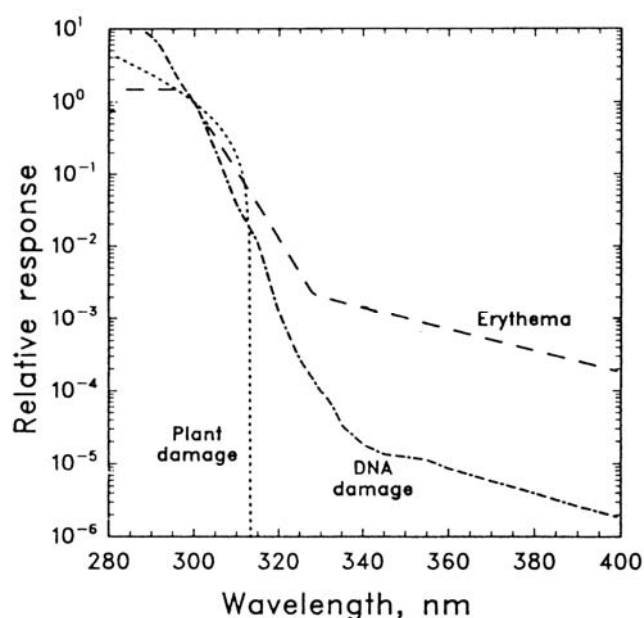
- 1 การวัดโดยใช้หลักการทางชีววิทยา การวัดชนิดนี้ใช้ในงานด้านการแพทย์ โดยจะแสดงปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตในรูปของการเกิดการไหม้ของผิวหนังหรือความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัส
- 2 การวัดโดยใช้หลักการทางเคมี การวัดด้วยวิธีนี้จะใช้สารเคมีซึ่งมีปฏิกิริยากับรังสีอัลตราไวโอเลต เช่น ปฏิกิริยาระหว่าง methylene ใน acetate-oxalic acid โดยจะวัด dose ของรังสีอัลตราไวโอเลตจากปริมาณของสารที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี
- 3 การวัดโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ การวัดโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับใช้ในการตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์เป็นประจำวันต่อเนื่องเป็นระยะยาว อุปกรณ์ที่ใช้มีหลายแบบ เช่น การใช้ phototubes, photovoltaic cells, ionization chambers และ photographic films เป็นต้น

การวัดรังสีอัลตราไวโอเลตจะมีความยุ่งยากมากกว่าการวัดรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่ผ่านบรรยากาศลงมายังพื้นผิวโลกจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยทั่วไปการวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบ่งได้ 3 ประเภท คือ การวัดสเปกตรัม การวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้าง และการวัดในช่วงความยาวคลื่นแคบ

เครื่องวัดสเปกตรัมจะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดในแต่ละความยาวคลื่น โดยมีชื่อเรียกทั่วไปว่า spectroradiometer สำหรับการวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้างจะใช้ broadband radiometer หรือ broadband UV detector ได้แก่ Robertson-Berger sunburn meter เป็นต้น ส่วนการวัดในช่วงความยาวคลื่นแคบ เป็นการวัดรังสีอัลตราไวโอเลตที่ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า narrow band UV radiometer ได้แก่ Ground-based Ultraviolet Radiometer และ NILU-UV radiometers เป็นต้น

2.1.4 ผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Tevini, 1993)

รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุดที่สามารถผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกได้ และมีโฟตอนพลังงานสูงสุด เมื่อได้รับในปริมาณเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีววิทยาและทางเคมีได้มากทั้งในสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต ซึ่งสิ่งมีชีวิตต่างๆ จะตอบสนองหรือได้รับผลจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตแตกต่างกันโดยมีการแปรค่าตามความยาวคลื่น สำหรับพืชและ DNA จะได้รับผลจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยมีระดับความรุนแรงต่างๆ กัน ซึ่งลักษณะของการตอบสนองที่สำคัญแสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าการตอบสนองของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ DNA พืช และผิวหนัง (Madronich, 1993)

การได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลทำให้ผิวหนังเป็นสีน้ำตาล (tanning of skin) ซึ่งเกิดจากการก่อตัวของเม็ดสีเมลานิน (pigment melanin) เคลื่อนตัวจากผิวหนังชั้นล่างขึ้นมา อันเป็นปฏิกิริยาของร่างกายที่ต่อต้านและป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยทำให้ผิวหนังหนาขึ้น และการได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณที่มากเกินไปเป็นสาเหตุสำคัญให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความยาวคลื่น 200-300 nm นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดริ้วรอยบนผิวหนังและทำให้เกิดโรคมุขมึนกันบกพร่อง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดแผลพุพองบนผิวหนัง หรือการติดเชื้อจากโปรโตซัวจำพวก *Leishmania* ได้ง่าย นอกจากผลที่เกิดกับผิวหนังแล้วยังมีผลที่เกิดกับดวงตาด้วย

โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเป็นอันตรายต่อกระจกตาและเลนส์ตาซึ่งอาจทำให้เกิดโรคต้อกระจก เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดตาบอดของประชากรในประเทศที่กำลังพัฒนา

สำหรับผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ จะขึ้นอยู่กับระดับความลึกที่สิ่งมีชีวิตนั้นดำรงอยู่ด้วย โดยทั่วไปมักให้ความสนใจกับผลกระทบที่เกิดกับ phytoplankton ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหลักของสิ่งมีชีวิตในน้ำ จากการศึกษาพบว่าการได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากเกินไปจะทำให้อัตราการเจริญเติบโต การสังเคราะห์แสง และการสังเคราะห์เม็ดสีของ phytoplankton ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลต่ออัตราการตายของสัตว์ประเภทเปลือกหุ้มแข็ง และปะการังด้วย

การศึกษาผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีต่อพืช พบว่าพืชที่ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตมากเกินไปจะลดอัตราการเจริญเติบโต ซึ่งสังเกตได้จากการลดความสูงของลำต้น และผลผลิตของพืช เป็นต้น

ส่วนผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสิ่งไม่มีชีวิต คือ การเสื่อมสภาพของวัสดุที่ใช้ในงานกลางแจ้ง เช่น พลาสติก ไม้ และสี นอกจากนี้รังสีอัลตราไวโอเล็ตยังมีผลต่อปฏิกิริยาทางเคมีในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ของโลกอีกด้วย โดยเมื่อทำปฏิกิริยากับโอโซนและก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศชั้นดังกล่าวแล้วจะทำให้คุณภาพอากาศลดลง

อย่างไรก็ตาม ในทางการแพทย์มีการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการรักษาโรค เช่น โรคผิวหนัง โรคการรักษาบาดแผล การป้องกันการกระจายของเชื้อโรคที่ติดต่อทางอากาศ การป้องกัน และรักษาโรคกระดูกผุ และการพอกของหินปูนที่กระดูก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในงานอุตสาหกรรมและสาธารณสุข เช่น ใช้ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและไวรัสในน้ำดื่ม โดยส่วนใหญ่แล้ว รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่นำมาใช้นี้จะมีแหล่งกำเนิดมาจากที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณของรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้

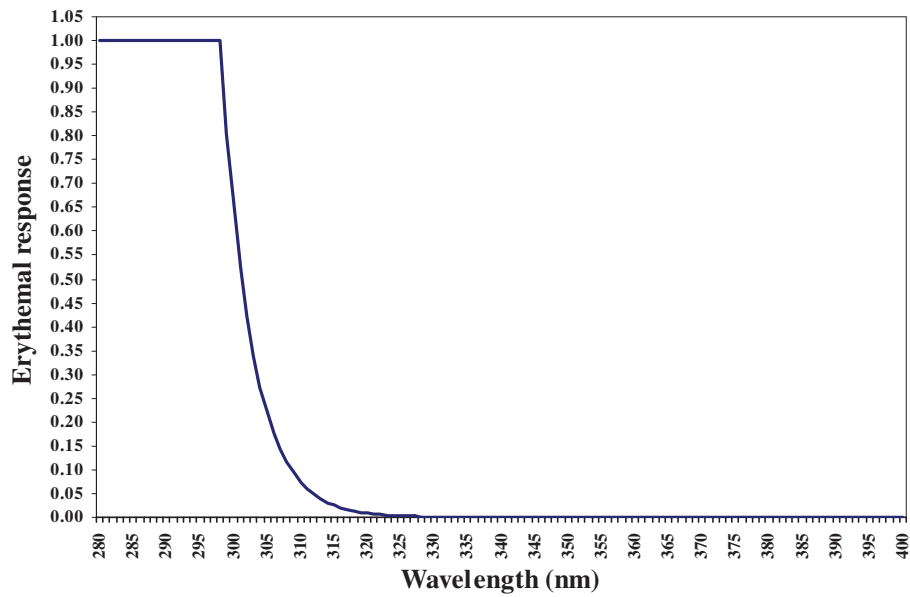
2.1.5 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เมื่อผิวหนังมนุษย์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณมาก ผิวหนังจะแดงและมีอาการแสบร้อน หรือที่เรียกว่า ผิวหนังถูกแดดเผา (sun burn) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีอาการ 1-5 ชั่วโมง หลังจากถูกแดดเผา และจะมีอาการอยู่ 1-3 วัน โดยผลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อผิวหนังจะรุนแรงที่ความยาวคลื่นสั้นและบ่อยๆ ลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น การตอบสนองดังกล่าวเรียกว่า erythema โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนึงถึงผลของการตอบสนองของผิวหนังแล้วจะเรียกว่า erythema ultraviolet radiation หรือ EUV ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (McKinlay and Diffey, 1987)

$$I_{EUV} = \int_{280}^{400} R_{E\lambda} I_{\lambda} d\lambda \quad (2.1)$$

- เมื่อ I_{EUV} = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ [$\text{W/m}^2\text{-nm}$]
 I_{λ} = สเปกตรัมของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลก [$\text{W/m}^2\text{-nm}$]
 $R_{E\lambda}$ = ฟังก์ชันของการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ [-]
 λ = ความยาวคลื่น [nm]

International Commission of Illumination (Centre International of Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานของ $R_{E\lambda}$ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต
(CIE, 1987)

กราฟในรูปที่ 9 สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ (Nunez, 2003)

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

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } R_{E\lambda} &= \text{ฟังก์ชันของการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ [-]} \\ \lambda &= \text{ความยาวคลื่น [nm]} \end{aligned}$$

ค่าความเข้มของ EUV สามารถคำนวณได้ ถ้าเราทราบค่าความเข้มสเปกตรัมของรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วง 280-400 nm ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถได้จากการวัดหรือได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสี (radiative transfer model) (Stamnes et al., 1988) นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือที่สามารถวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์โดยตรง

2.1.6 ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (UV index)

รังสีอัลตราไวโอเลตมีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดอาการผิวหนังถูกแดดเผา และเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งผิวหนัง ซึ่งความรุนแรงของผลดังกล่าวจะขึ้นกับระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นในระดับความรุนแรงดังกล่าว องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) จึงได้กำหนดระดับความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตด้วยดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (UV index) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการบอกระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2 ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (WHO, 2002)

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

สำหรับการคำนวณดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต เริ่มต้นจากการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่คำนึงผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.1) จากนั้นจะคำนวณค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต โดยการนำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ในหน่วยมิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร หาคด้วย 25 mW/m^2 หรือในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตร คูณด้วย $40 \text{ m}^2/\text{W}$ ตามสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{UV index} &= \text{erythemal UV (mW/m}^2) / 25 \text{ (m}^2/\text{mW)} \\ \text{หรือ} \quad &= \text{erythemal UV (W/m}^2) \times 40 \text{ (m}^2/\text{W)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

โดยปกติค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-16 ที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง แต่อาจมีค่าสูงกว่านี้ที่ระดับความสูงที่สูงขึ้น ค่าที่ได้เป็นผลรวมของรังสีอัลตราไวโอเลตเอและรังสีอัลตราไวโอเลตบี ค่าดัชนีความรังสีอัลตราไวโอเลตที่ระดับต่างๆจะมีวิธีการป้องกันที่ต่างกันดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.10

UV Index 1	UV Index 2	UV Index 3	UV Index 4	UV Index 5	UV Index 6	UV Index 7	UV Index 8	UV Index 9	UV Index 10	UV Index 11+
ไม่ต้องการการปกป้อง		ต้องการการปกป้อง					ต้องการการปกป้องที่มีประสิทธิภาพ			
สามารถอยู่กลางแจ้งได้อย่างปลอดภัย		ควรอยู่ในร่มช่วงกลางวัน และทาครีมกันแดด สวมเสื้อแขนยาว หรือหมวกเมื่ออยู่กลางแจ้ง					หลีกเลี่ยงการอยู่กลางแจ้งช่วงกลางวัน ครีมนกันแดด เสื้อแขนยาวและหมวกเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง			

รูปที่ 10 ค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตและวิธีป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตที่ระดับต่างๆ

2.1.7 ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตต่ำสุดที่ทำให้ผิวหนังแดง (Minimum Erythemal Dose, MED)

ผิวไหม้เกรียมเป็นผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่เป็นอันตรายต่อผิวหนังของมนุษย์ โดยทั่วไปจะใช้ CIE Erythemal action spectra ในการประเมินผลกระทบของผิวหนังที่ถูกทำลาย โดยที่ 1 MED คือ ปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผิวหนังแดง โดยที่ผิวหนังไม่ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตมาก่อน ซึ่งอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเลตไม่เพียงแต่ขึ้นกับปริมาณรังสีที่ได้รับ แต่ยังขึ้นกับการตอบสนองของผิวหนังชนิดต่างๆ โดยแต่ละคนมีความไวใน

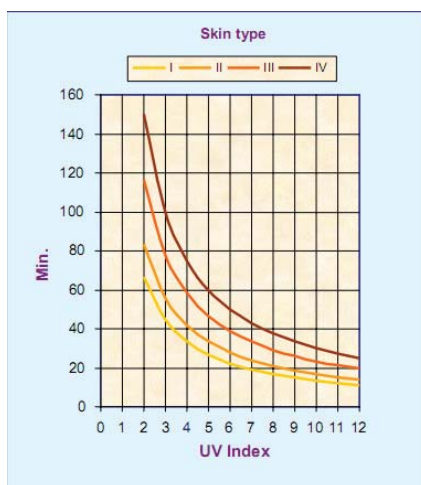
การตอบสนองต่อแสงไม่เท่ากัน เพราะเมื่อสีผิวมีความสามารถในการต้านรังสีอัลตราไวโอเล็ตไม่เท่ากัน โดยทั่วไปคนเอเชียจะมีค่าปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่ำสุดที่จะทำให้ผิวหนังแดงประมาณ $350\text{--}450\text{ J/m}^2$ ส่วนของคนยุโรปจะมีค่าประมาณ $200\text{--}250\text{ J/m}^2$ จากการศึกษาการตอบสนองของผิวหนังชนิดต่างๆ กับค่า MED แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ชนิดผิวหนังกับ MED (COST-713 Action, 2000)

ชนิดของ ผิวหนัง	ผิวหนังแดง (สี แทน)	ผิวเกรียม	สีชมพู	สีดา	1 MED (J/m^2)
1	-	เกรียม	แดง	ฟ้า	200
2	บางครั้ง	บางครั้ง	บลอนด์	ฟ้า / เขียว	250
3	แดงเสมอๆ	น้อย	น้ำตาล	เทา/น้ำตาล	350
4	แดงเสมอๆ	-	ดำ	น้ำตาล	450

2.1.8 ระยะเวลาที่ทำให้ผิวหนังเกรียม (sunburn time)

ระยะเวลาที่ทำให้ผิวหนังเกรียม เป็นระยะเวลาที่มากที่สุดที่เราสามารถอยู่กลางแจ้งแดดได้โดยที่ผิวหนังไม่ได้รับการป้องกัน ระยะเวลาดังกล่าวสามารถคำนวณสำหรับผิวหนังแต่ละชนิดจากค่าดัชนีรังสีความเข้มอัลตราไวโอเล็ตและค่า 1 MED สำหรับผิวหนังของแต่ละชนิด ดังแสดงในรูปที่ 11 จะพบว่าที่ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเท่ากันระยะเวลาที่ผิวหนังแต่ละชนิดจะสามารถอยู่กลางแจ้งแดดได้ต่างกัน และเมื่อดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงขึ้นระยะเวลาที่จะสามารถอยู่กลางแจ้งแดดได้จะลดลง โดยผิวหนังแบบที่ 4 จะสามารถอยู่ได้นานกว่าผิวหนังแบบที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ที่ความเข้มดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเท่ากัน

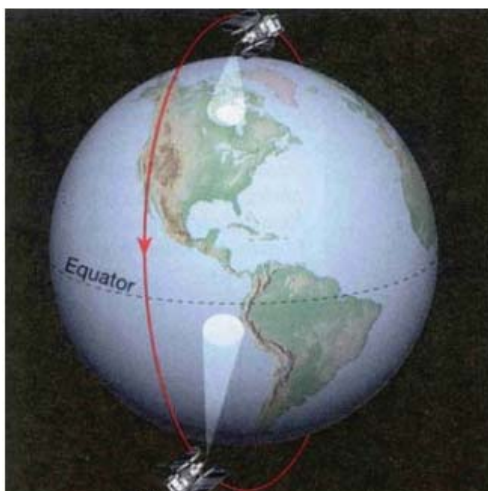


รูปที่ 11 ระยะเวลาที่ทำให้ผิวหนังเกรียมในหน่วยนาทียและค่า MED ที่สอดคล้องกับผิวหนังชนิดต่างๆ ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (COST-713 Action, 2000)

2.1.9 Ozone Monitoring Instrument (OMI)

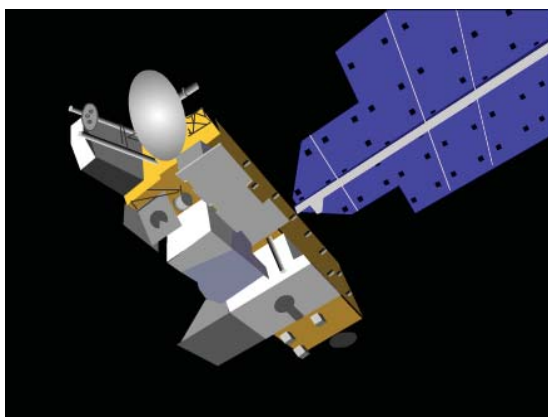
OMI เป็นเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากการสะท้อนของชั้นบรรยากาศ และพื้นผิวโลก OMI เป็นผลงานของ Netherlands Institute for Air and Space Development (NIVR) ร่วมมือกับสถาบันอุตุนิยมวิทยาฟินแลนด์ (Finnish Meteorological Institute, FMI) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนดาวเทียม Aura ที่มีวงโคจรอยู่ใน แนวเหนือ - ใต้ ผ่านแถบขั้วโลก หรือเรียกสั้นๆ ว่าเป็น ดาวเทียมขั้วโลก (polar satellite) ดังแสดงได้ในรูปที่ 12 โดยดาวเทียม Aura ถูกส่งขึ้นไปปฏิบัติงานเมื่อ 14 กรกฎาคม 2004 ลักษณะของดาวเทียมแสดงไว้ดังรูปที่ 13

OMI ทำการวัดสเปกตรัมครอบคลุมช่วงความยาวคลื่น 264-504 nm มีความละเอียดของสเปกตรัมอยู่ระหว่าง 0.42 nm และ 0.63 nm มีความละเอียดเชิงพื้นที่ $13 \times 24 \text{ km}^2$ ในแนวตั้งทั้งยังมีการวัดในแบบขยายได้ที่มีความละเอียด $13 \times 12 \text{ km}^2$ และมีกล้องที่สามารถกวาดมุมทำการวัดได้กว้าง 2600 กิโลเมตร ทำให้สามารถวัดได้คลุมเกือบทั่วโลกภายใน 1 วัน ข้อมูลที่ได้จาก OMI ประกอบด้วย ปริมาณโอโซน ฟูลerateอง เมฆ รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกและก๊าซต่างๆ เช่น NO_2 , SO_2 , HCHO , BrO และ OCIO เป็นต้น ลักษณะของ OMI ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aura แสดงได้ดังรูปที่ 14 โดยทั่วไปดาวเทียม Aura จะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณศูนย์สูตรที่เวลาประมาณ 1:45 pm (± 50 นาที) ตามเวลาท้องถิ่น

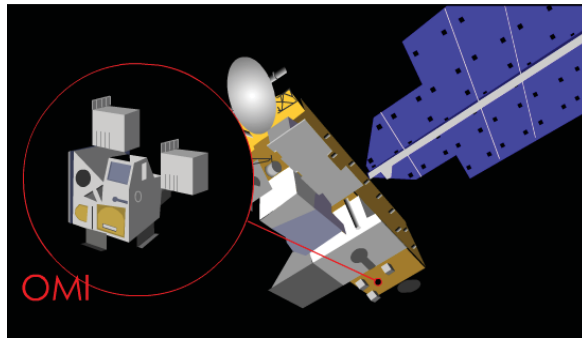


รูปที่ 12 การโคจรของดาวเทียมแบบขั้วโลก

แบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกที่ได้จาก OMI ใช้วิธีการเดียวกับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จาก TOMS ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย NASA/GSFC (Tanskanen et al., 2006) โดยในลำดับแรกจะหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและฝุ่นละออง จากแบบจำลองการถ่ายเทรังสีในบรรยากาศ โดยใช้ค่าของโอโซนและค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นโลก หลังจากที่ได้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆแล้วจะทำการปรับแก้ค่าด้วยการคูณค่า cloud modification factor ที่ได้จากการวัดของ OMI เพื่อจะหาการลดลงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากเมฆ แบบจำลองดังกล่าวจะไม่คำนึงถึงการดูดกลืนของฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศชั้นล่าง (boundary layer)



รูปที่ 13 ลักษณะของดาวเทียม Aura



รูปที่ 14 อุปกรณ์ OMI ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aura

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1974 Molina และ Rowland (1974) และ Stalaski และ Cicerno (1974) ได้เสนอแนวความคิดถึงความเป็นไปได้ที่สาร chlorofluorocarbon (CFCs) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จะลอยขึ้นไปทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ พร้อมทั้งได้เตือนถึงอันตรายที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จะได้รับ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนในสตราโตสเฟียร์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกอันเป็นผลมาจากชั้นโอโซนในบรรยากาศถูกทำลาย แม้ว่าจะมีการเตือนภัยดังกล่าวแล้วก็ตาม แต่การใช้สาร CFCs ยังคงดำเนินต่อไปอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้ในกระป๋องสเปรย์ และการใช้เป็น working fluid ในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ ตลอดจนการใช้ทำควมสะอาดอุปกรณ์ semiconductor ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสาร CFCs มีราคาไม่แพง และมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานดังกล่าว อีกทั้งยังไม่มีผลการวิจัยยืนยันถึงผลกระทบของสาร CFCs ที่มีต่อชั้นโอโซนในบรรยากาศ

ในปี ค.ศ. 1985 Farman และคณะ (1985) ได้วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณโอโซนที่วัดจากสถานีสำรวจของอังกฤษที่ Halley Bay ในบริเวณขั้วโลกใต้ พบว่าปริมาณโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์มีปริมาณลดลงถึง 40% ในระยะเวลา 10 ปี ซึ่งภายหลังเรียกบริเวณนี้ว่า ozone hole ซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณโอโซนต่ำกว่า 220 DU นอกจากนี้ยังพบว่า การเกิด ozone hole เป็นผลมาจากสาร CFCs ที่รวมตัวกันในบริเวณนั้นด้วยการไหลวนของกระแสอากาศในช่วงฤดูหนาวของขั้วโลกใต้การค้นพบดังกล่าวถือว่าการยืนยันแนวคิดของ Molina และ Rowland (1974)

ต่อมา Newman และ Alpert (1986) ได้ตีพิมพ์ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม Nimbus 7 ซึ่งแสดงให้เห็น ozone hole ในบริเวณทวีปแอนตาร์กติกาอย่างชัดเจนนอกเหนือจากที่พบในบริเวณขั้วโลกใต้ Proffitt และคณะ (1990) ได้พบการลดลงของโอโซนบริเวณขั้วโลกเหนือด้วย นอกจากนี้ Gleason และคณะ (1993) ได้พบการลดลงของโอโซนในบริเวณ mid-latitude และแถบศูนย์สูตร

จากปัญหาการลดลงของปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งส่งผลให้รังสีอัลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกมีค่าเพิ่มสูงขึ้น นักวิทยาศาสตร์ในประเทศต่างๆ จึงตื่นตัวในการตรวจวัดและการคำนวณความเข้มข้นของคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนในสตราโตสเฟียร์โดยวิธีการต่างๆ

ออสเตรเลียเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบรุนแรงจากการลดลงของโอโซนเนื่องจากอยู่ใกล้ขั้วโลกใต้ โดยมีอัตราการป่วยของประชากรเป็นโรค Non-melanoma skin cancer และ cataneous malignant melanoma สูงสุดของโลกประเทศหนึ่ง ดังนั้น Australian Radiation Laboratory (Roy et al., 1998) จึงได้จัดตั้งเครือข่ายสถานีวิจัยวัดความเข้มข้นของคลอโรฟลูโอโรคาร์บอนในสตราโตสเฟียร์ในช่วงกลางทศวรรษ 1980 ซึ่งประกอบด้วยสถานีวิจัยจำนวน 7 แห่ง โดยกระจายตัวตั้งแต่วิเวณศูนย์สูตร

จนถึงทั่วโลกได้ สถานีดังกล่าวได้ติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ ด้วย

โดยทั่วไป ความสูงของพื้นที่มีผลต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ดังนั้น Piazena (1996) แห่ง Institute of Botanical and Pharmaceutical Biology ประเทศเยอรมัน ได้ทำการศึกษาผลของระดับความสูงต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่เทือกเขา Andes ประเทศชิลี โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบ Grasnack filter photometer ทำการวัด UV-A ในช่วงความยาวคลื่น 313-374 nm และ UV-B ในช่วง 308-318 nm ที่ระดับความสูงต่างๆ จนถึงระดับความสูง 5,000 m จากผลการศึกษาพบว่า UV-B มีความเข้มเพิ่มขึ้น 8-10% ต่อความสูง 1,000 m และสำหรับ UV-A มีความเข้มเพิ่มขึ้น 7-15% ต่อความสูง 1,000 m

นอกจากนี้ Ren และคณะ (1999) จาก Geophysical Institute, University of Bergen และ University of Courses on Svalbard ประเทศนอร์เวย์ ได้ศึกษาผลของความสูงของพื้นที่ที่มีต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่เมืองลาซา เขตปกครองพิเศษทิเบต โดยใช้เครื่องวัดแบบ moderate bandwidth filter instrument และ fixed imaging compact spectrometer โดยทำการวัดในช่วงเดือนกรกฎาคม ค.ศ.1996 ถึงธันวาคม ค.ศ.1997 ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ที่เมืองลาซา มีค่าสูงกว่าที่เมือง San Diego ประเทศสหรัฐอเมริกา 1.3-1.5 เท่า และสูงกว่าที่เมือง Perth ประเทศออสเตรเลีย 1.2-1.4 เท่า

โดยทั่วไป รังสีอัลตราไวโอเลตจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาระยะยาวตาม solar cycle และปริมาณโอโซนในบรรยากาศด้วย Zerefos และคณะ (1998) จาก Laboratory of Atmospheric Physics, Aristotle University of Thessaloniki ประเทศกรีซ จึงทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ที่เมือง Thessaloniki โดยใช้ข้อมูล spectral UV-B ซึ่งวัดโดยเครื่องวัด Brewer spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 305 nm และ 325 nm ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความเข้ม UV-B ที่ความยาวคลื่น 305 nm มีการเปลี่ยนแปลง 10 % ต่อทศวรรษ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโอโซน

ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกมีความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ดังนั้น Elhadidy และคณะ (1990) ได้ศึกษาสัดส่วนของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่น 295-385 nm ซึ่งครอบคลุมช่วง UV-A และ UV-B หรือเรียกกันทั่วไปว่า total UV (TUV) กับความเข้มรังสีตรงในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband radiation) โดยใช้ Eppley radiometer วัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต และใช้ Eppley Pyrheliometer วัดความเข้มรังสีตรงที่เมือง Dhahran ประเทศซาอุดีอาระเบีย ระหว่างเดือนมกราคม ค.ศ. 1985 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 1987 จากผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของความเข้มรังสี

อัลตราไวโอเลตต่อความเข้มรังสีตรงมีค่าขึ้นกับ clearness index ของบรรยากาศ โดยเมื่อค่า clearness index สูงกว่า 0.15 ค่าสัดส่วนของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความเข้มรังสีตรงจะมีค่าคงที่เท่ากับ 3.45 % และในช่วงฤดูฝนสัดส่วนดังกล่าวจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.6 %

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในลักษณะที่คล้ายกัน โดย Al-Aruri และคณะ (1988) ประเทศคูเวต ซึ่งพบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม และความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตโดยเฉลี่ยมีสัดส่วนคิดเป็น 4.62 % ของรังสีรวมของดวงอาทิตย์ (global radiation)

Kollias และ Baqer (1984) ได้ศึกษาผลของมุมตกกระทบของรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นในช่วง 285-320 nm หรือในช่วง UV-B โดยเน้นการนำผลไปใช้ในการแพทย์

โดยทั่วไป อุปกรณ์การวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีราคาแพง การจัดทำเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตให้ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศมักทำได้ไม่ทั่วถึง ในการแก้ปัญหาดังกล่าว นักวิทยาศาสตร์ในหลายประเทศจึงได้สร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากค่าตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ตัวอย่างเช่น Grant และ Heisler (2000) แห่ง Department of Agronomy, Purdue University ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้สร้างแบบจำลองเอมไพริคัล (empirical model) สำหรับคำนวณ UV-B จากความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (photosynthetically active radiation, PAR) และแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง UV-B กับจำนวนชั่วโมงมีแสงแดดในแต่ละวัน เป็นต้น ในทำนองเดียวกัน Bais และคณะ (1993) แห่ง Laboratory of Atmospheric Physics, Aristotle University of Thessaloniki ประเทศกรีซ ได้สร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณ UV-B จากปริมาณเมฆ และ Diffey (1977) ได้สร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณ UV-B จากการ interpolation ข้อมูลที่ได้จากการวัด

นอกจากแบบจำลองแบบ empirical แล้ว ยังมีการพัฒนาแบบจำลองแบบทางฟิสิกส์ ซึ่งพิจารณากระบวนการดูดกลืนและการกระเจิง (scattering) รังสีอัลตราไวโอเลตที่ผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก โดยแต่ละแบบจำลองจะมีระดับของความสลับซับซ้อนแตกต่างกัน ตัวอย่างแบบจำลองดังกล่าวที่ใช้กันในช่วงทศวรรษที่ 1975 ได้แก่ แบบจำลองของ Green และคณะ (1974) และแบบจำลองของ Baker และคณะ (1980) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองดังกล่าวต้องอาศัยข้อมูลจากการวัด UV-B ประกอบในการคำนวณด้วย ซึ่งไม่สามารถใช้ได้ทั่วไป ดังนั้น Stamnes และคณะ (1988) แห่ง Geophysical Institute, University of Alaska จึงได้นำแบบจำลองการถ่ายเทรังสีในบรรยากาศ ซึ่งพัฒนาโดย Chandrasekhar (1960) มาทำการประยุกต์ใช้กับการถ่ายเทรังสีอัลตราไวโอเลตในบรรยากาศโลก และได้ทำการแก้สมการของแบบจำลอง โดยวิธี Discrete

Ordinate โดยแบ่งบรรยากาศออกเป็นชั้นย่อยๆ จำนวนมาก และพิจารณาการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีอัลตราไวโอเลตที่เกิดขึ้นในชั้นต่างๆ จนถึงพื้นผิวโลก พร้อมทั้งทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งเรียกว่า UVSPEC สำหรับใช้ในงานทั่วไปด้วยแบบจำลองนี้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง โดย Tsay และ Stamnes (1992) ซึ่งใช้แบบจำลอง Discrete Ordinate กับข้อมูลสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่วัดได้ที่นิวซีแลนด์ ต่อมา Forster (1995) ได้ใช้แบบจำลอง Discrete Ordinate กับข้อมูลของอังกฤษ และ Schwander และคณะ (1997) ได้ใช้แบบจำลอง Discrete Ordinate กับข้อมูลของเยอรมัน ผลการใช้แบบจำลอง Discrete Ordinate กับข้อมูล UV-B ในส่วนต่างๆ ของโลก พบว่าแบบจำลองดังกล่าวให้ผลค่อนข้างละเอียดถูกต้อง นอกจากนี้ ยังมีแบบจำลองทางฟิสิกส์อื่นๆ ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า เช่น แบบจำลองทางฟิสิกส์ของ Varotsos (1995) และแบบจำลอง TUV ของ Madronich (1993)

เนื่องจากการศึกษารังสีอัลตราไวโอเลตโดยอาศัยเครื่องมือวัดภาคพื้นดินมีข้อจำกัดที่จำนวนสถานีวัดซึ่งมีราคาแพง และบางบริเวณไม่สะดวกในการติดตั้งเครื่องวัด ดังนั้น Krotkov และคณะ (1998) ได้พัฒนาวิธีการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต กรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยอาศัยข้อมูลโอโซนและข้อมูล radiance ที่ได้จาก total ozone mapping spectrometer (TOMS) ของดาวเทียม Nimbus-7 (ช่วง ค.ศ. 1979-1992) และดาวเทียม Earth Probe (ช่วง ค.ศ. 1996-1998) โดยอาศัยแบบจำลองการส่งผ่านรังสี DISORT ที่พัฒนาขึ้นโดย Stamnes และคณะ (1988) จากนั้นคิดการลดทอนรังสีเนื่องจากฝุ่นละอองในเทอมของค่า aerosols attenuation factor (η) วิธีการดังกล่าวต้องใช้ข้อมูล radiance และ aerosols index (AI) ที่ได้จากดาวเทียม วิธีการนี้สามารถใช้คำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างกว้างขวาง โดยพบว่าค่า percentage error ของข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมเทียบกับข้อมูลภาคพื้นดิน สำหรับในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ และฝุ่นละอองมีค่าประมาณ 4%, 8% และ 12% ที่ความยาวคลื่น 305, 300 และ 295 nm ตามลำดับ ส่วนในวันที่มีฝุ่นละอองค่า percentage error ที่ได้จะมีค่าสูงขึ้น

เนื่องจากปริมาณเมฆมีความสำคัญต่อปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลต ดังนั้น Krotkov และคณะ (2001) จึงได้พัฒนาวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีเนื่องจากเมฆ (cloud-transmission factor, C_T) โดยอาศัยข้อมูล radiance จาก TOMS ซึ่งสามารถคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่พื้นผิวโลก ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม โดยได้เสนอวิธีการหาค่า cloud-transmission factor 2 วิธี ได้แก่ วิธีการหาค่า Lambert equivalent reflectivity (LER) ซึ่งใช้ข้อมูล radiance จากดาวเทียม และการใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสี DISORT ซึ่งใช้ Gauss-Seidel code สำหรับหาค่า cloud-transmission factor ซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าความลึกเชิงแสงของเมฆ

สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของพื้นผิวโลก และมุมเซนนิซของดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาวิธีการสำหรับกรณีพื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมด้วย

Nunez และคณะ (1994) ใช้ข้อมูลดาวเทียม Geostationary Meteorological Satellites (GMS) ทำการหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เมือง Melbourne ประเทศออสเตรเลีย ในช่วงเวลาเพียง 20 วัน โดยใช้แบบจำลองทางสถิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีรวมรายวันและค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวัน จากข้อมูลการวัดที่เมือง Tasmania ประเทศออสเตรเลีย

Lubin และคณะ (1994) ทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบริเวณ Antarctic โดยใช้ข้อมูลโอโซนจาก TOMS/Nimbus-7 และ Planetary albedo ที่ได้จาก NOAA/AVHRR โดยทำการเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกจากข้อมูลดาวเทียม NOAA channel 1 จากนั้นใช้ delta-Eddington model หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นทำการแยกพื้นที่ที่เป็นพื้นน้ำ หิมะ และน้ำแข็ง โดยใช้ข้อมูลจาก NOAA channel 3 และ 4 แล้วใช้ delta-Eddington model คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV Transmission กับ cloud optical depth และ cloud optical depth กับ planetary albedo ทำให้สามารถหา UV Transmission ได้จากข้อมูล NOAA/AVHRR และสามารถคำนวณหาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกได้ต่อไป

Eck และคณะ (1995) ได้พัฒนาวิธีการคำนวณค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีที่ตกกระทบพื้นผิวโลกที่เมือง Toronto ประเทศแคนาดา (44° N, 79° W) ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 1990 ซึ่งเป็นช่วงที่ปราศจากหิมะและน้ำแข็งปกคลุมพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลโอโซนและ radiance จากดาวเทียม TOMS/Nimbus-7 สำหรับกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมได้ตั้งสมมติฐานไว้ 3 ข้อ ได้แก่ 1) ไม่มีการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากเมฆ 2) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเมฆมีค่าคงที่ตลอดช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต 3) ใช้ค่า UV-directional reflectivity ที่วัดได้จาก TOMS มาแทนค่า cloud spectral hemispherical albedo และจากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและจากการวัดด้วยเครื่อง Brewer spectrophotometer ที่เวลาท้องถิ่น 10:00-12:00 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ Nimbus-7 โคจรผ่าน Toronto พอดี โดยพบว่า percentage difference ของข้อมูลรายชั่วโมงมีค่าอยู่ระหว่าง -5.8% ถึง +3.9% และข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงมีค่า RMSD 9.3% และ mean difference -1.2%

Meerkotter และคณะ (1997) ได้นำข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม ERS-2/GOME และข้อมูลความทึบเชิงแสงของเมฆ (cloud optical thickness) ที่ได้จากดาวเทียม NOAA/AVHRR

โดยอาศัย AVHRR Processing scheme Over Cloud, Land and Ocean (APOLLO) มาทำการหาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบริเวณทางตอนใต้ของประเทศเยอรมัน โดยใช้ข้อมูลเพียง 2 วันเท่านั้น เป็นตัวแทนของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม และได้ใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสีคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการแปรค่าของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (20° - 75°) ปริมาณโอโซน (200-400 DU) และค่าความลึกเชิงแสงของเมฆ (0-120) นอกจากนี้ได้กำหนดค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง เท่ากับ 0.2 และสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของพื้นผิวโลกมีค่าเท่ากับ 0.03 โดยในแบบจำลองนี้สมมติให้เมฆอยู่ที่ระดับความสูง 2.5-4.5 กิโลเมตร ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินพบว่า ค่า relative deviation มีค่าประมาณ 4.5 %

Vanderbout (2000) ได้เสนอวิธีการคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในยุโรป โดยอาศัยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม ERS-2/GOME และข้อมูล TOA radiance จากดาวเทียม MVIRI/Meteosat จากนั้นใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสี UVSPEC สร้าง Look-up table 2 ตาราง โดยตารางแรกสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลก ซึ่งมีการแปรค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ได้แก่ มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ ปริมาณโอโซน ค่า cloud liquid water thickness ค่าทัศนวิสัย ค่าระดับความสูงจากน้ำทะเล และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของพื้นผิวโลก ส่วนตารางที่ 2 ใช้สำหรับคำนวณค่า cloud liquid water thickness โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TOA radiance ที่ 650 nm ซึ่งเป็นค่าตรงกลางของความยาวคลื่นดาวเทียมในช่วง visible (500-900 nm) กับค่า cloud liquid water thickness นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลดาวเทียม MVIRI/Meteosat ในช่วง visible และ infrared มาทำการจำแนกลักษณะพื้นที่ที่เป็นหิมะและมีเมฆปกคลุมอีกด้วย ทำให้สามารถหาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลกได้ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้าง

Li และคณะ (2000) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลก ซึ่งได้พิจารณาสมการสมดุลของรังสีผ่านบรรยากาศโดยแบ่งบรรยากาศออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นโอโซน และชั้นที่ประกอบด้วยโมเลกุลอากาศ เมฆ และฝุ่นละออง และเขียนสมการสมดุลของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ระหว่างรอยต่อทั้ง 2 ชั้น สำหรับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สะท้อนกลับสู่อวกาศภายนอกที่ TOA สามารถหาได้โดยอาศัยแบบจำลองการส่งผ่านรังสีและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ความยาวคลื่น 360 nm ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม EP/TOMS หรือใช้ข้อมูลดาวเทียม NOAA/AVHRR (R_{vis}) ในช่วงแสงสว่าง จากการเปรียบเทียบค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวโลกที่ได้จากการคำนวณโดยใช้

แบบจำลอง DISORT และจากวิธีที่พัฒนาขึ้นพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ต่อมา Wang และคณะ (2000) ได้ทำการทดสอบแบบจำลองของ Li และคณะ (2000) โดยนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วย Brewer Spectrophotometer จำนวน 6 สถานีวัด บริเวณประเทศแคนาดา ซึ่งพบว่ากรณีของ UV-B ค่า mean difference และ standard deviation มีค่าเท่ากับ 0.033 และ 0.287 W/m^2 ตามลำดับ สำหรับกรณีของ erythema UV หรือ EUV ค่า mean difference และ standard deviation มีค่าเท่ากับ 3.04 และ 12.0 mW/m^2 ตามลำดับ

ต่อมา Ciren และคณะ (2003) ได้ปรับปรุงวิธีการของ Li และคณะ (2000) โดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีที่ความยาวคลื่น 360 nm และความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่างที่ขึ้นกับ Rayleigh scattering optical depth และมุมเซนซิของดวงอาทิตย์ โดยพบว่า ค่า relative mean และ RMSD ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงอยู่ในช่วง 3-14% และ 20-45% ตามลำดับ

Kalliskota และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวัน จาก TOMS/Nimbus-7 กับการวัดที่ภาคพื้นดินโดยใช้เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตยี่ห้อ SUV-100 ที่ 3 สถานี ได้แก่ Ushuaia, Argentina (357 วัน), Palmer, Antarctica (450 วัน) และ San Diego, California (149 วัน) ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันที่ได้จาก TOMS และการวัดภาคพื้นดินมีลักษณะการแปรค่าตามฤดูกาลที่คล้ายกันทุกสถานี นอกจากนี้ยังพบว่าค่าที่ได้จาก TOMS มีค่าสูงกว่าค่าจากการวัดภาคพื้นดินประมาณ 25 % ที่ San Diego แต่จะมีค่าน้อยกว่าที่สถานี Ushuaia (-13 %) และที่สถานี Palmer (-35 %) โดยพบว่าค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินมีความสอดคล้องกับ TOMS ในฤดูร้อนมากกว่าฤดูหนาว ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากในฤดูหนาวของทั้งสองสถานีนี้อาจจะมีหิมะปกคลุม ทำให้สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ได้จาก TOMS มีค่าสูง และส่งผลให้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จาก TOMS มีค่าต่ำกว่า

Kazantzidis และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษการเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดของดาวเทียม TOMS /Nimbus 7 และการวัดภาคพื้นดิน 4 สถานี ได้แก่ Sodankyla ประเทศ Finland; Bilthoven ประเทศ Netherland ; Ispra ประเทศ Italy และ Thessaloniki ประเทศ Greece โดยใช้เครื่องวัดสเปกตรัม Brewer #037, Dilor 2.XY.50, Brewer #066, Brewer #086 ตามลำดับ ข้อมูลที่ใช้ในช่วงฤดูร้อนปี ค.ศ. 1990 ถึง 2003 ผลการเปรียบเทียบพบว่า ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จาก TOMS สูงกว่าค่าจากการวัดภาคพื้นดินที่ Bilthoven, Ispra และ Thessaloniki โดยค่าเฉลี่ยของ mean bias difference เป็น 21%, 18%, 13%

และ 18.5% ที่ความยาวคลื่น 305, 310, 324 และ CIE erythral UV ตามลำดับ ส่วนกรณีของ Sodankyla พบว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะลดลงประมาณ 12% แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเพิ่มขึ้น 10% เมื่อเทียบกับค่าของสถานี Thessaloniki ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากที่เมือง Sodankyla มีปริมาณเมฆปกคลุมมากกว่าที่ Thessaloniki งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของค่าความลึกเชิงแสงของเมฆ (cloud optical depth, COD) ที่มีต่อความแตกต่างของค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จาก TOMS และการวัดภาคพื้นดิน โดยพบว่า กรณีความลึกเชิงแสงของเมฆมีค่าต่ำกว่า 5 ค่าความเข้มที่ได้จาก TOMS จะมีค่าสูงกว่าภาคพื้นดินอยู่ที่ 15% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำด้วยเช่นกัน และถ้าค่า COD มีค่าสูงจะทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ และค่า aerosol optical depth (AOD) ต่ำ มีผลทำให้ TOMS คำนวณค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ 324 nm ได้สูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินที่ Ispra และ Thessaloniki ประมาณ 2.4% และ 6.7% ตามลำดับ และถ้า AOD มีค่าสูงจะทำให้ค่าความเข้มที่ได้จาก TOMS สูงกว่าเกือบ 20% เมื่อเทียบกับข้อมูลภาคพื้นดิน จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการคิดการดูดกลืนจากฝุ่นละอองในวิธีการหารังสีอัลตราไวโอเล็ตจาก TOMS

Tanskanen และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันจาก OMI/Aura กับการวัดภาคพื้นดินด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต 18 แห่ง โดยเปรียบเทียบวิธีการปรับแก้ค่าการหารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันเนื่องจากเมฆระหว่างวิธี parallel cloud model และ Lambertian equivalent reflectivity ผลการเปรียบเทียบพบว่า การปรับแก้ค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตด้วย 2 วิธีดังกล่าวมีความแตกต่างกัน แต่ไม่มีวิธีไหนดีกว่าอีกวิธีหนึ่งเป็นนัยสำคัญ สำหรับสถานีที่มีท้องฟ้าปราศจากเมฆที่มีการดูดกลืนฝุ่นละอองหรือก๊าซต่างๆเพียงเล็กน้อย พบว่า รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน จาก OMI วัดได้สูงกว่าที่ภาคพื้นดิน 0-10% และมีจำนวนข้อมูล 60-80% ที่มีค่าอยู่ในช่วง $\pm 20\%$ จากการวัดที่ภาคพื้นดิน ส่วนสถานีที่มีฝุ่นละอองมากค่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันจาก OMI จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากภาคพื้นดินถึง 50%

เนื่องจากการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นโลกจากข้อมูลดาวเทียมไม่ได้คำนึงถึงการดูดกลืนของฝุ่นละอองชั้นล่าง จึงทำให้ค่าที่ได้จากดาวเทียมมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินในบริเวณที่ได้รับผลจากการดูดกลืนของฝุ่นละออง ดังนั้น Arola et al., (2005, 2009) จึงได้เสนอวิธีการปรับแก้ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากการดูดกลืนของฝุ่นละออง โดยวิธีการดังกล่าวทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมและข้อมูลภาคพื้นดินลดลงมากกว่า 15%

สำหรับการศึกษารังสีอัลตราไวโอเลตในประเทศไทย ผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตรวม (TUV) ที่อาคารวิทยาศาสตร์ 3 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ในปี ค.ศ. 1991 และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1992 (ทิพวรรณ สุธา, 1992) และวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ในปี ค.ศ. 2000 (ฤทัยกรณ์ ปลื้มจิตต์ และสุมามาลย์ บรรเทิง, 2000) การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นและศึกษาเฉพาะ TUV เท่านั้น

ในปี ค.ศ. 2003-2004 สัมฤทธิ์ สุทธิประภา (2004) ได้ทำการพัฒนาวิธีการทำนายความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากเครื่องวัด Brewer Spectrophotometer และข้อมูลปริมาณโอโซนที่สถานีกรุงเทพฯ และสงขลา

ในปี ค.ศ. 2003 เกษรินทร์ ห่านประเสริฐ ได้ทำการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกับจากดวงอาทิตย์กับดัชนีเมฆที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ 4 แห่ง ที่จังหวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา แล้วทำการคำนวณค่า normalized ultraviolet-B ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดกับที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองการถ่ายเทรังสี UVSPEC ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ สำหรับข้อมูลดาวเทียมจะใช้ข้อมูลจากช่องสัญญาณในช่วงแสงสว่างของดาวเทียม GMS5 โดยนำมาใช้ในการคำนวณดัชนีเมฆที่บริเวณเหนือสถานีทั้ง 4 โดยข้อมูลของเชียงใหม่และนครปฐม มีระยะ 5 ปี (ค.ศ. 1998-2002) ที่อุบลราชธานี และสงขลา มีระยะเวลา 3 ปี (ค.ศ. 2000-2002) หลังจากนั้นจะนำค่า normalized ultraviolet-B มาหาสหสัมพันธ์กับค่าดัชนีเมฆในกรณีของข้อมูลรายชั่วโมง รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน รายวัน และรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ผลที่ได้พบว่าค่า normalized ultraviolet-B มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับดัชนีเมฆ โดยมีค่ากำลังสองของสหสัมพันธ์ (R^2) ของกรณีข้อมูลรายชั่วโมง รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน รายวัน และรายวันเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 0.70, 0.72, 0.71 และ 0.78 ตามลำดับ จากนั้นจะหาสมการแทนสหสัมพันธ์ของแต่ละกรณี เนื่องจากลักษณะของกราฟสหสัมพันธ์ของทั้ง 4 สถานีมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงได้นำข้อมูลทั้ง 4 สถานี มารวมกัน และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง normalized ultraviolet-B กับดัชนีเมฆ เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองในกรณีต่างๆ เทียบกับข้อมูลอิสระที่วัดได้ พบว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดในรูปของ root mean square difference เท่ากับ 30.0 %, 20.0 %, 18.5 % และ 11.0 % ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2006 กิรติ เกิดศิริ ได้ทำการศึกษาลักษณะทางสถิติและแบบจำลองของรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในประเทศไทยด้วยข้อมูลจากเครื่อง Biometer 501-A ของบริษัท Solar light จำนวน 5 ปี (2001-2005) จากสถานีวัด 4 แห่งในประเทศ

ไทย คือ สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดเชียงใหม่, อุบลราชธานี, สงขลา และสถานีวัดความเข้มรังสีอาครวิทยาาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์การแปรค่ารายวัน รายปี และนำความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับข้อมูลรังสีรวม (Global irradiation) ในสภาพที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและมีเมฆปกคลุม จากความสัมพันธ์ที่ได้เมื่อนำไปใช้งานจะมี Root Mean Square Difference (RMSD) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและมีเมฆเท่ากับ 15.4% และ 20.3% ตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 2005 สุมาลย์ บรรเทิง ได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ในบริเวณประเทศไทยโดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในการดำเนินการดังกล่าว ผู้วิจัยใช้แบบจำลองซึ่งพิจารณาว่าบรรยากาศประกอบด้วยชั้นบรรยากาศที่อยู่เหนือเมฆ และชั้นบรรยากาศที่ประกอบด้วยเมฆจนถึงพื้นผิวโลก และเขียนสมการสมดุลของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่บริเวณรอยต่อของชั้นบรรยากาศทั้งสอง จากนั้นได้ทำการพัฒนาวิธีการคำนวณสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS5 ในด้านของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากโอโซน จะอาศัยข้อมูลปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม TOMS/EP สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของฝุ่นละอองในบรรยากาศจะคำนวณจากข้อมูลทัศนวิสัย หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองโดยใช้แบบจำลองดังกล่าวคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ที่สถานีซึ่งตั้งเครื่องวัดรังสีความเข้มอัลตราไวโอเล็ต 4 แห่ง ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา จากผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัด พบว่ามีความแตกต่างกันในรูปของ root mean square difference เท่ากับ 7.4 % ในลำดับสุดท้ายผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่ทดสอบสมรรถนะแล้วไปคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนและจัดแสดงในรูปแบบที่ พบว่า ลมมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทยมีผลสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของลักษณะการกระจายของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทย

ในปี ค.ศ. 2008 สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย ได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง spectroradiometer (Bentham, DMc150) ที่สถานีวัดมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลระยะยาว 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม 2551 ถึงเดือนธันวาคม 2551 โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์การแปรค่าตามเวลาในรอบวันของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 305, 310, 315, 320, 340 และ 380 nm จากการศึกษาพบว่า ความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน (solar noon) จากนั้นได้ศึกษาการแปรค่า

ตามความยาวคลื่นของความเข้มของสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มุมเซนนิชของดวงอาทิตย์ค่าต่างๆ โดยพบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเซนนิชของดวงอาทิตย์มีค่าลดลง จากนั้นได้ศึกษาการแปรค่าในรอบวันและในรอบปี ของ UV-A, UV-B และ EUV ผลการศึกษาพบว่า UV-A, UV-B และ EUV มีความแปรปรวนมาก ยกเว้นเดือนมกราคมและเดือนธันวาคมซึ่งมีความแปรปรวนน้อย การแปรค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสี UV-A และ UV-B จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับจากเดือนมกราคมและมีค่าสูงสุดในเดือนมิถุนายนและหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยสุดในเดือนธันวาคม ในขณะที่ปริมาณรังสี EUV จะมีค่าสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายน

จากการแจกแจงความถี่ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต เมื่อแยกพิจารณาช่วงเช้าและช่วงบ่าย พบว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตช่วงบ่าย (12.00-18.00 น.) ส่วนมากจะอยู่ในระดับ Low และ Moderate (UV index <6) ส่วนในช่วงเช้า (06.00-12.00 น.) จะมีค่าความเข้มอยู่ในระดับ High (UV index 125-175 mW/m²) และ Extreme (UV index >250 mW/m²) โดยตลอดทั้งปีจะมีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระดับ High, Very high และ Extreme มีค่าเท่ากับ 15.2% 14.0% และ 2.9% ตามลำดับ

จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดที่ผ่านมา จะเห็นว่าในประเทศไทยมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตค่อนข้างน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้เสนอที่จะดำเนินการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยโดยการติดตั้งเครื่องมือวัดในหลายภูมิภาคตามรายละเอียดที่จะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 3

วิธีการและผล

โดยทั่วไป ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์จะมีค่าขึ้นกับสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของประเทศ ซึ่งแตกต่างกันไปตามภูมิภาคต่างๆ ดังนั้น ในการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ในประเทศไทยจะทำการศึกษาจากข้อมูลที่ได้จากการวัดในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย 4 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคเหนือได้จากการวัดที่จังหวัดเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุบลราชธานี ภาคกลางที่จังหวัดนครปฐม และภาคใต้ที่จังหวัดสงขลา โดยมีรายละเอียดตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

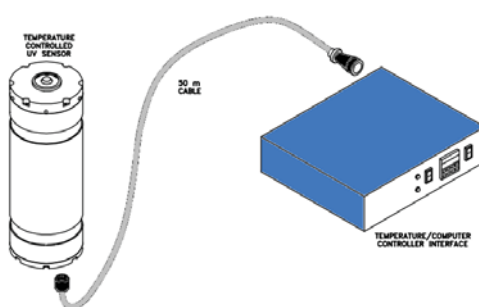
3.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่า Ground-based Ultraviolet Radiometer, GUV ซึ่งเป็นเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ รุ่น GUV-2511 ที่ผลิตโดย บริษัท Biospherical Instrument Inc. มีลักษณะดังรูปที่ 15 ซึ่งสามารถวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ 6 ความยาวคลื่นได้แก่ 305, 313, 320, 340, 380 และ 395 nm โดยมีความกว้างของแต่ละช่องสัญญาณ (Full Width Half Maximum) 10 nm เครื่องมือดังกล่าวได้ติดตั้งไว้ 4 แห่งตามภาคต่างๆ ดังนี้

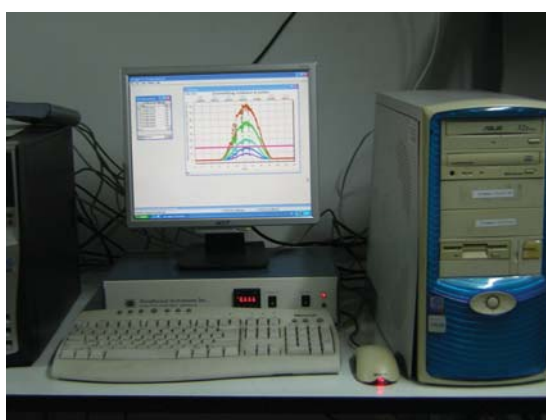
- 1) ภาคเหนือ ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (18.78° N, 98.98° E)
- 2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี (15.25° N, 104.87° E)
- 3) ภาคกลาง ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม (13.82° N, 100.04° E)
- 4) ภาคใต้ ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา (7.2° N, 100.6° E)

เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณนี้ประกอบด้วยหัววัดและ Temperature/computer controller interface โดย controller interface จะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีโปรแกรมควบคุมการทำงานและการบันทึกข้อมูลของเครื่อง ดังรูปที่ 16 ผู้วิจัยได้ทำการตั้งโปรแกรมเพื่อทำการแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต โดยโปรแกรมดังกล่าวจะถูกกำหนดให้รับสัญญาณจากเครื่องวัดตลอด 24 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที จากนั้นจะนำมาหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที แล้วบันทึกค่าเฉลี่ยลงในไฟล์ Microsoft access database หรือ .MDB

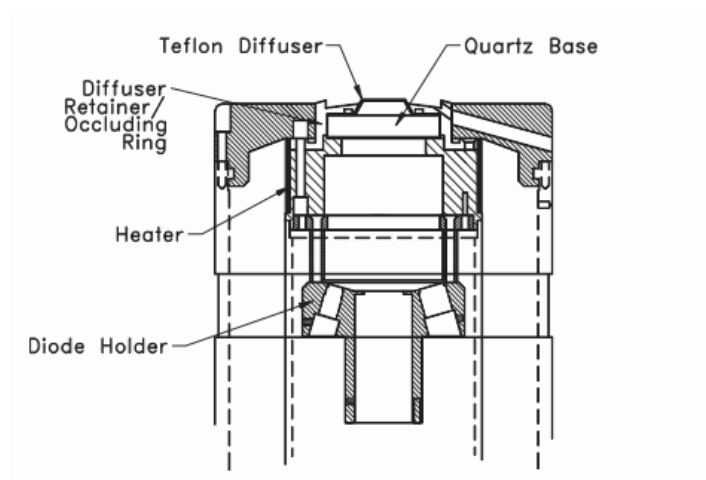
สำหรับส่วนที่เป็นหัววัดรับรังสีดวงอาทิตย์จะประกอบด้วย Teflon diffuse, interference และ photodiode detector โดยภายในของหัววัดดังกล่าวแสดงได้ในรูปที่ 17 และลักษณะของเครื่อง GUV ของทั้ง 4 แห่ง แสดงไว้ดังรูปที่ 19-22 และตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัด แสดงไว้ในรูปที่ 18



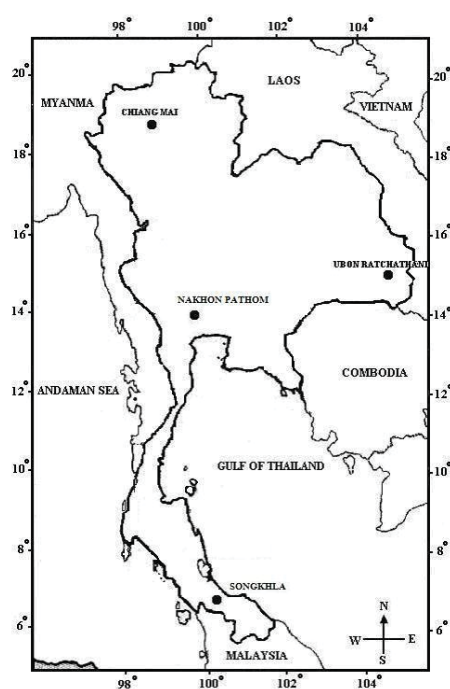
รูปที่ 15 ส่วนประกอบของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลต GUV-2511



รูปที่ 16 เครื่องคอมพิวเตอร์และการทำงานของโปรแกรม Logger



รูปที่ 17 ลักษณะภายในของเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณ



รูปที่ 18 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดซึ่งติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 19 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีเชียงใหม่



รูปที่ 20 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 21 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีนครปฐม



รูปที่ 22 เครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณที่สถานีสงขลา

3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณ

เนื่องจากเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ติดตั้งใช้งานต่อเนื่องกลางแจ้งเป็นเวลานานๆ จะมีการเสื่อมสภาพ โดยค่า sensitivity ซึ่งใช้แปลงค่าสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต จะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ดังนั้นหลังจากที่เครื่องวัดถูกใช้งานไปแล้วจะต้องทำการสอบเทียบเป็นระยะๆ เพื่อจะได้ทำให้ข้อมูลจากการวัดมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยทั่วไปควรสอบเทียบปีละ 1 ครั้ง ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการซื้อเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณเพิ่มอีก 1 เครื่อง เพื่อใช้เป็นเครื่องมาตรฐานในการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบเครื่องวัดที่สถานี ผู้วิจัยได้เดินทางนำหัววัดมาตรฐาน ติดตั้งคู่กับเครื่องวัดของแต่ละสถานี และให้อยู่ในระดับเดียวกัน แล้วก็ต่อสายสัญญาณเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะทำการตั้งค่าการเก็บข้อมูลทุก 1 นาที โดยทั่วไปการสอบเทียบจะดำเนินการในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส และจะสอบเทียบช่วงเวลาประมาณ 9.00-15.00 น. เพื่อจะได้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีค่าหลายระดับคือ มีค่าต่ำในตอนเช้าและบ่าย และมีค่าสูงในช่วงเวลาเที่ยง จากที่ได้ข้อมูลมาแล้วจะนำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากเครื่องมาตรฐาน และค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากเครื่องที่ต้องการสอบเทียบมาเขียนกราฟ สำหรับรูปแสดงการสอบเทียบของสถานีต่างๆ จะแสดงไว้ในรูปที่ 23-26 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจะแสดงไว้ในรูปที่ 27-30



รูปที่ 23 การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานี
เชียงใหม่ เมื่อวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2009



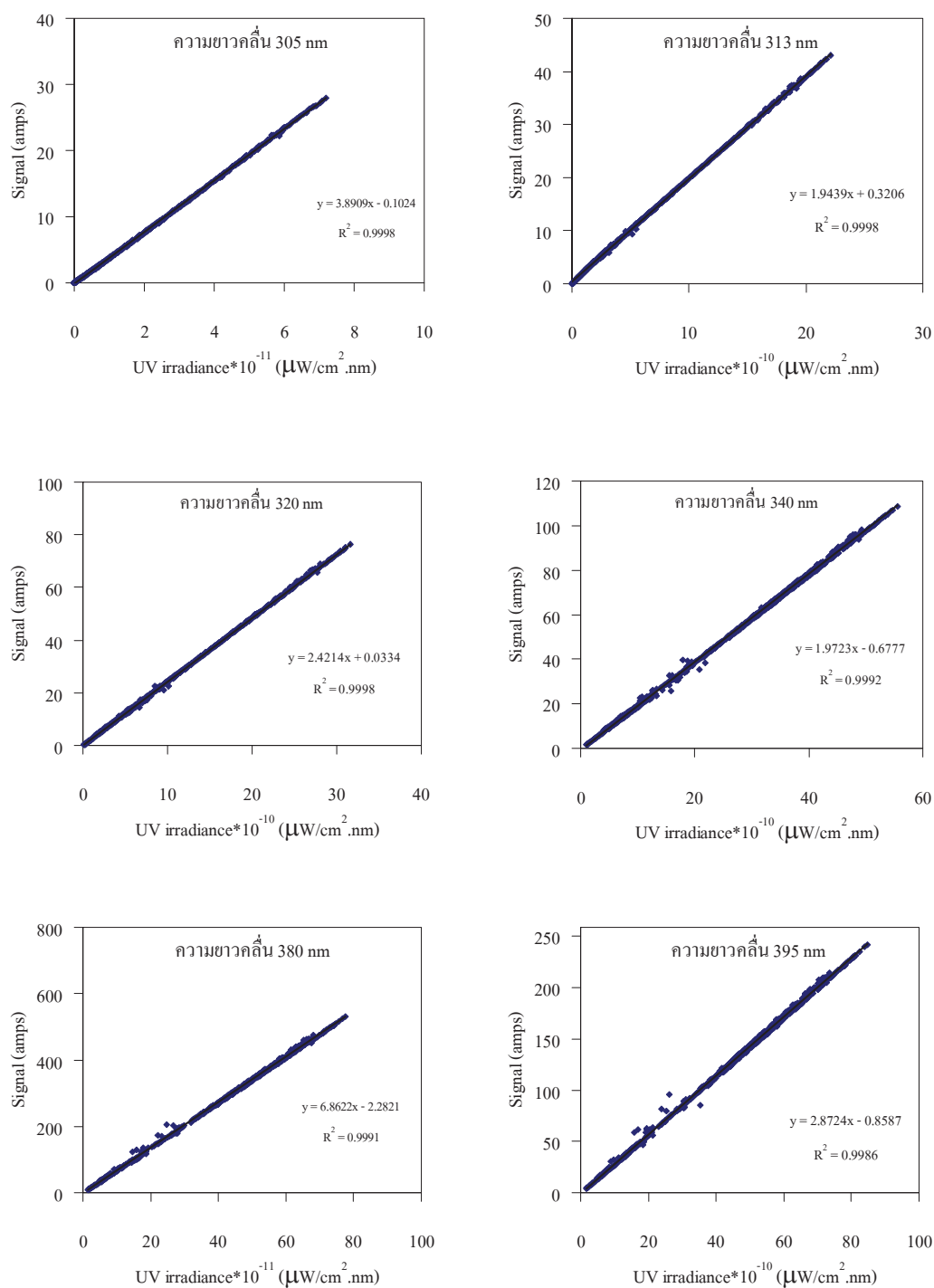
รูปที่ 24 การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานี
อุบลราชธานี เมื่อวันที่ 5-6 พฤษภาคม 2009



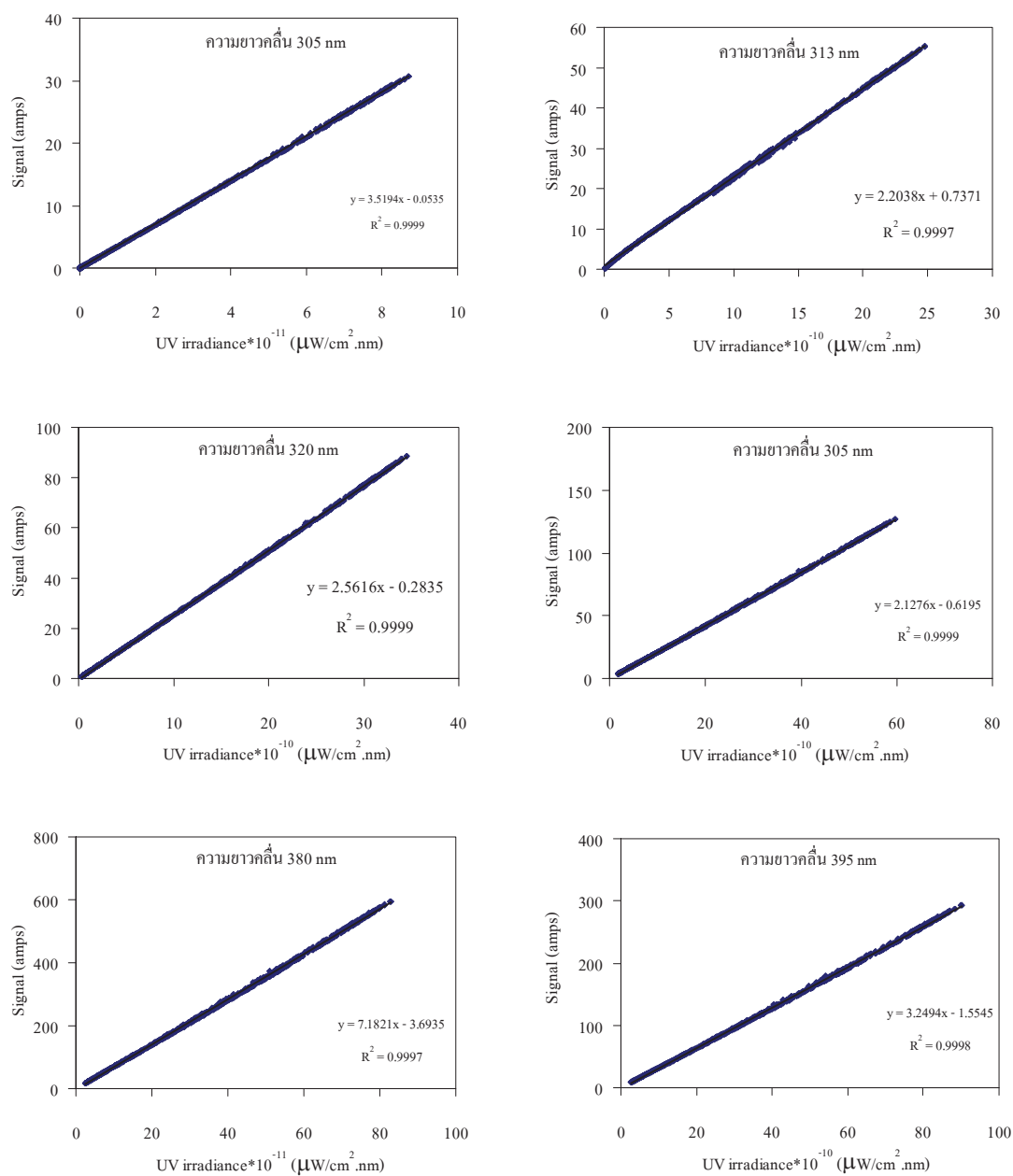
รูปที่ 25 การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานี นครปฐม เมื่อวันที่ 24-25 เมษายน 2009



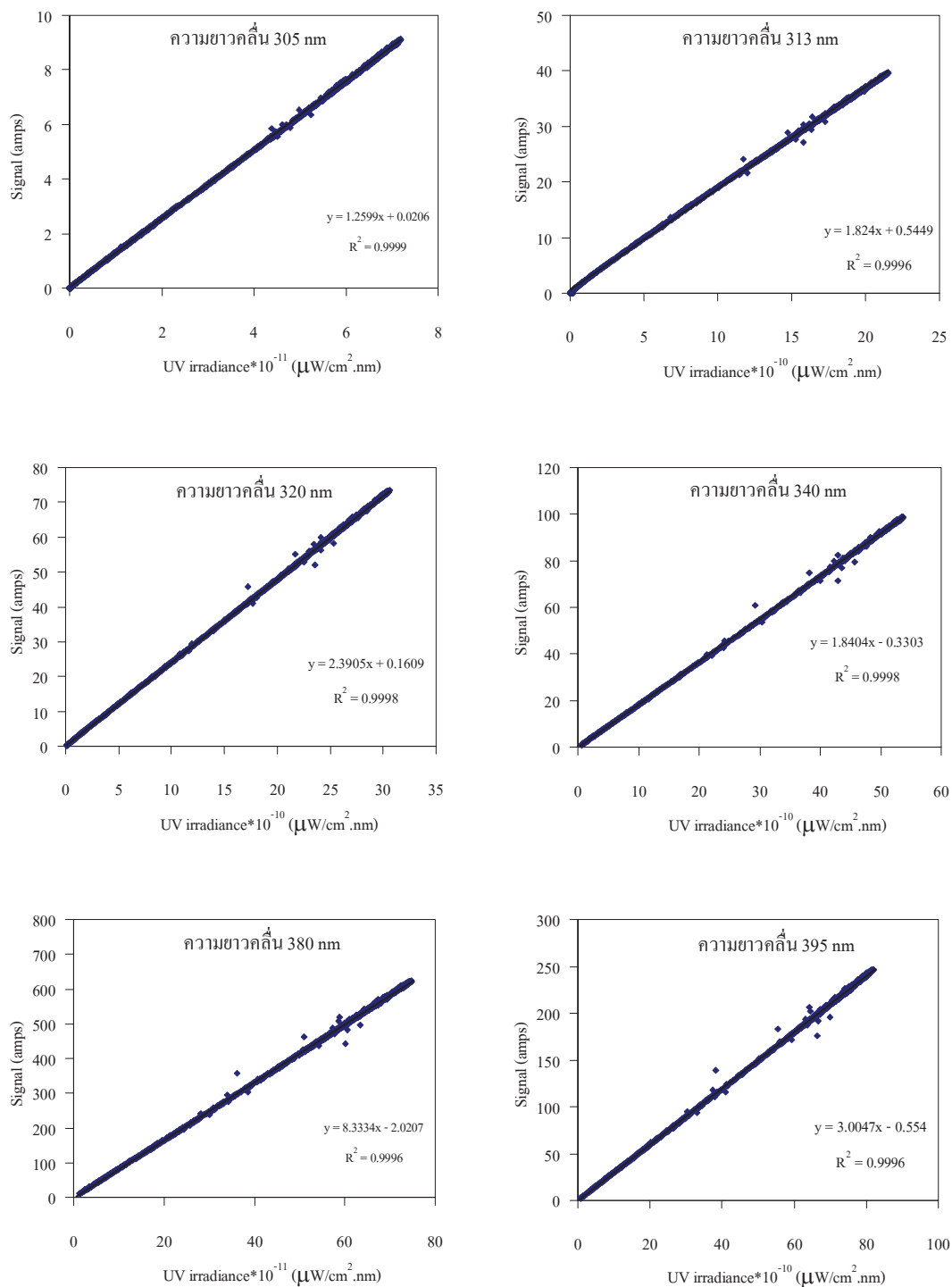
รูปที่ 26 การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ที่สถานีสงขลา เมื่อวันที่ 11-12 มีนาคม 2008



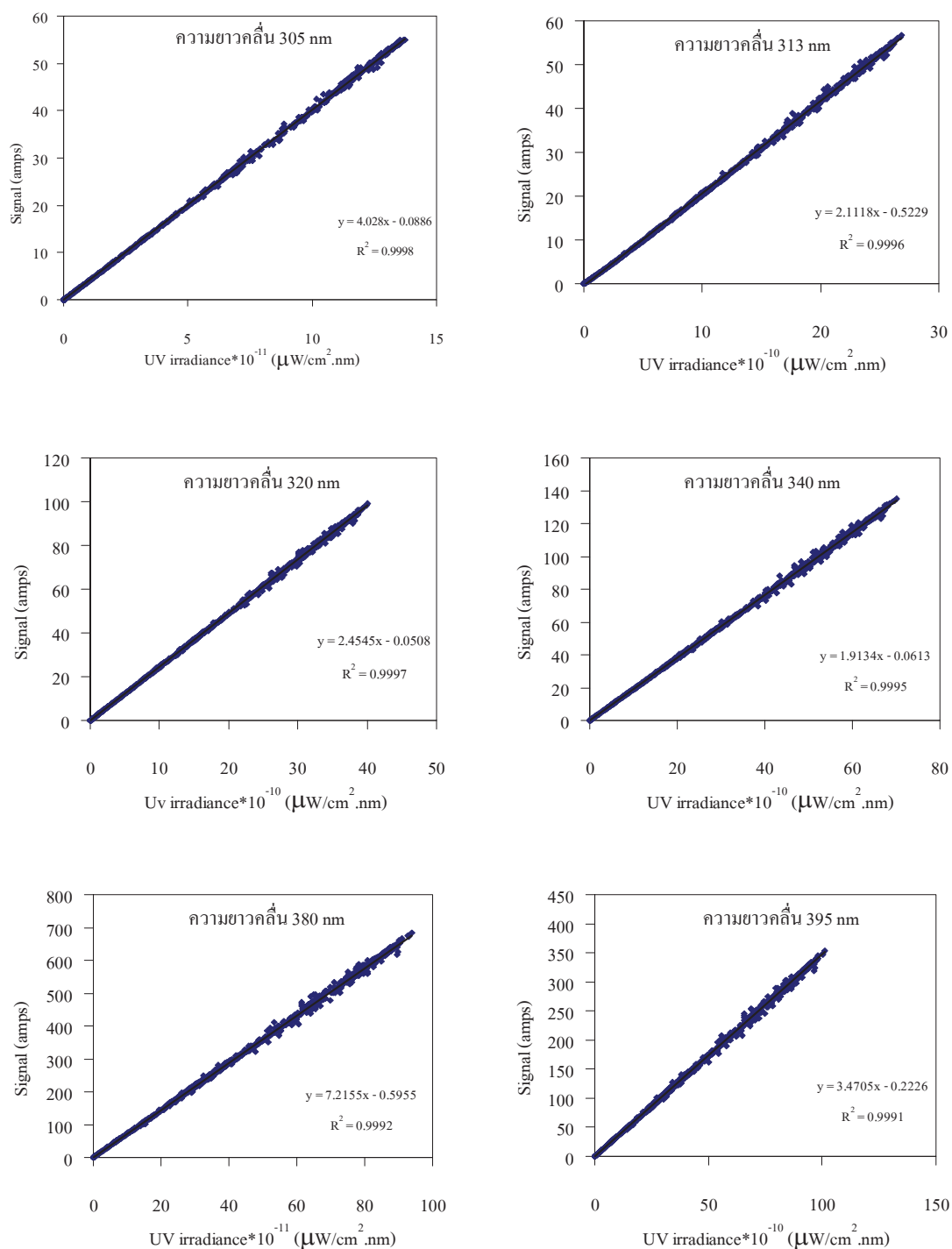
รูปที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากหัววัด GUV
มาตรฐาน กับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีเชียงใหม่
เมื่อวันที่ 20-21 พฤษภาคม 2009



รูปที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากหัววัด GUV มาตรฐานกับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 5-6 พฤษภาคม 2009



รูปที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้จากหัววัด GUV
มาตรฐาน กับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีครบรูป
เมื่อวันที่ 24-25 เมษายน 2009



รูปที่ 30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากหัววัด GUV มาตรฐาน กับค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจากหัววัด GUV ของสถานีสงขลา เมื่อวันที่ 11-12 มีนาคม 2008

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณไฟฟ้าของเครื่องที่ทำการสอบเทียบ (แกน y) กับค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากเครื่องมาตรฐาน (แกน x) ในรูปที่ 27-30 จะเห็นว่า เป็นกราฟเส้นตรงโดยค่าความชันของกราฟจะเป็นค่า sensitivity ของเครื่องวัดที่ต้องการสอบเทียบ จากการสอบเทียบทั้ง 4 สถานี จะได้ค่า sensitivity ใหม่ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4 ผลการสอบเทียบเครื่องวัด Ground-based Ultraviolet Radiometer ของสถานี

เชียงใหม่

ความยาวคลื่น (nm)	ค่า sensitivity จากบริษัทผู้ผลิต (ตุลาคม 2005) [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]	ค่า sensitivity เมื่อ วันที่ 21 พฤษภาคม 2009 [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]
305	4.6124×10^{-11}	3.8909×10^{-11}
313	2.2006×10^{-10}	1.9439×10^{-10}
320	2.6499×10^{-10}	2.4214×10^{-10}
340	1.9596×10^{-10}	1.9723×10^{-10}
380	7.6371×10^{-11}	6.8622×10^{-11}
395	3.8648×10^{-10}	2.8724×10^{-10}

ตารางที่ 5 ผลการสอบเทียบเครื่องวัด Ground-based Ultraviolet Radiometer ของสถานี

อุบลราชธานี

ความยาวคลื่น (nm)	ค่า sensitivity จากบริษัทผู้ผลิต (มีนาคม 2008) [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]	ค่า sensitivity เมื่อ วันที่ 6 พฤษภาคม 2009 [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]
305	3.2200×10^{-11}	3.5194×10^{-11}
313	2.5200×10^{-10}	2.2038×10^{-10}
320	2.6300×10^{-10}	2.5616×10^{-10}
340	2.0400×10^{-10}	2.1276×10^{-10}
380	7.4200×10^{-11}	7.1821×10^{-11}
395	3.4600×10^{-10}	3.2494×10^{-10}

ตารางที่ 6 ผลการสอบเทียบเครื่องวัด Ground-based Ultraviolet Radiometer ของสถานี

นครปฐม

ความยาวคลื่น (nm)	ค่า sensitivity จากบริษัทผู้ผลิต (กันยายน 2004) [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]	ค่า sensitivity เมื่อ วันที่ 25 เมษายน 2009 [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]
305	1.9751×10^{-11}	1.2599×10^{-11}
313	2.2989×10^{-10}	1.8240×10^{-10}
320	2.5959×10^{-10}	2.3905×10^{-10}
340	1.7394×10^{-10}	1.8404×10^{-10}
380	8.0487×10^{-11}	8.3334×10^{-11}
395	3.4416×10^{-10}	3.0047×10^{-10}

ตารางที่ 7 ผลการสอบเทียบเครื่องวัด Ground-based Ultraviolet Radiometer ของสถานี

สงขลา

ความยาวคลื่น (nm)	ค่า sensitivity จากบริษัทผู้ผลิต (มกราคม 2007) [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]	ค่า sensitivity เมื่อ วันที่ 12 มีนาคม 2008 [(Amps per $\mu\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$)]
305	5.4254×10^{-11}	4.0280×10^{-11}
313	2.3455×10^{-10}	2.1118×10^{-10}
320	2.7639×10^{-10}	2.4545×10^{-10}
340	2.1319×10^{-10}	1.9134×10^{-10}
380	8.2521×10^{-11}	7.2155×10^{-11}
395	4.0527×10^{-10}	3.4705×10^{-10}

3.3 การคำนวณหาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ จากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ

ข้อมูลการวัดจากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ(GUV)จะอยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้า การที่จะแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ จะหาได้จากสมการที่ (3.1)

$$D = \sum a_i V_i \quad (3.1)$$

เมื่อ D = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ จากเครื่อง GUV (mW/m^2)

a_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละความยาวคลื่น i ($\text{mW}/\text{V} \cdot \text{m}^2$)

V_i = ศักย์ไฟฟ้าของแต่ละความยาวคลื่น i ที่ได้จากเครื่อง GUV (V)

สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ a_i หาได้จากการทำ multiple linear regression โดยลำดับแรกนั้นผู้วิจัยได้เดินทางไปยังสถานีวิจัยต่างๆ เพื่อที่จะนำเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ มาตั้งคู่กับเครื่องวัด spectroradiometer ยี่ห้อ Bentham รุ่น DMc150 ที่ลาดฟ้าชั้น 10 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ดังแสดงในรูปที่ 31



รูปที่ 31 การตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ กับเครื่อง Bentham spectroradiometer

จากนั้นผู้วิจัยจะหาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ จากเครื่องวัดเครื่องวัด Bentham spectroradiometer โดยใช้สมการที่ (3.2)

$$E = \int_{280}^{400} I_{\lambda} R_{E\lambda} d\lambda \quad (3.2)$$

เมื่อ E = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ที่ได้จาก

เครื่อง Bentham spectroradiometer (mW/m^2)

I_{λ} = ความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น λ ที่ได้จาก

เครื่อง Bentham spectroradiometer ($\text{mW/m}^2\text{-nm}$)

$R_{E\lambda}$ = ฟังก์ชันการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเลต (-)

หลังจากที่ได้หาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ จากเครื่อง Bentham spectroradiometer แล้ว ผู้วิจัยจะหาค่าสัมประสิทธิ์ a_i โดยการทำ multiple linear regression จากสมการที่ 3.3 ซึ่งค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์จากเครื่อง Bentham spectroradiometer และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จากเครื่อง GUV ต้องวัดที่เวลาเดียวกัน รวมถึงสภาพท้องฟ้าที่เหมือนกันด้วยเพื่อที่จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

$$E = \sum a_i V_i \quad (3.3)$$

เมื่อ E = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ที่ได้จาก

เครื่อง Bentham spectroradiometer (mW/m^2)

a_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละความยาวคลื่น i ที่ต้องการหา (mW/V.m^2)

V_i = ศักย์ไฟฟ้าของแต่ละความยาวคลื่น i ที่ได้จากเครื่อง GUV (V)

จากสมการที่ (3.3) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ a_i แล้วจึงนำไปแทนค่าในสมการที่ (3.1) เพื่อจะหาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ จากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณ และค่าสัมประสิทธิ์ a_i ที่ได้จาก multiple linear regression ของแต่ละสถานีแสดงในตารางที่ 8-11

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีเชียงใหม่

ช่องสัญญาณ	ค่าสัมประสิทธิ์
a_{305}	79.58
a_{313}	0.66
a_{320}	-0.56
a_{340}	-1.59
a_{380}	-0.32

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีอุบลราชธานี

ช่องสัญญาณ	ค่าสัมประสิทธิ์
a_{305}	79.97
a_{313}	-0.56
a_{320}	-0.52
a_{340}	-2.44
a_{380}	-1.24

ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีนครปฐม

ช่องสัญญาณ	ค่าสัมประสิทธิ์
a_{305}	236.14
a_{313}	0.46
a_{320}	-0.54
a_{340}	-1.39
a_{380}	-0.65

ตารางที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์ a_i ของสถานีสงขลา

ช่องสัญญาณ	ค่าสัมประสิทธิ์
a_{305}	61.69
a_{313}	0.58
a_{320}	-0.19
a_{340}	-1.39
a_{380}	-0.79

3.4 การควบคุมคุณภาพข้อมูล

แม้ว่าเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะได้รับการสอบเทียบแล้วก็ตาม แต่ข้อมูลที่ได้อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่างๆ เช่น การตั้งค่าการรับสัญญาณไม่ถูกต้อง การบันทึก หรือการผิดพลาดจากอุปกรณ์การวัดที่อาจคาดไม่ถึง ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีความผิดพลาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่บันทึกได้ หรือที่เรียกทั่วไปว่า การควบคุมคุณภาพข้อมูล โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบทั่วไป และการตรวจสอบอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในการนำไปวิเคราะห์ โดยการตรวจสอบทั่วไปสามารถดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานได้โดยตรงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 32) สำหรับการควบคุมคุณภาพของข้อมูลอย่างละเอียดจะดำเนินการโดยใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสี ในบรรยากาศ (radiative transfer model) ที่พัฒนาขึ้นโดย Chandrasekhar (1960) ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$\mu \frac{dU_\nu}{d\tau}(\tau_\nu, \mu, \phi) = U_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) - S_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) \quad (3.4)$$

เมื่อ $U_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi)$ = specific intensity ในทิศ μ, ϕ ที่ความลึกเชิงแสง (optical depth) τ

S_ν = source function

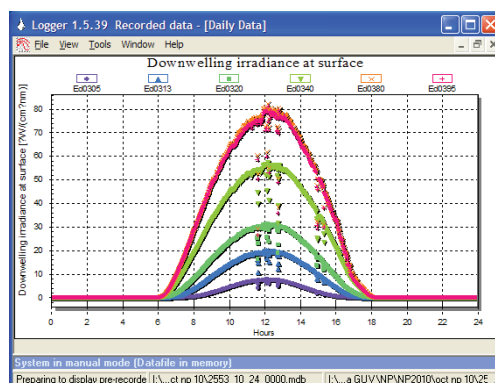
τ_ν = ความลึกเชิงแสง (optical depth)

μ = cosine ของมุมเซนิธ (zenith angle)

ϕ = มุมอาซิมุท (azimuth angle)

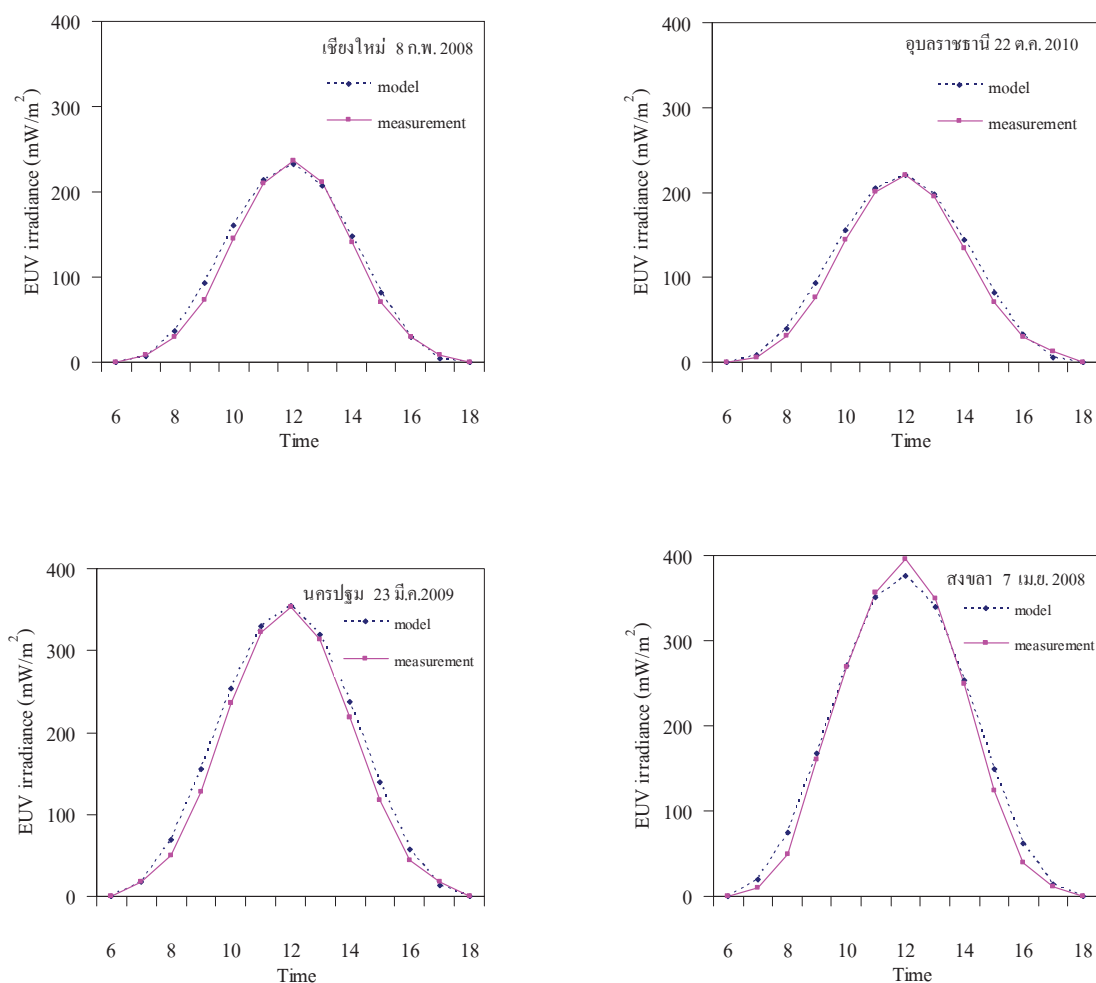
ν = ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ต่อมา Stamnes และคณะ (1988) ได้พัฒนาวิธีการแก้สมการของแบบจำลองดังกล่าวโดยวิธี discrete ordinate โดยแบ่งบรรยากาศเป็นชั้นขนานกัน เนื่องจากการแก้สมการวิธีนี้ประกอบด้วยขั้นตอนจำนวนมาก ดังนั้น Meyer และคณะ (1997) จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) ซึ่งมีชื่อว่า UVSPEC สำหรับช่วยในการคำนวณ โปรแกรมนี้ได้รับการทดสอบจากนักวิจัยต่างๆ (Zeng et al., 1994) และใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานด้านรังสีอัลตราไวโอเล็ต



รูปที่ 32 ตัวอย่างความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่เห็นได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีนี้ ในลำดับแรกจะทำการเลือกข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear day) และนำข้อมูลอุณหภูมิต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้เป็น input ของโปรแกรม UVSPEC ซึ่งวัดที่สถานีเดียวกันและวัดในเวลาเดียวกัน ได้แก่ ข้อมูลทัศนวิสัย (visibility) ข้อมูลปริมาณโอโซน และข้อมูลตำแหน่งดวงอาทิตย์ หลังจากนั้นจะทำการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตด้วยโปรแกรม UVSPEC แล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจากการวัด ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 33 ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับค่าจากการวัดก็แสดงว่าข้อมูลจากการวัดมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในกรณีที่มีการตรวจสอบแล้วพบว่าข้อมูลมีความผิดปกติ ผู้วิจัยจะทำการตัดข้อมูลนั้นออกไม่นำมาใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 33 ตัวอย่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ที่ได้จากการวัด และจาก การคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ

3.5 จำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

หลังจากทำการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลแล้ว พบว่าในช่วงต้นของการวัดนั้นมีบางสถานีที่มีการตั้งค่าโปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลนั้นผิด ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลนั้นมาใช้งานได้ จากที่ได้ตรวจสอบและดำเนินการแก้ไขแล้วจะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง โดยข้อมูลที่คัดเลือกนำมาวิเคราะห์มีช่วงเวลาของข้อมูลตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ช่วงเวลาของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

สถานี	ช่วงเวลาของข้อมูล	จำนวนปี
เชียงใหม่	1 มกราคม 2006 – 30 พฤศจิกายน 2010	5 ปี
อุบลราชธานี	1 เมษายน 2008 – 30 พฤศจิกายน 2010	3 ปี
นครปฐม	1 มกราคม 2005 – 31 ธันวาคม 2010	6 ปี
สงขลา	1 มกราคม 2007 – 30 พฤศจิกายน 2010	4 ปี

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

3.6.1 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ ตามเวลา

ในรอบวัน (diurnal variation)

3.6.1.1 กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ

โดยทั่วไป ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของมุมตกกระทบ (incident angle) และการแปรค่าของมวลอากาศที่รังสีผ่าน (air mass) โดยค่าสูงสุดของแต่ละวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในรอบปี สำหรับในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ (cloudy day) นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปกติเช่นเดียวกับกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆแล้ว ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากการบดบังดวงอาทิตย์ของเมฆด้วย

ในงานวิจัยนี้ ลำดับแรกจะทำการศึกษาการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ทั้งนี้เพราะเป็นวันที่ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตสูงสุดซึ่งจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์สูงสุด โดยผู้วิจัยจะทำการคัดเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆหรือมีเมฆน้อยที่สุดของแต่ละเดือน โดยสังเกตจากลักษณะการแปรค่าของรังสีรวมที่บันทึกด้วย chart recorder และสังเกตจากข้อมูลปริมาณเมฆที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพ

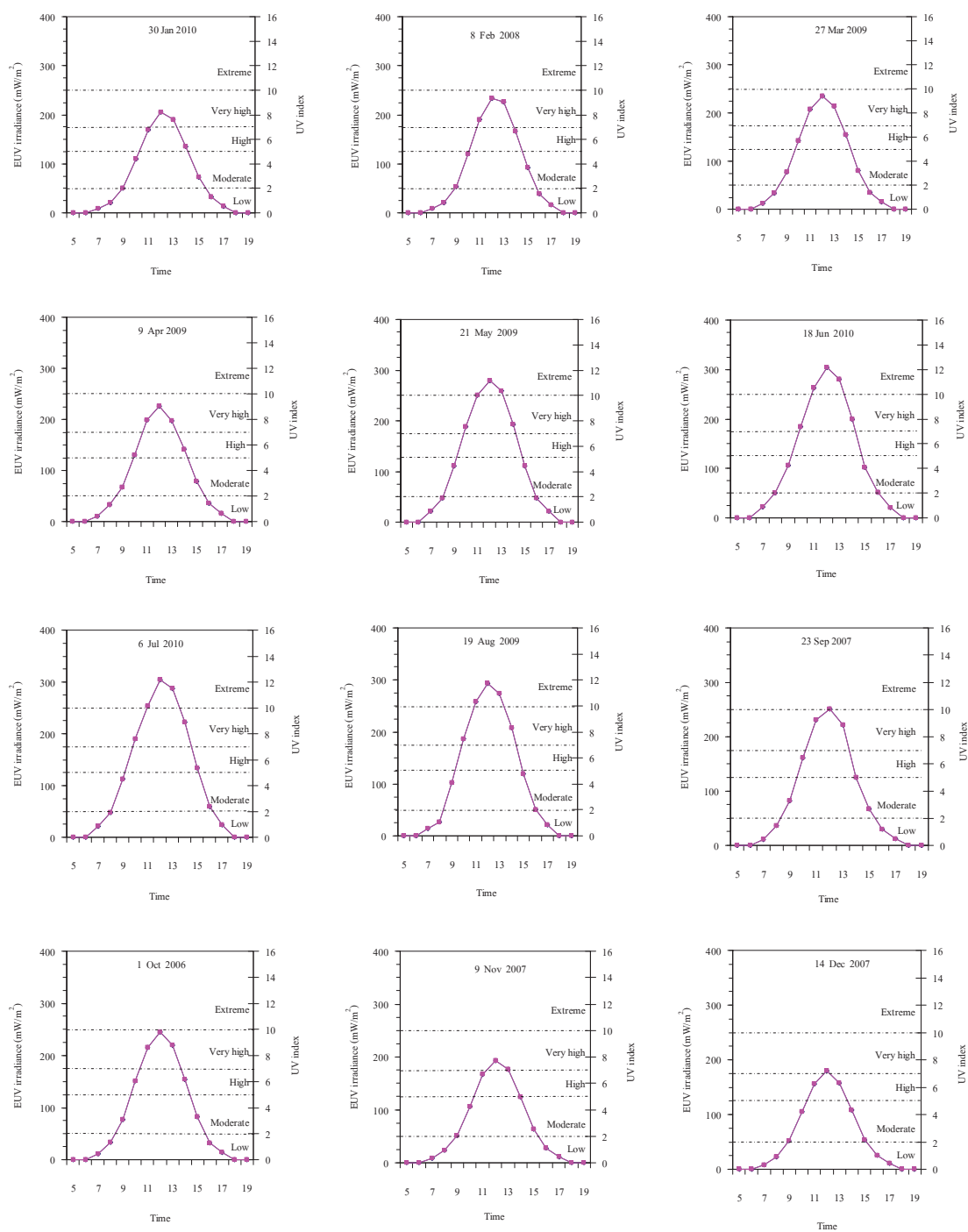
ท้องฟ้า แล้วนำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ จากเครื่อง GUV ที่มาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน พร้อมทั้งแสดงระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ตามระดับ UV index ของ WHO ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 34-37

จากกราฟของสถานีเชียงใหม่ (รูปที่ 34) จะเห็นว่าในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น โดยมีลักษณะการแปรค่าในช่วงเช้าและช่วงบ่ายค่อนข้างสมมาตร เมื่อพิจารณาระดับความเข้มของแต่ละเดือนที่เวลาเที่ยงพบว่า เดือน มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม มีค่าความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตอยู่ในระดับสูงมาก (very high) สำหรับเดือน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม และเดือนสิงหาคม มีความเข้มอยู่ที่ระดับรุนแรง (extreme)

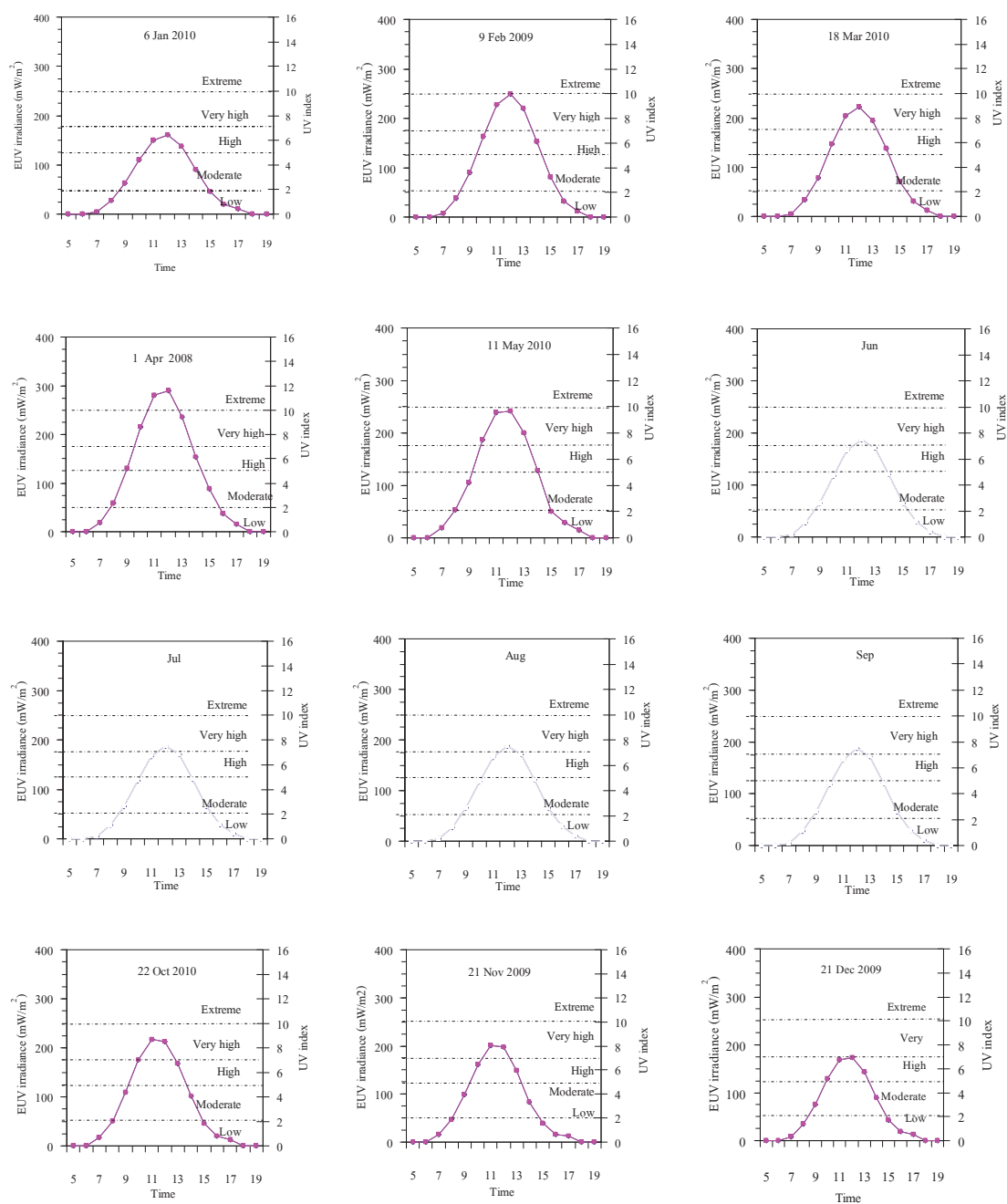
สำหรับสถานีอุบลราชธานี (รูปที่ 35) ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ตอนเที่ยงวันของเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม พฤษภาคม ตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน จะมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก (very high) สำหรับเดือนเมษายน จะมีค่าอยู่ในระดับรุนแรง (extreme) และเดือนธันวาคม จะมีค่าอยู่ในระดับสูง (high) ส่วนเดือน มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และเดือนกันยายน ไม่มีวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ เนื่องจากสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาบดบังดวงอาทิตย์

สถานีนครปฐม (รูปที่ 36) ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่เวลาเที่ยงที่อยู่ในระดับรุนแรง(extreme) อยู่ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนกันยายน ส่วนเดือนมกราคม ตุลาคม พฤศจิกายน และเดือนธันวาคม จะมีค่าอยู่ที่ระดับสูงมาก (very high)

สำหรับสถานีสงขลา (รูปที่ 37) ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังในช่วงท้องฟ้าปราศจากเมฆที่เวลาเที่ยงของพบว่า ทุกเดือนมีค่าอยู่ในระดับที่รุนแรง (extreme) ยกเว้นเดือนมกราคม และธันวาคม ที่มีค่าความเข้มอยู่ที่ระดับสูงมาก (very high)

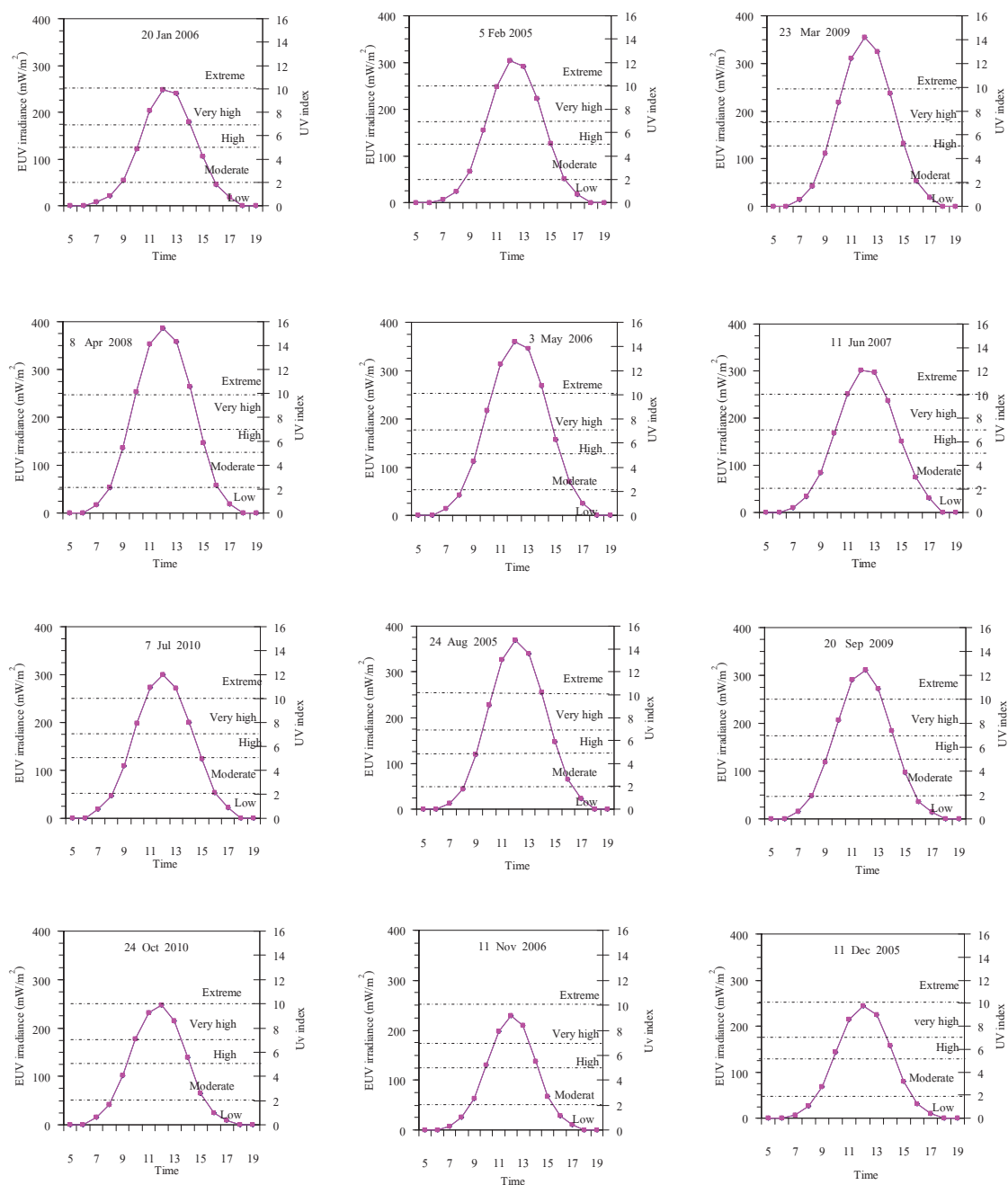


รูปที่ 34 การแปลค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ตามเวลา
ในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีเชียงใหม่

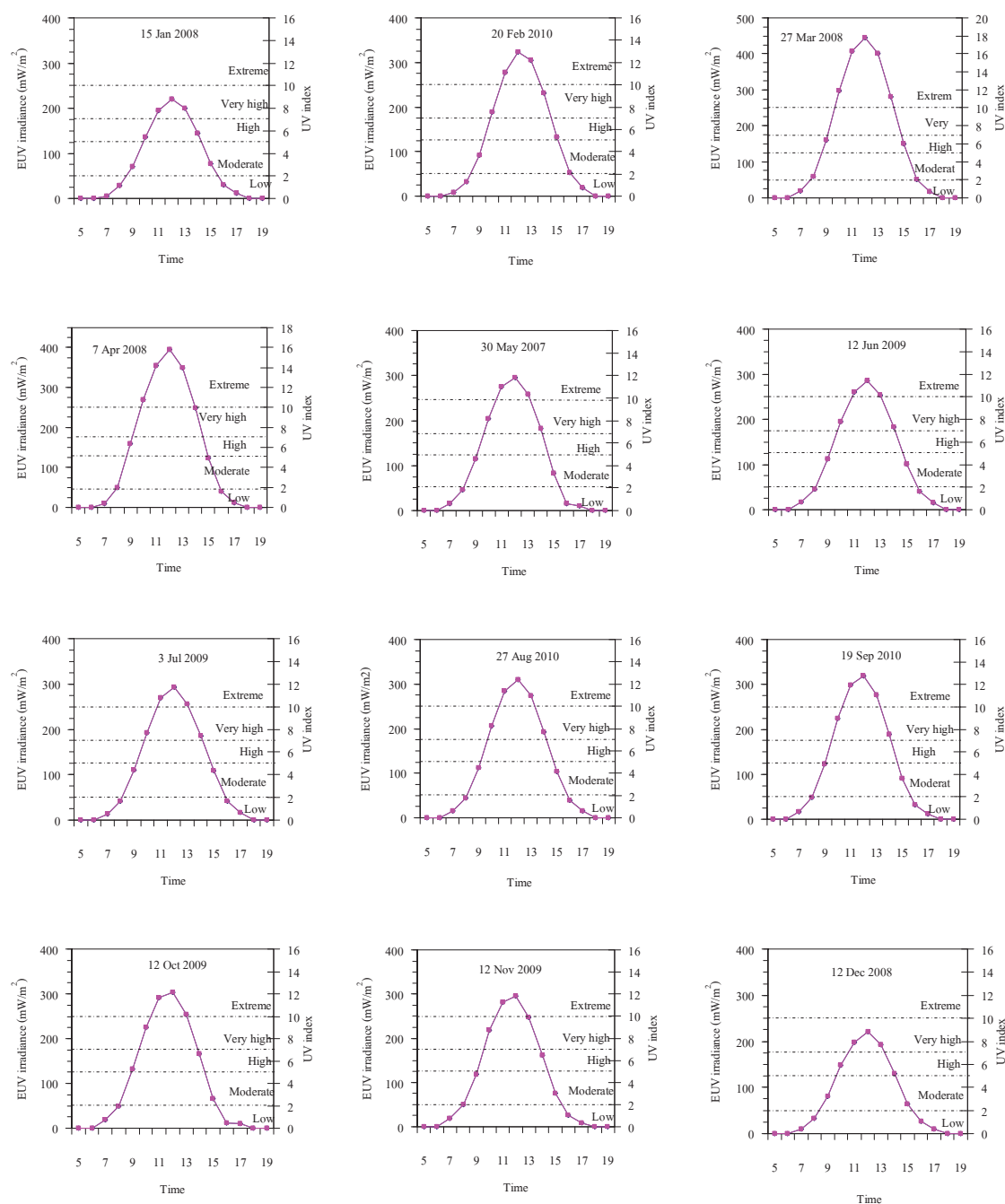


รูปที่ 35 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ตามเวลา

ในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 36 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง มนุษย์ตามเวลา
ในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีครปฐม

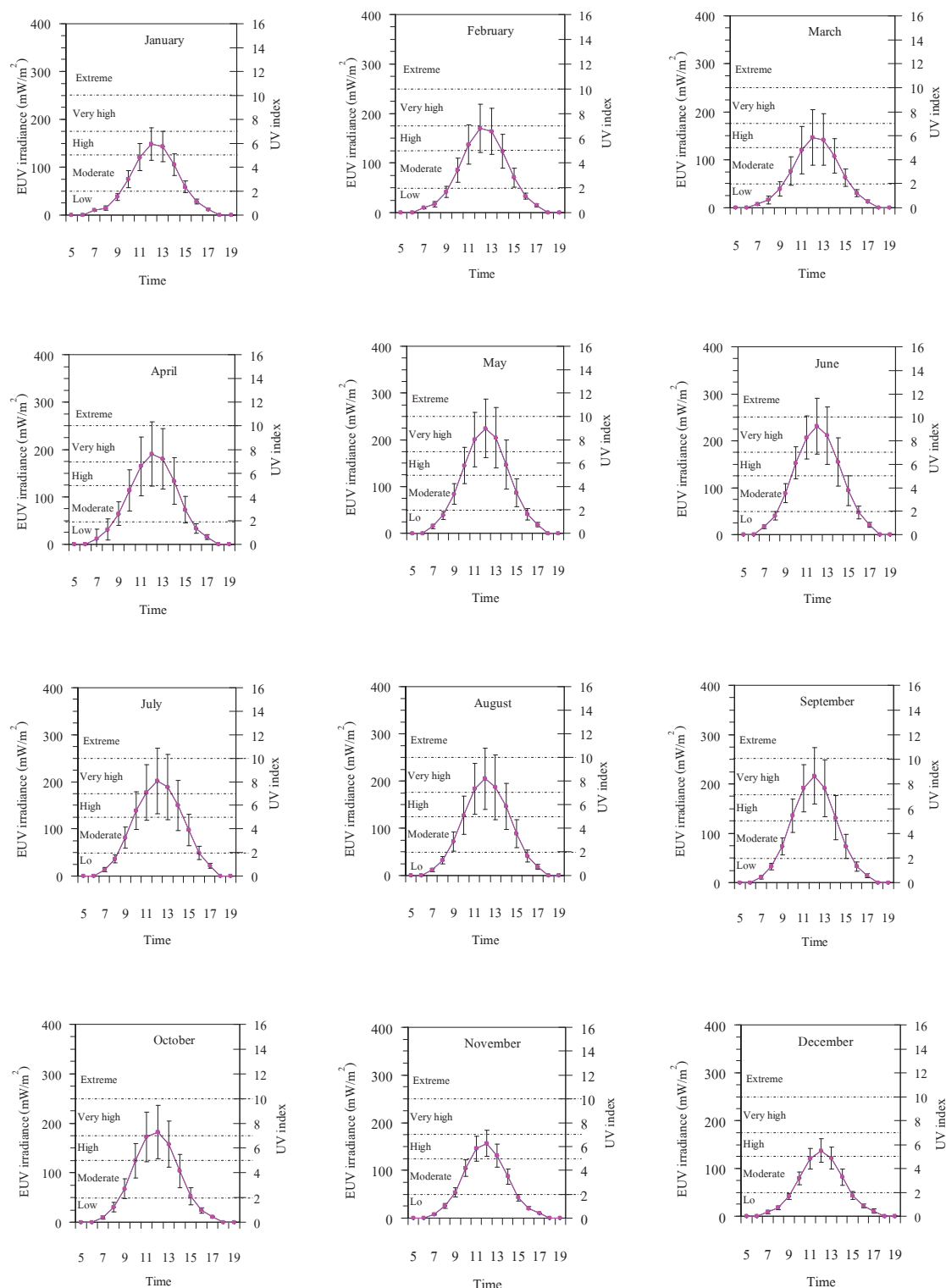


รูปที่ 37 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง มนุษย์ตามเวลา
ในรอบวันในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีสงขลา

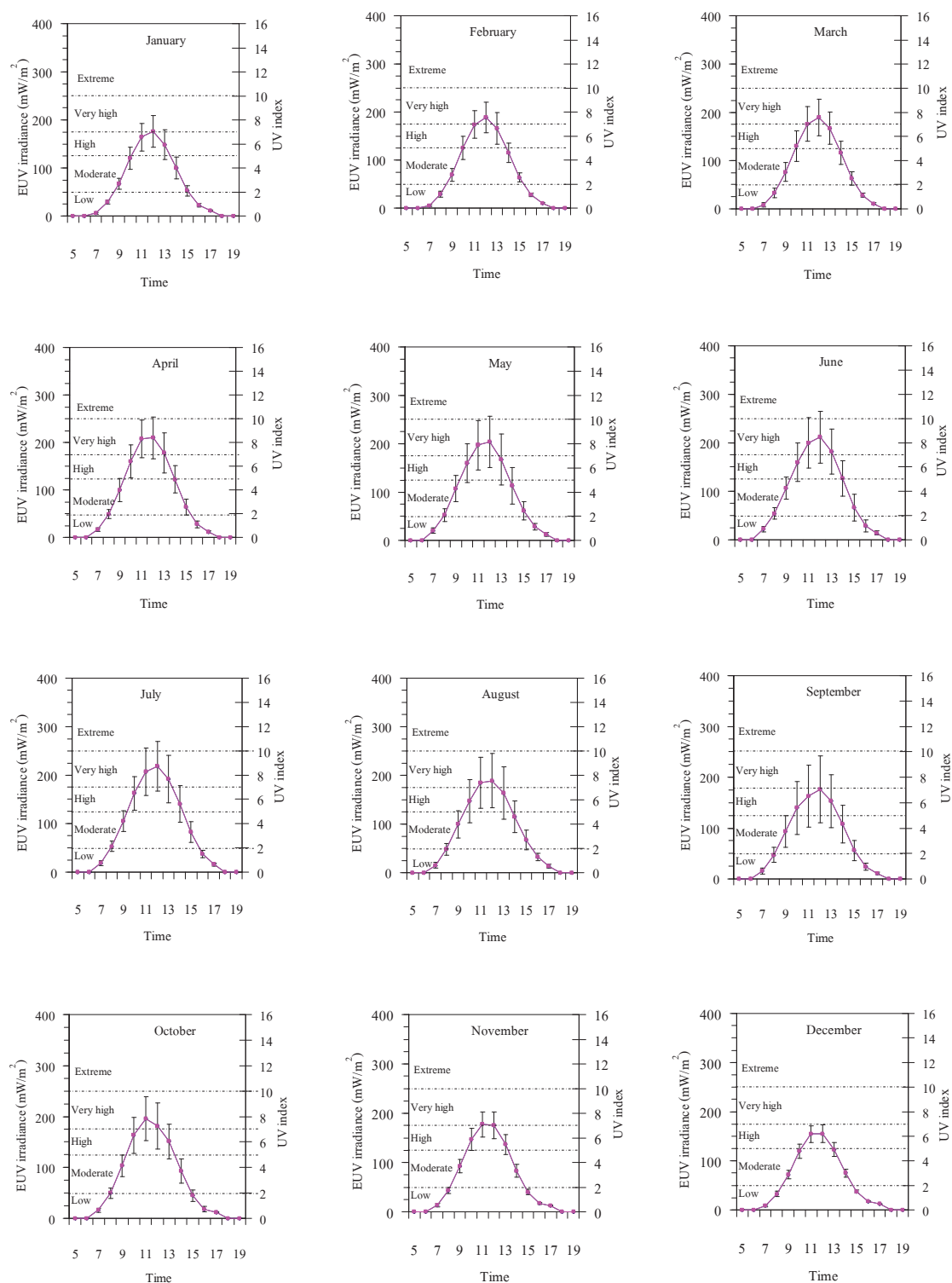
3.6.1.2 กรณีท้องฟ้าทั่วไป

ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าทั่วไป นอกจากจะขึ้นกับมุมตกกระทบ ปริมาณโอโซนและฝุ่นละอองในบรรยากาศแล้ว ยังขึ้นกับปริมาณเมฆซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาภูมิภาคและฤดูกาล โดยในบางวันเมฆสามารถทำให้ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตลดลงเข้าใกล้ศูนย์ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติ การบอกปริมาณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงสามารถบอกได้ด้วยค่าเฉลี่ย ผู้วิจัยจึงได้นำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงของแต่ละเดือนมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 38-41

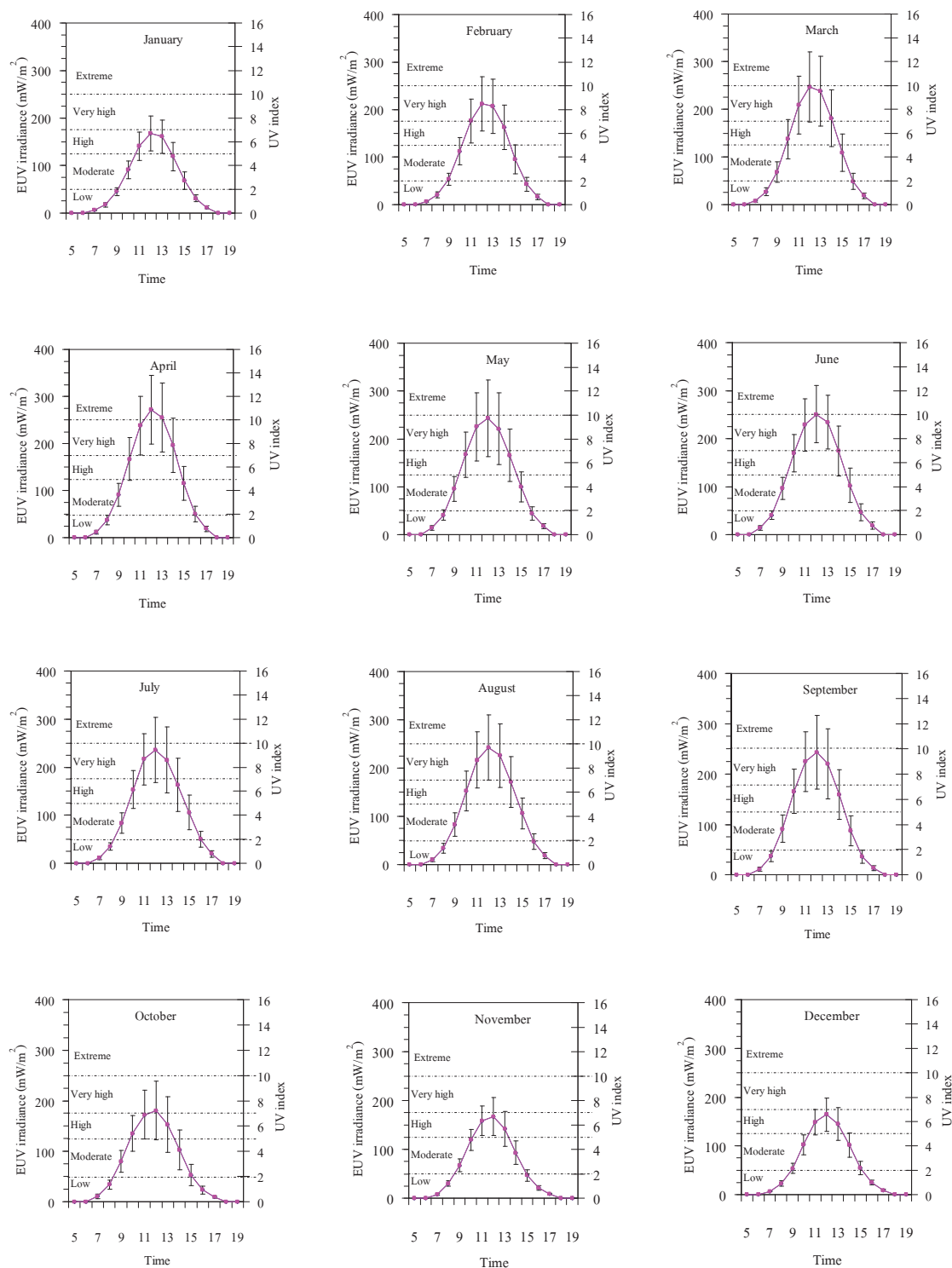
จากกราฟจะเห็นว่า การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน ตั้งแต่เดือน มกราคมถึงเดือนธันวาคม ของทั้ง 4 สถานีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น กราฟของช่วงเช้ากับช่วงบ่ายจะมีลักษณะสมมาตร (symmetry) โดยค่าสูงสุด (peak) ของแต่ละสถานีจะเปลี่ยนแปลงไปตามเดือนต่างๆ ตามฤดูกาลในรอบปี ที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า รวมทั้งเมฆและฝุ่นละออง โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดของสถานีเชียงใหม่ จะอยู่ในเดือนมิถุนายน สถานีอุบลราชธานี จะมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนกรกฎาคม สำหรับสถานีนครปฐม จะอยู่ในเดือนเมษายน และสงขลาอยู่ในเดือนมีนาคม



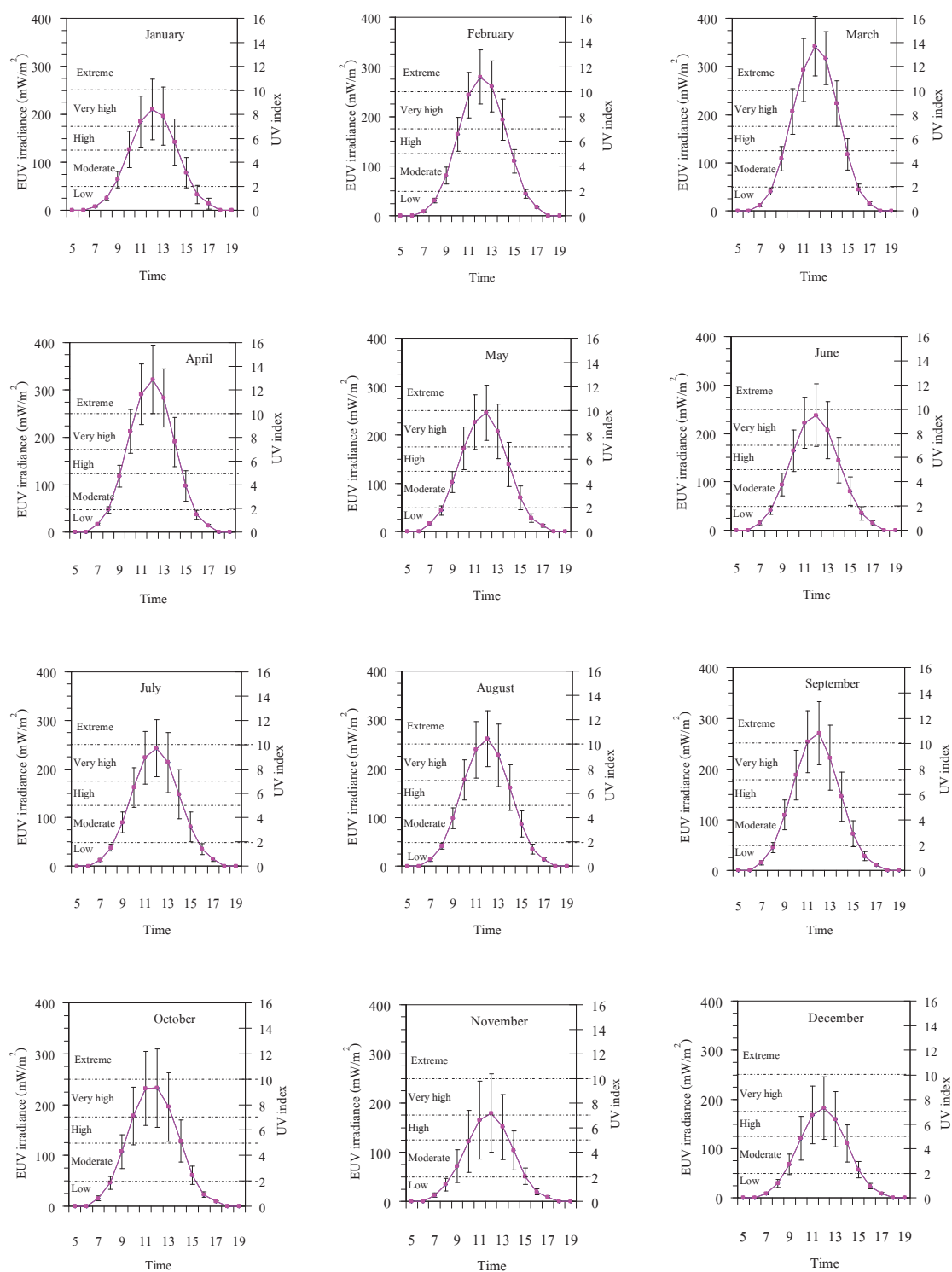
รูปที่ 38 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงเฉลี่ย
 ต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีเชียงใหม่
 [error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 39 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงเฉลี่ย
ต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีอุบลราชธานี
[error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 40 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงเฉลี่ย
ต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีกรุงเทพ
[error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 41 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงเฉลี่ย
ต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีสงขลา
[error bar หมายถึง ± 1 standard deviation, SD]

3.6.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ตามฤดูกาล ในรอบปี (seasonal variation)

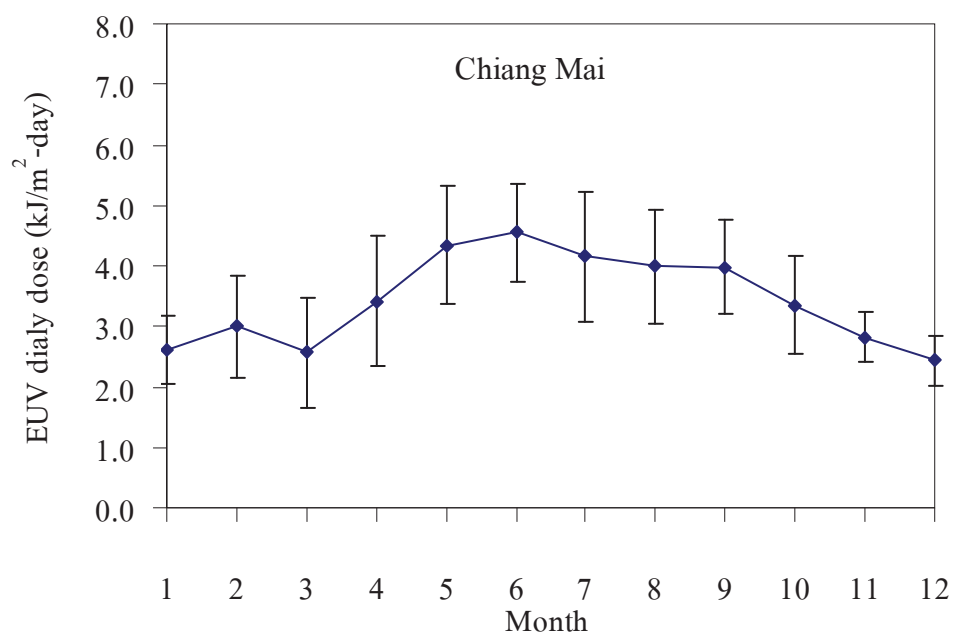
ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่วัด ณ สถานที่หนึ่ง โดยทั่วไปจะแปรตามฤดูกาลในรอบปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าหรือการเปลี่ยนมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (solar declination) และสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณค่าของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในรูปของพลังงานที่ได้รับในหน่วย $\text{kJ/m}^2\text{-day}$ จากข้อมูลที่วัดได้จากแต่ละสถานี แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี พร้อมทั้งได้แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความเข้มดังกล่าว ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 42-45

จากกราฟจะเห็นว่าที่สถานีเชียงใหม่ รังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนมิถุนายน ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4.55 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ จากนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยจนถึงเดือนสิงหาคม หลังจากเดือนสิงหาคม ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับเฉลี่ยทั้งปีมีค่า $3.43 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$

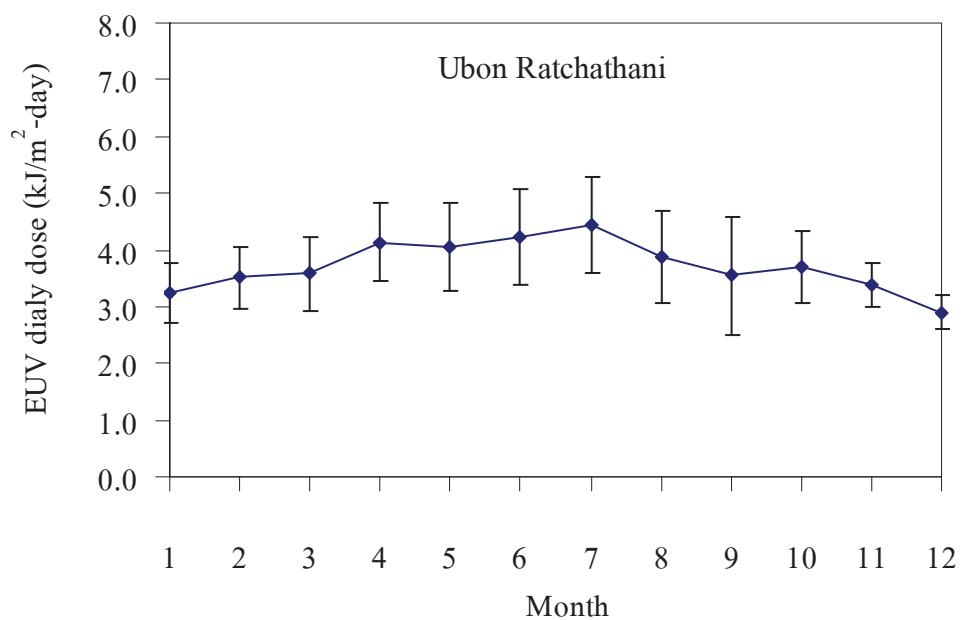
สำหรับกรณีของสถานีอุบลราชธานี รังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมและค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4.44 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ หลังจากนั้นจะเปลี่ยนแปลงลงเล็กน้อยไปจนถึงเดือนกันยายน และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนตุลาคม จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า $3.71 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$

สำหรับกรณีของสถานีนครปฐม ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงตัวจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายน ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5.21 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ และมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อยไปจนถึงเดือนกันยายน และมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดในเดือนตุลาคม จากนั้นค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงปลายปี โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับเฉลี่ยทั้งปีมีค่า $4.17 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$

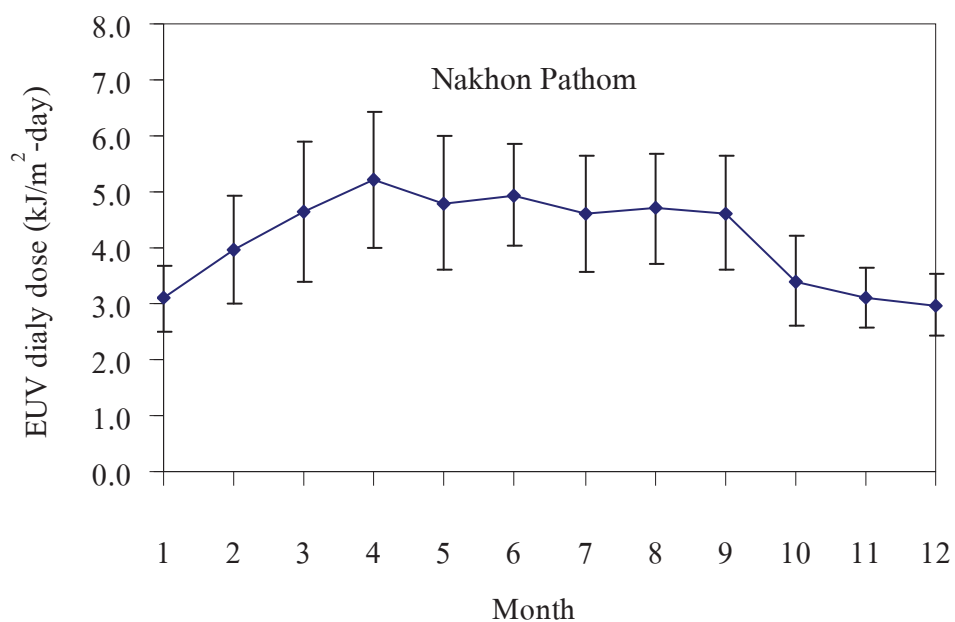
ในด้านของสถานีสงขลา ลักษณะการแปรค่าของรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์แตกต่างไปจากสถานีอื่นๆ กล่าวคือ รังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับมีค่าค่อนข้างสูงตั้งแต่เดือนมกราคมและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5.87 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ จากนั้นจะลดลงในเดือนพฤษภาคมและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเดือนกันยายน แล้วจะลดลงไปจนถึงปลายปีในเดือนธันวาคม โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับเฉลี่ยทั้งปีมีค่า $4.61 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$



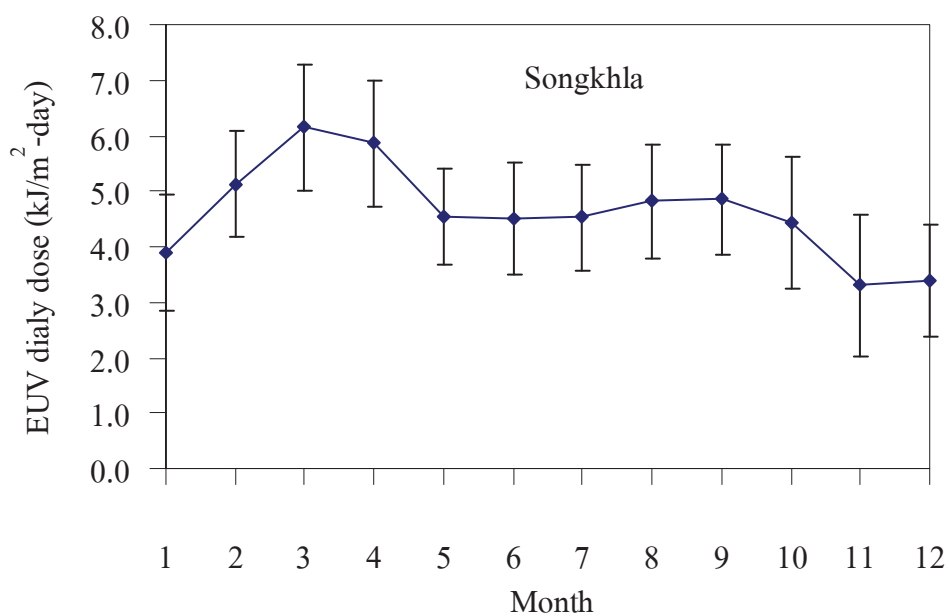
รูปที่ 42 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีเชียงใหม่



รูปที่ 43 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีอุบลราชธานี



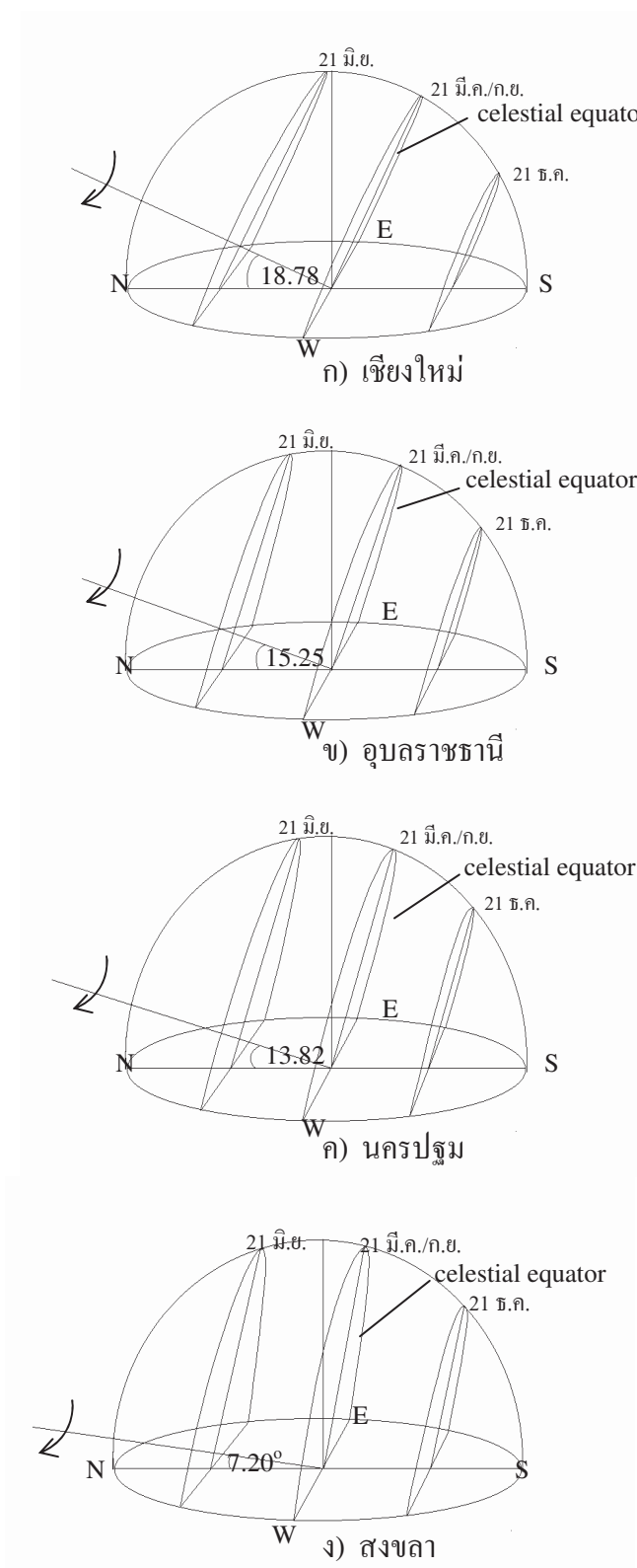
รูปที่ 44 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีนครปฐม



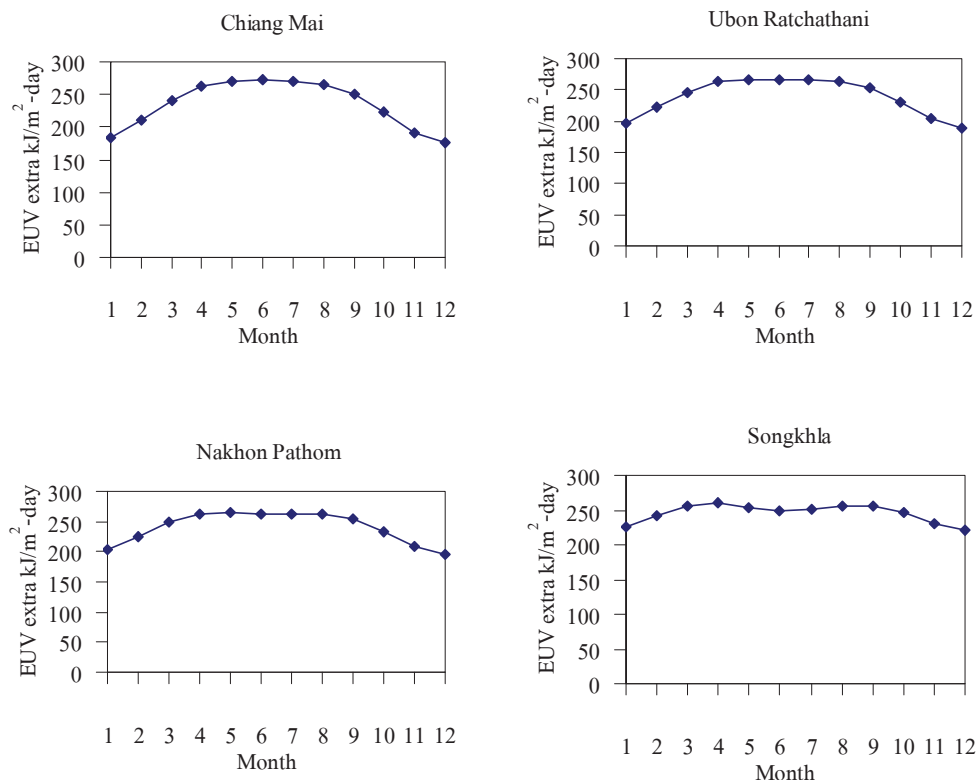
รูปที่ 45 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีสงขลา

การแปรค่าตามเวลาในรอบปีของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตของทุกสถานี (รูปที่ 42-45) เกิดจากตำแหน่งของระนาบทางเดินปรากฏ (apparent path) ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเป็นสำคัญ โดยตั้งแต่วันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม ระนาบทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์จะค่อยๆ เลื่อนจากซีกฟ้าใต้เข้าหาเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (celestial equator) ทำให้รังสีดวงอาทิตย์มีมุมตกกระทบ ณ ตำแหน่งของสถานีวัดลดลงเรื่อยๆ ดังรูปที่ 46 ดังนั้นรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นราบดังกล่าว นอกบรรยากาศโลกจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามละติจูด และมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีตามกราฟรูปที่ 47 โดยความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลกของสถานีเชียงใหม่จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีก่อนข้างมาก เพราะสถานีเชียงใหม่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมาก ส่วนความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลกของสถานีสงขลาจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยตลอดทั้งปี ทั้งนี้เพราะสถานีสงขลาอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร

เมื่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกจะถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยบรรยากาศของโลก ถึงแม้ว่าในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) จะมีเมฆมาก แต่ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตยังมีค่าค่อนข้างสูงทั้ง 4 สถานี (รูปที่ 42-45) ทั้งนี้เพราะเมฆจะไม่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต แต่จะกระเจิงรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้อยู่ในรูปของรังสีกระเจาย และยังคงตกกระทบพื้นผิวโลกมากตามปริมาณของรังสีอัลตราไวโอเล็ตนอกบรรยากาศโลก ซึ่งมีค่ามากในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 46 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของแต่ละสถานี

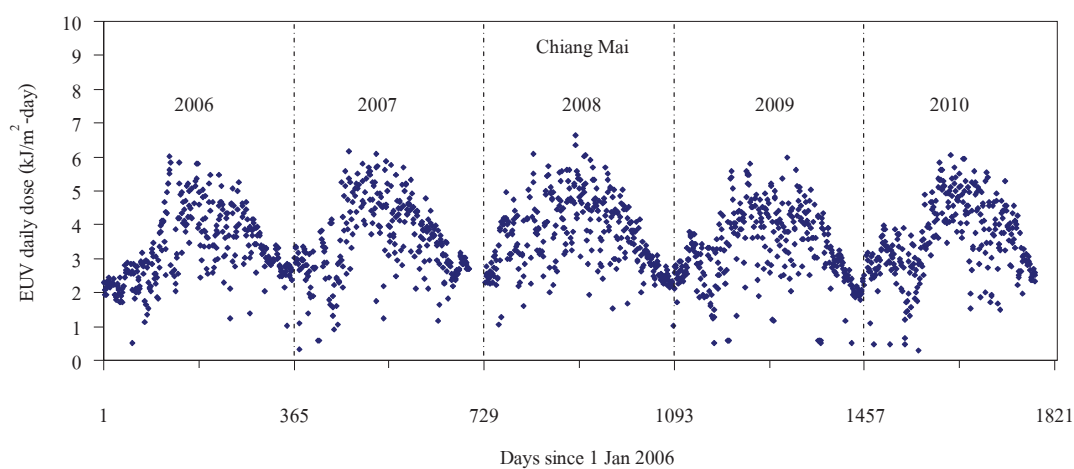


รูปที่ 47 การแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์นอกบรรยากาศโลกตามฤดูกาลในรอบปีที่สถานีต่างๆ

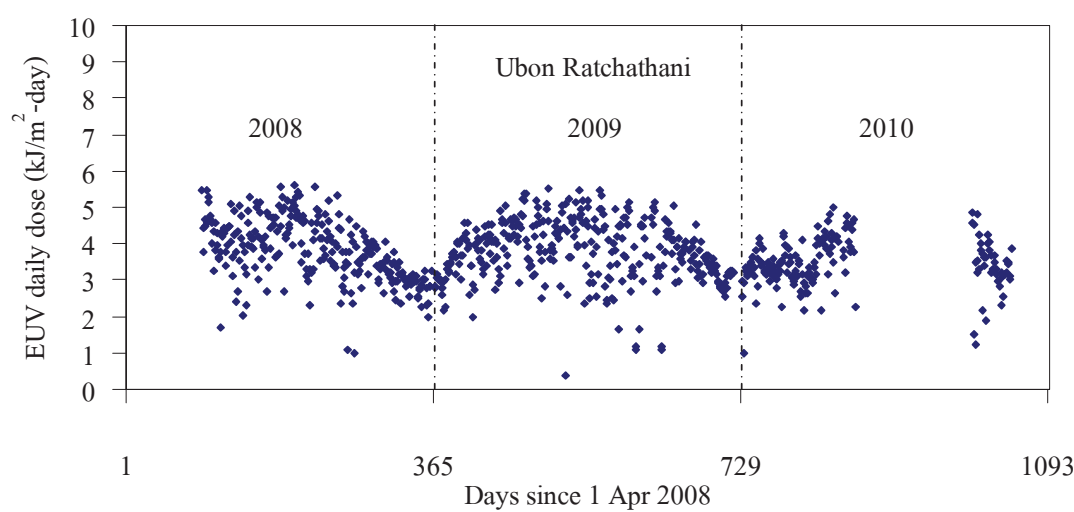
3.6.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ระหว่างปีต่างๆ (inter-annual variation)

โดยทั่วไปความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ณ สถานีหนึ่ง นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปีต่างๆ ด้วย ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยการนำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันมาเขียนกราฟกับวันในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 48-51

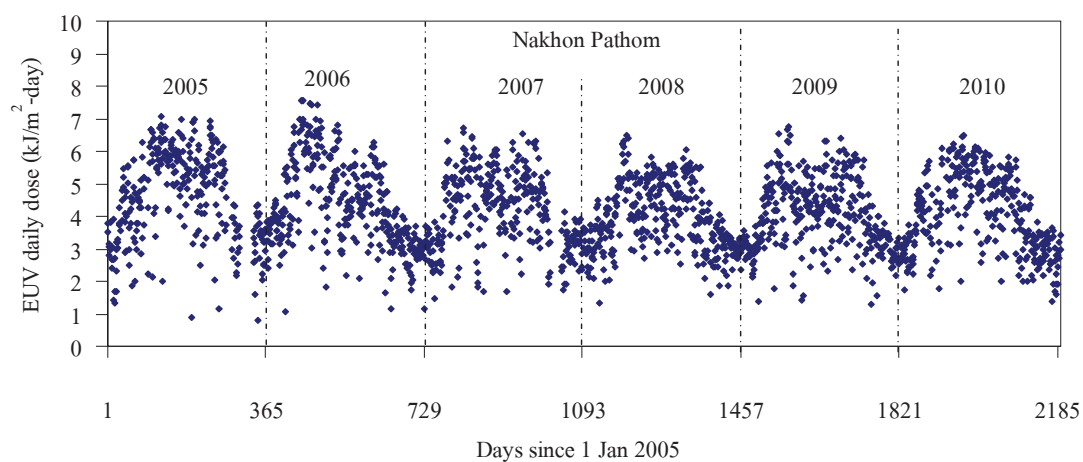
จากกราฟการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ของสถานีต่างๆ พบว่ายังไม่เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน เนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่ยังน้อยเกินไปที่จะสรุปได้ในขณะนี้ ถึงแม้ว่าบางสถานีการวัดข้อมูลมาหลายปีแล้วแต่ก็ยังไม่เพียงพอ และบางสถานีก็ยังมีข้อมูลน้อยเกินไป ดังนั้น จึงจำเป็นต้องดำเนินการวัดรังสีอัลตราไวโอเลตต่อไป เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว



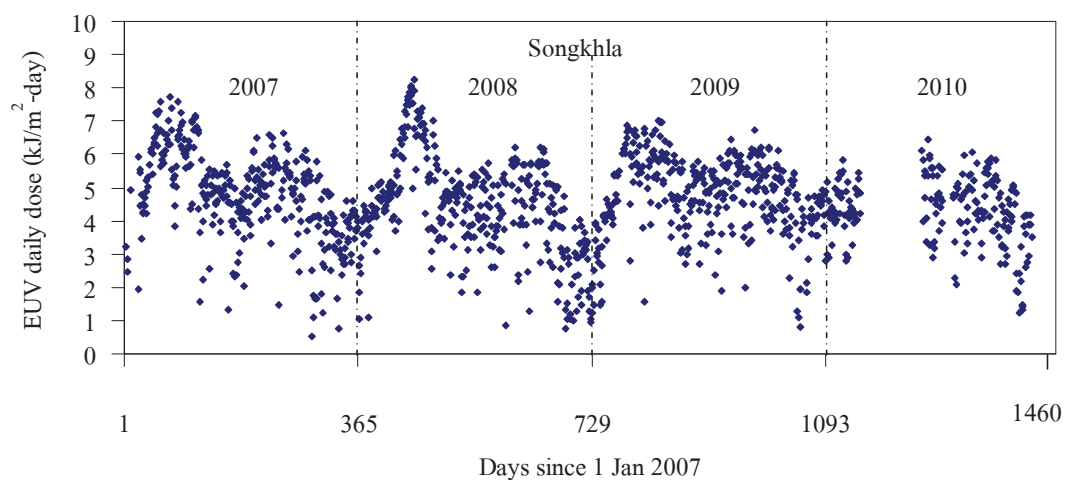
รูปที่ 48 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันตามปีต่างๆ
ของสถานีเชียงใหม่



รูปที่ 49 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันตามปีต่างๆ
ของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 50 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันตามปีต่างๆ
ของสถานีนครปฐม



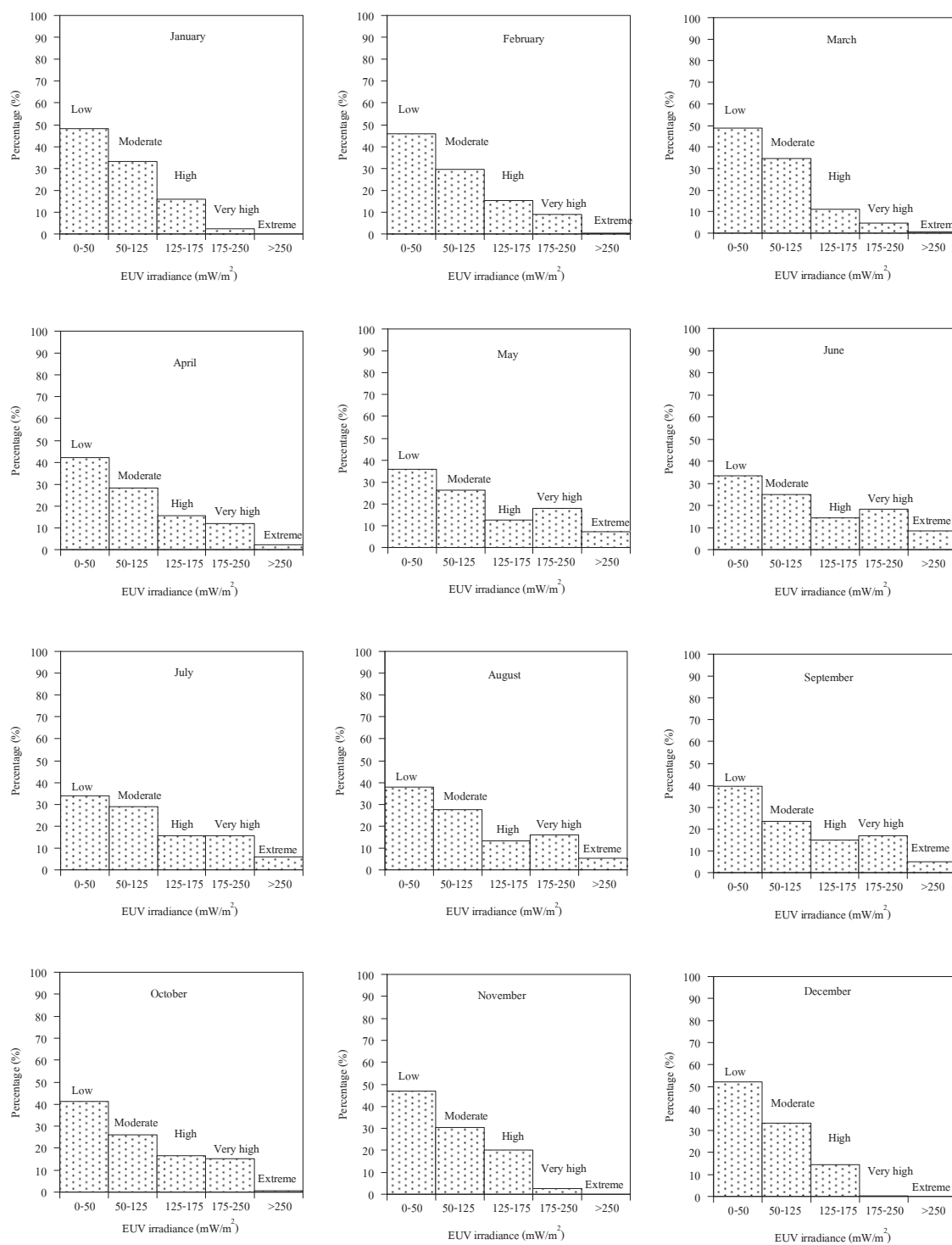
รูปที่ 51 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันตามปีต่างๆ
ของสถานีสงขลา

3.6.4 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง

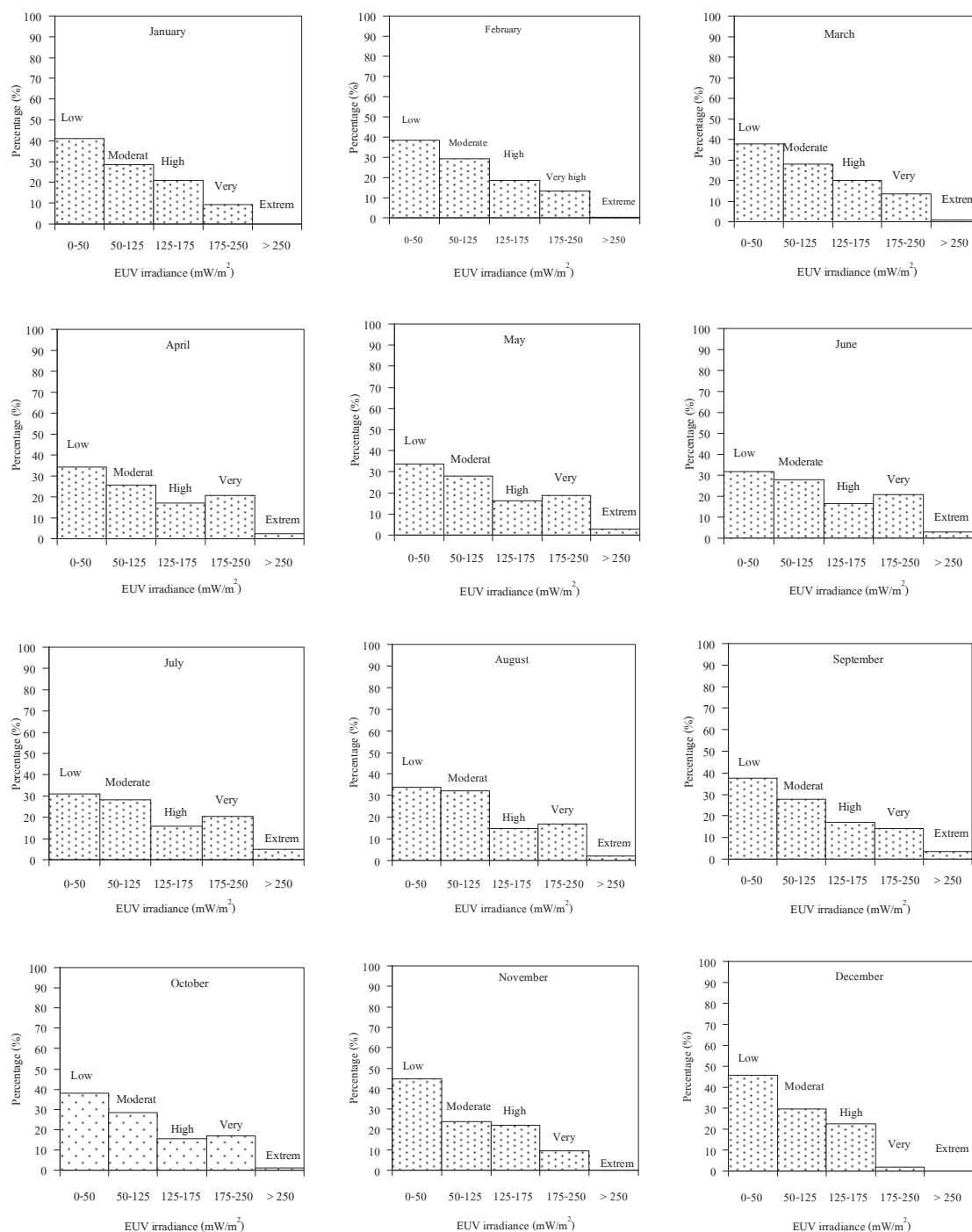
ในวันที่สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันอย่างเป็นระบบ กล่าวคือ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเย็น แต่ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะถูกบดบังโดยเมฆ ทำให้มีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่ำกว่าที่ควรได้รับ ข้อมูลเกี่ยวกับระดับของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในสภาพท้องฟ้าทั่วไปซึ่งมักมีเมฆปกคลุมจึงมีความสำคัญ เพราะเป็นข้อมูลจากสภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมงทั้งหมดมาทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่มีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระดับต่างๆ โดยการแบ่งช่วงความเข้มตามระดับ UV index ของ WHO การแจกแจงดังกล่าวจะทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็น (probability) ที่จะได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระดับต่างๆ ตามสถานที่และเดือนต่างๆ ในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 52 – 56 และทำการสรุปเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลรายชั่วโมงที่มีค่าความเข้มในระดับต่างๆ ในตารางที่ 13-16 นอกจากนี้ได้แบ่งช่วงเวลาของการแจกแจงออกเป็นข้อมูลในช่วงเช้า (5.00-12.00 น.) และในช่วงบ่าย (12.00-19.00 น.) ดังรูปที่ 57-61 และสรุปผลลงในตารางที่ 17-20

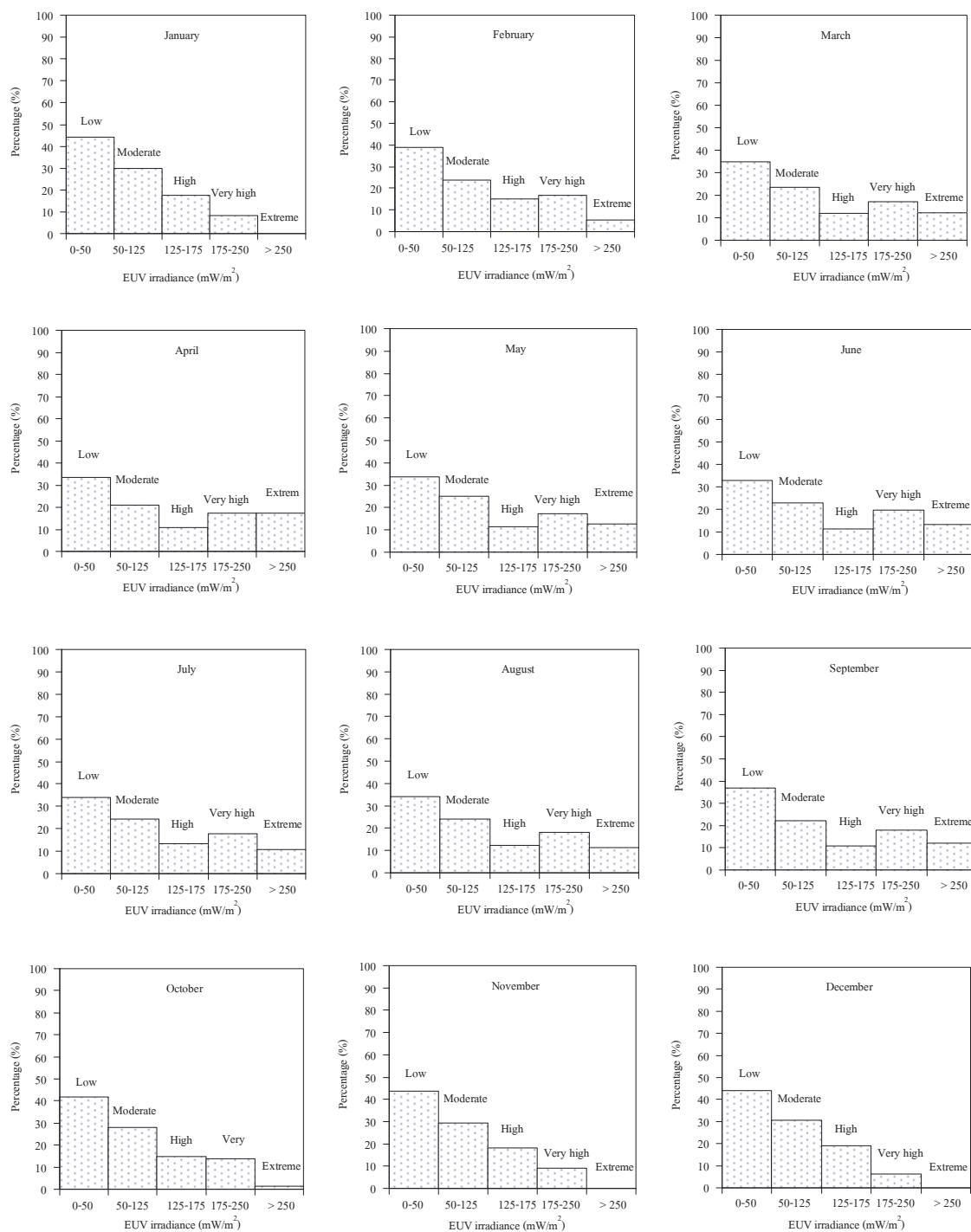
จากการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมงของสถานีเชียงใหม่ พบว่าในเดือนมิถุนายน มีค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มอยู่ในระดับสูงมากและระดับรุนแรง คือ 18.4 % และ 8.6 % ตามลำดับ สำหรับสถานีอุบลราชธานีจากการแจกแจงพบว่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มในระดับสูงมากอยู่ในเดือนมิถุนายน (20.9 %) และระดับรุนแรงอยู่ในเดือนกรกฎาคม (5.0 %) ในด้านสถานีนครปฐม จากการแจกแจงพบว่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มในระดับสูงมากอยู่ในเดือนมิถุนายน (19.8 %) และระดับรุนแรงในเดือนเมษายน (17.4%) สำหรับสถานีสงขลา เปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มในระดับรุนแรงมีค่ามากกว่าสถานีอื่นๆ เพราะค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากภาคใต้ไปสู่ภาคเหนือ ตามการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกแสดงดังรูปที่ 47



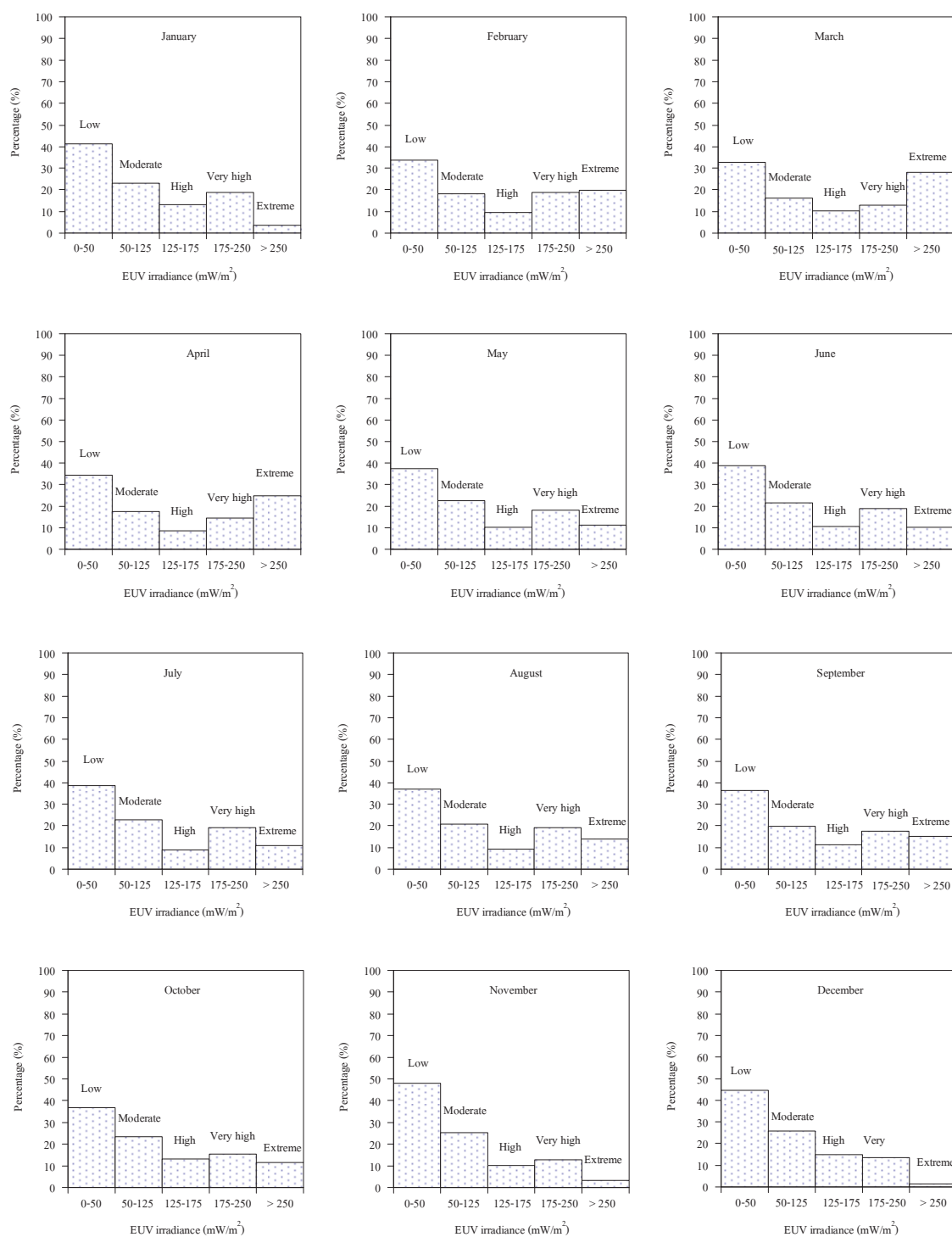
รูปที่ 52 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่



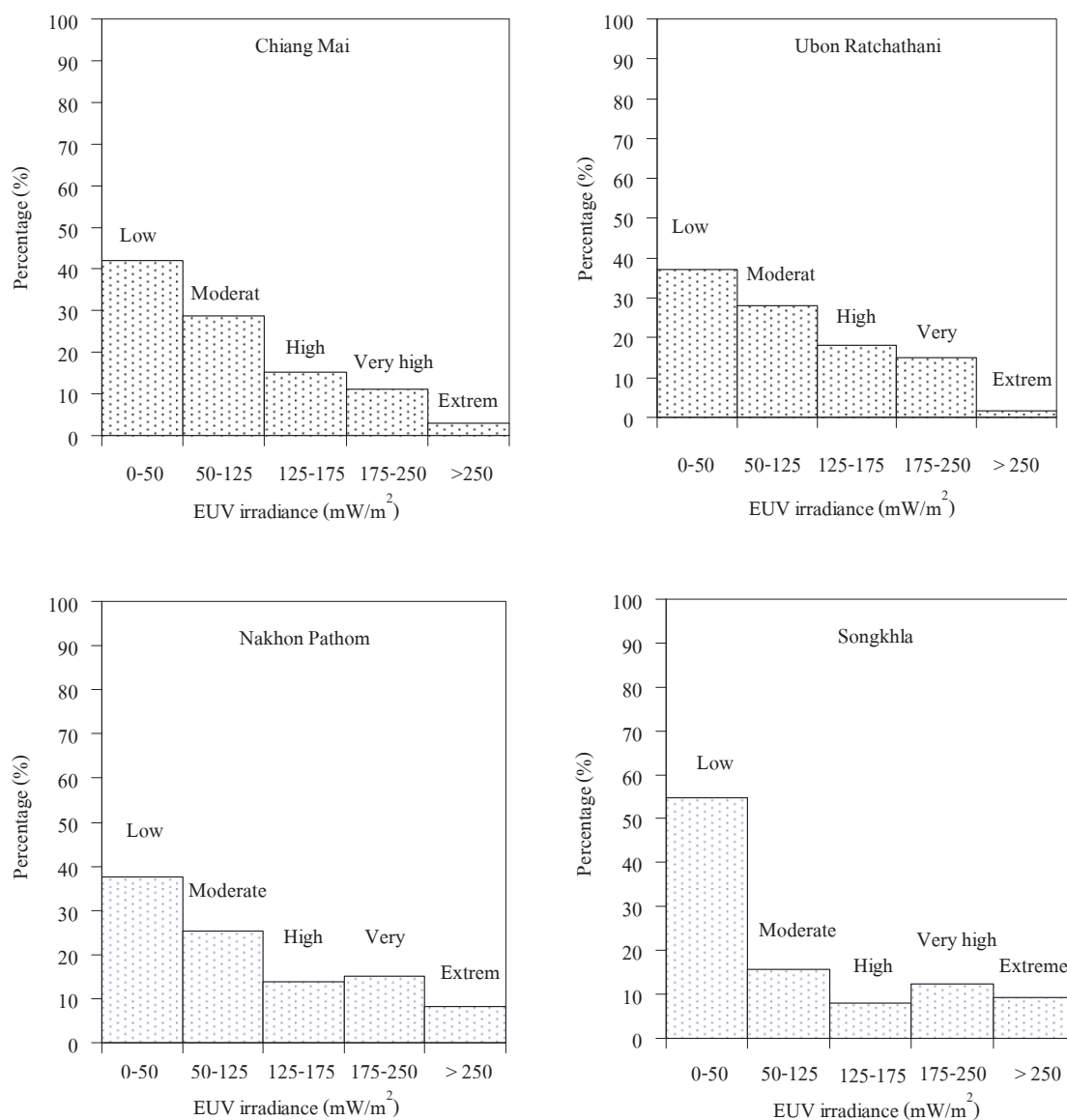
รูปที่ 53 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 54 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม



รูปที่ 55 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา



รูปที่ 56 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง
มนุษย์รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของสถานีต่างๆ

ตารางที่ 13 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนัง
ของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีเชียงใหม่

Month	Percentage of number of hours (Chiang Mai)%				
	0-50	50-125	125-75	175-250	>250
	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²
	Low	Moderate	High	Very high	Extreme
January	48.3	33.2	16.1	2.4	0.0
February	45.9	29.4	15.4	9.0	0.3
March	48.8	36.6	11.1	4.7	0.8
April	42.2	28.2	15.5	11.9	2.2
May	36.0	26.3	12.5	17.9	7.3
June	33.5	24.9	14.6	18.4	8.6
July	33.8	28.9	15.8	15.6	6.0
August	37.8	27.5	13.4	16.1	5.2
September	39.5	23.6	15.0	16.9	5.0
October	41.4	26.0	16.5	15.3	0.8
November	47.0	30.4	20.1	2.5	0.0
December	52.2	33.2	14.4	0.24	0.0
Average	42.2	29.0	15.0	10.9	3.0

ตารางที่ 14 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนัง
ของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีอุบลราชธานี

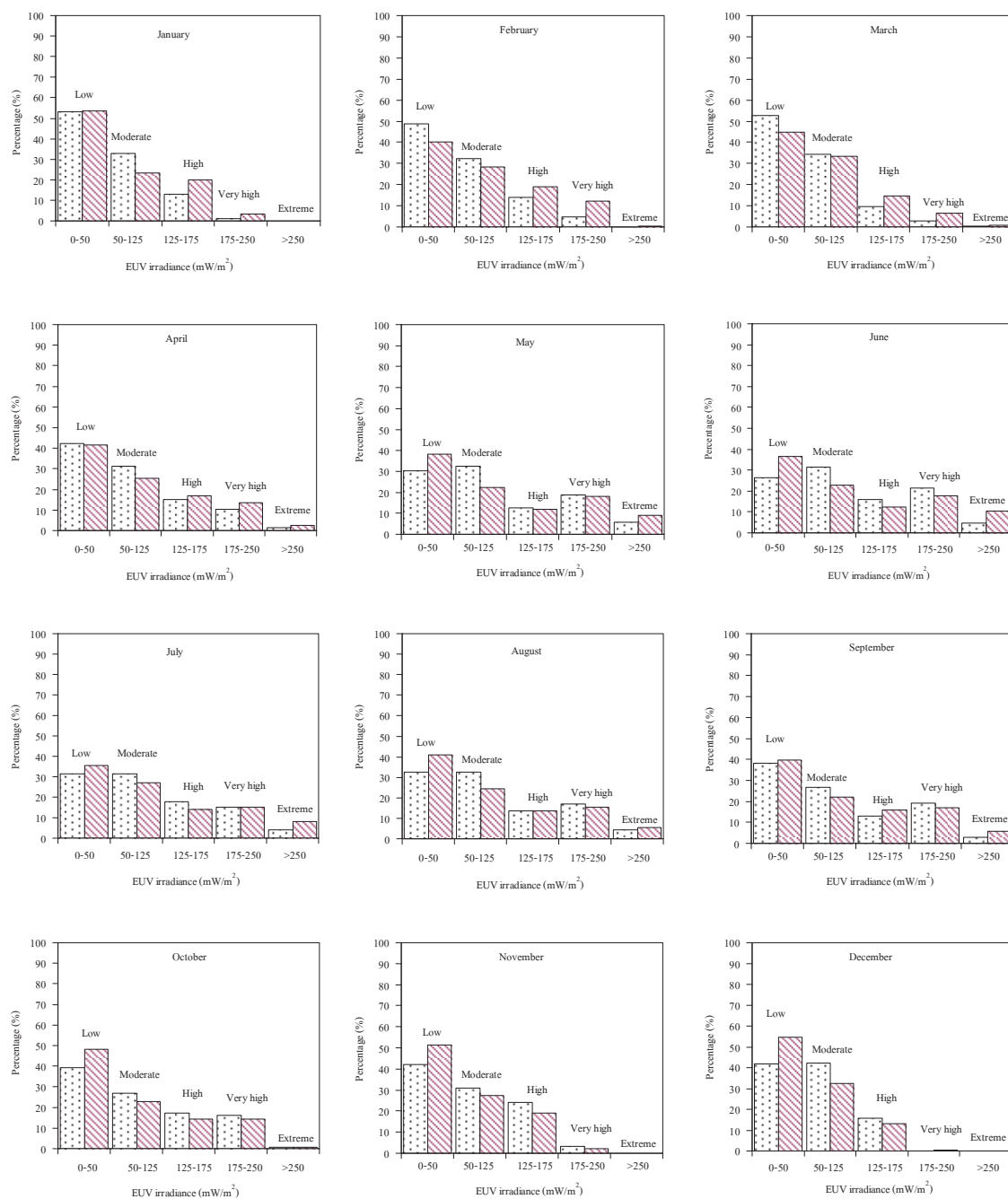
Month	Percentage of number of hours (Ubon Ratchathani)%				
	0-50	50-125	125-175	175-250	>250
	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²
	Low	Moderate	High	Very high	Extreme
January	41.0	28.5	21.0	9.5	0.0
February	38.5	29.3	18.5	13.3	0.3
March	38.0	28.0	20.1	13.5	0.6
April	34.1	25.7	17.0	20.5	2.6
May	33.8	28.0	16.4	19.0	2.9
June	31.8	27.9	16.6	20.9	2.9
July	30.9	28.1	15.7	20.4	5.0
August	34.0	32.1	14.9	17.0	2.1
September	37.4	27.7	17.0	14.3	3.6
October	38.2	28.6	15.4	16.9	0.9
November	44.6	23.8	22.1	9.4	0.0
December	45.8	29.7	22.6	1.9	0.0
Average	37.3	28.1	18.1	14.7	1.7

ตารางที่ 15 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนัง
ของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีนครปฐม

Month	Percentage of number of hours (Nakhon Pathom)%				
	0-50	50-125	125-175	175-250	>250
	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²
	Low	Moderate	High	Very high	Extreme
January	44.2	29.9	17.6	8.2	0
February	38.9	24.0	15.0	16.9	5.3
March	34.9	23.5	12.1	17.2	12.2
April	33.3	21.1	10.8	17.4	17.4
May	33.7	24.9	11.5	17.3	12.6
June	32.9	22.9	11.2	19.8	13.3
July	33.9	24.4	13.2	17.9	10.7
August	34.0	24.1	12.4	18.1	11.4
September	36.8	22.4	10.8	18.0	12.1
October	41.9	28.0	14.9	13.9	1.4
November	43.6	29.2	18.2	9.1	0.0
December	44.0	30.7	19.1	6.2	0.0
Average	37.7	25.4	13.9	15.0	8.0

ตารางที่ 16 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนัง
ของมนุษย์รายชั่วโมง ของสถานีสงขลา

Month	Percentage of number of hours (Songkhla)%				
	0-50	50-125	125-175	175-250	>250
	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²	mW/m ²
	Low	Moderate	High	Very high	Extreme
January	41.1	23.0	13.3	18.8	3.8
February	33.7	18.1	9.7	18.8	19.8
March	32.7	16.3	10.1	13.0	27.9
April	34.3	17.7	8.5	14.5	24.9
May	37.5	22.6	10.2	18.4	11.3
June	38.6	21.7	10.6	18.9	10.2
July	38.8	22.7	8.8	19.0	10.7
August	36.9	20.9	9.3	19.11	13.8
September	36.4	19.7	11.3	17.4	15.3
October	36.8	23.3	13.0	15.3	11.5
November	48.9	25.4	10.3	12.9	3.3
December	44.4	25.9	14.8	13.4	1.4
Average	38.3	21.4	10.8	16.6	12.8



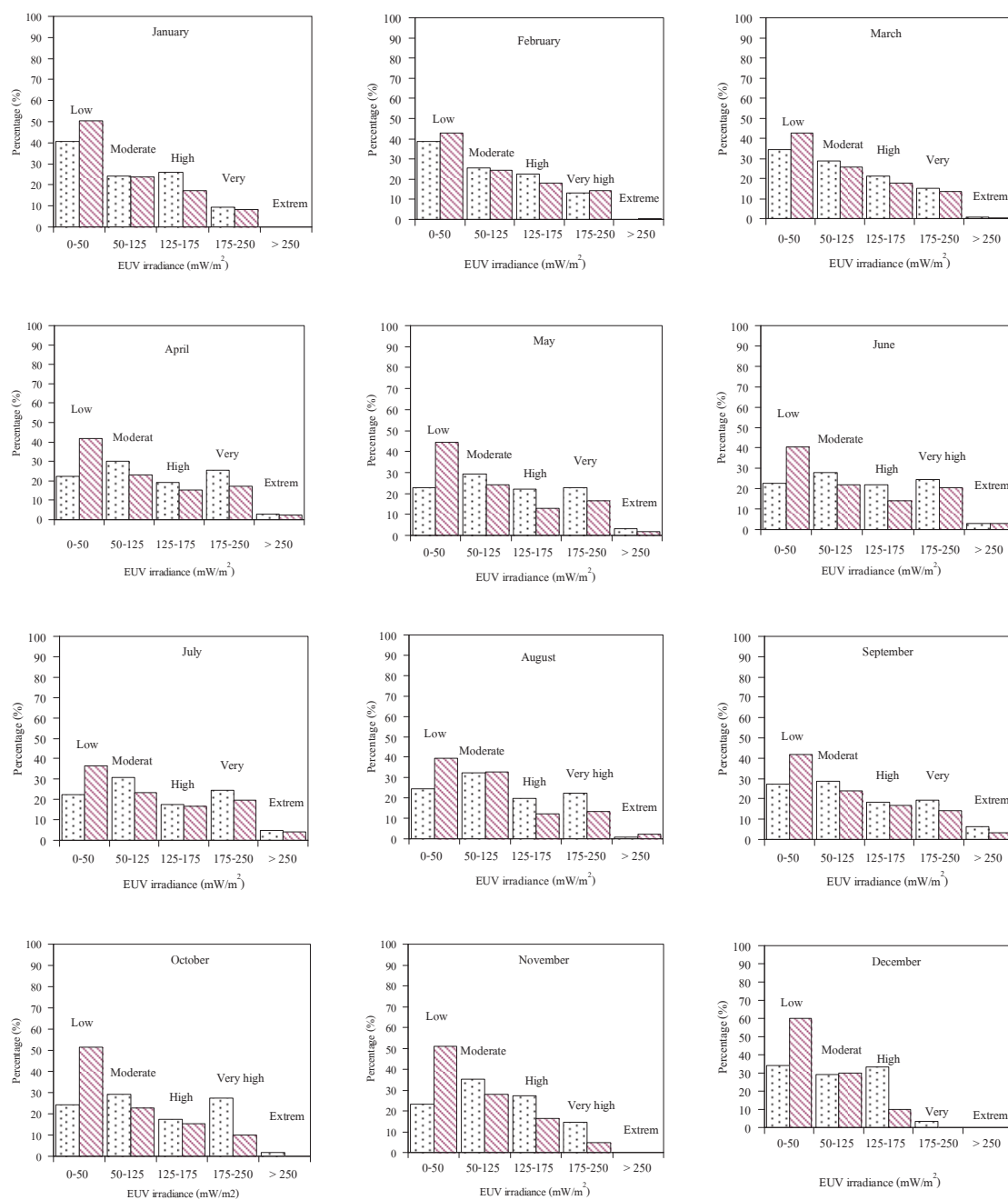
รูปที่ 57 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของ
มนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานิเชียงใหม่



Morning (5:00-12:00)



Afternoon (12:00-19:00)



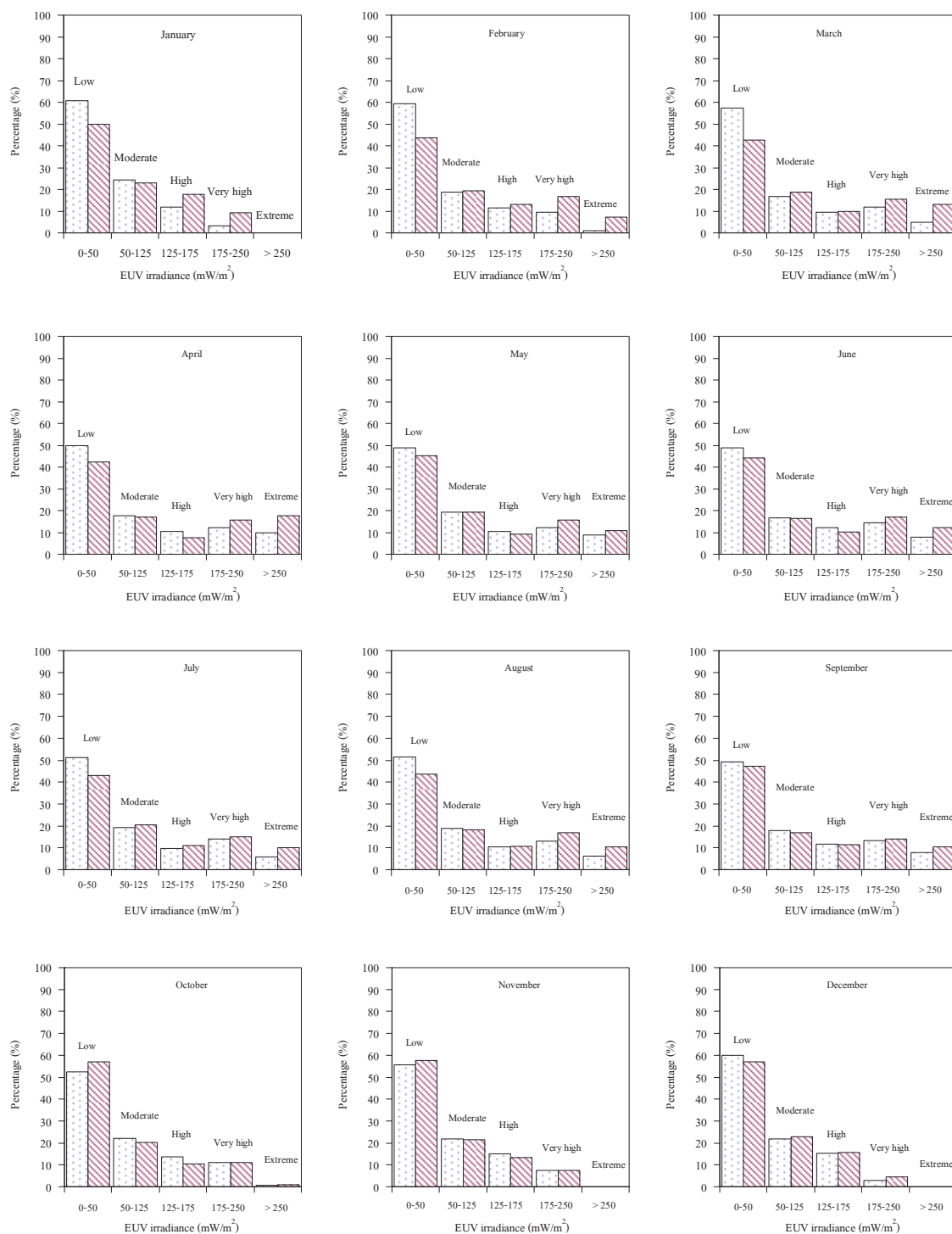
รูปที่ 58 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของ
มนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีอุบลราชธานี



Morning (5:00-12:00)



Afternoon (12:00-19:00)



รูปที่ 59 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง

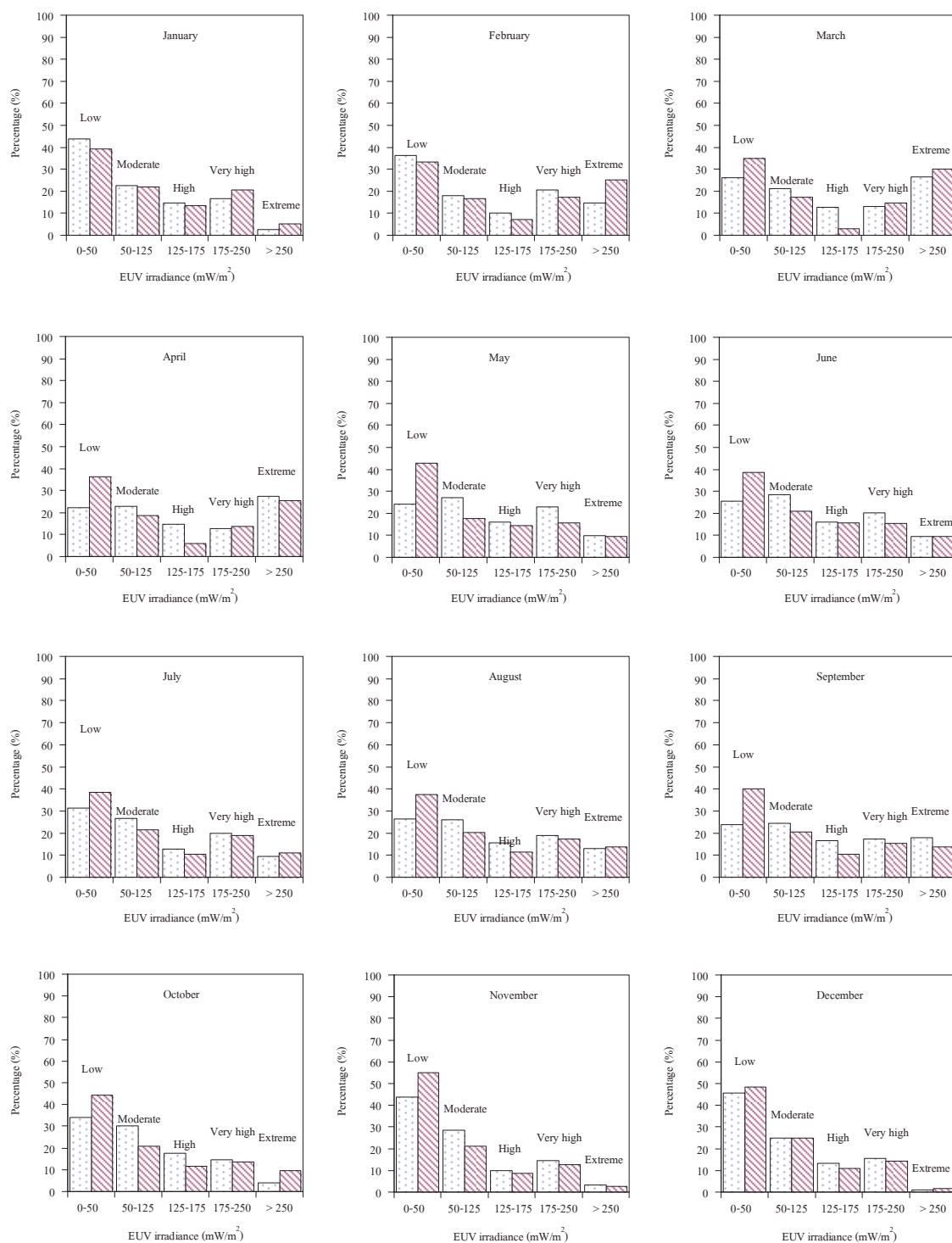
มนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีนครปฐม



Morning (5:00-12:00)



Afternoon (12:00-19:00)



รูปที่ 60 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง

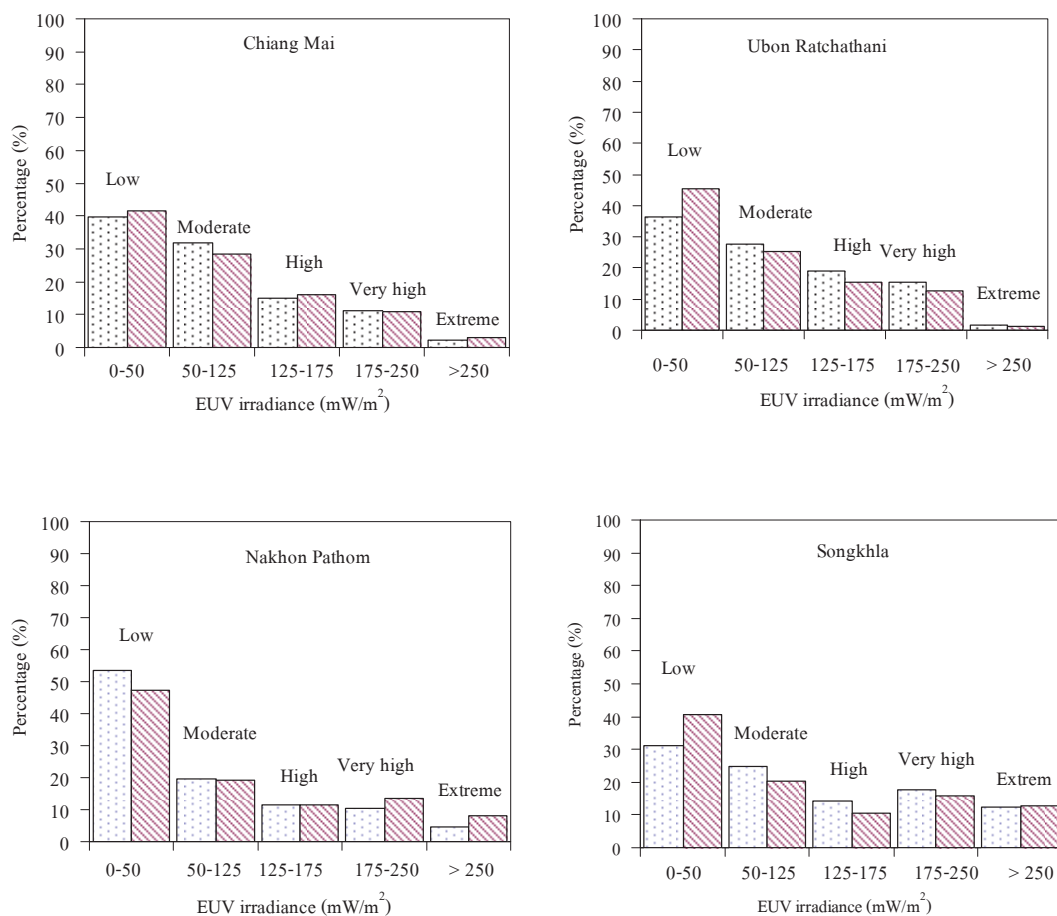
มนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีสงขลา



Morning (5:00-12:00)



Afternoon (12:00-19:00)



รูปที่ 61 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง
รายชั่วโมงตลอดทั้งปี ของสถานีต่างๆ

 Morning (5:00-12:00)
  Afternoon (12:00-19:00)

ตารางที่ 17 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)
ของสถานีเชียงใหม่

Month	Percentage of number of hours (Chiang Mai)%									
	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	53.2	53.5	32.8	23.2	12.8	20.0	0.9	3.1	0	0
February	48.8	28.4	32.9	28.4	14.0	18.8	4.7	12.2	0	0.3
March	52.6	44.9	34.5	33.5	9.6	14.6	2.8	6.2	0.3	0.6
April	42.1	41.3	31.3	25.4	14.9	16.8	10.2	13.7	1.3	2.6
May	30.2	38.3	32.3	22.4	12.6	11.9	18.8	18.0	5.8	9.1
June	26.3	36.5	31.4	22.6	15.8	12.3	21.4	17.8	4.8	10.5
July	31.5	35.6	31.5	27.1	17.7	14.1	15.0	15.1	4.1	8.0
August	32.4	40.7	32.5	24.4	13.6	13.7	17.1	19.4	4.3	5.6
September	38.2	39.6	26.6	21.9	12.9	15.8	19.3	16.8	2.8	5.8
October	39.2	48.2	26.6	22.6	17.3	14.3	16.2	14.3	0.5	0.6
November	42.1	51.4	30.7	27.2	24.0	19.0	3.1	2.3	0	0
December	41.9	54.3	42.2	32.2	15.6	13.0	0.2	0.3	0	0
Average	39.8	42.7	32.1	25.9	15.0	15.4	10.8	11.6	1.9	3.6

ตารางที่ 18 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

ของสถานีอุบลราชธานี

Month	Percentage of number of hours (Ubon Ratchathani)%									
	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	40.5	50.4	24.1	23.8	25.8	17.3	9.44	8.3	0	0.0
February	38.9	24.5	25.4	24.5	22.5	17.8	13.0	14.2	0	0.3
March	34.2	42.6	28.7	25.5	21.3	17.7	15.1	13.4	0.6	0.5
April	22.2	46.8	30.2	23.1	19.1	15.4	25.5	17.0	2.9	2.3
May	22.6	44.5	29.3	24.1	22.0	12.9	22.5	16.4	3.3	1.9
June	22.6	40.6	27.7	21.9	21.8	14.0	24.6	20.3	3.1	2.9
July	22.4	36.4	30.7	23.3	17.5	16.7	24.4	19.5	4.8	4.0
August	24.6	39.4	32.5	32.6	19.7	12.2	22.2	13.2	0.8	2.4
September	26.0	47.8	32.8	25.5	19.4	12.6	17.7	12.4	4.0	1.7
October	22.7	51.3	28.7	22.9	21.1	15.5	25.3	10.1	2.0	0.0
November	23.1	50.8	35.2	28.0	27.1	16.2	14.4	4.8	0.0	0.0
December	37.4	50.0	27.5	33.6	31.6	16.3	3.4	0.0	0.0	0.0
Average	28.5	43.7	29.4	25.7	22.4	15.4	18.1	12.4	1.8	1.3

ตารางที่ 19 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

ของสถานีนครปฐม

Month	Percentage of number of hours (Nakhon Pathom) %									
	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	60.7	49.8	24.3	22.9	11.7	17.7	3.24	9.27	0	0.1
February	59.3	43.6	18.6	19.5	11.5	13.1	9.3	16.6	1.3	7.1
March	57.2	42.5	26.6	18.78	9.4	9.9	11.8	15.5	4.8	13.1
April	49.7	42.1	17.8	17.0	10.4	7.5	12.1	15.5	9.8	17.6
May	48.9	49.3	19.3	19.27	10.5	9.1	12.2	15.6	8.9	10.6
June	48.9	44.2	16.8	16.26	12.2	10.1	14.2	17.1	7.7	12.2
July	51.1	43.1	19.3	20.5	9.6	11.0	13.9	15.1	5.9	10.2
August	51.5	43.5	18.8	18.2	10.4	10.7	13.0	17.0	6.3	10.5
September	49.3	47.3	17.8	16.9	11.7	11.4	13.2	13.9	7.9	10.3
October	52.4	57.6	22.1	20.3	13.6	10.5	11.0	11.1	0.7	0.9
November	55.7	57.6	21.7	21.3	14.8	13.3	7.6	7.6	0	0
December	59.9	56.9	21.8	22.9	15.3	15.6	2.8	2.8	0	0
Average	53.7	48.1	20.4	19.4	11.7	11.6	10.36	13.08	4.4	7.7

ตารางที่ 20 การแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย)

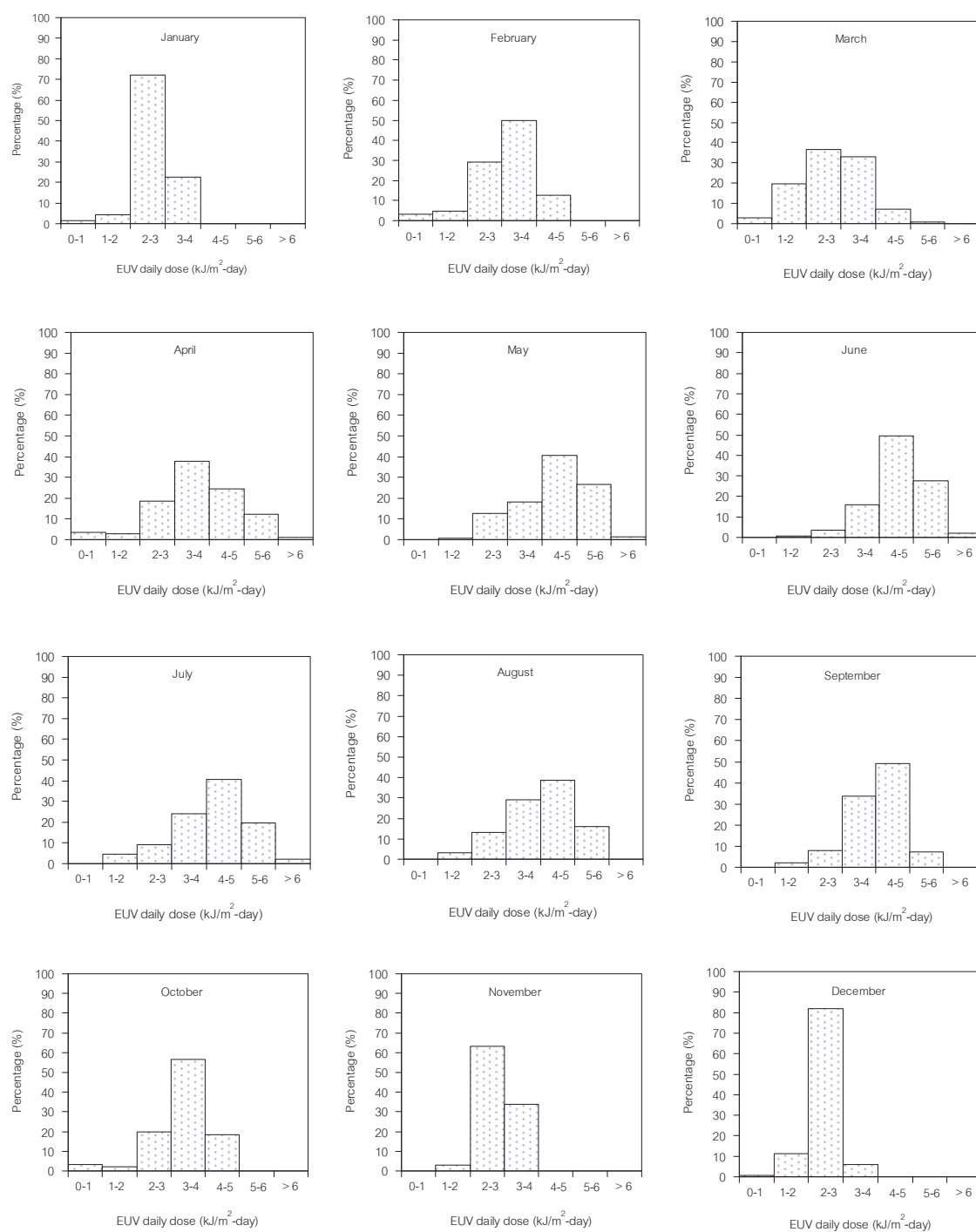
ของสถานีสงขลา

Month	Percentage of number of hours (Songkhla) %									
	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	43.7	39.1	22.2	21.9	14.6	13.3	16.5	20.5	2.6	5.1
February	36.4	33.4	18.0	16.8	10.0	7.0	20.5	17.3	14.8	26.3
March	26.3	35.0	21.2	17.2	12.8	29.0	13.04	17.4	26.5	30.1
April	22.2	36.2	22.5	18.5	14.7	5.7	12.9	13.9	27.3	25.5
May	24.1	42.6	27.1	17.5	15.9	14.5	23.01	15.7	9.9	9.5
June	25.5	38.6	28.5	20.7	16.1	15.8	20.4	15.24	9.3	9.5
July	31.2	38.3	26.6	21.3	12.7	10.4	19.7	18.8	9.6	11.0
August	26.4	37.3	26.0	20.3	15.6	11.3	18.8	17.4	13.0	13.6
September	23.6	40.1	24.4	20.5	16.7	10.5	17.4	15.3	17.9	13.6
October	33.9	44.4	30.0	20.7	17.6	11.6	15.5	13.4	3.8	9.7
November	43.6	54.9	28.5	21.1	10.0	8.7	14.4	12.4	3.3	2.6
December	45.5	48.3	24.9	25.0	13.11	10.9	15.5	14.1	0.9	1.7
Average	31.8	40.7	25.0	20.1	14.1	12.4	17.3	15.9	11.5	13.2

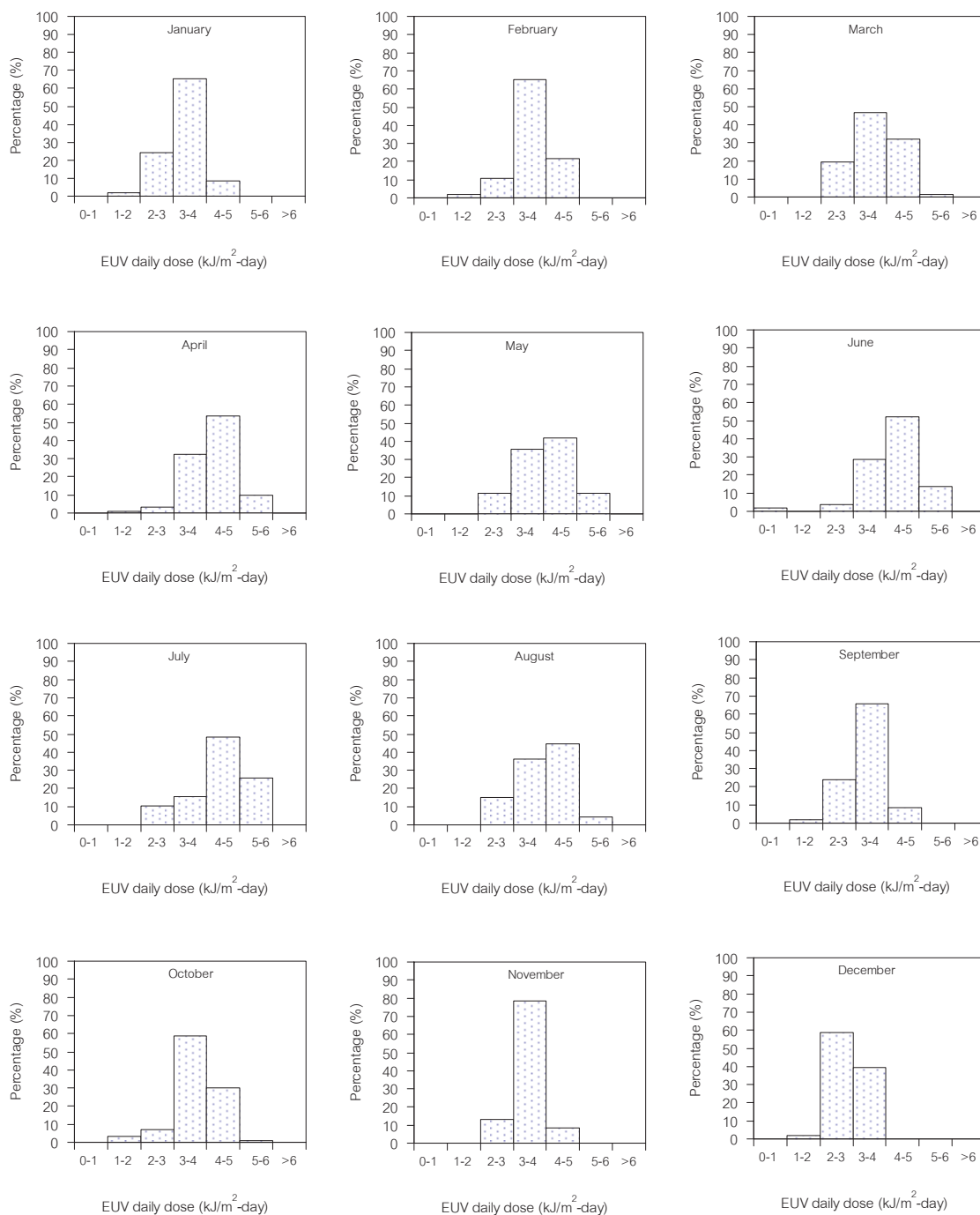
3.6.5 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายวัน

ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายวันเป็นปริมาณพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก 1 ตารางเมตร ตั้งแต่เวลาเช้าจรดเย็น (UV daily dose) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสถานะทางอุตุนิยมวิทยาและทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ (apparent sun path) ของแต่ละพื้นที่ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายวันของแต่ละสถานีในแต่ละเดือน ซึ่งจะทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็นของการได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ ตลอดทั้งวันของเดือนต่างๆ ในรอบปี โดยจะนำข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายวันทั้งหมดมาทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนวันที่มีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ ดังรูปที่ 62-65

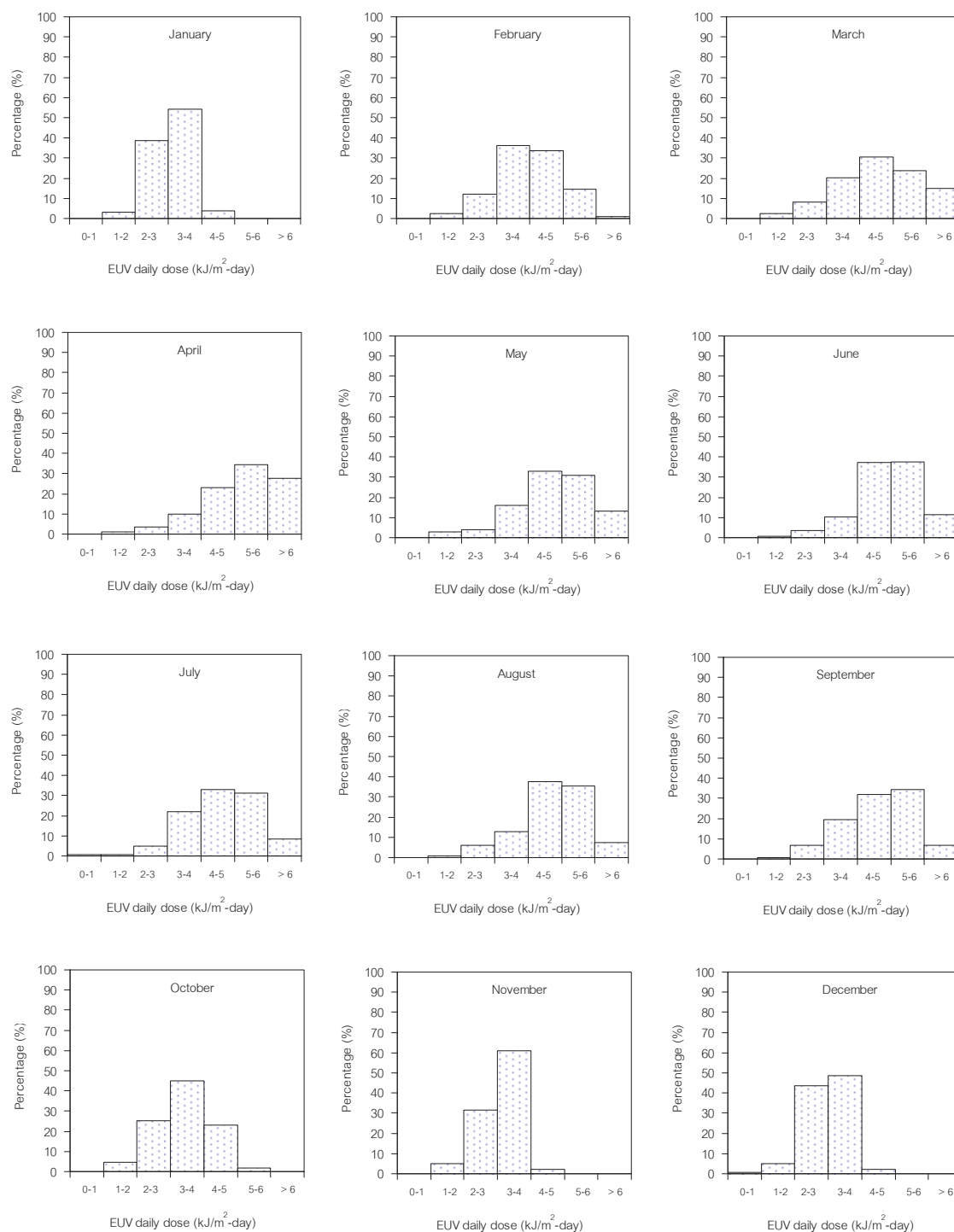
จากกราฟแสดงลักษณะการแจกแจงรายเดือน (statistical distribution) ของรังสีอัลตราไวโอเลตรายวัน ตั้งแต่เดือน มกราคม-เดือน ธันวาคม ของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และ นครปฐม ส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ลักษณะการกระจายด้านค่าความเข้มข้นจะค่อนข้างสมมาตร (symmetric) กับด้านความเข้มมาก ยกเว้นเดือนธันวาคมของสถานีเชียงใหม่ที่กราฟมีความเข้มไปทางค่ามาก กรณีของการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตตลอดทั้งปี (รูปที่ 66) กราฟของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐมมีลักษณะคล้ายกันคือ คล้ายกับการแจกแจงปกติ (normal distribution) แต่ของสถานีสงขลา กราฟจะมีความเข้มไปทางค่ามาก แสดงว่ารังสีอัลตราไวโอเลตที่สถานีสงขลามีความเข้มเฉลี่ยสูงกว่าสถานีอื่นๆ



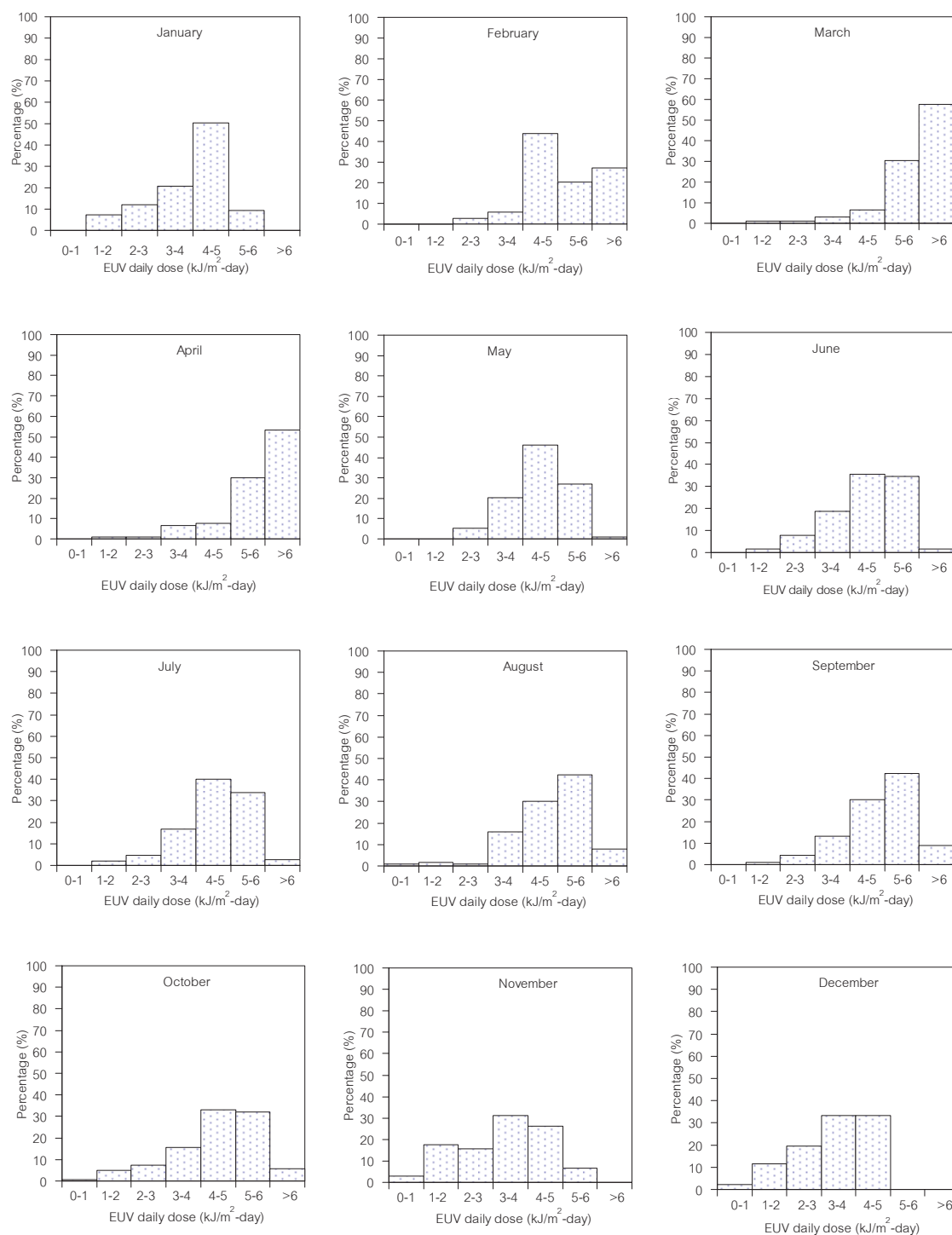
รูปที่ 62 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน
ในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่



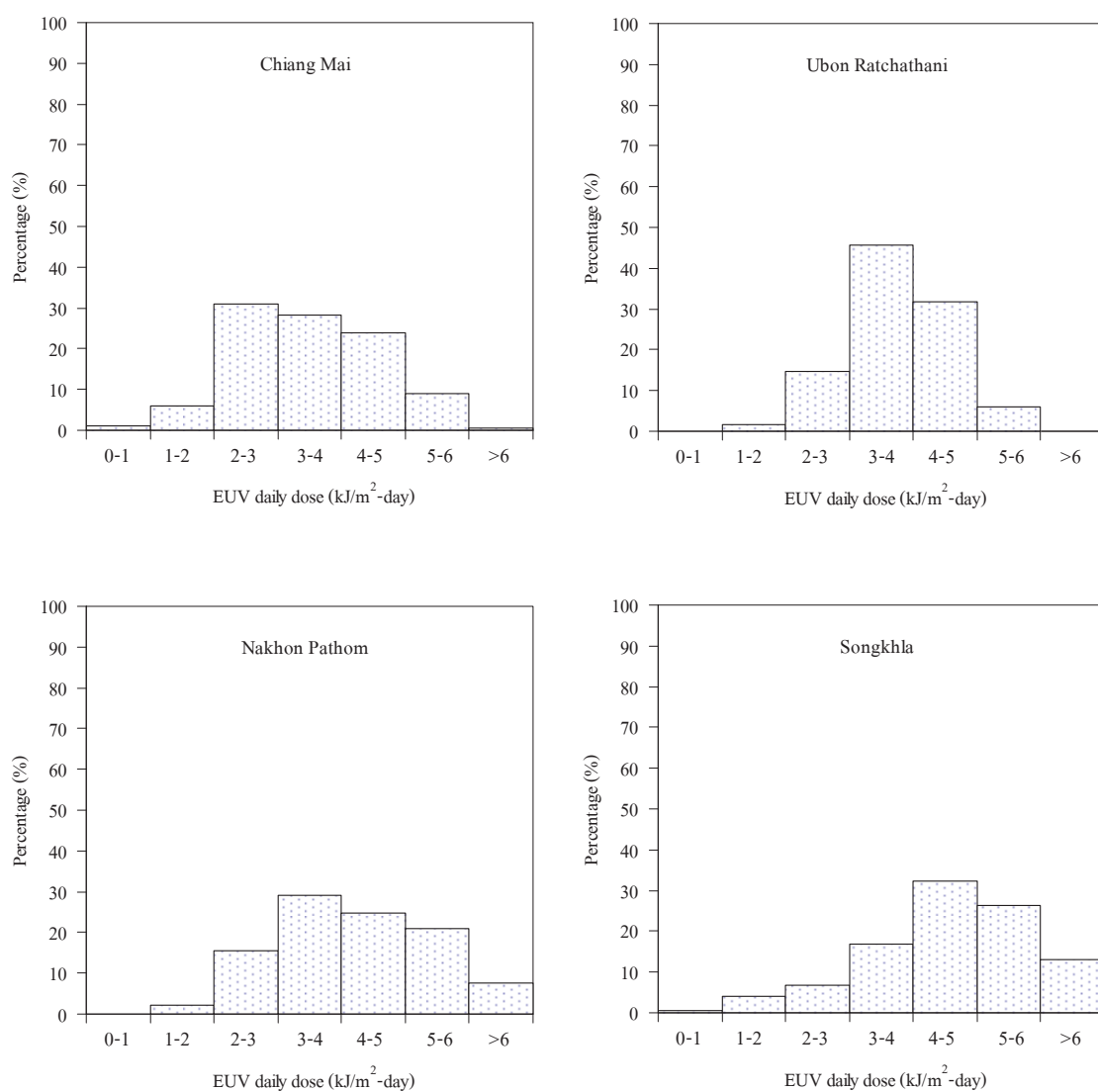
รูปที่ 63 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน
ในเดือนต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 64 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน
ในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม



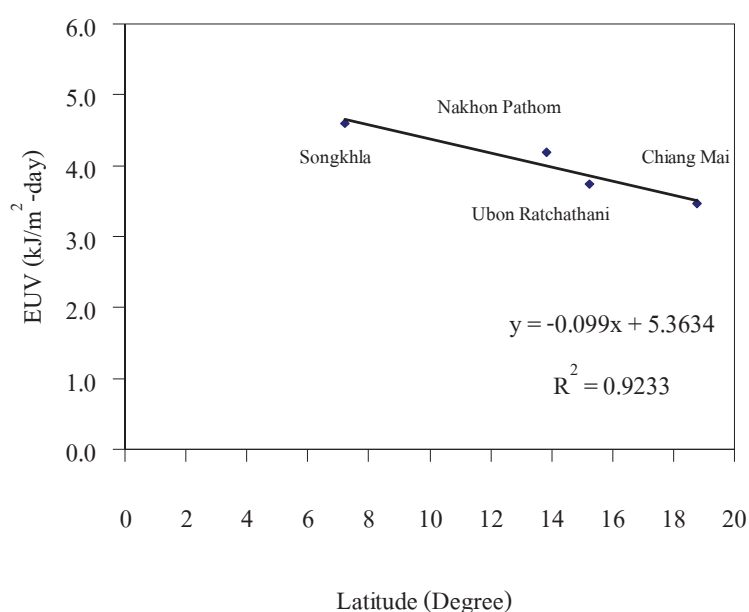
รูปที่ 65 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน
ในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา



รูปที่ 66 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวัน
ตลอดทั้งปีของสถานีต่างๆ

3.6.6 การแปรค่าตามละติจูดของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์

โดยทั่วไป ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจะขึ้นกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์และสภาพภูมิอากาศของบริเวณนั้นๆ สำหรับประเทศไทยมีลักษณะพื้นที่เป็นแนวยาวจากใต้สุดที่ละติจูด 5.61°N ขึ้นไปถึงเหนือสุดที่ละติจูด 20.46°N โดยภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงจากภาคใต้ไปสู่ภาคเหนือ ผู้วิจัยได้ศึกษาผลดังกล่าวแล้วนำเสนอในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่แต่ละสถานีได้รับกับตำแหน่งที่สถานีนี้นั้นตั้งอยู่ ผลที่ได้แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 67



รูปที่ 67 การแปรค่าตามละติจูดของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์

จากกราฟจะเห็นว่ารังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับมีแนวโน้มเพิ่มจากสถานีเชียงใหม่ไปยังสงขลา ตามการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ซึ่งขึ้นกับละติจูด แต่เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตมิได้ขึ้นกับอิทธิพลของตำแหน่งดวงอาทิตย์แต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาด้วย ทำให้กราฟไม่เรียงต่อกันเป็นเส้นตรง เช่น กรณีนครปฐมกับอุบลราชธานี ซึ่งมีละติจูดใกล้เคียงกันแต่มีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแตกต่างกัน เป็นผลเนื่องจากเมฆและฝุ่นละออง

3.6.7 การเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต จาก Aura/Ozone Monitoring Instrument (OMI) และจากเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตแบบหลายช่องสัญญาณ

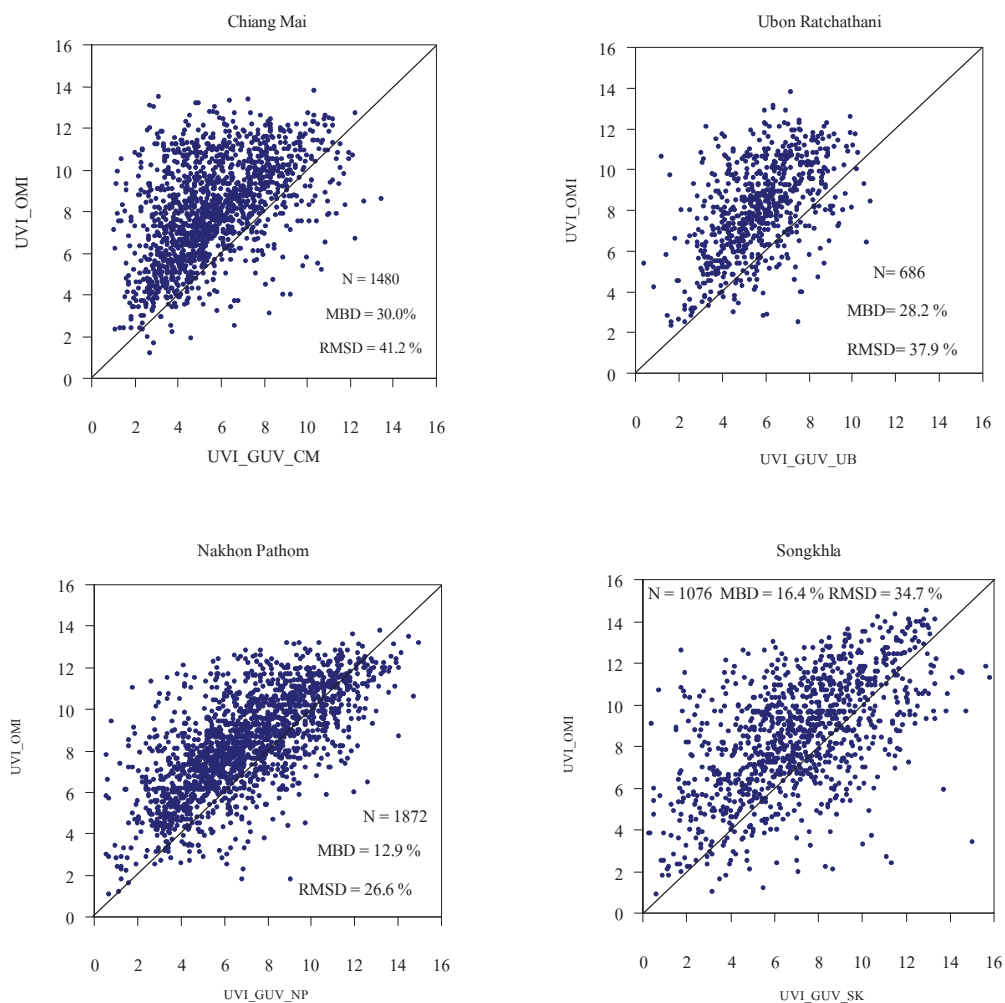
เนื่องจากปัจจุบันค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตสามารถวัดได้จากดาวเทียม แต่จากรายงานวิจัยต่างๆ (Krotkov et al., 1998; Kazantzidis et al., 2006; Ialongo et al., 2008; Tanskanen et al., 2006) พบว่าค่าที่ได้จากดาวเทียมยังมีความแตกต่างจากการวัดภาคพื้นดิน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากดาวเทียม OMI/Aura กับค่าจากการวัดภาคพื้นดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.6.7.1 การเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลต กรณีท้องฟ้าทั่วไป

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากวัดด้วย OMI กับดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดบนภาคพื้นดินด้วยเครื่อง GUV ที่สถานีเชียงใหม่ (1 มกราคม 2006 ถึง 30 พฤศจิกายน 2010) อุบลราชธานี (1 เมษายน 2008 ถึง 30 พฤศจิกายน 2010) นครปฐม (1 มกราคม 2005 ถึง 31 ธันวาคม 2010) และสงขลา (1 มกราคม 2007 ถึง 30 พฤศจิกายน 2010) ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ดาวเทียม Aura ได้ถูกส่งขึ้นไปปฏิบัติการภารกิจและตรงกับช่วงเวลาที่มีการวัดรังสีอัลตราไวโอเลตที่ภาคพื้นดิน

โดยในลำดับแรกผู้วิจัยจะหาเวลาของ OMI ที่โคจรตรงกับสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา เนื่องจากเวลาที่ดาวเทียม Aura เคลื่อนที่ผ่านประเทศไทยจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณเวลา 13.45 น. ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเลือกข้อมูล UV index ที่เวลา ± 30 นาที จากเวลาที่ดาวเทียมเคลื่อนที่ผ่าน (overpass time) และทำการเฉลี่ยค่า UV index ที่ได้ในช่วงเวลานั้นเป็นรายชั่วโมง เพื่อที่จะให้เวลาการวัดดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตจาก OMI และการวัดที่ภาคพื้นดินมีความสอดคล้องและมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ทั้งยังลดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดจากเมฆอีกด้วย แล้วจากนั้นนำข้อมูลมาทำการเขียนกราฟการกระจายเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลทั้งสอง ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 68

จากกราฟจะพบว่าข้อมูล UV index ส่วนใหญ่ที่ได้จาก OMI มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดิน โดยที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และ สงขลา มีค่า mean bias difference (MBD) เป็น 30.0 %, 28.2 %, 12.9 % และ 16.4 % ตามลำดับ



รูปที่ 68 การเปรียบเทียบค่า UV index จาก OMI กับที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ในกรณีท้องฟ้าทั่วไป

การที่ OMI วัดได้สูงกว่าการวัดที่ภาคพื้นดินเนื่องจากผลของฝุ่นละอองที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตในชั้นบรรยากาศที่ใกล้กับพื้นโลกจึงทำให้รังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับจึงน้อยกว่า ขณะที่แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณรังสีอัลตราไวโอเลตของ OMI ไม่ได้คำนึงการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตเนื่องจากฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศที่ใกล้กับพื้นผิวโลก (boundary layer)

3.6.7.2 การเปรียบเทียบดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

การเปรียบเทียบ UV index ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ได้จาก OMI และจากการวัดภาคพื้นดิน ลำดับแรกผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกข้อมูลเฉพาะช่วงเวลาที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของสถานี เชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ที่ตรงกับเวลาที่ดาวเทียม Aura โคจรผ่าน โดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky camera) แล้วทำการเฉลี่ยค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นรายชั่วโมงในช่วงเวลาดังกล่าว สุดท้ายนำค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตจาก OMI มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และสงขลา ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 69

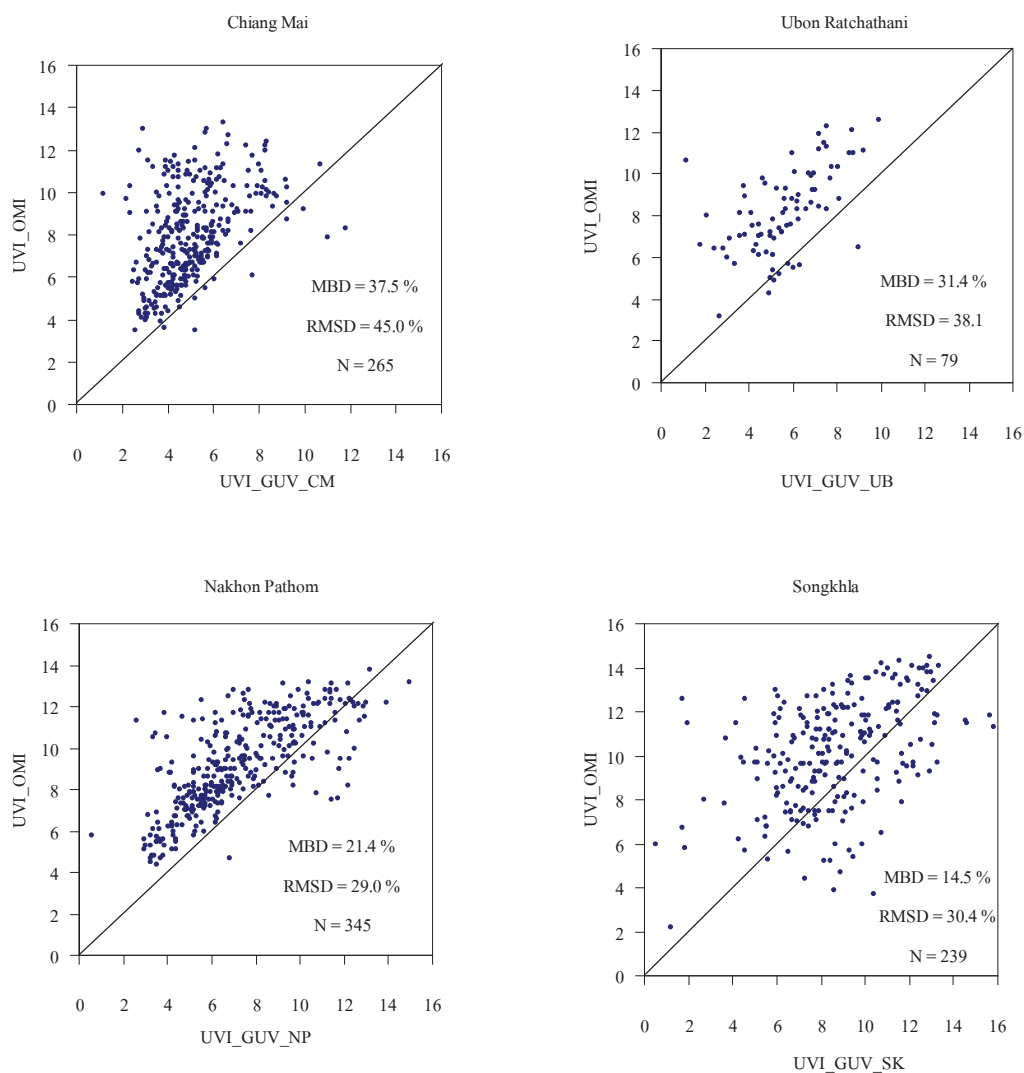
จากกราฟการเปรียบเทียบ UV index จาก OMI กับค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดิน ที่สถานี เชียงใหม่ อุบลราชธานี และ นครปฐม พบว่า UV index จากการวัดด้วย OMI มีค่าสูงกว่าจากการวัดที่ภาคพื้นดิน โดยสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม มีค่า mean bias difference (MBD) เป็น 37.5 %, 31.4 % และ 21.4 % ตามลำดับ สำหรับสถานีสงขลามีค่าใกล้เคียงกับการวัดของ OMI และมีค่า MBD เป็น 14.5 % ซึ่งมีค่าน้อยสุดเมื่อเทียบกับสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม

สำหรับค่า mean bias difference (MBD) ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆสูงกว่าในกรณีท้องฟ้าทั่วไป เนื่องจากในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆจะพิจารณาเฉพาะการดูดกลืนของฟูละอองเท่านั้น ส่วนในกรณีท้องฟ้าทั่วไปจะมีผลของฟูละอองและเมฆรวมกัน ซึ่งผลของเมฆบางกรณีจะทำให้การวัดที่ภาคพื้นดินสูงกว่าการวัดด้วยดาวเทียม (Kazantzidis et al., 2006)

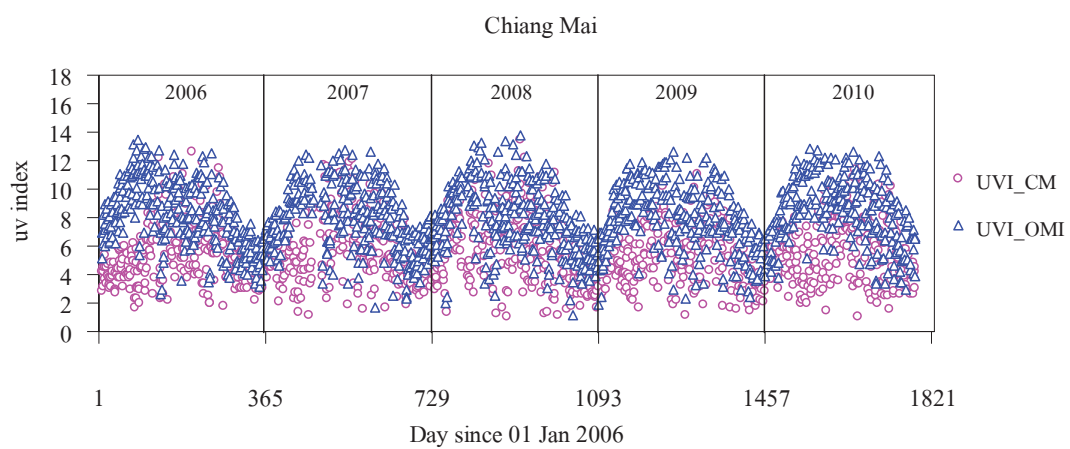
ส่วนการเปรียบเทียบ UV index ตามวันในรอบปีของ OMI กับที่ สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 70-73 พบว่า UV index จาก OMI และการวัดที่ภาคพื้นดิน มีลักษณะการแปรค่าที่คล้ายกันตามวันเวลาในรอบปี แต่ระดับของ UV index จะมีค่าต่างกัน

ความแตกต่างของการวัดจากดาวเทียมและการวัดที่ภาคพื้นดิน มีผลมาจากการวัดที่ภาคพื้นดินเป็นการวัดที่ตำแหน่งเดียวในขณะที่การวัดด้วยดาวเทียมจะคิดเป็นค่าเฉลี่ยจากพื้นที่ทำการวัดทั้งหมดของดาวเทียม (satellite pixel) (Ialongo et al., 2008) นอกจากนี้ ฟูละออง การเปลี่ยนแปลงของเมฆ ระดับความสูง สัมประสิทธิ์การสะท้อนจากพื้นผิวโลก ที่อยู่ภายในพื้นที่พิกเซลที่ดาวเทียมทำการวัดก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำไปสู่ความแตกต่างระหว่าง UV index จาก

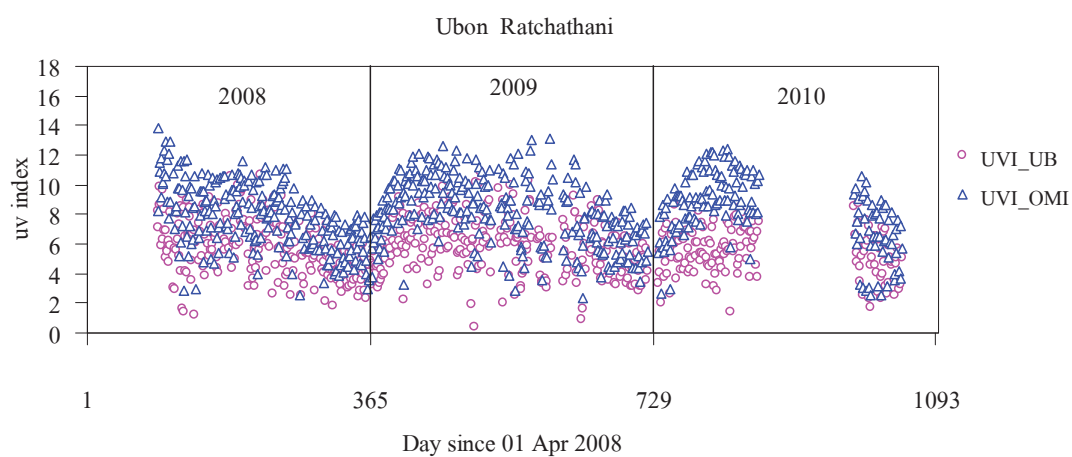
OMI และการวัดภาคพื้นดิน อีกทั้งช่วงเวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านแต่ละสถานี อาจไม่ตรงกันจึงทำให้เกิดความไม่แน่นอนเพิ่มขึ้น สุดท้าย UV index จาก OMI วัดได้สูงเนื่องจากวิธีการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากดาวเทียมไม่ได้คำนึงถึงผลของการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศที่ใกล้กับพื้นผิวโลก (Krotkov et al., 1998; Kazantzidis et al., 2006)



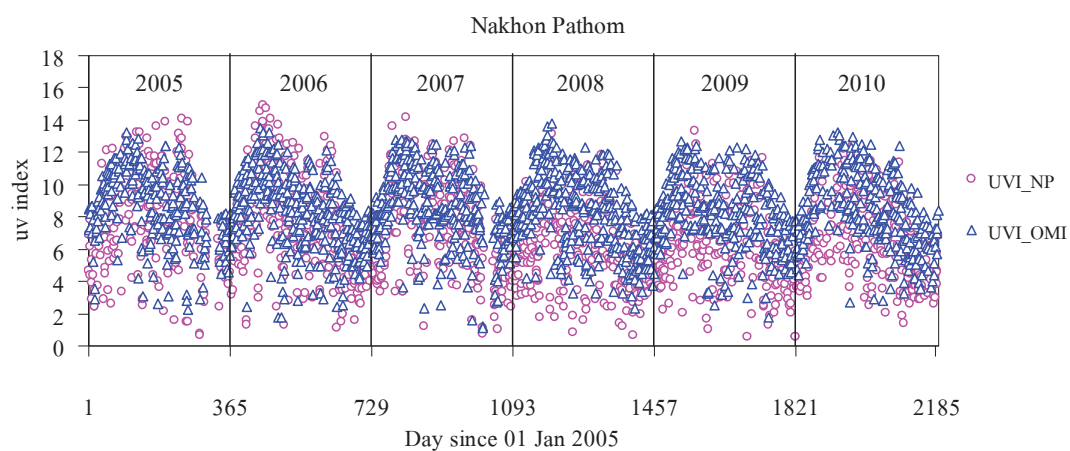
รูปที่ 69 การเปรียบเทียบค่า UV index จาก OMI กับที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ



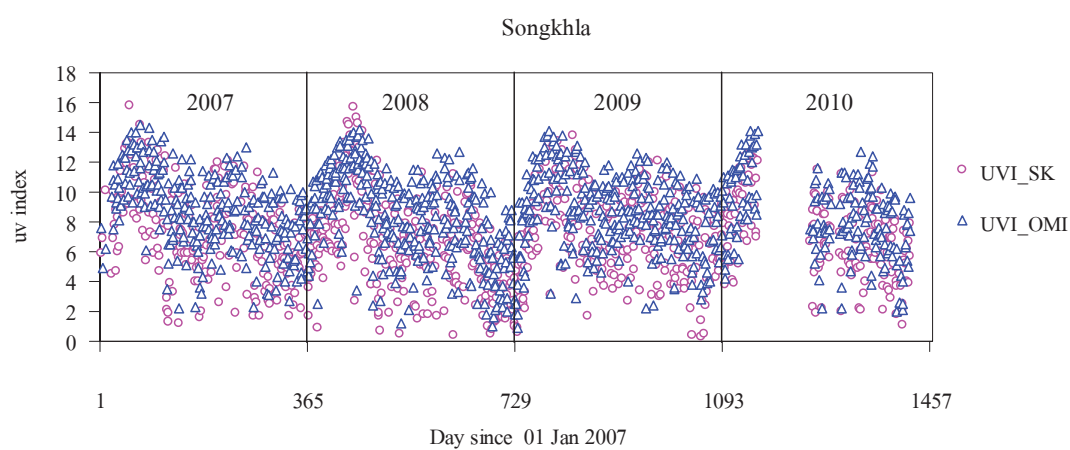
รูปที่ 70 การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆของสถานีเชียงใหม่



รูปที่ 71 การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 72 การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆของสถานีนครปฐม



รูปที่ 73 การแปรค่า UV index ที่ overpass time ตามปีต่างๆของสถานีสงขลา

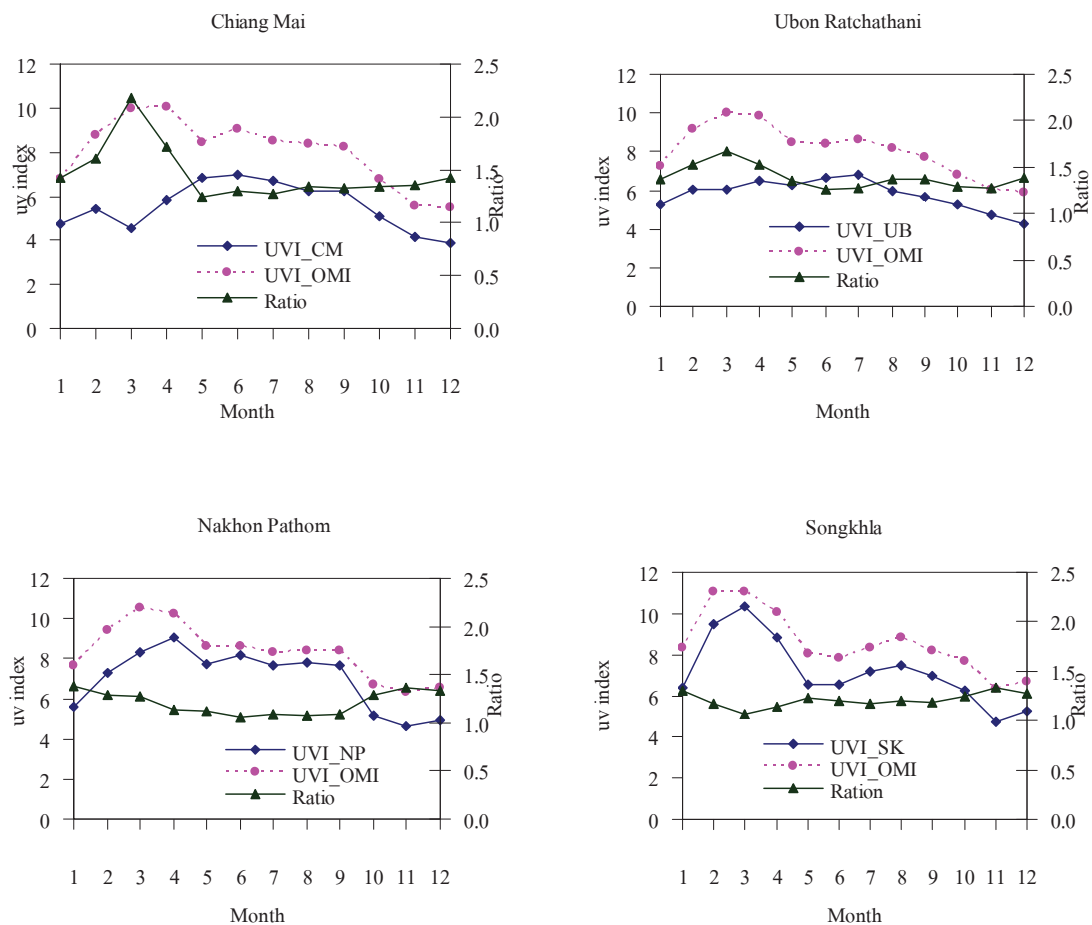
3.6.7.3 การแปรค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี จากการวัดของ OMI และที่ภาคพื้นดิน

ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตที่วัด ณ สถานีหนึ่ง โดยทั่วไปจะแปรตามฤดูกาลในรอบปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าหรือการเปลี่ยนมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (solar declination) และสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการนำค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตรายวันเฉลี่ยต่อเดือน จากการวัดของ OMI และการวัดภาคพื้นดิน ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี พร้อมทั้งแสดงอัตราส่วนดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้จาก OMI ต่อค่าที่ได้จากภาคพื้นดิน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 74

จากกราฟของสถานีเชียงใหม่ และอุบลราชธานี พบว่าค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตมีลักษณะการแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปีที่คล้ายกัน กล่าวคือ ที่สถานีเชียงใหม่ UV index จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม จนสูงสุดในเดือนมิถุนายน มีค่า UV index เท่ากับ 7.0 จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงถึงเดือนธันวาคม ส่วนสถานีอุบลราชธานี UV index จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม จนสูงสุดในเดือนกรกฎาคม มีค่า UV index อยู่ที่ 6.8 สำหรับเดือนมีนาคมของสถานีเชียงใหม่ มีค่าต่ำลงส่งผลทำให้อัตราส่วนระหว่างค่า UV index ที่ได้จาก OMI และ GUV เพิ่มขึ้น เนื่องจากในเดือนมีนาคมเป็นช่วงฤดูแล้ง และมีฝุ่นละอองมาก ทั้งที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลและฝุ่นละอองที่เกิดจากพื้นดินมาก จึงทำให้อัตราส่วนระหว่างค่า UV index ที่ได้จาก OMI และ GUV เพิ่มขึ้น ส่วนสถานีอุบลราชธานี ค่าอัตราส่วนระหว่างค่า UV index ที่ได้จาก OMI และ GUV มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม และสูงสุดในเดือนมีนาคมเนื่องจากผลของฝุ่นละออง และจะลดลงต่ำสุดในเดือนมิถุนายน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงสิ้นปีในเดือนธันวาคม

สำหรับสถานีนครปฐม การแปรค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี มีลักษณะคล้ายกัน เช่นเดียวกับสถานีเชียงใหม่และอุบลราชธานี ดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตของสถานีนครปฐมจะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมและสูงสุดในเดือนเมษายน มีค่า UV index เท่ากับ 9.0 จากนั้นจะลดลงในเดือนพฤษภาคมและลดลงเล็กน้อยจนถึงเดือนกันยายน แล้วจากนั้นจะลดลงไปจนถึงเดือนธันวาคม สำหรับอัตราส่วนระหว่างค่า UV index ที่ได้จาก OMI และ GUV ของนครปฐมพบว่าการลดลงเล็กน้อยตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน จากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่จนถึงเดือนกันยายน แล้วจึงเพิ่มสูงขึ้นในเดือนตุลาคมจนถึงเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มฤดูแล้งทำให้ฝุ่นละอองมีมากขึ้นจึงทำให้อัตราส่วนเพิ่มขึ้น

ในด้านของสถานีสงขลาพบว่า การแปรค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตจาก OMI กับ สถานีสงขลามีลักษณะที่คล้ายกัน ค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเลตของสถานีสงขลาจะเพิ่มขึ้นจากเดือน มกราคม และสูงสุดในเดือน มีนาคม UV index เท่ากับ 10.4 จากนั้นจะลดลงจนถึงเดือน พฤษภาคม และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือน สิงหาคม แล้วค่อยๆลดลงจนกระทั่งถึงเดือน ธันวาคม ค่าดัชนีรังสี อัลตราไวโอเลตในเดือน มีนาคมจะสูงกว่าในเดือนเดียวกันของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และ นครปฐม เนื่องจากสถานีสงขลาตั้งอยู่ใกล้กับชายทะเล ฝุ่นละอองส่วนใหญ่จึงเป็นละอองเกลือ ซึ่ง พัดเข้าสู่ฝั่งตลอดทั้งปี และการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตน้อย จึงทำให้ค่าดัชนีสูงกว่า สำหรับ อัตราส่วนระหว่างค่า UV index ที่ได้จาก OMI และ GUV ของสงขลาพบว่า มีการลดลงจากเดือน มกราคม จนถึงต่ำสุดในเดือน มีนาคม เนื่องด้วยสถานีสงขลา มีการวัดรังสีอัลตราไวโอเลตในเดือน มีนาคม ใกล้เคียงกับการวัดด้วย OMI และจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเดือน เมษายน ถึงเดือน ธันวาคม



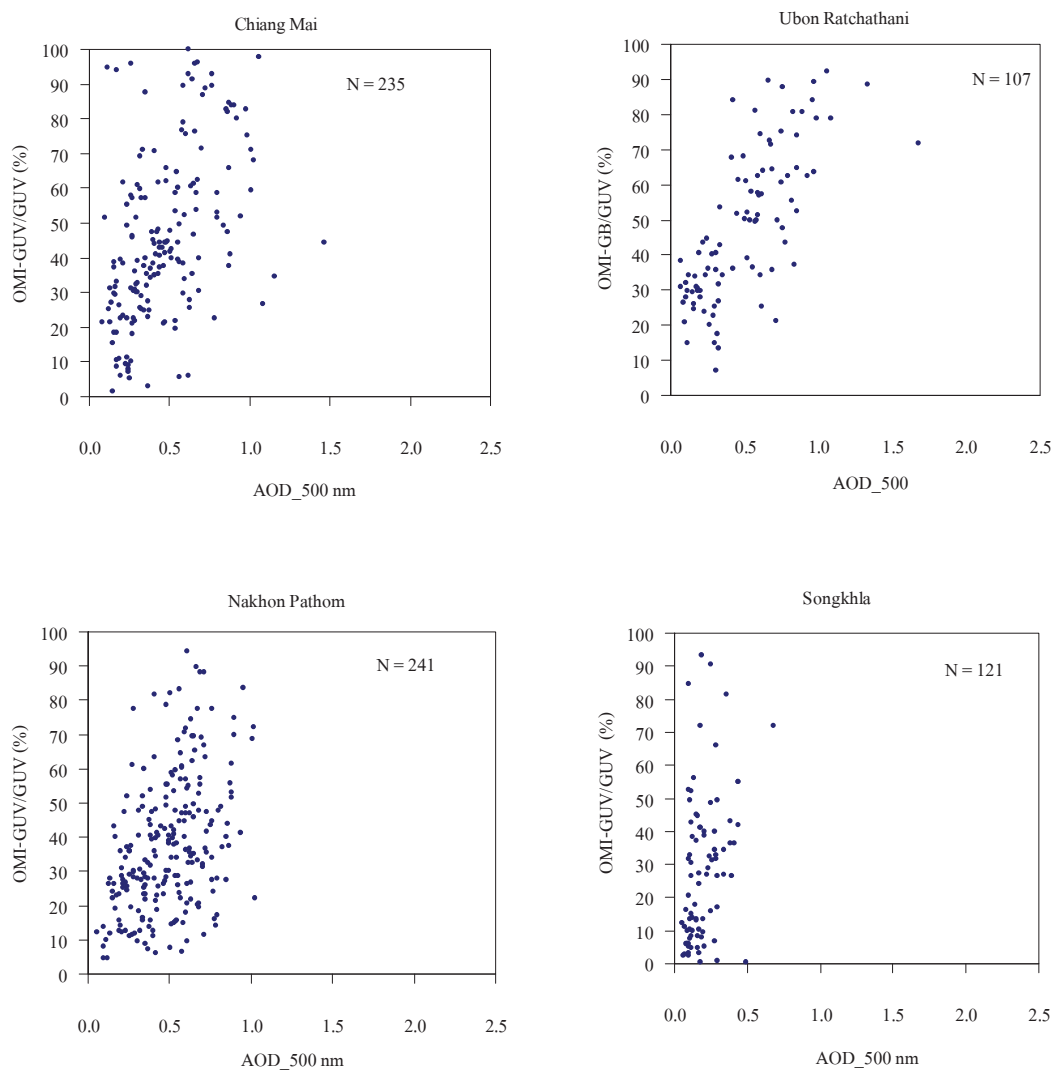
รูปที่ 74 การแปรค่า UV index ที่ overpass time เฉลี่ยต่อเดือนตามฤดูกาลในรอบปี
ของ OMI กับ สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา

3.6.7.4 ผลของฝุ่นละอองที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าดัชนี รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดระหว่าง OMI และ การวัดภาคพื้นดิน

รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกลงบนพื้นผิวโลก มีจุดกำเนิดจากดวงอาทิตย์และเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ก่อนที่จะถึงพื้นโลก รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะถูกลดทอน จากกระบวนการดูดกลืนและการกระเจิง ของโมเลกุลอากาศและก๊าซต่างๆ เช่น โอโซน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน เมฆ และฝุ่นละออง เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการศึกษาผลของฝุ่นละอองที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนจากการวัด ลำดับแรกผู้วิจัยจะทำการเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆในช่วงฤดูแล้ง(dry season)ของแต่ละสถานี โดยสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม จะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนเมษายน ส่วนสถานีสงขลาอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน ขณะที่ฝุ่นละอองนั้น ได้จากการวัดสเปกตรัมรังสีตรงของดวงอาทิตย์จากเครื่อง sunphotometer จะอยู่ในรูปของ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth; AOD) ซึ่งเป็นความสามารถในการลดทอนแสงของฝุ่นละออง ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้ค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 nm จากนั้นทำการเขียนกราฟการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างจากวัดด้วย OMI และ GUV กับค่าของ AOD ทั้ง 4 สถานี ดังแสดงไว้ในรูปที่ 75

จากกราฟ สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม พบว่า มีการกระจายตัวของข้อมูล แต่ก็มองเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของ OMI และ GUV กับค่าของ AOD โดยค่า AOD เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแตกต่างของข้อมูลทั้งสองมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะว่าในช่วงฤดูแล้ง AOD มีค่าสูง ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลและฝุ่นละอองที่เกิดจากพื้นดินมาก สำหรับในช่วงฤดูฝน มีการชะล้างฝุ่นละอองจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลก AOD จึงมีค่าต่ำ ดังแสดงในภาพผนวกรูปที่ 77-79

สำหรับสถานีสงขลา พบว่าแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของ OMI และ GUV กับค่า AOD มีลักษณะที่คล้ายกับสถานีอื่นๆ แต่การกระจายตัวของข้อมูลจะไม่มากเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆเนื่องจากค่า AOD จะมีค่าน้อยกว่า 0.5 เพราะสถานีสงขลาตั้งอยู่ใกล้ชายทะเล และฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็นละอองเกลือ ซึ่งพัดเข้าสู่ฝั่งตลอดทั้งปี นอกจากนี้ สงขลาตั้งอยู่ในภาคใต้ซึ่งมีฤดูฝนที่ยาวนานจึงมีการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลกเกือบตลอดทั้งปี ดังแสดงไว้ในภาพผนวกรูปที่ 80



รูปที่ 75 เปรียบเทียบความแตกต่างของ UV index ระหว่าง OMI และ GUV กับค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 nm ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐมและสงขลา

3.6.7.5 ผลของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของเมฆ (Cloud Transmission Factor, CLT)

ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าดัชนีรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากการวัดระหว่าง OMI และการวัดที่ภาคพื้นดิน

เมฆเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นผิวโลก รังสีดวงอาทิตย์จะถูกลดทอนมากกว่า 95 % ในกรณีที่มีเมฆ cumulonimbus ที่ความยาวคลื่นที่ไม่มีการดูดกลืนของโอโซน จากการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา จากเครื่อง GUV ที่มีช่องความยาวคลื่น 340 และ 380 nm ที่อยู่ในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ ซึ่งไม่มีการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากโอโซน ดังนั้นผู้วิจัยจึงรวมผลของ เมฆ ฝุ่นละออง และสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากพื้นผิวโลก ในรูปของอัตราส่วน ที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของเมฆ (Cloud Transmission Factor, CLT) (Bodeker and McKenzie, 1996; Dahlback, 1996; Høiskar et al., 2003) ซึ่งค่า CLT จะบอกความสามารถในการลดทอนความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากเมฆ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากการวัดระหว่าง OMI และ GUV กับค่าของ CLT โดยที่ค่า CLT จะหาได้จากสมการดังนี้

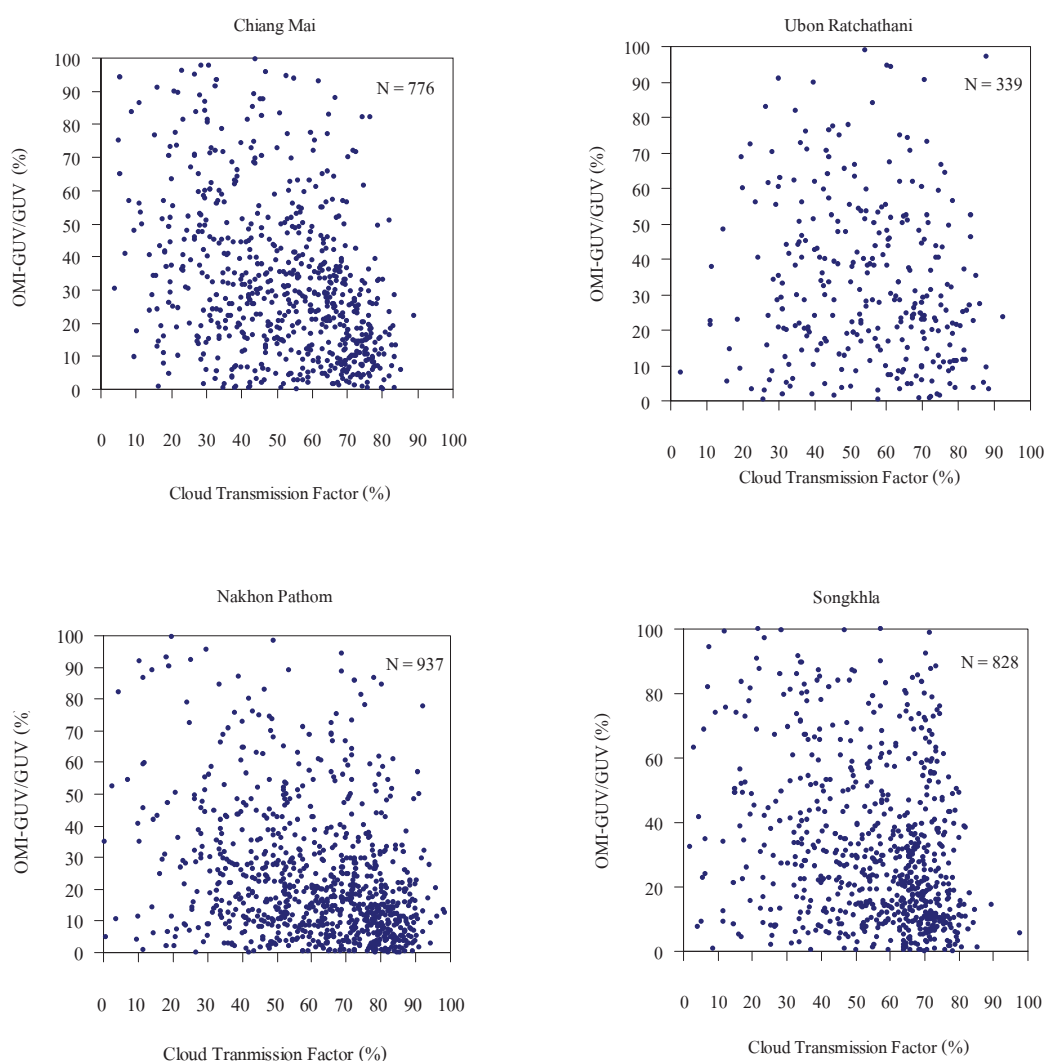
$$CLT = \frac{E_{meas}(\theta)}{E_{clear}(\theta)} \times 100 \quad (3.5)$$

$E_{meas}(\theta)$ = รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 340 nm จากเครื่อง GUV
(mW/m²)

$E_{clear}(\theta)$ = รังสีอัลตราไวโอเล็ตกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ความยาวคลื่น
340 nm คำนวณจาก แบบจำลองการถ่ายเทรังสีในบรรยากาศ (mW/m²)

ในงานวิจัยนี้ ในลำดับแรกผู้วิจัยจะทำการเลือกช่วงฤดูฝนของแต่ละสถานี เนื่องจากฤดูฝนจะมีเมฆในท้องฟ้ามากกว่าฤดูอื่นและฝุ่นละอองในช่วงนี้มีน้อยจึงเหมาะที่จะศึกษาผลของเมฆที่สามารถลดทอนความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม จะอยู่ในเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม สำหรับสถานีสงขลา จะอยู่ในเดือน พฤษภาคม ถึงเดือนมกราคม และนำข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 340 nm ที่ได้จากเครื่อง GUV มาเตรียมไว้ จากนั้นทำการคำนวณหาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 340 nm จากแบบจำลองการถ่ายเทรังสีในบรรยากาศ แล้วจึงนำมาหาค่า CLT และทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างจากการวัด UV index ด้วย OMI และ GUV กับค่า CLT ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 76

จากกราฟรูปที่ 76 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่าง OMI และ GUV กับค่า CLT ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา พบว่ามีการกระจายค่อนข้างมาก แต่ก็พอที่จะเห็นแนวโน้มที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างและค่า CLT ทั้ง 4 สถานี กล่าวคือ ค่า CLT มีค่ามากจะทำให้ความแตกต่างมีค่าน้อยลง เนื่องจาก CLT มากแสงผ่านได้มากแสดงว่ามีเมฆน้อยจึงทำให้การวัดมีความถูกต้องมากขึ้น ในทางกลับกัน ค่า CLT มีค่าน้อยจะทำให้ความแตกต่างมีค่ามากขึ้น



รูปที่ 76 เปอร์เซนต์ความแตกต่างของค่า UV index ระหว่าง OMI และ GUV กับ

ค่า cloud transmission factor ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา

บทที่ 4

สรุป

รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุดที่มาถึงพื้นผิวโลก แต่มีพลังงานของโฟตอนสูง ส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ สิ่งแวดล้อม และทำให้อายุการใช้งานของวัสดุอุปกรณ์สั้นลง อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมายังพบการลดลงของปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่พื้นผิวโลก

ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลการวัดภาคพื้นดินด้วยเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบหลายช่องสัญญาณ ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่สถานีวัด 4 แห่ง ได้แก่ ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ (1 มกราคม 2006 ถึง 30 พฤศจิกายน 2010) สถานีอุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี (1 เมษายน 2008 ถึง 30 พฤศจิกายน 2010) สถานีอุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา (1 มกราคม 2007 ถึง 30 พฤศจิกายน 2010) และที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (1 มกราคม 2005 ถึง 31 ธันวาคม 2010) จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการคำนวณหาค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์และค่าดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายชั่วโมง พบว่า ในวันที่ท้องฟ้าปราศเมฆ ช่วงเวลาที่เที่ยงวันของทุกสถานีจะมีค่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูงมาก (very high) และระดับรุนแรง (extreme) ตามการจำแนกขององค์การอนามัยโลก (WHO) โดยพบว่า สถานีเชียงใหม่มีค่า UV index = 12 อยู่ในเดือนสิงหาคม ที่อุบลราชธานีมีค่า UV index = 12 ในเดือนเมษายน สถานีนครปฐมค่า UV index ในเดือนเมษายนคือมีค่าเท่ากับ 15 ส่วนสถานีสงขลาซึ่งมีค่า UV index สูงสุดเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ คือมีค่าเท่ากับ 18 ในเดือนมีนาคม สำหรับกรณีท้องฟ้าทั่วไปจะมีการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ตามเวลาในรอบวันเช่นเดียวกับกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ ทั้งนี้ค่าความเข้มรังสีที่พื้นผิวโลกที่ได้จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นกับลักษณะการกระจายตัวของเมฆ ปริมาณเมฆ และชนิดของเมฆ ณ ขณะนั้น

สำหรับการแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปี พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันไปจากของสถานีสงขลา โดยค่าสูงสุดของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา จะเท่ากับ 4.55, 4.44, 5.21 และ 5.87 $\text{kJ/m}^2\text{-day}$ ตามลำดับ โดยค่าสูงสุดของสถานีเชียงใหม่อยู่ที่เดือนมิถุนายน สถานีอุบลราชธานีอยู่ที่เดือนกรกฎาคม สถานีนครปฐมอยู่ที่เดือนเมษายน และสถานีสงขลาอยู่ที่เดือนมีนาคม

ในด้านของการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ระยะยาวของทั้ง 4 สถานี ยังไม่เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลที่ใช้อาจยังไม่มากเพียงพอคือมีข้อมูลเพียง 3-6 ปีเท่านั้น

ส่วนกรณีของข้อมูลรายวัน และรายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่า สถานีสงขลาจะมีค่าความถี่ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ในระดับรุนแรงสูงกว่าของสถานีอื่นๆ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือ UV index ที่ได้จากข้อมูล OMI และจากการวัดภาคพื้นดินที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ที่ overpass time ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปพบว่า UV index ที่ได้จาก OMI มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดที่ภาคพื้นดิน โดยมีค่า mean bias difference (MBD) เท่ากับ 30.0%, 28.2%, 12.9% และ 16.4% ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ตามลำดับ ส่วนกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆจะให้ผลในลักษณะเดียวกันคือ OMI คำนวณค่า UV index ได้สูงกว่าค่าจากการวัดที่ภาคพื้นดิน โดย mean bias difference (MBD) มีค่าเท่ากับ 37.5%, 31.4%, 21.4% และ 14.5% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลทั้งสองมีลักษณะการแปรค่าตามฤดูกาลคล้ายคลึงกัน สาเหตุของความแตกต่างของค่าที่ได้จากดาวเทียมกับค่าจากการวัดที่ภาคพื้นดิน อาจมีผลมาจากค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินเป็นค่า ณ ตำแหน่งเดียว (single point) ในขณะที่ค่าที่ได้จากดาวเทียมเป็นค่าเฉลี่ยจากพื้นที่ที่ทำการวัดทั้งหมดของดาวเทียม (satellite pixel) นอกจากนี้ ผู้เฝ้าระวัง การเปลี่ยนแปลงของเมฆ ระดับความสูง สัมประสิทธิ์การสะท้อนจากพื้นผิวโลก ที่อยู่ภายในพื้นที่พิกเซลที่ดาวเทียมทำการวัดก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะนำไปสู่ความแตกต่างระหว่าง UV index จาก OMI กับการวัดที่ภาคพื้นดิน อีกทั้งช่วงเวลาที่ดาวเทียมโคจรผ่านแต่ละสถานี อาจไม่ตรงกันจึงทำให้เกิดความไม่แน่นอนเพิ่มขึ้น

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาผลของฝุ่นละอองที่มีผลต่อความแตกต่างระหว่างค่า UV index ที่ได้จาก OMI และเครื่องวัด GUV โดยพบว่า เมื่อค่า AOD เพิ่มขึ้นจะทำให้ความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสองชุดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนกรณีของข้อมูลสถานีเชียงใหม่

อุบลราชธานี และนครปฐม ส่วนสถานีสงขลา ซึ่งมีค่า AOD น้อยเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ ทำให้ผลของ AOD ต่อค่าความแตกต่างของข้อมูลไม่สามารถเห็นได้ชัดเจน อีกทั้งฝุ่นละอองที่สถานีสงขลาเป็นแบบฝุ่นละอองเกลือซึ่งสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตได้น้อยกว่าฝุ่นละอองแบบชุมชนเมือง

ส่วนผลกระทบของเมฆซึ่งแสดงในรูปของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของเมฆที่มีผลต่อความแตกต่างของค่า UV index ที่ได้จากการ OMI และจากเครื่องวัด GUV พบว่า มีการกระจายของข้อมูลค่อนข้างมาก แต่ก็เพียงพอที่จะเห็นแนวโน้มของความแตกต่างจะมากขึ้นเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของเมฆมีค่าน้อยลง

เนื่องจากสถานีวัดรังสีอัลตราไวโอเลตในประเทศไทย ยังมีอยู่น้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอให้ติดตั้งสถานีวัดรังสีอัลตราไวโอเลตเพิ่มขึ้น พร้อมกับการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต จากข้อมูลความเข้มรังสีรวมที่มีการวัดอยู่ทั่วประเทศ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตครอบคลุมพื้นที่กว้างมากขึ้น

บรรณานุกรม

- Al-Aruri, S., Rasas, M., Al-Jamal, K. and Shaban, N., 1988, An assessment of global ultraviolet solar radiation in the range (0.290-0.385 μm) in Kuwait, *Solar Energy*, 41(2), 159-162.
- Arola, A., S. Kazadzis, N. Krotkov, A. Bais, J. Grobner, and J.R. Herman (2005), Assessment of TOMS UV bias due to absorbing aerosols, *J. Geophys. Res.*, 110, D23211, doi: 10.1029/2005 JD 005913.
- Bais, A. D., Zerefos, C. S., Meleti, C., Ziomas, I. C. and Tourpari, K., 1993, Spectral Measurement of Solar UVB radiation and its relations to total ozone, SO_2 and Clouds, *Journal of Geophysical Research*, 98, 5199-5240.
- Baker, K. S., Smith, R. C. and Green, 1980, A. E. S. Middle ultraviolet radiation reaching the Ocean surface, *Photochemistry and Photobiology*, 32, 367-374.
- Bodeker, G. E., and R. L. McKenzie (1996), Analgorithm for inferring surface UV irradiance including cloud effects, *J. Appl. Meteorol.*, 35, 1860–1877.
- Blum, H. F., 1959, *Carcinogenesis by Ultraviolet Light*, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Chandrasekhar, S., 1960, *Radiative Transfer*, Dover, New York.
- CIE, 1987, A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, Research note, International Commission on Illumination, vol. 6, No. 1.
- Ciren, P., Li, Z., 2003, Long-term global earth surface ultraviolet radiation exposure derived from ISCCP and TOMS satellite measurements, *Agricultural and Forest Meteorology*, 120, 51-68.
- Dahlback, A., 1996, Measurement of biologically effective UV dose, total ozone abundance and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments. *Applied Optic*.
- Diffey, B. L., 1977, The calculations of the spectral distribution of natural ultraviolet radiation Under clear day conditions, *Phy. Med. Biol*, 22, 309-316.

- Eck, T.F., Bhartia, P.K., Kerr, J.B., 1995, Satellite estimation of spectral UVB irradiance using TOMS derived total ozone and UV reflectivity, *Geophysical Research Letter*, 22, 611 - 614.
- Elhadidy, M. A, Abdel – Nabi, D. Y. and Kruss, P. D., 1990, Ultraviolet solar radiation at Dhahran, Saudi Arabia, *Solar Energy*, 44, 513-519.
- Findlay, G.M., 1928, Ultra-violet light and skin cancer. *Lancet*, ii, 1070-1073
- Farman, J. C., Gardiner, B. G. and Shanklin, J. D., 1985, Large losses of total ozone in Antarctic reveal seasonal $\text{Cl}_x\text{O}_x/\text{NO}_x$ interactions, *Nature* 315, 207-210.
- Forster, P. E., 1995, Modelling ultraviolet radiation at the Earth's surface, Part I The sensitivity of ultraviolet irradiances to atmospheric changes, *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2412-2425.
- Gleason, J.F., Bhartia, P.K., Herman, J.R., McPeter, R., Newman, P., Stolarski, R.S., L., Fynn, G., Lablow, Larko, D., Seftor, C., Wellemeyer, C., Komhyr., W.D., Miller, A.J. and Planet W., 1993, Record low global ozone in 1992, *Science* 260, 523-526.
- Grant, R. H. and Heisler, G. M., 2000, Estimation of ultraviolet-B irradiance under variable cloud condition, *Journal of Applied Meteorology*, 39, 904-916.
- Green, A. E. S., Sawada, T. and Shettle, E. P., 1974, The middle ultraviolet reaching the ground, *Photochemistry and Photobiology*, 19, 251-259.
- Høiskar, B. A. K., R. Haugen, T. Danielsen, A. Kylling, K. Edvardsen, A. Dahlback, B. Johnsen, M. Blumthaler, and J. Schreder (2003), Multichannel moderate – band width filter instrument for measurement of the ozone - column amount, cloud transmittance, and ultraviolet dose rates, *Appl. Opt.*, 42, 3472–3479.
- Ialongo, I., Casale, G.R., and Siani, A.M., 2008, Comparison of total ozone and erythema UV data from OMI with ground-based measurements at Rome station, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8, 2381–2401
- Ilyas, M., Pandey, A. and Hassan, S., 1999, UV-B radiation at Penang, *Atmospheric Research* 51, 141-152.
- Iqbal, M., 1983, *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, New York.

- Kazantzidis, A., Bais, A. F., Groebner, J., Herman, J. R., Kazadzis, S., Krotkov, N., Kyro, E., denOuter, P. N., Garane, K., Grts, P., Lakkala, K., Meleti, C., Slaper, H., Tax, R. B., Turunen, T. and Zerefos, C. S., 2006, Comparison of satellite – derived UV irradiances with Ground – based measurements at four European stations, *J. Geophys. Res.*, 111, D13207, doi: 10.1029/2005JD006672.
- Kollias, N. and Baqer, A., 1984, Measurement of solar middle ultraviolet radiation in Kuwait, *Solar and Wind Energy*, 1, 59-62.
- Krotkov, N. A., Bhartia, R. K., Herman, J. R., 1998, Satellite estimation of spectral surface UV irradiance in the presence of troposphere aerosols 1. cloud – free case, *Journal of Geophysical Research*, 103, 8779-8793.
- Krotkov, N.A., Herman, J.R., Bhartia, P.K., Fioletov, V., Ahmad, Z., 2001, Satellite estimation of spectral surface UV irradiance 2. Effects of homogeneous clouds and snow, *Journal of Geophysical Research*, 106, 11,743-11,759.
- Li, Z., Wang, P., Cihlar, J., 2000, A simple and efficient method for retrieving surface UV radiation dose rate from satellite, *Journal of Geophysical Research*, 105, 5027-5036, 2000.
- Lubin, D., Paul, R., Catherine, G., Robert, H.W., 1994, A method for mapping Antarctic surface ultraviolet radiation using multispectral satellite imagery, *Ultraviolet radiation in Antarctica: measurements and biological effects Antarctic research series*, 62, 53-81.
- Madronich, S., 1993, UV Radiation in the natural and perturbed atmosphere, in *UV-B Radiation and Ozone Depletion*, M. Tevini (Ed.), Lewis Publishers, London, 17-69.
- Mayer, B., Seckmeyer, G., Kylling, A., 1997, Systematic long-term comparison of spectral UV measurements and UVSPEC modeling results, *Journal of Geophysical Research* 102, 8755-8767,.
- McKinlay, A. F. and B. L. Diffey, 1987 in *Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations*, ed. W. F. Passchier and B. F. M. Bosnjakovic, Elsevier, Amsterdam, 1987, pp. 83–87.
- Meerkotter, R., Wissinger, B., 1997, Surface UB from ERS-2 / GOME and NOAA/AVHRR data : A case study, *Geophysical Research Letter*, 24, 1939-1942.

- Monlina, M. J. and Rowland, F. S., 1974, Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalyzed destruction of ozone, *Nature*, 249, 810-512.
- Newman, P. A. and Alpert, J. C., 1986, Nimbus7 satellite measurement of the springtime Antarctic ozone decrease, *Nature*, 322, 808-811.
- Nunez, M., Forgan, B., Roy, C., 1994, Estimating ultraviolet radiation at the earth's surface, *International Journal of Biometeorology*, 38, 5-17.
- Nunez, M., Kuchunke, C., Gies, P., 2002, Using broadband erythral UV instruments to measure relative irradiance, *Journal of Geophysical Research*, 107, 4789-4802.
- Nunez, M., 2003, Private communication, Department of Geography and Environmental Studies, University of Tasmania, Australia.
- Piazena, H., 1996, The effect of altitude upon the solar UV-B and UV-A irradiance in the tropical Chilean Andes, *Solar Energy*, 57(2), 133-140.
- Proffitt, M. H., Margitan, J. J., Kelley, K.K., Loewenstein, M., Podolske, J. R. and Chan, k. R. 1990, Ozone loss in the Arctic polar vortex inferred from high-attitude aircraft measurement, *Nature*, 347, 31-36.
- Ren, P. B. C., Gjessing, Y. and Sigernes, F., 1999, Measurement of solar ultraviolet radiation on the Tibetan Plateau and comparisons with discrete ordinate method simulations, *Journal of Atmospheric and Solar – Terrestrial Physics*, 61, 425-446.
- Roffo, A.H., 1939, Physico-chemical etiology of cancer (with special emphasis on the associaation with solar radiation) (Ger.), *Strahlentherapie* 66:238-350.
- Roy, C. R., Gies, H. P., Lugg, D. T., Toomey, S. and Tomlinson, D. W., 1998, The measurement of solar ultraviolet radiation, *Mutation Research* 422, 7-14.
- Schwander, H., Koepke, P. and Ruggaber, A., 1997, Uncertainties in modeled UV irradiances due to limited accuracy and availability of input data, *Journal of Geophysical Research*, 102, 9419-9429.
- Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N., 1998, *Atmospheric Chemistry and Physics*, John Wiley and Sons, New York, pp 28.
- Stamnes, K., Tsay, S. C., Wiscombe, W., Jayaweera, K., 1988, Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media, *Applied Optics*, 27, 2502-2531.

- Tanskanen, A., N.A.Krotkov, J.R.Herman, and A., Arola, 2006, Surface Ultraviolet Irradiance from OMI, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 44(5), 1267–1271.
- Tanskanen, A. et al., 2007, Validation of daily erythemal doses from Ozone Monitoring Instrument with ground-based UV measurement data, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, D24S44, doi:10.1029/2007JD008830
- Tevini, M., 1993, UV-B radiation and ozone depletion effect on Humans, Animals, Plants, Microorganisms, and Materials, Lewis Publishers, USA.
- Tsay, S. C. and Stamnes, K., 1992, Ultraviolet radiation in the Arctic : The input potential ozone depletion and cloud effects, *Journal of Geophysical Research*, 97, 7829-7840.
- UV-Index for the Public –A guide for publication and Interpretation of solar UV Index forecasts for the public prepared by the Working Group 4 of the COST-713 Action ‘UVB Forecasting’, European Communities, ISBN 92828815423, 2000.
- Van der Leun, J. C., Teramura, A. H. and Tevini , M, 1994, Environmental Effect of Stratospheric Ozone Depletion -1994, Assessment, United Nation Environment Program (UNEP), Nairobi, 1994.
- Varotsos, C., 1995, Simulation of broad-band and spectral solar ultraviolet radiation, *International Journal of Solar Energy*, 16, 203-216.
- Verdebout, J., 2000, A method to generate surface uv radiation maps over Europe using GOME, METEOSAT, and ancillary geophysical data, *Journal of Geophysical Research*, 105, 5049-5058.
- Webb, A. R., 1998, UVB Instrumentations and Applications, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, Netherland.
- WHO (World Meteorological Organization), 1979, Ultraviolet Radiation, Environmental Health Criteria 14, World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2002, Global Solar UV index :A practical Guide.
- Zeng, J., Mckenzie, R., Stamnes, K. and Wineland, M., 1994, Measured UV spectra compared with discrete ordinate method simulations, *Journal of Geophysical Research* 99, 23019-23030.

Zerefos, C., Meleti, C., Balis, D., Tourpali, K. and Bais, A. F., 1998, Quasi- biennial and longer-term changes in clear sky UV-B solar irradiance, *Geophysical Research Letter*, 25, 4345-4348.

ทิพวรรณ สุธา. 2539, “การศึกษาลักษณะทางสถิติของรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งวัดที่จังหวัดนครปฐม.” การศึกษารายบุคคล สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สุมามาลย์ บรรเทง. 2543, “การศึกษาลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงและรายวันซึ่งวัดที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม” รายงานการศึกษาวิชา การศึกษารายบุคคล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

กิริติ เกิดศิริ. 2548, “การศึกษาลักษณะทางสถิติและแบบจำลองของรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ในประเทศไทย” วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย. 2551, “ศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตแบบสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง spectroradiometer (Bentham, DMc 150) ที่สถานีวัด มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบจำลองการถ่ายเทรังสี UVSPEC

แบบจำลองการถ่ายเทรังสี 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 จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมาสู่พื้นโลกมีค่าลดลงอันเนื่องมาจากการดูดกลืน (absorption) และการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ เมฆ (scattering) และฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศ สำหรับ emission process จะทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของ specific intensity ได้ดังนี้

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

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	= มุมอาซิมุท (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) และใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านรังสีอัลตราไวโอเล็ตปี ในการใช้งานโปรแกรม UVSPEC ค่าตั้งต้น (input) ที่จะต้องใส่ลงในโปรแกรมได้แก่ วันในรอบปี (Julian day) มุมเซนิต (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)
- ค่าความเข้มรังสีตรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีที่ลงมายังพื้นผิวโลก (rfldir)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีที่ลงมายังพื้นผิวโลก (rfldn)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีที่สะท้อนกลับสู่บรรยากาศ (flup)
- ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีเฉลี่ย (uavg)
- ค่าความเข้มรังสีตรงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีสำหรับความเข้มรังสีเฉลี่ย (uavgso)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีเฉลี่ยที่ลงมายังพื้นผิวโลก (uavgdn)
- ค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตปีเฉลี่ยที่สะท้อนกลับสู่บรรยากาศ (uavgup)

ดังนั้นความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีทั้งหมดที่ลงมายังพื้นผิวโลก จะมีค่าเท่ากับผลรวมของค่าความเข้มรังสีตรงของรังสีอัลตราไวโอเลตบีที่ลงมายังพื้นผิวโลกกับค่าความเข้มรังสีกระจายของรังสีอัลตราไวโอเลตบีที่ลงมายังพื้นผิวโลก ดังสมการ

$$\text{irr_down} = \text{rfldir} + \text{rfldn}$$

ตัวอย่าง input ของโปรแกรม UVSPEC

```
data_files_path data/
atmosphere_file data/atmmod/afglt.dat
solar_file data/solar_flux/apm_1nm
albedo 0.05
wvn 280.0 400.0
rte_solver disort
deltam on
nstr 6
zout 1.000
aerosol_vulcan 1
aerosol_haze 6
aerosol_season 1
aerosol_visibility 7
ozone_column 270.5
day_of_year 1
sza 82.57
```

เมื่อ data_files_path = ระบุตำแหน่งไฟล์ข้อมูลที่นำมาใช้งานในการ run โปรแกรม
 atmosphere_file = ข้อมูล profile ของบรรยากาศ
 solar_file = ไฟล์สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก
 albedo = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก
 wvn = ช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการจะทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์
 rte_solver = วิธีการที่เลือกใช้ในการแก้สมการการถ่ายเทรังสี

$\text{deltam} = \text{Delta} - \text{Msacling}$
 $\text{nstr} =$ จำนวน stream ที่ใช้ในสมการการถ่ายเทรังสี
 $\text{zout} =$ ค่าความสูงของจากพื้นดินที่จะให้ทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (กม.)
 $\text{aerosol_vulcan} =$ condition ของฝุ่นละอองที่ความสูงเหนือ 2 กม.
 $\text{aerosol_haze} =$ ชนิดของฝุ่นละอองที่ความสูงต่ำกว่า 2 กม.
 $\text{aerosol_season} =$ กำหนดฤดูกาลที่จะนำมาใช้กับ profile ของฝุ่นละออง
 $\text{aerosol_visibility} =$ ค่าทัศนวิสัย (กม.)
 $\text{ozone_column} =$ ปริมาณโอโซน (ชม.)
 $\text{day_of_year} =$ Julian day เช่น วันที่ 1 ม.ค. จะได้ค่า Julian day เป็น 1
 $\text{sza} =$ ค่า cosine มุมเซนธิของดวงอาทิตย์ (องศา)

การใช้งานโปรแกรม UVSPEC

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

UVSPEC < input_file > output_file

ในที่นี้ input file คือ input.txt สำหรับ output_file จะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะตั้งชื่อว่าอะไรแต่จะมีนามสกุลเป็น “.out”

ตัวอย่าง output ของโปรแกรม UVSPEC

Lambda (nm)	Rfl _{dir} (W/m ²)	Rfl _{dn} (W/m ²)	Flup (W/m ²)	U _{avg} (W/m ²)	U _{avgso} (W/m ²)	U _{avgnd} (W/m ²)	U _{avgup} (W/m ²)
280		0	0	0	0	1.934955467	0
281	4.32E-30	-2.16E-30	0	0	0	4.32E-30	0
282	1.15E-28	5.74E-29	1.44E-29	0	7.18E-30	1.15E-28	0
283	2.12E-27	0	0	1.06E-27	6.63E-29	2.12E-27	0
284	0	-3.87E-27	-7.75E-27	9.69E-28	0	0	0
285	3.23E-26	1.62E-26	-6.47E-26	-8.09E-27	0	0	0
286	3.59E-24	-8.97E-25	0	1.79E-24	-2.24E-25	3.59E-24	0
287	1.94E-23	-9.70E-24	-3.88E-23	0	0	0	0
288	2.61E-22	-1.30E-22	-5.21E-22	3.26E-23	0	0	0
289	2.27E-20	4.55E-20	5.68E-21	1.42E-21	0	7.10E-22	6.82E-20
290	1.83E-03	6.04E-03	4.38E-04	1.77E-04	7.67E-04	7.84E-05	0.007868284
291	5.32E-03	1.78E-02	1.29E-03	5.15E-04	2.27E-03	2.31E-04	0.023139334
292	1.86E-02	6.37E-02	4.60E-03	1.80E-03	8.19E-03	8.26E-04	0.08234905
293	4.04E-02	1.40E-01	1.01E-02	3.90E-03	1.81E-02	1.81E-03	0.18054623
294	9.80E-02	3.47E-01	2.49E-02	9.46E-03	4.50E-02	4.48E-03	0.4445331
295	1.93E-01	6.90E-01	4.95E-02	1.86E-02	9.01E-02	8.92E-03	0.8829413
296	4.55E-01	1.66E+00	1.19E-01	4.39E-02	2.18E-01	2.14E-02	2.1163727
297	6.65E-01	2.46E+00	1.75E-01	6.41E-02	3.24E-01	3.17E-02	3.1238394
298	1.27E+00	4.77E+00	3.40E-01	1.22E-01	6.32E-01	6.15E-02	6.044511
299	1.82E+00	6.89E+00	4.90E-01	1.75E-01	9.15E-01	8.88E-02	8.713153
300	2.55E+00	9.78E+00	6.94E-01	2.45E-01	1.30E+00	1.26E-01	12.329707
301	4.07E+00	1.57E+01	1.11E+00	3.91E-01	2.09E+00	2.02E-01	19.748256
302	4.94E+00	1.90E+01	1.35E+00	4.75E-01	2.55E+00	2.45E-01	23.975721
303	1.00E+01	3.88E+01	2.75E+00	9.65E-01	5.21E+00	4.99E-01	48.88566
304	1.11E+01	4.29E+01	3.04E+00	1.07E+00	5.76E+00	5.51E-01	54.01062
305	1.57E+01	6.06E+01	4.29E+00	1.51E+00	8.15E+00	7.78E-01	76.25645
306	1.60E+01	6.13E+01	4.35E+00	1.53E+00	8.26E+00	7.88E-01	77.30703
307	2.13E+01	8.18E+01	5.79E+00	2.05E+00	1.10E+01	1.05E+00	103.08364
308	2.58E+01	9.82E+01	6.97E+00	2.47E+00	1.33E+01	1.26E+00	123.99738
309	2.55E+01	9.64E+01	6.84E+00	2.44E+00	1.30E+01	1.24E+00	121.89125
310	2.78E+01	1.05E+02	7.46E+00	2.67E+00	1.42E+01	1.35E+00	132.92646
311	4.31E+01	1.61E+02	1.15E+01	4.13E+00	2.18E+01	2.08E+00	204.38086
312	4.23E+01	1.57E+02	1.12E+01	4.05E+00	2.13E+01	2.03E+00	199.52371
313	4.80E+01	1.77E+02	1.26E+01	4.60E+00	2.40E+01	2.29E+00	225.47427
314	5.13E+01	1.88E+02	1.34E+01	4.91E+00	2.54E+01	2.42E+00	238.8516
315	5.41E+01	1.97E+02	1.40E+01	5.18E+00	2.67E+01	2.54E+00	250.6936
316	5.41E+01	1.97E+02	1.40E+01	5.18E+00	2.67E+01	2.54E+00	250.6936
317	5.41E+01	1.97E+02	1.40E+01	5.18E+00	2.67E+01	2.54E+00	250.6936
318	5.41E+01	1.97E+02	1.40E+01	5.18E+00	2.67E+01	2.54E+00	250.6936
319	5.41E+01	1.97E+02	1.40E+01	5.18E+00	2.67E+01	2.54E+00	250.6936
320	5.41E+01	1.97E+02	1.40E+01	5.18E+00	2.67E+01	2.54E+00	250.6936

ภาคผนวก ข

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์

- a_i = ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละความยาวคลื่น i (mW/V.m^2)
 CLT = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของเมฆ (cloud transmission factor)
 D = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์จากเครื่อง GUV (mW/m^2)
 E = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์จากเครื่อง
 Bentham spectroradiometer GUV (mW/m^2)
 $E_{meas}(\theta)$ = รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่น 340 nm จากเครื่อง GUV (mW/m^2)
 $E_{clear}(\theta)$ = รังสีอัลตราไวโอเล็ตกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ความยาวคลื่น
 340 nm คำนวณจาก แบบจำลองการถ่ายเทรังสีในบรรยากาศ (mW/m^2)
 EUV = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ที่พื้นผิวโลก [W/m^2]
 I_{EUV} = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ [$\text{W/m}^2\text{-nm}$]
 I_λ = สเปกตรัมของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต [$\text{W/m}^2\text{-nm}$]
 O_3 = ปริมาณโอโซน [cm หรือ DU แล้วแต่กรณี]
 $R_{E\lambda}$ = ฟังก์ชันของการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ [-]
 V = ศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหัววัด [V]
 $U_v(\tau_v, \mu, \varphi)$ = specific intensity ในทิศ μ, φ ที่ความลึกเชิงแสง τ
 S = sensitivity ของเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต [$\text{V}/(\text{W/m}^2)$]
 S_v = source function [-]
 τ_v = ความลึกเชิงแสง (optical depth) [-]
 v = ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 μ = cosine ของมุมเซนนิธ
 Z = มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ [องศา]
 φ = มุมอาซิมูธ (azimuth angle [องศา]
 λ = ความยาวคลื่น [nm]
 θ_z = มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ [องศา]

ภาคผนวก ค

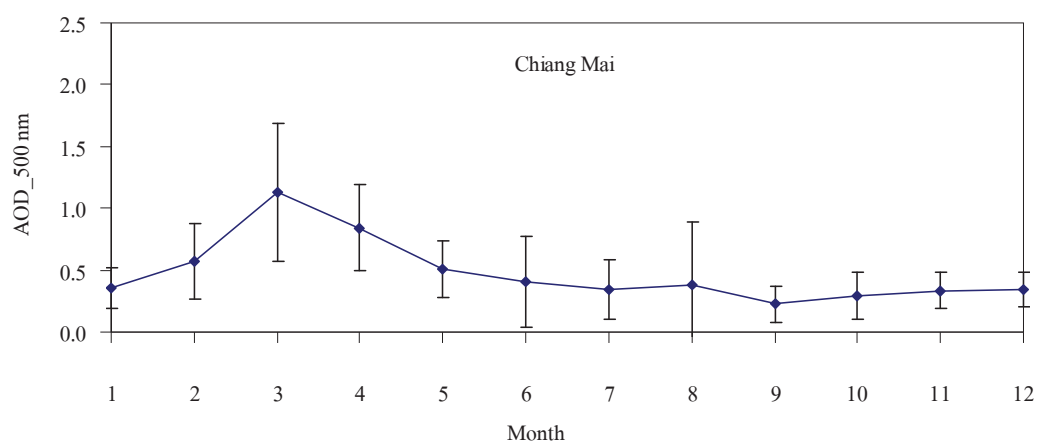
การแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (Aerosol optical depth, AOD)

รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ตามฤดูกาลในรอบปี

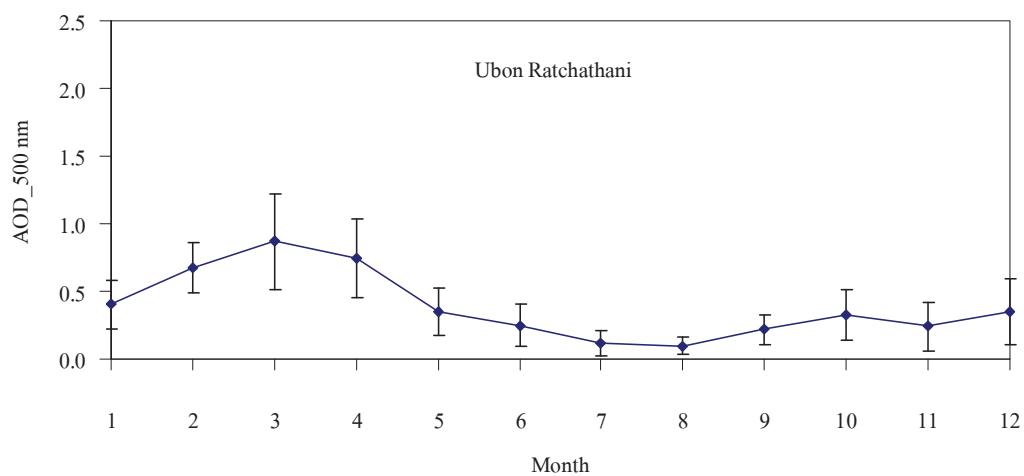
การแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (Aerosol optical depth, AOD) รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ตามฤดูกาลในรอบปี

ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง เป็นความสามารถในการตัดทอนแสงของฝุ่นละออง จากการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จาก Sunphotometer ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร พบว่า ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองทั้ง 4 สถานี มีลักษณะดังแสดงในกราฟรูปที่ 77-80

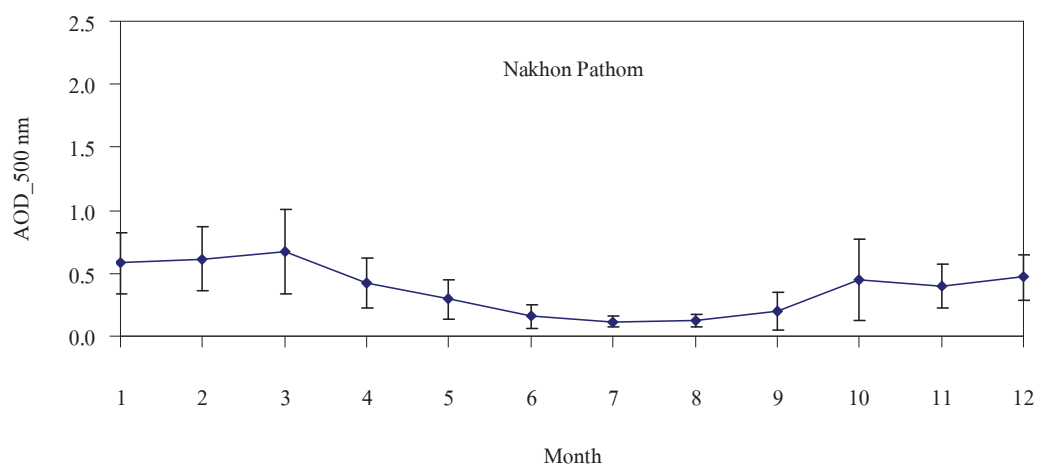
จากกราฟการแปรค่า AOD รายวันเฉลี่ยต่อเดือน พบว่าข้อมูลจากสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม มีลักษณะการแปรค่าคล้ายกัน กล่าวคือ AOD มีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) และมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ทั้งนี้เพราะในช่วงฤดูแล้งมีฝุ่นละอองทั้งจากการเผาไหม้ชีวมวลและฝุ่นละอองที่เกิดจากพื้นดินมาก สำหรับในช่วงฤดูฝน มีการชะล้างฝุ่นละอองจากบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลก AOD จึงมีค่าต่ำ กรณีของสถานีสงขลา ค่า AOD เปลี่ยนแปลงในรอบปีค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะสถานีสงขลาตั้งอยู่ใกล้ชายทะเลและฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็นละอองเกลือ ซึ่งพัดเข้าสู่ฝั่งตลอดทั้งปี นอกจากนี้ สงขลาตั้งอยู่ในภาคใต้ซึ่งมีฤดูฝนยาวนานจึงมีการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลกเกือบตลอดทั้งปี



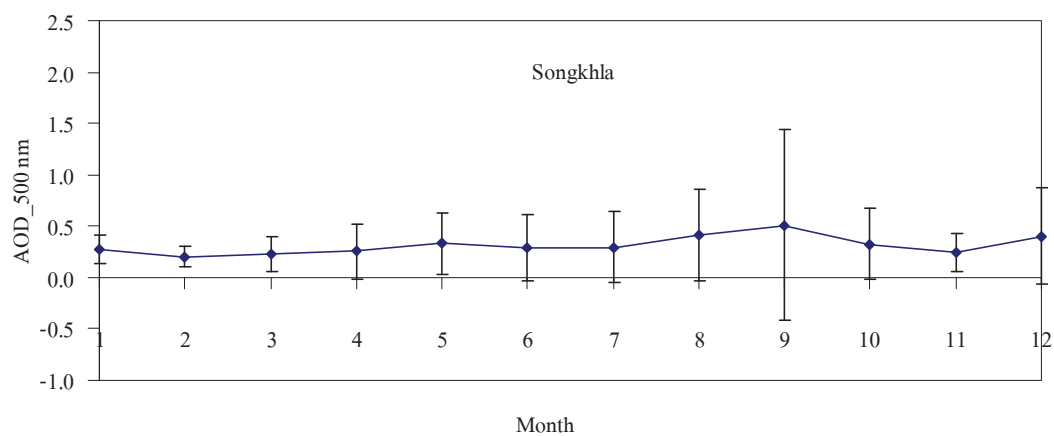
รูปที่ 77 การแปรค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีเชียงใหม่



รูปที่ 78 การแปรค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานี
อุบลราชธานี



รูปที่ 79 การแปรค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีนครปฐม



รูปที่ 80 การแปรค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีสงขลา

ภาคผนวก ง

การแปรค่าของปริมาณเมฆตามฤดูกาลในรอบปี

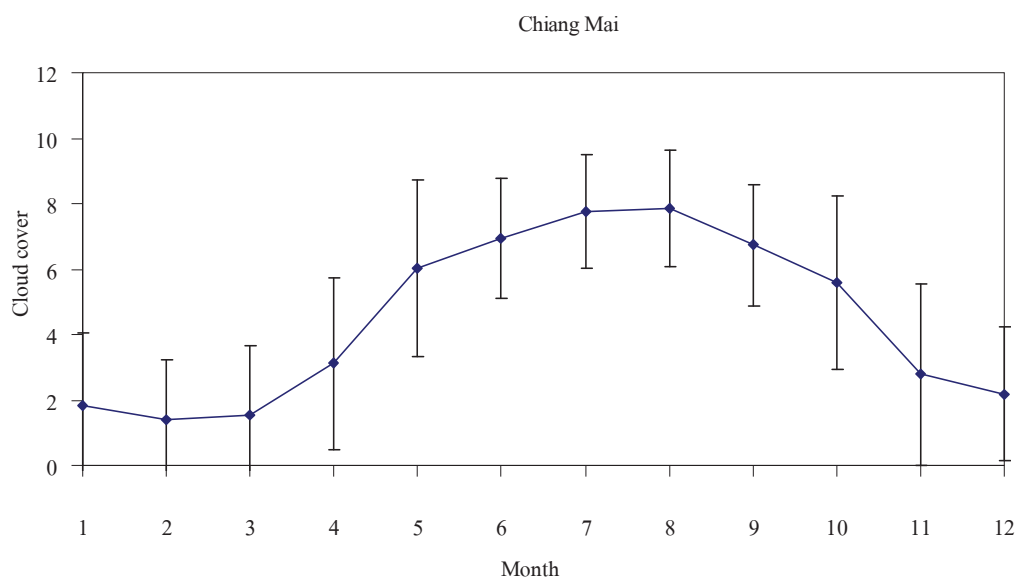
การแปรค่าของปริมาณเมฆตามฤดูกาลในรอบปี

ปริมาณเมฆ(cloud cover) ที่ทำการวัด ณ ที่หนึ่ง โดยทั่วไปจะแปรตามฤดูกาลในรอบปี เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลปริมาณเมฆที่สังเกตด้วยตาจากสถานีอุตุนิยมวิทยาเชียงใหม่ อุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี อุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร และอุตุนิยมวิทยาสงขลา มาทำการคำนวณหาปริมาณเมฆเป็นรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่เวลา 10.00 – 16.00 น. ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลปริมาณของกรุงเทพมหานครแทนที่สถานีนครปฐม เนื่องจากสถานีนครปฐมไม่มีการวัดปริมาณเมฆในแต่ละวัน และระยะห่างระหว่างกรุงเทพมหานครและนครปฐมไม่ไกลมากจึงสามารถนำมาแทนได้ แล้วจากนั้นนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี พร้อมทั้งได้แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณเมฆผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 81-84

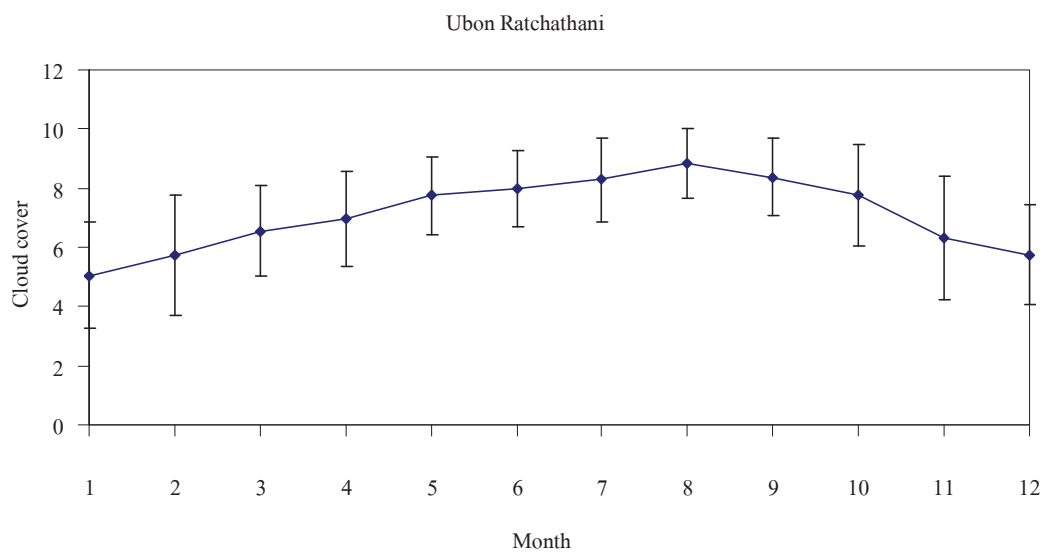
จากกราฟของสถานีเชียงใหม่ พบว่าลักษณะการแปรค่าของปริมาณเมฆในเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม จะมีปริมาณเมฆน้อยและค่อนข้างคงที่ แต่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนเมษายน จนไปสูงสุดในเดือนสิงหาคม จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน จึงทำให้มีเมฆมาก และจะลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนพฤศจิกายน จนถึงเดือนธันวาคม เนื่องจากเริ่มเข้าสู่ฤดูแล้งจึงทำให้มีเมฆลดลง

สำหรับสถานีอุบลราชธานี และกรุงเทพมหานคร จะพบว่าการแปรค่าของปริมาณเมฆมีลักษณะที่คล้ายกัน โดยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม จนสูงสุดในเดือนสิงหาคมสำหรับที่อุบลราชธานี และเดือนกรกฎาคม ที่กรุงเทพมหานคร จากนั้นก็จะลดลงไปจนถึงปลายปีในเดือนธันวาคม

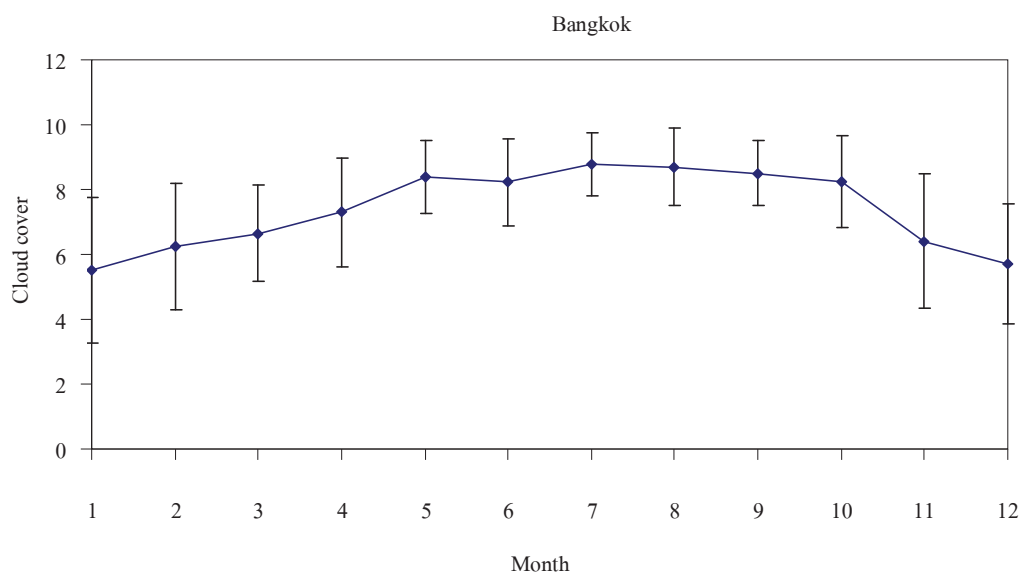
ในด้านของสถานีสงขลา พบว่าในเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนเมษายน ปริมาณเมฆจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อน และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนพฤษภาคม จนถึงเดือนมกราคมเป็นผลมาจากช่วงดังกล่าวมีลมมรสุมจึงมีฝนและเมฆมากขึ้น



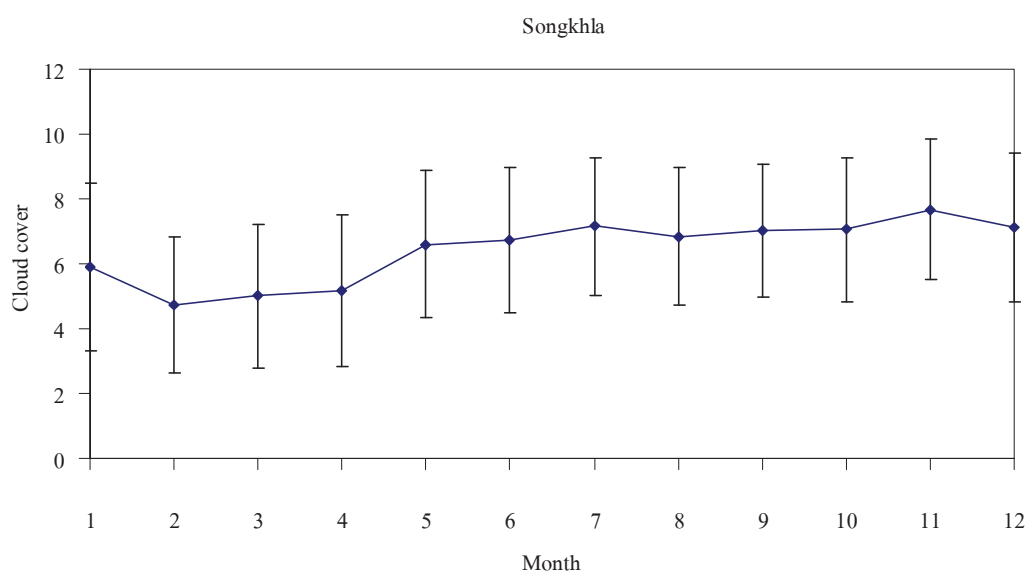
รูปที่ 81 การแปรค่าของปริมาณเมฆรายวันเฉลี่ยต่อเดือนตามฤดูกาลในรอบปีของ
สถานีเชียงใหม่



รูปที่ 82 การแปรค่าของปริมาณเมฆรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ตามฤดูกาลในรอบปีของ
สถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 83 การแปรค่าของปริมาณเมฆรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ตามฤดูกาลในรอบปีของ
สถานีกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 84 การแปรค่าของปริมาณเมฆรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ตามฤดูกาลในรอบปีของ
สถานีสงขลา

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นายสุภวัฒน์ วิสิฐศิริกุล

ที่อยู่

4/1 หมู่ 4 ตำบลสามหมื่น อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านตาก “ประชาวิทยาคาร”
อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก

พ.ศ. 2548

สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร

พ.ศ. 2551

ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม