



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ในบริเวณประเทศไทย

(A Study of Solar Ultraviolet Radiation in Thailand)

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย และคณะ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

เดือนตุลาคม 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ในบริเวณประเทศไทย

(A Study of Solar Ultraviolet Radiation in Thailand)

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทน์ฉาย | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ |
| 2. อาจารย์สุมาลย์ บรรเทียง | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ |
| 3. อาจารย์กรทิพย์ โต๊ะสิงห์ | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ |
| | มหาวิทยาลัยศิลปากร |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สรุปผู้บริหาร

รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งมีพลังงานโฟตอนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี เนื่องจากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาผลการศึกษาจากประเทศต่างๆ แสดงให้เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีในพื้นที่ต่างๆ ในโลก การเพิ่มขึ้นดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการวัดและติดตามการเปลี่ยนแปลงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณและลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีดังกล่าว

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยโดยวิธีการวัดภาคพื้นดิน และการคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในด้านการวัด ผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) ซึ่งประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีเป็นส่วนใหญ่ โดยได้ติดตั้งเครื่องวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี สงขลา และมหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม จากนั้นได้นำข้อมูลที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความเข้มสูงสุดของ EUV ตอนเที่ยงในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ในฤดูร้อนจะมีค่าอยู่ในระดับสูงหรือสูงมากตาม Canadian AES scale และโอกาสที่จะได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในระดับสูงหรือสูงมากจะอยู่ในช่วงบ่ายมากกว่าในช่วงเช้า เมื่อเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันเฉลี่ยต่อปีจากสถานีวัดทั้ง 4 แห่ง พบว่า สถานีสงขลามีค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงสุด และเมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างปีต่างๆ ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต (EUV) พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เชียงใหม่และนครปฐมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์รังสีอัลตราไวโอเล็ตรวม (TUV) ซึ่งประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีที่จังหวัดนครปฐมและศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบีที่จังหวัดเชียงใหม่ นครปฐม และสงขลา ผลการวิเคราะห์พบว่าการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีของรังสีดังกล่าว ส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกับ EUV

เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต (EUV) มีอันตรายต่อมนุษย์ ผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณความเข้มรังสีดังกล่าวทั่วประเทศโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจำนวน 8 ปี จากผลการศึกษาพบว่าบริเวณที่มีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงอยู่ในพื้นที่ตอนล่างของภาคกลาง ตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางส่วนของพื้นที่ภาคใต้

สุดท้าย ผู้วิจัยเสนอแนะให้ดำเนินการวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามสถานที่ที่จัดตั้งไว้แล้วต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลต่อเนื่องระยะยาวสำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงรังสีอุลตราไวโอเลตในประเทศไทย นอกจากนี้ควรจัดให้มีการพยากรณ์รังสีอุลตราไวโอเลตเป็นประจำ เพื่อให้นักท่องเที่ยวและบุคคลทั่วไปหลีกเลี่ยงอันตราย ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตมากเกินไป

Executive Summary

The solar ultraviolet radiation incident on the Earth's surface is part of the solar spectrum which has a high photon energy in the wavelength of ultraviolet B (UV-B). As excessive level of UV-B a number of investigation have indicated trends increasing of UV-B during the past 20 years in many parts of the world is harmful to humans, animals and micro-organisms, it is therefore essential to monitor the quantities and statistical characteristics of the solar ultraviolet radiation.

In this study, the solar ultraviolet radiation over Thailand was investigated using both ground-based measurement and satellite-based calculation. For the ground-based measurement, erythemal ultraviolet radiation (EUV) which consists of mainly UV-B was measured at meteorological stations at Chiang Mai, Ubon Ratchathani, Songkhla and at Silpakorn University, Nakhon Pathom. Analyses of EUV data obtained from those stations revealed that the peak value of EUV irradiance on clear days in summer was in the high or extremely high levels according to the Canadian AES scale and the probability to receive these levels in the afternoon was more than that in the morning. The yearly average EUV daily dose of Songkhla is the highest of all stations.

The inter-annual variation of EUV daily dose exhibited a slight increase trend at Chiang Mai and Nakhon Pathom. The total ultraviolet radiation which consists of UV-A and UV-B at Nakhon Pathom and the absolute UV-B at Chiang Mai and, Nakhon Pathom were also measured and analyzed. In most cases the diurnal and seasonal variations of TUV and UV-B were similar to those of EUV. Due to its adverse effects on human health, the erythemal ultraviolet radiation (EUV) over the country was calculated using an 8-year period of satellite data.

The spatial distribution of EUV indicates that the areas that received the high EUV dose were in the low part of the Central Region, the low part of the Northeast and most part of the South.

It is recommended that monitors of solar ultraviolet radiation at the existing stations be continuously monitored and UV forecast be carried out to avoid the harmful effect of solar ultraviolet radiation.

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: RDG4530023

ชื่อโครงการ: การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในบริเวณประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย:

1. รองศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทน์ฉาย

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

โทร. 034-270761 โทรสาร. 034-271189

2. อาจารย์สุมาลย์ บรรเท็ง

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

โทร. 034-270761 โทรสาร. 034-271189

3. อาจารย์กรทิพย์ โต๊ะสิงห์

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

โทร. 034-270761 โทรสาร. 034-271189

ชื่อผู้ช่วยนักวิจัย:

1. นางสาวเกษรินทร์ ห่านประเสริฐ

กรมอุตุนิยมวิทยา

ถนนสุขุมวิท บางนา กรุงเทพฯ

โทร. 02-3994561 โทรสาร. 02-3989838

2. นางสาวกิริติ เกิดศิริ

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

โทร. 034-270761 โทรสาร. 034-271189

3. นางสาวเนตรนภา ชิวปรีชา

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
โทร. 034-270761 โทรสาร. 034-271189

4. นางสาวสุภารัตน์ สุนทรโรภาส

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000
โทร. 034-270761 โทรสาร. 034-271189

ที่ปรึกษาโครงการ:

1. Dr. Manuel Nunez, Department of Geography and Environmental Studies
University of Tasmania, Australia

Email address: serm@su.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 3 ปี (1 กรกฎาคม 2545 ถึง 30 มิถุนายน 2548)

วัตถุประสงค์:

- 1) เพื่อหาปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดภาคพื้นดินร่วมกับการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม
- 2) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและในรอบปีของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย
- 3) เพื่อศึกษาการกระจายตามพื้นที่ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตทั่วประเทศไทย

วิธีการวิจัย:

ในการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในบริเวณประเทศไทย ผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์ (solar erythmal ultraviolet radiation, EUV) ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา 4 แห่ง ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ (18.78° N, 98.98° E) อุบลราชธานี (15.25° N, 104.87° E) นครปฐม (13.82° N, 100.04° E) และสถานีสงขลา (7.2° N, 100.6° E) จากนั้นได้นำข้อมูลที่วัดได้จากสถานีเชียงใหม่และนครปฐม จำนวน 7 ปี (1998-2004) และจากสถานีอุบลราชธานีและสงขลา จำนวน 4 ปี (2001-2004) มาทำการวิเคราะห์ โดยได้ทำการศึกษาการ

เปลี่ยนแปลงของ EUV ในรอบวัน การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงระหว่างปีต่างๆ หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์การแจกแจงทางสถิติของ EUV รายชั่วโมงและรายวัน

ผู้วิจัยยังได้ทำการวัดรังสีอุลตราไวโอเลตรวม (total solar ultraviolet radiation, TUV) และรังสีอุลตราไวโอเลตบี (UV-B) ที่สถานีเชียงใหม่ นครปฐม และสงขลา และทำการวัดสเปกตรัมของรังสีอุลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 305, 315, 320, 340, 380 และ 395 nm ที่สถานีนครปฐม โดยได้นำข้อมูลที่นำมาทำการวิเคราะห์ในลักษณะเดียวกันกับกรณีของ EUV

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการกระจายตามพื้นที่ของ EUV โดยใช้แบบจำลองซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงฟิสิกส์ระหว่างความเข้มของ EUV ที่สะท้อนไปสู่บรรยากาศและความเข้มของ EUV ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก โดย EUV ที่สะท้อนสู่บรรยากาศจะหาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 จำนวน 8 ปี (1995-2002) และได้ทำการพัฒนาวิธีการแปลงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่างของช่องสัญญาณดาวเทียมให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในช่วงความยาวคลื่น EUV โดยใช้ข้อมูล EUV ที่ทำการวัดที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา หลังจากทดสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปคำนวณ EUV ทั่วประเทศ และแสดงผลในรูปของแผนที่ EUV

ผลการศึกษาวิจัย :

ผลจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ EUV ในรอบวันจากข้อมูลทั้ง 4 สถานี แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มสูงสุดของ EUV ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสจะมีค่าอยู่ในระดับสูงหรือสูงมากตาม Canadian AES scale และค่าสูงสุดดังกล่าวจะเป็น 2 เท่าของค่าสูงสุดที่วัดได้ในประเทศที่อยู่ที่ละติจูดกลาง (mid-latitude) ของทวีปยุโรป จากผลการวิเคราะห์ยังพบว่า ความน่าจะเป็นที่จะได้รับ EUV ในระดับสูงมากในช่วงครึ่งวันบ่าย (12:00-18:00) จะมีค่าสูงกว่าในช่วงครึ่งวันเช้า (6:00-12:00) ในด้านของการเปลี่ยนแปลงของ EUV ตามฤดูกาลพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม จะมีลักษณะคล้ายกันและแตกต่างไปจากของสถานีสงขลา โดยค่าสูงสุดของสถานีเชียงใหม่และอุบลราชธานีอยู่ที่เดือนพฤษภาคม ส่วนของสถานีสงขลาและนครปฐมอยู่ที่เดือนมีนาคมและเมษายน ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยต่อปีของ EUV รายวันที่สถานีสงขลาจะมีค่าสูงสุด ในกรณีของการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ พบว่า EUV รายวันของสถานีเชียงใหม่และนครปฐมมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางสถิติซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง EUV กับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ เพื่อใช้สำหรับทำนาย EUV จากค่าความเข้มรังสีรวม

กรณีของ TUV และ UV-B ผลการวิเคราะห์พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีคล้ายกับของ EUV สำหรับในด้านของสเปกตรัมของรังสี

อุลตราไวโอเลต พบว่าการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีของรังสีที่มีความยาวคลื่นสั้นจะเห็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่าที่ความยาวคลื่นยาว และความเข้มของรังสีอุลตราไวโอเลตจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่นในทุกสภาพท้องฟ้า

ในด้านการศึกษาระยะการกระจายตามพื้นที่ของ EUV จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ผู้วิจัยได้ทดสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบความเข้มของ EUV ที่คำนวณจากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จากสถานีวัด 4 แห่ง ผลที่ได้พบว่า ค่าจากการคำนวณสอดคล้องกับค่าจากการวัด โดยมีค่า RMSD เท่ากับ 7.4% หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปคำนวณค่าความเข้ม EUV และพบว่าบริเวณที่ได้รับ EUV ระดับสูงจะอยู่ในบริเวณตอนล่างของภาคกลางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และส่วนใหญ่ของภาคใต้

สรุปและอภิปรายผล:

จากผลกระทบของรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษารังสีอุลตราไวโอเลตทั้งจากข้อมูลที่ได้จากการวัดตามสถานีต่างๆ และจากการคำนวณด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรายวัน การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ผลการศึกษาทั้งจากสถานีวัดและจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพบว่า พื้นที่ที่ได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตสูงสุดอยู่ในภาคใต้ของประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากภาคใต้ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งได้รับรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกสูงและมีปริมาณโอโซนต่ำ นอกจากนี้ยังพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ EUV เล็กน้อย จากข้อมูลทำการวัดที่สถานีเชียงใหม่และนครปฐม การเพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของฟูลเฮอร์เมซ และโอโซน การวิจัยนี้ได้สร้างองค์ความรู้ด้านรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ในประเทศไทย สำหรับประยุกต์ใช้ในงานด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมและงานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ข้อเสนอแนะ:

เนื่องจากผลการศึกษาพบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของรังสีอุลตราไวโอเลต ดังนั้นจึงสมควรดำเนินการวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามสถานีวัดที่มีอยู่แล้วต่อไป และควรจัดตั้งสถานีวัดเพิ่มเติมให้ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ซึ่งเป็นที่นิยมของนักท่องเที่ยวต่างชาติ นอกจากนี้ควรทำการประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของรังสีอุลตราไวโอเลตในประเทศไทยทุกๆ 5 ปี

คำหลัก: รังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ รังสีดวงอาทิตย์ รังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์ แผนที่ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต

Abstract

Project code: RDG4530023

Project title: A Study of Solar Ultraviolet Radiation in Thailand

Investigators:

1. Associate Professor Dr. Serm Janjai

Laboratory of Atmospheric Physics, Department of Physics,
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

Tel. +66-34-270761 Fax. +66-34-271189

2. Miss Sumaman Buntoung (Lecturer)

Laboratory of Atmospheric Physics, Department of Physics,
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

Tel. +66-34-270761 Fax. +66-34-271189

3. Miss Korntip Tohsing (Lecturer)

Laboratory of Atmospheric Physics, Department of Physics,
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

Tel. +66-34-270761 Fax. +66-34-271189

Research assistants:

1. Miss Kesrin Hanprasert

Thai Meteorological Department
4353 Sukhumvit Road, Bangna District Bangkok 10260, Thailand

Tel. +66-2-3994561 Fax. + 66-2-3989838

2. Miss Keerati Kirdsiri

Laboratory of Atmospheric Physics, Department of Physics,
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

Tel. +66-34-270761 Fax. +66-34-271189

3. Miss Netnapa Chiwpreecha

Laboratory of Atmospheric Physics, Department of Physics,
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

Tel. +66-34-270761 Fax. +66-34-271189

4. Miss Sudarat Suntaropas

Laboratory of Atmospheric Physics, Department of Physics,
Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

Tel. +66-34-270761 Fax. +66-34-271189

Project advisor:

Dr. Manuel Nunez

Department of Geography and Environmental studies,
University of Tasmania, Hobart 7001, Australia

Email address: serm@su.ac.th

Project duration: 3 years (1 July 2002 – 30 June 2005)

Objectives:

1. To acquire information on the amount of solar ultraviolet radiation incident over Thailand from ground-based measurements and satellite-based calculations.
2. To study the diurnal and seasonal variations of solar ultraviolet radiation in the main regions of Thailand.
3. To investigate the geographical distribution of solar ultraviolet radiation over Thailand.

Methodology:

In order to investigate the solar ultraviolet radiation over Thailand, erythema ultraviolet radiation (EUV) was measured at four meteorological stations namely Chiang Mai (18.78°N , 98.98°E), Ubon Ratchathani (15.25°N , 104.87°E), Nakhon Pathom (13.82°N , 100.04°E) and Songkhla (7.2°N , 100.6°E). A seven-year period (1998-2004) of EUV data from Chiang Mai and Nakhon Pathom and a four-year period (2001-2004) of the same data from Ubon Ratchathani and

Songkhla were analyzed. The diurnal, seasonal and inter-annual variations of EUV were investigated. Statistical distributions of EUV hourly irradiance and EUV daily dose were also analysed.

The total solar ultraviolet radiation (TUV) and absolute ultraviolet B (UV-B) at Chiang Mai, Nakhon Pathom and Songkhla and the ultraviolet spectrum at the wavelengths of 305, 315, 320, 340, 380 and 395 nm at Nakhon Pathom were also measured and similar analyses were carried out.

More intensive investigations in terms of EUV spatial distribution were conducted using a satellite-based model, which physically related the EUV incident on the ground to the EUV reflected to the space. The reflected EUV was derived from the eight-year period (1995-2002) of the GMS5 satellite data. A method to convert the earth-atmospheric albedo in EUV wavelengths into that in GMS-5 visible wavelengths was developed employing the EUV data obtained from Chiang Mai, Ubon Ratchathani, Nakhon Pathom and Songkhla. This model was validated and then used to calculate EUV over the country. The results were displayed as EUV maps.

Results:

The results from the analyses of the diurnal variation of EUV from the four stations indicated that the peak values of EUV on clear days of all months were in the high or extremely high levels according to Canadian AES scale and these peak values were approximately two times of those measured in mid-latitude countries in Europe. The EUV data from the four stations also demonstrated that the probability to receive high and extremely high EUV in the afternoon period (12:00-18:00) is more than that in the morning period (6:00-12:00). The EUV seasonal variation of Chiang Mai, Ubon Ratchathani, and Nakhon Pathom had a similar pattern but was different from that of Songkhla. The peak values of this variation occurred in May for Chiang Mai and Ubon Ratchathani and in April and March for Nakhon Pathom and Songkhla, respectively. The yearly average of EUV daily dose of Songkhla was the highest of all stations. The inter-annual variation of EUV daily dose at Chiang Mai and Nakhon Pathom demonstrated a slight increase trend. Statistical models relating the EUV irradiance to the global broadband solar irradiance were also established to predict EUV from global irradiance.

For TUV and UV-B, their diurnal and seasonal variations were similar to those of EUV. In the case of the ultraviolet spectrum, it was observed that its seasonal variation was more

pronounced for long wavelengths than that for short wavelengths. In addition, the intensity of the spectral ultraviolet radiation increased as the wavelength increased for all types of sky.

For the study of the geographical distribution of EUV from satellite data, the satellite-based model used in this study can predict the EUV at the four stations with a discrepancy in terms of RMSD of 7.4%. After the validation, the model was employed to compute the monthly average daily EUV dose over the country and the results were displayed as maps. The yearly map indicated that the areas that received the high EUV dose were in the lower part of the Central Region, lower part of the Northeast and most parts of the South of the country.

Discussion and conclusion:

Due to the impact of solar ultraviolet radiation (UV) on human health and environment, the solar ultraviolet radiation has been investigated from ground-based measurements and satellite-based calculations. Diurnal, seasonal and inter-annual variations of solar erythral ultraviolet radiation have been investigated. From both the ground-based and satellite-based approach, the results indicated that the South received the highest solar ultraviolet radiation. This is due to the fact that this region is situated near the equator with high extraterrestrial solar radiation and low total atmospheric ozone. It was also found that there was a slight increase trend of EUV dose in Chiang Mai and Nakhon Pathom. This trend is probably caused by the long-term change of atmospheric aerosols, clouds and ozone in this region. This study has created the basic information on the solar ultraviolet radiation of the country, which can be beneficially used for human health and environmental applications.

Suggestion:

As solar ultraviolet radiation has a slight increase trend, it is suggested that the measurements of solar ultraviolet radiation in the existing stations be continued and the numbers of measuring stations be increased to cover most parts of the country, especially in the areas popular to foreign tourists. In addition, assessment of solar ultraviolet intensity and its trend should be carried out every five years.

Keywords: solar ultraviolet radiation, solar radiation, erythral ultraviolet, ultraviolet map

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ สกว. ไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง และขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความสนับสนุนด้านเครื่องมือวัสดุอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ในการติดตั้งเครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต ตลอดจนการช่วยเหลือเครื่องมือและจัดส่งข้อมูลมาให้ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลพื้นผิวและข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสัมฤทธิ์ สุทธิประภา และคุณเกษรินทร์ ห่านประเสริฐ ที่ช่วยติดต่อประสานงานและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และขอขอบคุณอาจารย์อรนงค์ แซ่มเล็ก ที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณไอน้ำในช่วงแรกของโครงการ

ในด้านของผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศ ผู้วิจัยขอขอบคุณ Dr. Manuel Nunez, Department of Geography and Environmental Studies, University of Tasmania, Dr. Ann Webb, School of Earth, Atmospheric and Environmental Sciences, University of Manchester และ Professor Berit Kjeldstad, Department of Physics, Norwegian University of Science and Technology ที่ช่วยแนะนำและให้คำปรึกษาด้านการวิเคราะห์ข้อมูล

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ สุชาติา ชินะจิตร ผู้อำนวยการฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะของ สกว. ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการบริหารจัดการโครงการ และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณี อัสกุลชัย และคุณนิสา แก้วแกมทอง ผู้ประสานงาน และเจ้าหน้าที่ของ สกว. ทุกคน ที่ช่วยสนับสนุนงานด้านบริหารและธุรการ จนโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
สรุปผู้บริหาร	i
Executive Summary	iii
บทคัดย่อภาษาไทย	iv
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	viii
กิตติกรรมประกาศ	xii
สารบัญ	xiii
สารบัญรูป	xvii
สารบัญตาราง	xxxv
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
บทที่ 2 หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักทางวิชาการ	3
2.1.1 แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต	3
2.1.2 รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ผ่านบรรยากาศ	6
2.1.3 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ต	7
2.1.4 การวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ต	9
2.1.4.1 การวัดสเปกตรัม	9
2.1.4.2 การวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้าง	13
2.1.4.3 การวัด dosimetry	16
2.1.5 ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV index)	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากสถานีวัดในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย	24
3.1 การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์	
(erythematous ultraviolet radiation, EUV)	24
3.1.1 การวัดและบันทึกข้อมูล	25

	หน้า
3.1.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต	33
3.1.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล	39
3.1.4 จำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์	41
3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล	42
3.1.5.1 การแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)	42
3.1.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation)	53
3.1.5.3 การแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตระหว่างปีต่างๆ (inter-annual variation)	58
3.1.5.4 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมง	65
3.1.5.5 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวัน	84
3.1.5.6 การแปรค่าตามสถิติของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต	90
3.1.5.7 การเปรียบเทียบความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้ใน ในประเทศไทยกับต่างประเทศ	91
3.1.5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับความเข้ม รังสีรวมของดวงอาทิตย์	92
3.1.5.9 สรุป	98
3.2 การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวม (Total ultraviolet radiation, TUV)	100
3.2.1 การวัดและบันทึกข้อมูล	100
3.2.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวม	103
3.2.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล	103
3.2.4 จำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์	104
3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล	104
3.2.5.1 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)	105
3.2.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวมตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation)	109

	หน้า
3.2.5.3 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมง	110
3.2.5.4 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมรายวัน	113
3.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวมกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์	115
3.2.7 สรุป	118
3.3 การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B)	119
3.3.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล	119
3.3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี	124
3.3.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล	128
3.3.4 จำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	129
3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล	130
3.3.5.1 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)	130
3.3.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation)	140
3.3.5.3 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีรายชั่วโมง	143
3.3.5.4 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีรายวัน	153
3.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์	159
3.3.7 สรุป	160
3.4 การศึกษาความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต (Spectral ultraviolet radiation)	161
3.4.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล	161
3.4.2 การควบคุมคุณภาพข้อมูล	163
3.4.3 จำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์	165
3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล	165
3.4.4.1 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)	165

	หน้า
3.4.4.2 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามฤดูกาล ในรอบปี (seasonal variation)	169
3.4.4.3 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตาม ความยาวคลื่น	171
3.4.5 สรุป	185
บทที่ 4 การศึกษาการกระจายตามพื้นที่ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนัง ของมนุษย์โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	186
4.1 การเตรียมข้อมูลดาวเทียม	186
4.2 แบบจำลอง	193
4.3 การหาพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลอง	195
4.3.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกในช่วง ความยาวคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ρ_{EUV})	195
4.3.2 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากโอโซน	201
4.3.3 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากฝุ่นละออง	206
4.3.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกในช่วง ความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (surface albedo, $\rho_{\text{G,EUV}}$)	211
4.4 การทดสอบแบบจำลอง	222
4.5 การคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของ มนุษย์ทั่วประเทศ	235
บทที่ 5 สรุป	263
เอกสารอ้างอิง	266
ภาคผนวกที่ 1 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากงานวิจัย	271
ภาคผนวกที่ 2 การสร้างนักวิจัยใหม่	272
ภาคผนวกที่ 3 ความร่วมมือกับต่างประเทศ	273

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการแบ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงต่างๆของสเปกตรัม ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
รูปที่ 2.2 แสดงความยาวคลื่นของรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงต่างๆ ซึ่งแบ่งตาม ผลกระทบทางชีววิทยา	4
รูปที่ 2.3 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ความยาวคลื่น 3000 Å – 10 μm	5
รูปที่ 2.4 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ความยาวคลื่น 1500-3000 Å	5
รูปที่ 2.5 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ความยาวคลื่น 1-1500 Å	6
รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมของรังสีอุลตราไวโอเลตนอกบรรยากาศโลกและใน บรรยากาศโลกที่ความสูง 3600 m	6
รูปที่ 2.7 แสดงการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ต่อรังสีอุลตราไวโอเลต	7
รูปที่ 2.8 แสดงกราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอุลตราไวโอเลต	8
รูปที่ 2.9 แสดงแผนภูมิของ spectroradiometer	9
รูปที่ 2.10 แสดง cosine response ของหัววัดทั่วไป (เส้นประ) เส้นตรงที่แสดง cosine response ของหัววัดที่สมบูรณ์ และเส้นโค้งที่แสดงค่าของ cosine	10
รูปที่ 2.11 แสดง monochromator แบบคู่	10
รูปที่ 2.12 แสดง slit function ของ monochromatic	11
รูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิของ photomultiplier	12
รูปที่ 2.14 แสดง spectroradiometer ของ Brewer	12
รูปที่ 2.15 แสดงแผนภูมิของเครื่องวัดรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง	13
รูปที่ 2.16 แสดงการตอบสนองของเครื่องวัด erythemat UV (เส้นประ) เทียบกับ การตอบสนองของผิวหนัง (เส้นทึบหนา) และการตอบสนองของเครื่องวัด absolute UV-B (กราฟรูปสี่เหลี่ยม) ส่วนเส้นโค้งแสดงสเปกตรัมของ รังสีดวงอาทิตย์	14
รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของเครื่องวัด erythemat UV ของบริษัท Solar Light	14
รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของเครื่องวัด absolute UV-B ของบริษัท Kipp & Zonen	15

หน้า

รูปที่ 2.19	แสดงลักษณะของเครื่องวัด total UV (UV-A รวมกับ UV-B) ของบริษัท Eppley	15
รูปที่ 2.20	แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต และดัชนีความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ในเขตศูนย์สูตร	17
รูปที่ 3.1	แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ผู้วิจัยได้จัดตั้งขึ้น	26
รูปที่ 3.2	แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต (UV-Biometer) รุ่น 501A	26
รูปที่ 3.3	แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100	27
รูปที่ 3.4	แสดงกราฟของการตอบสนองของเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์	27
รูปที่ 3.5	แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีเชียงใหม่	28
รูปที่ 3.6	แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีเชียงใหม่	28
รูปที่ 3.7	แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีอุบลราชธานี	29
รูปที่ 3.8	แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีอุบลราชธานี	29
รูปที่ 3.9	แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีนครปฐม	30
รูปที่ 3.10	แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีนครปฐม	30
รูปที่ 3.11	แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีสงขลา	31
รูปที่ 3.12	แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีสงขลา	31
รูปที่ 3.13	แสดงตัวอย่างของข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต ซึ่งบันทึกด้วย chart recorder ที่สถานีนครปฐม ในวันที่ 3 มกราคม 2001	32
รูปที่ 3.14	แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่จัดซื้อเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นเครื่องวัดมาตรฐาน	33
รูปที่ 3.15	แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีเชียงใหม่	34

หน้า

รูปที่ 3.16	แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์ที่สถานีอุบลราชธานี	35
รูปที่ 3.17	แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์ที่สถานีนครปฐม	35
รูปที่ 3.18	แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลต่อ ผิวหนังมนุษย์ที่สถานีสงขลา	36
รูปที่ 3.19	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผล ต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้จากห้วัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้วัดของ สถานีเชียงใหม่ เมื่อวันที่ 21 มีนาคม 2548	36
รูปที่ 3.20	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผล ต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้จากห้วัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้วัดของ สถานีอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2548	37
รูปที่ 3.21	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผล ต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้จากห้วัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้วัดของ สถานีนครปฐม เมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2548	37
รูปที่ 3.22	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผล ต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้จากห้วัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้วัดของ สถานีสงขลา เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548	38
รูปที่ 3.23	แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนัง มนุษย์ (EUV) ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC	41
รูปที่ 3.24	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีเชียงใหม่	44
รูปที่ 3.25	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีอุบลราชธานี	45
รูปที่ 3.26	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีนครปฐม	46
รูปที่ 3.27	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีสงขลา	47
รูปที่ 3.28	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน ตามเวลาในรอบวันของสถานีเชียงใหม่ [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	49

หน้า

รูปที่ 3.29	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีอุบลราชธานี [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	50
รูปที่ 3.30	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีนครปฐม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	51
รูปที่ 3.31	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีสงขลา [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	52
รูปที่ 3.32	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีเชียงใหม่ เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	55
รูปที่ 3.33	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีอุบลราชธานี เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	55
รูปที่ 3.34	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีนครปฐม เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	56
รูปที่ 3.35	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีสงขลา เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	56
รูปที่ 3.36	แสดงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของสถานี	57
รูปที่ 3.37	แสดงการแปรค่าของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบตามละติจูด ในเดือนต่างๆ	58
รูปที่ 3.38	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันตามปีต่างๆของสถานีเชียงใหม่ (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)	59

หน้า

รูปที่ 3.39	แสดงการแปรค่าของความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตรายวันตามปีต่างๆ ของสถานีนครปฐม (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)	59
รูปที่ 3.40	แสดงการแปรค่าของความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตรายวันตามปีต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)	60
รูปที่ 3.41	แสดงการแปรค่าของความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตรายวันตามปีต่างๆ ของสถานีสงขลา (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)	60
รูปที่ 3.42	แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ใน 10% แรก จากค่าสูงสุดของสถานีเชียงใหม่	61
รูปที่ 3.43	แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ใน 10% แรก จากค่าสูงสุดของสถานีนครปฐม	61
รูปที่ 3.44	แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ใน 10% แรก จากค่าสูงสุดของสถานีอุบลราชธานี	62
รูปที่ 3.45	แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ใน 10% แรก จากค่าสูงสุดของสถานีสงขลา	62
รูปที่ 3.46	แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่ (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)	63
รูปที่ 3.47	แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานีนครปฐม (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)	63
รูปที่ 3.48	แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)	64
รูปที่ 3.49	แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานีสงขลา (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)	64
รูปที่ 3.50	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลต รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่	66
รูปที่ 3.51	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลต รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี	67
รูปที่ 3.52	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลต รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม	68
รูปที่ 3.53	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลต รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา	69

หน้า

รูปที่ 3.54	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของสถานีต่างๆ	70
รูปที่ 3.55	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีเชียงใหม่	75
รูปที่ 3.56	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีอุบลราชธานี	76
รูปที่ 3.57	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีนครปฐม	77
รูปที่ 3.58	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีสงขลา	78
รูปที่ 3.59	แสดงการแจกแจงของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงตลอด ทั้งปีของสถานีต่างๆ	79
รูปที่ 3.60	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่	85
รูปที่ 3.61	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี	86
รูปที่ 3.62	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม	87
รูปที่ 3.63	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา	88
รูปที่ 3.64	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายวัน (EUV daily dose) ตลอดทั้งปีของสถานีต่างๆ	89
รูปที่ 3.65	แสดงการแปรค่าตามละติจูดของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต เมื่อ H_{uv} เป็นรังสีอัลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	90
รูปที่ 3.66	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตกับ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ	92
รูปที่ 3.67	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับ ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของ สถานีเชียงใหม่	94

รูปที่ 3.68	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของสถานีอุบลราชธานี	94
รูปที่ 3.69	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของสถานีนครปฐม	95
รูปที่ 3.70	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของสถานีสงขลา	95
รูปที่ 3.71	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน ในกรณีท้องฟ้าทั่วไป	97
รูปที่ 3.72	แสดงเครื่องวัด TUV ซึ่งติดตั้งอยู่ที่อาคาร 1 ของอาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม	101
รูปที่ 3.73	แสดงเครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น BD41 ที่ใช้บันทึกสัญญาณ TUV	101
รูปที่ 3.74	แสดงตัวอย่างกระดาษกราฟที่ใช้บันทึกสัญญาณของเครื่องวัด TUV	102
รูปที่ 3.75	แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100 ที่ใช้บันทึกข้อมูล TUV	102
รูปที่ 3.76	แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC	104
รูปที่ 3.77	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ	106
รูปที่ 3.78	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	108
รูปที่ 3.79	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมตามเวลาในรอบปี เมื่อ H_{TUV} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{TUV0} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	109

หน้า

รูปที่ 3.80	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงในเดือนต่างๆ	111
รูปที่ 3.81	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงตลอดทั้งปี	112
รูปที่ 3.82	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายวันในเดือนต่างๆ	114
รูปที่ 3.83	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายวันตลอดทั้งปี	115
รูปที่ 3.84	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงกับรังสีรวมรายชั่วโมงของดวงอาทิตย์ ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ	116
รูปที่ 3.85	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงกับรังสีรวมรายชั่วโมงของดวงอาทิตย์ ในกรณีท้องฟ้าทั่วไป	117
รูปที่ 3.86	แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) รุ่น UV-S-B-C	120
รูปที่ 3.87	แสดงเครื่องบันทึกสัญญาณลงบนกระดาษกราฟของ Yokogawa รุ่น LR4120	120
รูปที่ 3.88	แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100 ที่ใช้บันทึกความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี	121
รูปที่ 3.89	แสดงลักษณะการตอบสนองต่อรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 280-315 nm ของเครื่องวัดรังสีอุลตราไวโอเลตบี	121
รูปที่ 3.90	แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี	122
รูปที่ 3.91	แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่สถานีเชียงใหม่	122
รูปที่ 3.92	แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่สถานีนครปฐม	123
รูปที่ 3.93	แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีซึ่งติดตั้งพร้อมวงแหวนบังรังสีตรงที่สถานีนครปฐม ซึ่งต่อมาภายหลังได้นำไปติดตั้งที่สถานีเชียงใหม่	123
รูปที่ 3.94	แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่สถานีสงขลา	124
รูปที่ 3.95	แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่สถานีนครปฐม	125

รูปที่ 3.96	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Global UV-B) ที่ได้จากห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีนครปฐม เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548	125
รูปที่ 3.97	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Diffuse UV-B) ที่ได้จากห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีนครปฐม เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548	126
รูปที่ 3.98	แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่สถานีสงขลา เมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2548	126
รูปที่ 3.99	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Global UV-B) ที่ได้จากห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีสงขลา เมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2548	127
รูปที่ 3.100	แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC	129
รูปที่ 3.101	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีเชียงใหม่	131
รูปที่ 3.102	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีนครปฐม	132
รูปที่ 3.103	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Diffuse UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีนครปฐม	133
รูปที่ 3.104	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีสงขลา	134
รูปที่ 3.105	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเนื่องตามเวลาในรอบวันของสถานีเชียงใหม่ [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ 1 standard deviation, SD]	136
รูปที่ 3.106	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเนื่องตามเวลาในรอบวันของสถานีนครปฐม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ 1 standard deviation, SD]	137
รูปที่ 3.107	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (diffuse UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเนื่องตามเวลาในรอบวันของสถานีนครปฐม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ 1 standard deviation, SD]	138

รูปที่ 3.108	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีสงขลา [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ 1 standard deviation, SD]	139
รูปที่ 3.109	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีเชียงใหม่ เมื่อ $H_{G,UVB}$ เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	141
รูปที่ 3.110	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีนครปฐม เมื่อ $H_{G,UVB}$ เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	141
รูปที่ 3.111	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (diffuse UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีนครปฐม เมื่อ $H_{DF,UVB}$ เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	142
รูปที่ 3.112	แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีสงขลา เมื่อ $H_{G,UVB}$ เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตรา-ไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน	142
รูปที่ 3.113	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่	144
รูปที่ 3.114	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม	145
รูปที่ 3.115	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (diffuse UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม	146
รูปที่ 3.116	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา	147
รูปที่ 3.117	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี รายชั่วโมงตลอดทั้งปีของสถานีต่างๆ	148
รูปที่ 3.118	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่	154

หน้า

รูปที่ 3.119	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม	155
รูปที่ 3.120	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (diffuse UV-B) รายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม	156
รูปที่ 3.121	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายวันในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา	157
รูปที่ 3.122	แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีรายวันตลอดทั้งปี ของสถานีต่างๆ	158
รูปที่ 3.123	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีและความเข้ม รังสีรวมจากดวงอาทิตย์	159
รูปที่ 3.124	แสดงลักษณะเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลต GUV รุ่น 2511	161
รูปที่ 3.125	แสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลต GUV รุ่น 2511	162
รูปที่ 3.126	แสดงเครื่อง Temperature/computer controller interface ของเครื่องวัด สเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลต	162
รูปที่ 3.127	แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งติดตั้งโปรแกรม Logger	163
รูปที่ 3.128	แสดงตัวอย่างความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่สามารถสังเกต ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์	163
รูปที่ 3.129	แสดงตัวอย่างของความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัด และจากการคำนวณโดยแบบจำลอง UVSPEC	164
รูปที่ 3.130	แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตรา- ไวโอเลต ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ	166
รูปที่ 3.131	แสดงการแปรค่าสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน ตามเวลาในรอบวัน	168
รูปที่ 3.132	แสดงการแปรค่าของความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตตามเวลา ในรอบปี เมื่อ H_{SUV} เป็นความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับ รายวันเฉลี่ยต่อเดือน	170
รูปที่ 3.133	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนมกราคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	172

รูปที่ 3.134	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนกุมภาพันธ์ [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	173
รูปที่ 3.135	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนมีนาคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	174
รูปที่ 3.136	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนเมษายน [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	175
รูปที่ 3.137	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนพฤษภาคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	176
รูปที่ 3.138	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนมิถุนายน [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	177
รูปที่ 3.139	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนกรกฎาคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	178
รูปที่ 3.140	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนสิงหาคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	179
รูปที่ 3.141	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนกันยายน [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	180
รูปที่ 3.142	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนตุลาคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	181
รูปที่ 3.143	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนพฤศจิกายน [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	182

รูปที่ 3.144	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นของเดือนธันวาคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	183
รูปที่ 3.145	แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตรายชั่วโมง เฉลี่ยต่อเดือน ตามความยาวคลื่นตลอดทั้งปี [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]	184
รูปที่ 4.1	แผนภูมิการคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากข้อมูลภาพถ่าย ดาวเทียม	187
รูปที่ 4.2	แสดงลักษณะและส่วนประกอบของดาวเทียม GMS-5	188
รูปที่ 4.3	แสดงระบบการบันทึกภาพของอุปกรณ์ VISSR	189
รูปที่ 4.4	แสดงลักษณะของภาพที่ได้จากสัญญาณ S-VISSR ของดาวเทียม GMS-5 ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย	189
รูปที่ 4.5	แสดงตัวอย่างของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้	190
รูปที่ 4.6	แสดงภาพถ่ายดาวเทียมที่แปลงให้อยู่ในรูป cylindrical projection	191
รูปที่ 4.7	แสดงภาพถ่ายดาวเทียมใน cylindrical projection ที่ทำการหาพิกัดและตัดขนาด ตามความต้องการแล้ว	192
รูปที่ 4.8	แสดงแผนภูมิตามแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น	194
รูปที่ 4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BRIT กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสี ดวงอาทิตย์ของดาวเทียม (Pseudo-reflectivity)	196
รูปที่ 4.10	แสดงสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้น ผิวโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2002	198
รูปที่ 4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและ พื้นผิวโลก ในช่วงความยาวคลื่นของดาวเทียม (ρ_{EA}) และค่าสัมประสิทธิ์ การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตรา- ไวโอเลต (ρ_{EUV})	200
รูปที่ 4.12	แสดงดาวเทียม Earth Probe (EP)	202
รูปที่ 4.13	แสดงเครื่อง Brewer spectrophotometer ที่จังหวัดสงขลา	203
รูปที่ 4.14	แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณ โอโซนที่ได้จาก Brewer spectrophotometer และ TOMS ที่จังหวัดสงขลา (เส้นทแยงมุมเป็นเส้นอ้างอิงกรณีที่ได้จาก brewer spectrophotometer เท่ากับค่าจาก TOMS)	203

รูปที่ 4.15	แสดงปริมาณโอโซนในบรรยากาศ (total column ozone) ของประเทศไทย รายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากข้อมูลTOMS/EP ในช่วงปี ค.ศ. 1996 - 2005	204
รูปที่ 4.15	แสดงปริมาณโอโซนในบรรยากาศ (total column ozone) ของประเทศไทย รายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากข้อมูลTOMS/EP ในช่วงปี ค.ศ. 1996 – 2005 (ต่อ)	205
รูปที่ 4.16	แสดงค่าทัศนวิสัย (visibility) รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของบรรยากาศในบริเวณ ประเทศไทย ของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2002	209
รูปที่ 4.16	แสดงค่าทัศนวิสัย (visibility) รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของบรรยากาศในบริเวณ ประเทศไทย ของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2002 (ต่อ)	210
รูปที่ 4.17	แสดงสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (surface albedo) ในบริเวณ ประเทศไทย ปี ค.ศ. 2002	213
รูปที่ 4.18	แสดงอุปกรณ์สำหรับศึกษาอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสี ดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลก ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอุลตราไวโอเลต ต่อสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกในช่วง ความยาวคลื่นกว้าง	214
รูปที่ 4.19	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกบริเวณพื้นหญ้า ในช่วง ความยาวคลื่นกว้างและในช่วงความยาวคลื่น EUV	215
รูปที่ 4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำ (w) ซึ่งได้จากข้อมูลตรวจ อากาศชั้นบนกับความชื้นสัมพัทธ์ (rh) อุณหภูมิ (T) และความดันไอน้ำ อิ่มตัว (P_s) ซึ่งได้จากข้อมูลพื้นผิว	218
รูปที่ 4.21	แสดงปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในบริเวณประเทศไทยของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2002	220
รูปที่ 4.21	แสดงปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในบริเวณประเทศไทยของเดือนต่างๆ ในปี ค.ศ. 2002 (ต่อ)	221
รูปที่ 4.22	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีเชียงใหม่ ปี ค.ศ. 1998 (เป็นข้อมูลอิสระ)	223
รูปที่ 4.23	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีเชียงใหม่ ปี ค.ศ. 1999 (เป็นข้อมูลอิสระ)	223

รูปที่ 4.33	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีนครปฐม ปี ค.ศ. 2001 (เป็นข้อมูลที่ใช้ใน แบบจำลอง)	228
รูปที่ 4.34	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีนครปฐม ปี ค.ศ. 2002 (เป็นข้อมูลอิสระ)	229
รูปที่ 4.35	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีนครปฐม ปี ค.ศ. 1998 – 2002 (เป็นข้อมูล อิสระ)	229
รูปที่ 4.36	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีสงขลา ปี ค.ศ. 2001 (เป็นข้อมูลที่ใช้ใน แบบจำลอง)	230
รูปที่ 4.37	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีสงขลา ปี ค.ศ. 2002 (เป็นข้อมูลอิสระ)	230
รูปที่ 4.38	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการ วัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ปี ค.ศ. 1998- 2002 (เป็นข้อมูลอิสระ)	231
รูปที่ 4.39	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการวัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีเชียงใหม่ ตั้งแต่เดือนมกราคม ค.ศ. 1998 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2002	232
รูปที่ 4.40	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการวัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีอุบลราชธานี ตั้งแต่เดือน มกราคม ค.ศ. 2001 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2002	232

รูปที่ 4.41	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการวัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีนครปฐม ตั้งแต่เดือนมกราคม ค.ศ. 1998 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2002	233
รูปที่ 4.42	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการวัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีสงขลา ตั้งแต่เดือนมกราคม ค.ศ. 2001 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2002	233
รูปที่ 4.43	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนัง ของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ที่ได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) และจากการวัดภาคพื้นดิน (EUV_{meas}) ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ปี ค.ศ.1998-2002	234
รูปที่ 4.44	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 1995	237
รูปที่ 4.45	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 1996	238
รูปที่ 4.46	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 1997	239
รูปที่ 4.47	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 1998	240
รูปที่ 4.48	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 1999	241
รูปที่ 4.49	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 2000	242
รูปที่ 4.50	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 2001	243
รูปที่ 4.51	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี ค.ศ. 2002	244
รูปที่ 4.52	แสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อ ผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว ของเดือนมกราคม	245

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต	16
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต	39
ตารางที่ 3.2 แสดงช่วงเวลาของข้อมูลนำมาวิเคราะห์	42
ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของสถานีต่างๆ	43
ตารางที่ 3.4 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมงของสถานีเชียงใหม่	71
ตารางที่ 3.5 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมงของสถานีอุบลราชธานี	72
ตารางที่ 3.6 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมงของสถานีนครปฐม	73
ตารางที่ 3.7 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมงของสถานีสงขลา	74
ตารางที่ 3.8 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีเชียงใหม่	80
ตารางที่ 3.9 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมง(ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีอุบลราชธานี	81
ตารางที่ 3.10 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีนครปฐม	82
ตารางที่ 3.11 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีสงขลา	83
ตารางที่ 3.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่วัดได้ใน ต่างประเทศและประเทศไทย	91
ตารางที่ 3.13 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรวม	103
ตารางที่ 3.14 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมรายชั่วโมงในเดือนต่างๆ	112
ตารางที่ 3.15 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี	128
ตารางที่ 3.16 แสดงช่วงเวลาของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์	129
ตารางที่ 3.17 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (global UV-B) รายชั่วโมงของสถานีเชียงใหม่	149

หน้า

ตารางที่ 3.18	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงของสถานีนครปฐม	150
ตารางที่ 3.19	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Diffuse UV-B) รายชั่วโมงของสถานีนครปฐม	151
ตารางที่ 3.20	แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงของสถานีสงขลา	152
ตารางที่ 4.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลก	212
ตารางที่ 4.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาวที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (EUV_{model}) กับที่ได้จากการวัด (EUV_{meas})	235

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

รังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีความสำคัญต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ บนโลก ถึงแม้รังสีอุลตราไวโอเลตจะมีความเข้มรังสีค่อนข้างต่ำแต่ก็มีพลังงานโฟตอนสูง ถ้าได้รับในปริมาณมากจะก่อให้เกิดความเสียหายในระดับ DNA ทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมหรือเกิดโรคต่างๆ ได้ (WHO, 1979) โดยปกติโอโซนในบรรยากาศโลกจะเป็นตัวควบคุมปริมาณความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตไม่ให้มีปริมาณมากเกินไป แต่ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาได้มีการปล่อยสารเคมีหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ สาร chlorofluorocarbon (CFCs) ลอยขึ้นไปสู่บรรยากาศซึ่งทำลายโอโซน ทำให้ปริมาณโอโซนลดลงอย่างรวดเร็ว

จากการสำรวจที่บริเวณขั้วโลกใต้ของ Farman และคณะ (1985) ในปี ค.ศ. 1984 พบว่าปริมาณโอโซนบริเวณเหนืออ่าว Halley ในทวีปแอนตาร์กติกามีการลดลงในช่วง 1 ทศวรรษถึง 40 % ต่อมา มีการพบว่า การลดลงของโอโซนมิได้มีเฉพาะในบริเวณขั้วโลกใต้เท่านั้น แต่พบที่บริเวณขั้วโลกเหนือ (Proffitt et al., 1990) และบริเวณอื่นๆ ของโลกด้วย (Gleason, 1993) โดยในระหว่างปี ค.ศ. 1979-1991 ที่บริเวณ mid-latitude มีการลดลง 3-5 % และที่ high-latitude ลดลง 6-8 % นอกจากนี้ยังพบว่า ในปี ค.ศ. 1992 ปริมาณโอโซนทั่วโลกลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงตามปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงละติจูด $10^{\circ}\text{S} - 20^{\circ}\text{S}$ และ $10^{\circ}\text{N} - 60^{\circ}\text{N}$ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทยด้วย (Gleason, 1993) การลดลงของโอโซนสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลต (Van de Leun et al., 1989) และสอดคล้องกับข้อมูลทางการแพทย์ ซึ่งพบว่าอัตราการป่วยเป็นโรคมะเร็งผิวหนังของประชากรในทวีปอเมริกาเหนือและออสเตรเลียเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของรังสีอุลตราไวโอเลตด้วย

จากผลการศึกษาของ UNEP (Van de Leun et al., 1989) ซึ่งคาดการณ์ว่า ถ้าปริมาณโอโซนในบรรยากาศลดลง 10 % จะมีคนตาบอดเพิ่มขึ้นใหม่ทั่วโลกอีกประมาณ 1 ล้านรายต่อปี เนื่องจากผลของรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังคาดว่า การลดลงของปริมาณโอโซนเพียง 1 % ในระยะยาว อาจทำให้อัตราการเกิดมะเร็งผิวหนังเพิ่มขึ้น 2-3 % และการเพิ่มขึ้นของรังสีอุลตราไวโอเลตยังมีผลกระทบในเชิงลบต่อ micro-organism ทั้งบนบกและในทะเล ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหารโดยส่วนรวมด้วย (Worrest, 1982; Grant, 1997)

จากความสำคัญของการค้นพบดังกล่าว องค์การสหประชาชาติจึงได้จัดให้มีการประชุมนานาชาติ เพื่อหยุดยั้งการสูญเสียบรรยากาศชั้นโอโซนที่เมือง Montreal ประเทศแคนาดา เมื่อปี

ค.ศ. 1987 และ ค.ศ. 1991 และออกข้อกำหนดที่เรียกว่า Montreal protocol ซึ่งประเทศไทยได้ร่วมลงนามด้วย ตามข้อกำหนดดังกล่าว ประเทศสมาชิกที่ลงนามต้องดำเนินการระงับการใช้สารเคมีที่ทำลายบรรยากาศชั้นโอโซนภายในปี ค.ศ. 2010 นอกจากนี้ใน article 6 ของ protocol ยังกำหนดให้จัดทำ scientific assessment และติดตามตรวจวัดสถานะของโอโซนและปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศต่างๆ ด้วย ถึงแม้ว่าจะมีการหยุดยั้งการทำลายบรรยากาศชั้นโอโซนตาม Montreal Protocol แต่ก็จะต้องใช้เวลาอีกประมาณ 50 ปี บรรยากาศชั้นโอโซนจึงจะฟื้นตัวกลับมามีสภาพเดิมก่อนถูกทำลาย ดังนั้นผลกระทบจากการลดลงของโอโซนยังคงมีต่อไป

สำหรับกรณีของประเทศไทย จนถึงปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลหรือผลการศึกษาในเชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับปริมาณและการเปลี่ยนแปลงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเลย ข้อมูลและผลการศึกษาดังกล่าว นับเป็นองค์ความรู้ที่สำคัญ ซึ่งประเทศต้องมีเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงที่สำคัญต่อการออกมาตรการต่างๆ สำหรับป้องกันหรือเตรียมพร้อมรับผลกระทบในระยะยาว ทั้งในด้านสุขภาพและระบบนิเวศน์ของประเทศ

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญขององค์ความรู้ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะทำการศึกษาปริมาณของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยโดยใช้เทคนิคด้าน satellite remote sensing ประกอบกับข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดิน ทั้งนี้เพื่อให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับสถานะของรังสีอัลตราไวโอเล็ตในบริเวณประเทศไทย สำหรับใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในด้านความปลอดภัยและผลกระทบระยะยาวต่อสุขภาพและระบบนิเวศน์ของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์โดยรวมเพื่อหาองค์ความรู้เกี่ยวกับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในบริเวณประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เฉพาะดังนี้

- 1) เพื่อหาปริมาณรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดภาคพื้นดินร่วมกับการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม
- 2) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและในรอบปีของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย
- 3) เพื่อศึกษาการกระจายตามพื้นที่ของรังสีอัลตราไวโอเล็ตทั่วประเทศไทย

บทที่ 2

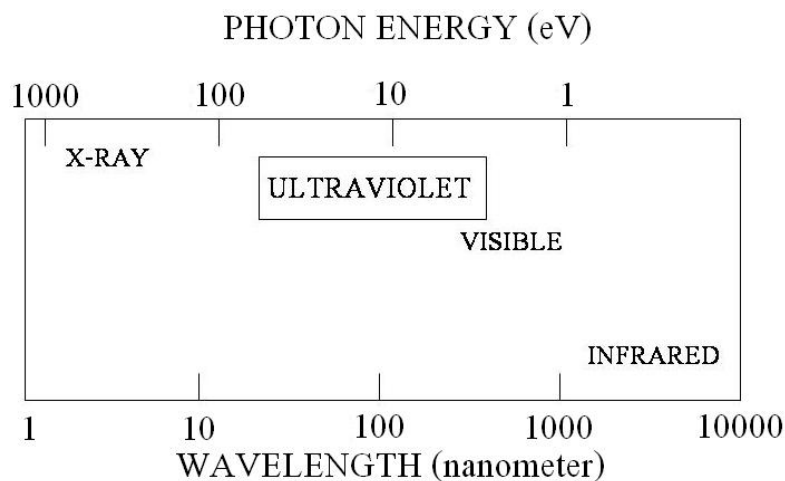
หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักทางวิชาการ

2.1.1 แหล่งกำเนิดและสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่ที่โลกได้รับมีแหล่งกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์ โดยจะแผ่ออกมาจากบรรยากาศชั้นโคโรนาและบริเวณแก๊สมันต์ (active region) ของดวงอาทิตย์ซึ่งมีอุณหภูมิสูงนับล้านเคลวิน รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่แผ่ออกมาจากดาวฤกษ์ต่างๆ โดยทั่วไปมาถึงโลกน้อยมากเมื่อเทียบกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์

รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงสว่างและยาวกว่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถแสดงช่วงความยาวคลื่นเทียบกับความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอื่นๆ ได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการแบ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงต่างๆของสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Huffman, 1992)

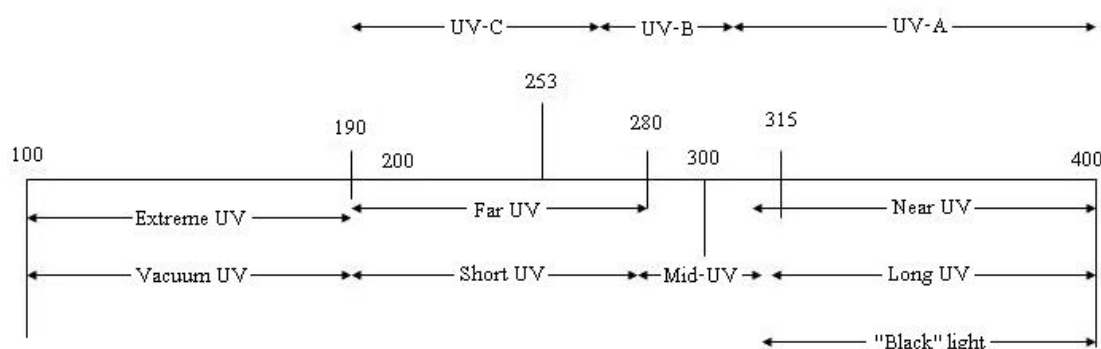
รังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยทั่วไปจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณตั้งแต่ 10 nm จนถึงประมาณ 400 nm หรือมีพลังงานประมาณ 3 eV จนถึง 120 eV เราสามารถแบ่งสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ออกเป็นช่วงได้ดังนี้

- 1) Near UV (NUV) มีความยาวคลื่นระหว่าง 300-400 nm
- 2) Middle UV (MUV) มีความยาวคลื่นระหว่าง 200-300 nm
- 3) Far UV (FUV) มีความยาวคลื่นระหว่าง 100-200 nm
- 4) Extreme UV (EUV) หรือบางครั้งเรียก XUV มีความยาวคลื่นระหว่าง 10-100 nm

5) Vacuum UV (VUV) มีความยาวคลื่นระหว่าง 10-200 nm เนื่องจากต้องใช้เทคนิคสุญญากาศในการวัด บางครั้งจึงมีการเรียก FUV และ EUV เป็น VUV

นอกจากนี้ ยังมีการแบ่งสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตตามผลกระทบทางชีววิทยา (biological effect) และทางการแพทย์โดยแบ่งได้ดังนี้

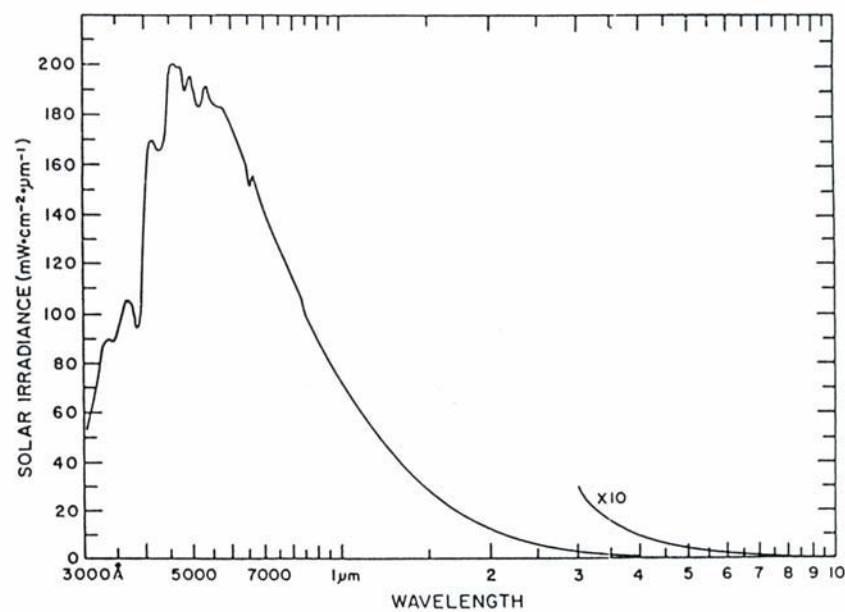
- 1) UV-A มีความยาวคลื่นในช่วง 320 – 400 nm
- 2) UV-B มีความยาวคลื่นในช่วง 280 – 320 nm
- 3) UV-C มีความยาวคลื่นในช่วง 200 – 280 nm



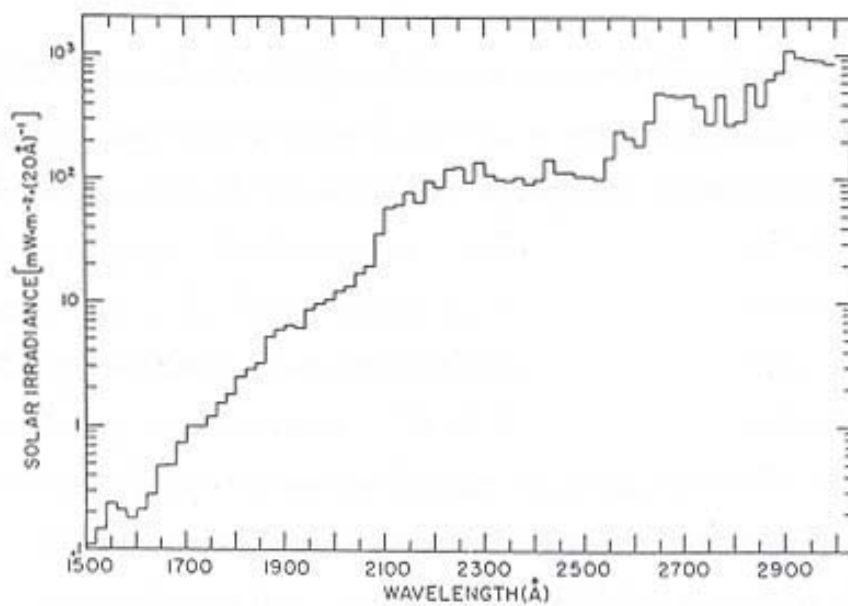
รูปที่ 2.2 แสดงความยาวคลื่นของรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงต่างๆ ซึ่งแบ่งตามผลกระทบทางชีววิทยา (WHO, 1979)

โดยทั่วไปเราสามารถแสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 2.3 - 2.5 โดยแบ่งออกเป็นช่วงความยาวคลื่นต่างๆ คือ $0 - 1500 \text{ \AA}$, $1500 - 3000 \text{ \AA}$ และ $3000 \text{ \AA} - 10 \text{ }\mu\text{m}$ โดยรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 288 nm จะไม่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาถึงพื้นผิวโลกได้ ส่วนพลังงานของรังสีอุลตราไวโอเลตที่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศลงถึงพื้นผิวโลกได้คิดเป็นเพียง 1.5% ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดที่มาจากดวงอาทิตย์

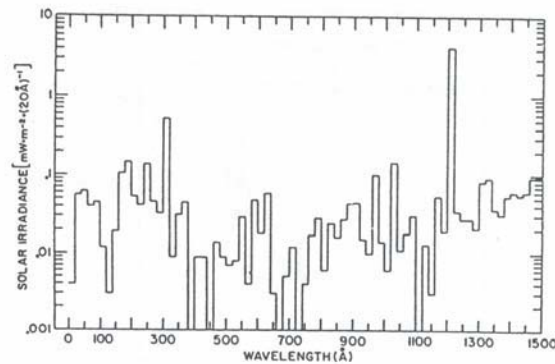
สเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์มีเส้นดูดกลืน (absorption line) และเส้นเปล่งรังสี (emission line) เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากการดูดกลืนและการเปล่งรังสีอุลตราไวโอเลตของธาตุต่างๆ ในบรรยากาศชั้นโคโมสเฟียร์และโคโรนาของดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากธาตุไฮโดรเจนซึ่งเปล่งรังสีเป็นเส้นเข้มไลมานน์อัลฟา (strong Lyman, α) ที่ความยาวคลื่น 121.567 nm นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสเปกตรัมอีกหลายเส้นซึ่งเกิดจากฮีเลียมที่มีความยาวคลื่น 30.378 nm และเส้นเปล่งรังสีจากธาตุเหล็ก ซิลิกอน ไนโตรเจน นีออนและคาร์บอน สเปกตรัมของ extreme UV จะเป็นเส้นสว่างโดยกำเนิดจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์ ส่วนสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นยาวกว่านี้จะเป็นเส้นมืด (dark line) อันเนื่องมาจากการดูดกลืนของบรรยากาศของดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.3 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ความยาวคลื่น
3000 Å – 10 μm (Huffman, 1992)



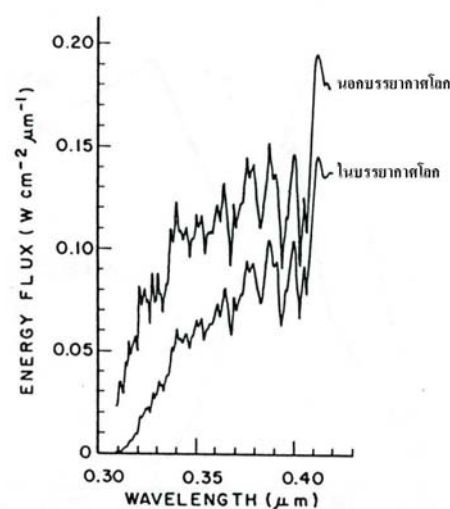
รูปที่ 2.4 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ความยาวคลื่น
1500-3000 Å (Huffman, 1992)



รูปที่ 2.5 แสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่ความยาวคลื่น 1-1500 Å (Huffman, 1992)

2.1.2 รังสีอุลตราไวโอเลตที่ผ่านบรรยากาศโลก

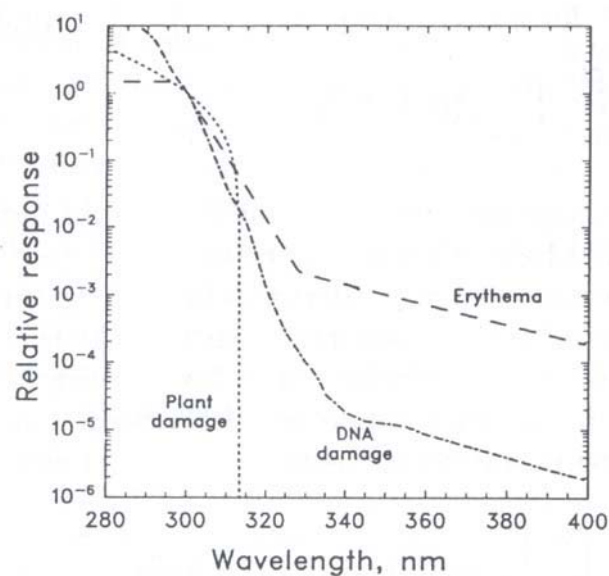
เป็นที่ทราบกันดีว่า รังสีอุลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์มีผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก โดยรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่น 295-400 nm จะสามารถผ่านบรรยากาศเข้ามายังพื้นผิวโลกได้บางส่วน และส่งผลที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิต ส่วนรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 288 nm จะถูกดูดกลืนโดยบรรยากาศเกือบทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งถูกดูดกลืนโดยโอโซนในแถบความยาวคลื่นฮาร์ตลีย์ (Hartley band) ซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 220-295 nm นอกจากนี้ยังถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของออกซิเจนในช่วงสเปกตรัมต่อเนื่องชูมานน์ (Schumann continuum) ซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 145.0-175.9 nm ในช่วงความยาวคลื่นฮาร์ตลีย์จะมีการดูดกลืนสูง โดยที่โฟตอนของรังสีอุลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 250 nm จำนวน 1 ใน 10^{40} ตัว เท่านั้นที่สามารถผ่านมาถึงพื้นดินได้



รูปที่ 2.6 แสดงสเปกตรัมของรังสีอุลตราไวโอเลตนอกบรรยากาศโลกและในบรรยากาศโลกที่ความสูง 3600 เมตร (WHO, 1979)

2.1.3 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่อรังสีอุลตราไวโอเลต

สิ่งมีชีวิตต่างๆ จะมีการตอบสนองหรือได้รับผลจากรังสีอุลตราไวโอเลตแตกต่างกัน โดยจะมีการแปรค่าตามความยาวคลื่น กรณีของผิวหนังมนุษย์เมื่อได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตในปริมาณมาก ผิวหนังจะแดงและมีอาการแสบร้อนหรือที่เรียกทั่วไปว่า ถูกแดดเผา (sun burn) โดยผลของรังสีอุลตราไวโอเลตต่อผิวหนังจะรุนแรงที่ความยาวคลื่นสั้น และค่อยๆ ลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น การตอบสนองดังกล่าวจะเรียกว่า erythema response สำหรับพืชและ DNA จะได้รับผลจากรังสีอุลตราไวโอเลตโดยมีระดับความรุนแรงต่างๆ กัน ลักษณะของการตอบสนองที่สำคัญแสดงไว้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ต่อรังสีอุลตราไวโอเลต

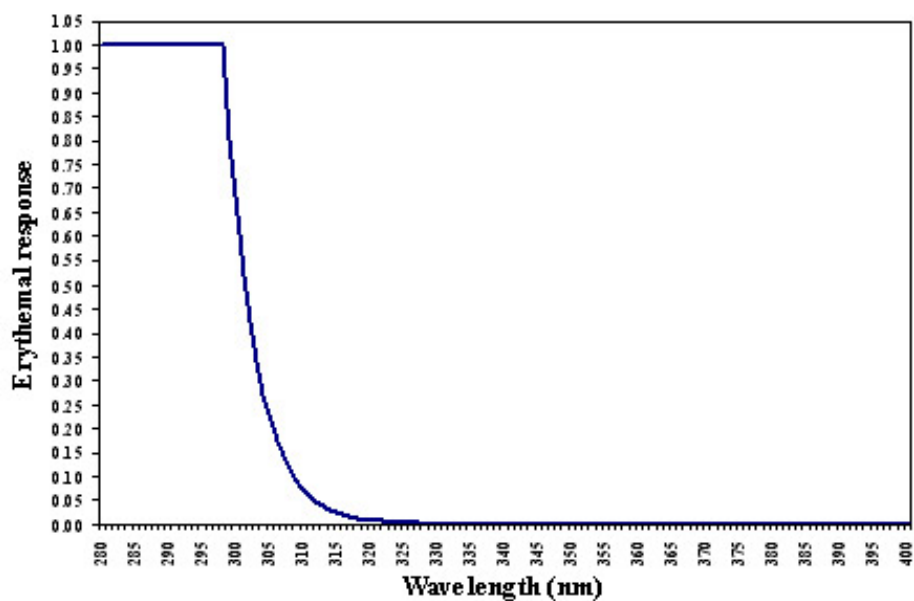
(Madronich, 1993)

ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่คำนึงถึงผลของการตอบสนองของผิวหนังแล้ว จะเรียกว่า erythema UV หรือ EUV ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (Dubrovsky, 2000)

$$I_{UV,er} = \int R_{E\lambda} I_{\lambda} d\lambda \quad (2.1)$$

- เมื่อ
- $I_{UV,er}$ = ความเข้มของ erythema ultraviolet radiation, EUV [W/m^2]
 - I_{λ} = ความเข้มของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ [$W/m^2 \cdot nm$]
 - $R_{E\lambda}$ = ฟังก์ชันของการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ [-]
 - λ = ความยาวคลื่น [nm]

โดย International Commission of Illumination (Centre International d' Eclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานของ $R_{E\lambda}$ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอุลตราไวโอเลต (CIE, 1987)

กราฟในรูปที่ 2.8 สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ (Nunez, 2003)

$$R_{E\lambda} = \begin{cases} 1.0 & ; 250 < \lambda \leq 298 \\ 10 \times [0.094(298 - \lambda)] & ; 298 < \lambda \leq 328 \\ 10 \times [0.015(139 - \lambda)] & ; 328 < \lambda \leq 400 \end{cases} \quad (2.2)$$

เมื่อ $R_{E\lambda}$ = Erythral response
 λ = ความยาวคลื่น [nm]

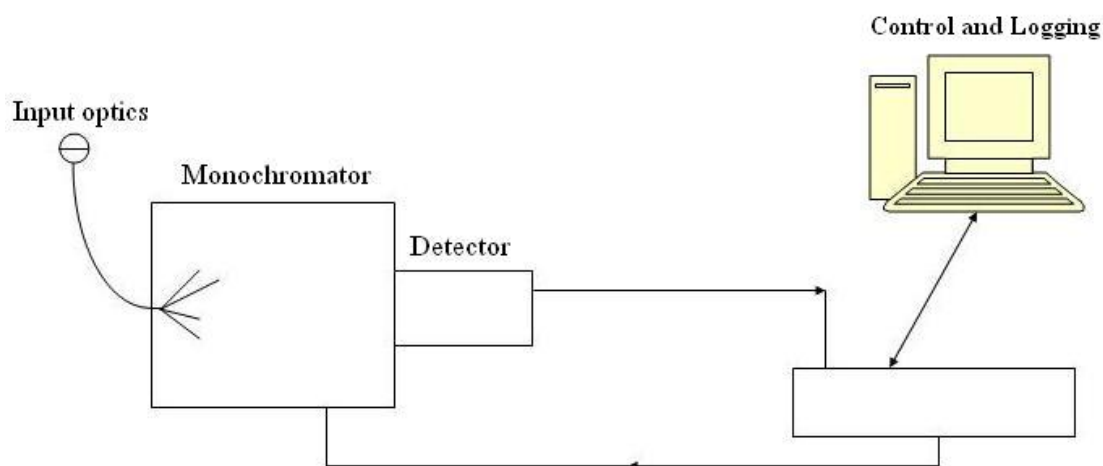
ค่าความเข้มของ erythral UV สามารถคำนวณได้ ถ้าเราทราบค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วง 280-400 nm ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถหาได้จากการวัดหรือได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองการแผ่รังสี (radiative transfer model) (Stamnes et al., 1988) นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือที่สามารถวัด erythral UV โดยตรง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.1.4 การวัดรังสีอุลตราไวโอเลต

โดยทั่วไปการวัดรังสีอุลตราไวโอเลตแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การวัดสเปกตรัม การวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้าง และการวัด dosimetry โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

2.1.4.1 การวัดสเปกตรัม

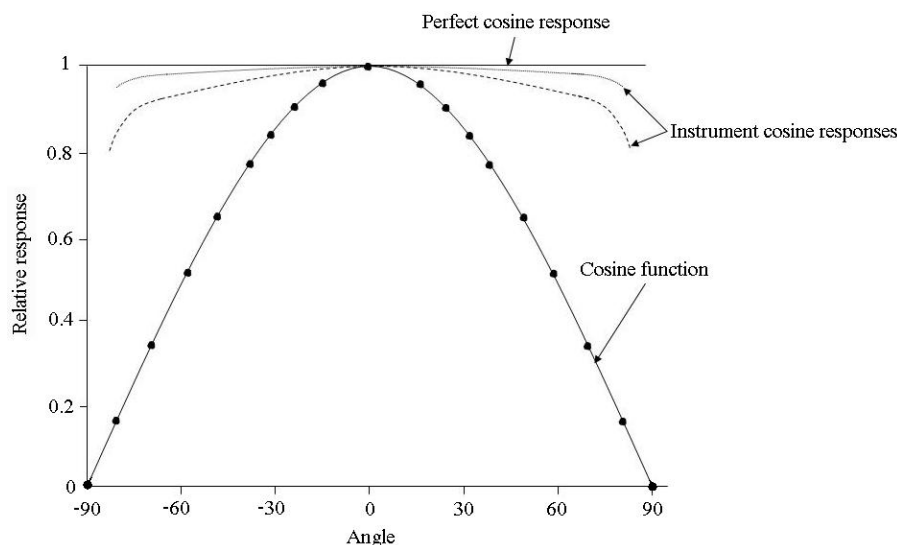
การวัดสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตจะทำให้ทราบค่าความเข้มของรังสีอุลตราไวโอเลตในแต่ละความยาวคลื่นในหน่วย $\text{W/m}^2\text{-nm}$ ซึ่งจะได้ข้อมูลเกี่ยวกับการดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของบรรยากาศโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ การดูดกลืนของโอโซน ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณโอโซนได้ เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตมีชื่อเรียกทั่วไปว่า spectroradiometer เครื่องมือวัดดังกล่าวจะมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ อุปกรณ์รับรังสีจากภายนอกเข้ามาภายในเครื่อง อุปกรณ์แยกรังสีออกเป็นความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นต่างๆ อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มรังสี อุปกรณ์บันทึกข้อมูล และคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของทั้งระบบ โดยส่วนประกอบทั้งหมดเขียนเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงแผนภูมิของ spectroradiometer (Webb, 1998)

อุปกรณ์รับรังสีจากภายนอกเข้าไปภายในเครื่องจะเป็นแผ่นหรือครึ่งทรงกลมทำด้วยเตฟลอน (teflon) หรือ ควอตซ์ (quartz) โดยควรมีการตอบสนองต่อรังสีที่มาจากมุมต่างๆ ซึ่งแปรตามค่า cosine ของมุมที่ตกกระทบบน หรือเรียกคุณสมบัติการตอบสนองนี้ว่า cosine response คุณสมบัติดังกล่าวมีความหมายดังนี้คือ เมื่อรังสีที่ตกกระทบบนตั้งฉากหัววัดจะได้สัญญาณมากที่สุด ส่วนรังสีที่ตกกระทบบนเป็นมุมไต่ขึ้นหัววัดจะได้สัญญาณลดลง ซึ่งหัววัดที่ดีต้องมีการแปรค่าของสัญญาณตามมุมตกกระทบบนแบบ cosine function เพราะจะทำให้สามารถคำนวณรังสีที่ตกกระทบบนเป็นมุมต่างๆ จากรังสีที่ตกกระทบบนตั้งฉากได้โดยการหารด้วย cosine ของมุมตกกระทบบน โดยทั่วไป cosine response ของหัววัดจะเป็นผลหารของค่า response ของหัววัดด้วยค่า cosine ของมุม

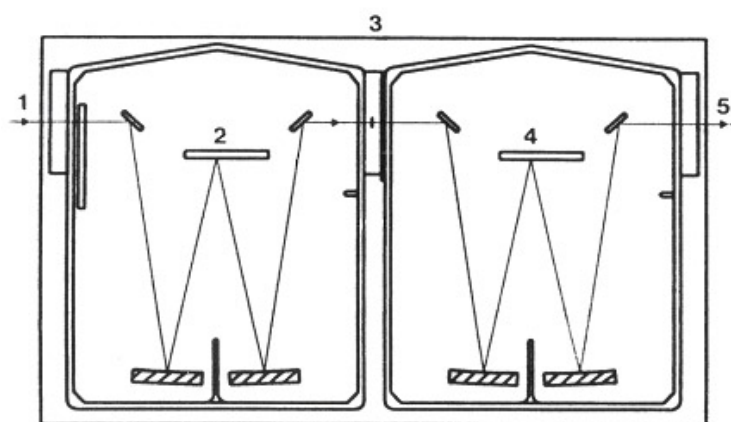
ตกระทบ ถ้าผลหามีค่าใกล้เคียง 1 ที่ทุกมุมตกระทบจะเป็นหัววัดที่สมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติ แล้วค่า cosine response ของหัววัดมักจะมีค่าน้อยกว่า 1 ที่มุมตกระทบใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดง cosine response ของหัววัดทั่วไป (เส้นประ) เส้นตรงที่แสดง cosine response ของหัววัดที่สมบูรณ์ และเส้นโค้งที่แสดงค่าของ cosine (Webb, 1998)

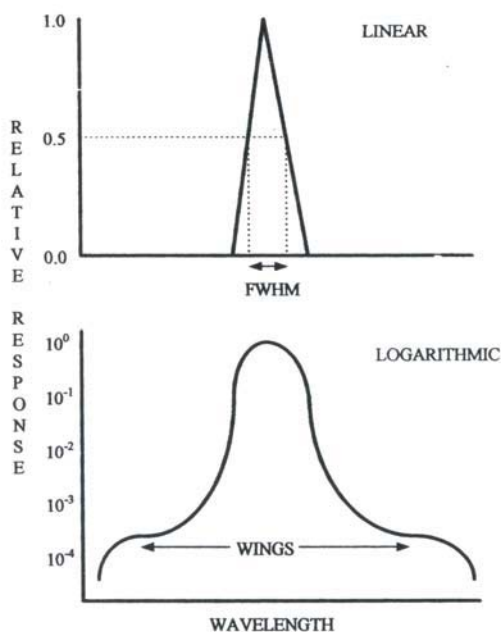
โดยทั่วไปรังสีจากหัววัดจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แยกรังสีโดยใช้กระจกสะท้อน หรือใช้อุปกรณ์นำแสงต่างๆ เช่น ท่อบรรจุของเหลว หรือใยแก้วนำแสง สำหรับ spectroradiometer ที่ทำงานในช่วงรังสีอุลตราไวโอเลตมักนิยมใช้ใยควอตซ์ (quartz fiber) เป็นตัวนำรังสี เพราะสามารถนำรังสีไปยังอุปกรณ์แยกรังสีได้ไกลหลายเมตรโดยไม่มีการดูดกลืนรังสีมากนัก

สำหรับอุปกรณ์แยกรังสีจะเป็น monochromator ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของ spectroradiometer อาจเป็นแบบเดี่ยว (single monochromator) ที่มี grating 1 ชุด หรือแบบคู่ (double monochromator) ที่มี grating 2 ชุด



รูปที่ 2.11 แสดง monochromator แบบคู่ (Webb, 1998)

คุณสมบัติที่สำคัญของ monochromator คือ spectral resolution ซึ่งจะเป็นตัวบอกความสามารถในการแยกรังสีที่ผ่านเข้าไปหลายความยาวคลื่นให้ออกเป็นความเข้มของแต่ละความยาวคลื่น ทั้งนี้เพราะ monochromator ไม่สามารถแยกรังสีออกเป็นความยาวคลื่นเดี่ยวๆ ได้ แต่จะมีความยาวคลื่นข้างเคียงออกมาด้วย ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งแสดงกราฟระหว่าง relative response กับความยาวคลื่นหรือที่เรียกว่า slit function ได้ดังรูป

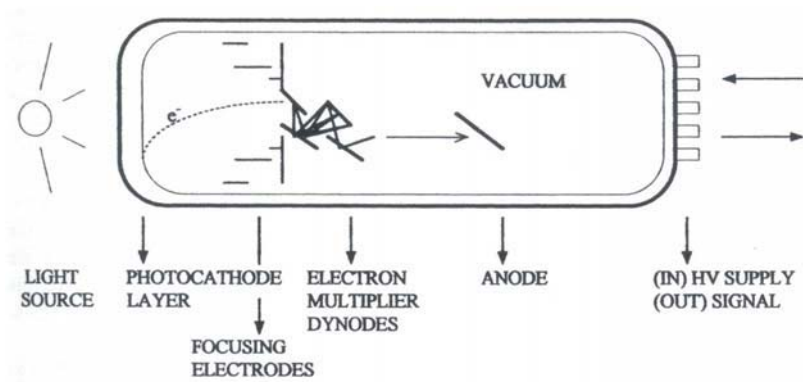


รูปที่ 2.12 แสดง slit function ของ monochromator (Webb, 1998)

โดยทั่วไปนิยมบอก spectral resolution ของ monochromator ในรูป full width half maximum (FWHM) กล่าวคือ เป็นค่าของช่วงความยาวคลื่นที่ relative response ลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด ในงานด้านการวัดรังสีอุลตราไวโอเลตค่า FWHM ควรเท่ากับหรือน้อยกว่า 1 nm

รังสีที่ผ่านการแยกเป็นความเข้มของแต่ละความยาวคลื่นแล้ว จะต้องมิตัวตรวจวัด (detector) ซึ่งจะแปลงพลังงานรังสีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปตัวตรวจวัดจะเป็น vacuum photodiode หรือ electron multiplier สำหรับ vacuum photodiode จะประกอบด้วย photocathode และ anode อยู่ภายในหลอดสุญญากาศ เมื่อรังสีตกกระทบ photocathode จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา และถูกสนามไฟฟ้าทำให้เคลื่อนที่ไปยัง anode และเกิดกระแสไหล ซึ่งสามารถนำไปหาความเข้มที่ตกกระทบได้

กรณีของ photomultiplier จะทำงานโดยอาศัยหลักการเดียวกันกับ vacuum photodiode แต่จะมี dynode เพื่อเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนทำให้ได้กระแสมากขึ้น แผนภูมิการทำงานของ photomultiplier แสดงไว้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิของ photomultiplier (Webb, 1998)

จะเห็นว่า spectroradiometer เป็นส่วนประกอบที่ละเอียดอ่อนจำเป็นต้องใช้อย่างระมัดระวังและดูแลรักษาอย่างถูกต้อง ซึ่งมักมีราคาแพง ตัวอย่างของ spectroradiometer ที่ใช้งานด้านรังสีอุลตราไวโอเล็ต ได้แก่ spectroradiometer ของ Brewer ดังแสดงในรูปที่ 2.14

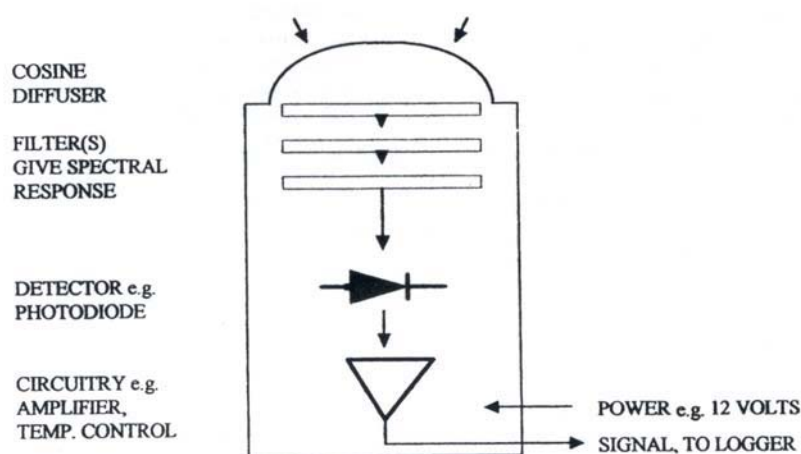


รูปที่ 2.14 แสดง spectroradiometer ของ Brewer

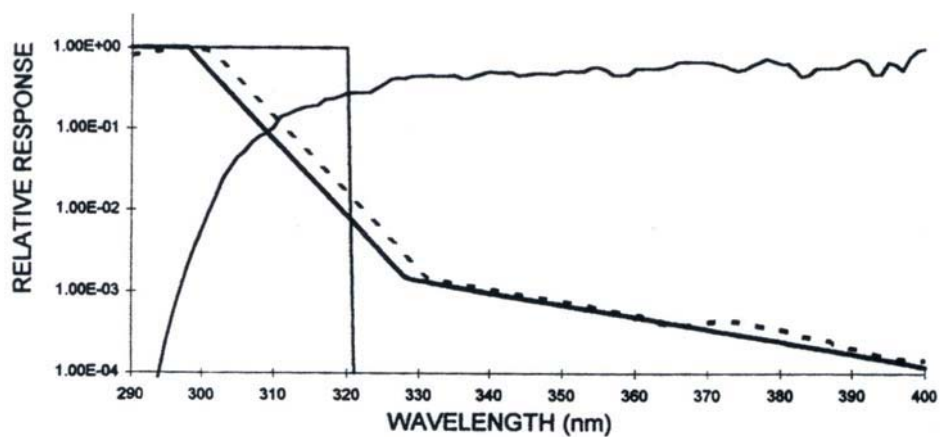
2.1.4.2 การวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้าง

ช่วงความยาวคลื่นกว้าง หมายถึง ช่วงความยาวคลื่นของรังสีอุลตราไวโอเลตบี (280-320 nm) หรือรังสีอุลตราไวโอเลตเอ (320-400 nm) หรือครอบคลุมทั้งรังสีอุลตราไวโอเลตเอ และบี (280-400 nm) การวัดดังกล่าวจะใช้ broadband radiometer หรือ broadband UV detector ถึงแม้ว่าข้อมูลของความเข้มรังสีแต่ละความยาวคลื่นจะไม่ได้จากการวัดแบบนี้ แต่ก็มีข้อดีคือเป็นการวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่คิดผลการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตได้ทันที (action spectral response) เช่น การวัดค่าความเข้ม erythral UV เป็นต้น ในขณะที่ค่าดังกล่าว ถ้าต้องการวัดด้วย spectroradiometer ต้องนำค่าความเข้มแต่ละความยาวคลื่นมาคำนวณร่วมกับฟังก์ชันของการตอบสนองอีกครั้งหนึ่ง ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการวัดช่วงความยาวคลื่นกว้างคือ เครื่องวัดแบบนี้ไม่สลับซับซ้อน ดูแลรักษาและใช้งานง่าย อีกทั้งราคาไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดสเปกตรัม

โดยทั่วไปเครื่องวัดรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง จะประกอบด้วยอุปกรณ์รับรังสีจากภายนอกเข้าไปภายในเครื่อง แผ่นกรองแสง ตัวตรวจวัด (detector) และวงจรขยายสัญญาณ ดังแผนภูมิในรูปที่ 2.15 แผ่นกรองแสงจะช่วยทำให้เครื่องวัดความเข้มรังสี อุลตราไวโอเลตที่คิดผลของการตอบสนองต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ เช่น erythral UV เป็นต้น ตัวอย่างการตอบสนองของเครื่องวัดดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.16 สำหรับเครื่องวัดที่มีการตอบสนองต่อทุกความยาวคลื่นเท่ากัน (flat response) ปริมาณที่วัดได้จะเรียกว่า absolute UV ตัวอย่างของเครื่องวัด erythral UV, absolute UV-B และ total UV แสดงไว้ในรูปที่ 2.17-2.19 ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 แสดงแผนภูมิของเครื่องวัดรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (Webb, 1998)



รูปที่ 2.16 แสดงการตอบสนองของเครื่องวัด erythral UV (เส้นประ) เทียบกับการตอบสนองของผิวหนัง (เส้นทึบหนา) และการตอบสนองของเครื่องวัด absolute UV-B (กราฟรูปสี่เหลี่ยม) ส่วนเส้นโค้งแสดงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ (Webb, 1998)



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของเครื่องวัด erythral UV ของบริษัท Solar Light



รูปที่ 2.18 แสดงลักษณะของเครื่องวัด absolute UV-B ของบริษัท Kipp & Zonen



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของเครื่องวัด total UV (UV-A รวมกับ UV-B) ของบริษัท Eppley

2.1.4.3 การวัด dosimetry

การวัด dosimetry เป็นการวัดพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวที่สนใจในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น การวัดว่าบุคคลที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสีอัลตราไวโอเลตได้รับรังสีมากน้อยเพียงใดตลอดเวลาที่ปฏิบัติหน้าที่ ซึ่งโดยมากมักใช้ในวงการแพทย์ อุปกรณ์วัดหรือ dosimeter จะมีลักษณะเป็น badge หรือเป็นแผ่นฟิล์ม ที่นิยมใช้กันคือ polysulphone film ซึ่งมีการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตคล้ายกับการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ นอกจากนี้ยังมีแผ่นฟิล์มชนิดอื่น เช่น uracil film ซึ่งมีการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตคล้ายกับการตอบสนองของ DNA dosimetry จะบอกปริมาณพลังงานที่ได้รับในช่วงความยาวคลื่นกว้างและจะต้องมีการสอบเทียบให้ได้ผลการวัดเป็นมาตรฐานเดียวกัน

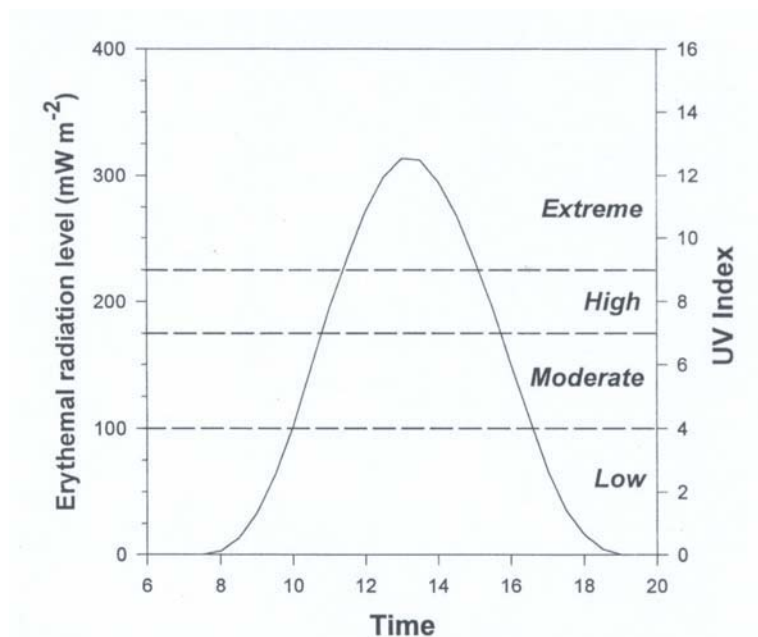
2.1.5 ดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (UV index)

จากที่เคยกล่าวไปแล้วว่า รังสีอัลตราไวโอเลตมีผลต่อผิวหนังมนุษย์ กล่าวคือ ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดการผิวหนังถูกแดดเผา (sun burn) และเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งผิวหนัง ความรุนแรงของผลดังกล่าวจะขึ้นกับระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นในระดับความรุนแรงดังกล่าว Atmospheric Environment Service (AES) ของประเทศแคนาดา จึงได้กำหนดระดับความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตด้วยดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (Burrows et al., 1994)

ความเข้ม รังสีอัลตราไวโอเลต (mW/m^2)	ดัชนีความเข้ม รังสีอัลตราไวโอเลต [-]	ระดับ
0-100	0-4	ต่ำ (low)
100-175	4-7	ปานกลาง (moderate)
175-225	7-9	สูง (high)
มากกว่า 225	มากกว่า 9	สูงมาก (extreme)

โดยทั่วไป ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆในเขตร้อนสูตรจะมีดัชนีความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต และดัชนีความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ในเขตศูนย์สูตร (Ilyas et al., 1999)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1974 Molina และ Rowland (1974) และ Stalaski และ Cicerno (1974) ได้เสนอแนวความคิดถึงความเป็นไปได้ที่สาร chlorofluorocarbon (CFCs) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ จะลอยขึ้นไปทำลายโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ พร้อมทั้งได้เตือนถึงอันตรายที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ จะได้รับ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลก อันเป็นผลมาจากชั้นโอโซนในบรรยากาศถูกทำลาย แม้ว่าจะมีการเตือนภัยดังกล่าวแล้วก็ตาม แต่การใช้สาร CFCs ยังคงดำเนินต่อไปอย่างกว้างขวาง เช่น การใช้ในกระป๋องสเปรย์ และการใช้เป็น working fluid ในตู้เย็นและเครื่องปรับอากาศ ตลอดจนการใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ semiconductor ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสาร CFCs มีราคาไม่แพงและมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานดังกล่าว อีกทั้งยังไม่มีผลการวิจัยยืนยันชัดเจนถึงผลกระทบของสาร CFCs ที่มีต่อชั้นโอโซนในบรรยากาศ

จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1985 Farman และคณะ (1985) ได้วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณโอโซนที่วัดจากสถานีสำรวจของอังกฤษที่ Halley Bay บริเวณขั้วโลกใต้ โดยพบว่าโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ของบริเวณดังกล่าวในช่วง 10 ปี มีปริมาณลดลงถึง 40% ซึ่งภายหลังเรียกกันทั่วไปว่า ozone hole และยังพบว่าเกิดการเกิด ozone hole เป็นผลมาจากสาร CFCs ที่รวมกันในพื้นที่นั้นด้วย vortex motion ของกระแสอากาศในช่วง Antarctic springtime การค้นพบดังกล่าวจึงถือว่าการยืนยันแนวคิดของ Molina และ Rowland (1974)

ต่อมา Newman และ Alpert (1986) ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม Nimbus 7 โดยแสดงให้เห็น ozone hole บริเวณทวีปแอนตาร์กติกาอย่างชัดเจน นอกจากนี้ทั่วโลกได้แล้ว Proffitt และคณะ (1990) ได้พบการลดลงของโอโซนบริเวณขั้วโลกเหนือด้วย สำหรับบริเวณอื่นของโลก Gleason และคณะ (1993) ได้พบการลดลงของโอโซนในบริเวณ mid-latitude และแถบศูนย์สูตร

จากปัญหาการลดลงของปริมาณโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์นั้น ส่งผลให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกมีค่าสูงขึ้น นักวิทยาศาสตร์ในประเทศต่างๆ จึงได้ตื่นตัวในการตรวจวัดและการคำนวณความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยวิธีการต่างๆ

ออสเตรเลียเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบรุนแรงจากการลดลงของโอโซน เนื่องจากอยู่ใกล้ขั้วโลกใต้ โดยมีอัตราการป่วยของประชากรเป็นโรค Non-melanoma skin cancer และ cutaneous malignant melanoma สูงสุดของโลกประเทศหนึ่ง ดังนั้น Australian Radiation Laboratory (Roy et al., 1998) จึงได้จัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตขึ้นในช่วงกลางทศวรรษ 1980 ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดจำนวน 7 แห่ง โดยกระจายกันตั้งแต่บริเวณศูนย์สูตรจนถึงขั้วโลกใต้ สถานีดังกล่าวได้ติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ ด้วย

โดยทั่วไปความสูงของพื้นที่มีผลต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้น Piazena (1996) แห่ง Institute of Botanical and Pharmaceutical Biology ประเทศเยอรมัน จึงได้ศึกษาผลของระดับความสูงต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เทือกเขา Andes ประเทศชิลี โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตแบบ 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 ยังมีการศึกษาผลของความสูงของพื้นที่ต่อความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่เมืองลาซา ทิเบต โดย Ren และคณะ (1999) จาก Geophysical Institute, University of Bergen และ University of Courses on Svalbard ประเทศนอร์เวย์ Ren และคณะใช้เครื่องวัดแบบ moderate bandwidth filter instrument และ fixed imaging compact spectrometer โดยทำการวัดในช่วงเดือนกรกฎาคม 1996 ถึงธันวาคม 1997 ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มของ erythema UV ที่เมืองลาซา มีค่าสูงกว่าที่เมือง San Diego ประเทศสหรัฐอเมริกา 1.3-1.5 เท่า และสูงกว่าที่เมือง Perth ประเทศออสเตรเลีย 1.2-1.4 เท่า

โดยทั่วไป รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาระยะยาวตาม solar cycle และตามปริมาณโอโซนในบรรยากาศด้วย Zerefos และคณะ (1998) จาก Laboratory of Atmospheric Physics, Aristotle University of Thessaloniki ประเทศกรีซ จึงได้ทำการศึกษาการ

เปลี่ยนแปลงดังกล่าว ที่เมือง Thessaloniki โดยใช้ข้อมูล spectral UV-B ซึ่งวัดโดยเครื่องวัด Brewer spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 305 nm และ 325 nm ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความเข้ม UV-B ที่ความยาวคลื่น 305 nm มีการเปลี่ยนแปลง 10 % ต่อทศวรรษ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโอโซน ซึ่งเปลี่ยนแปลง 4.5 % ต่อทศวรรษ

ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบพื้นผิวโลก Elhadidy และคณะ (1990) ได้ศึกษาสัดส่วนของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่น 295-385 nm ซึ่งครอบคลุมช่วง UV-A และ UV-B หรือเรียกกันทั่วไปว่า total UV (TUV) กับความเข้มรังสีตรงในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband radiation) โดยใช้ Eppler radiometer วัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต และใช้ Eppler Pyrheliometer วัดความเข้มรังสีตรงที่เมือง Dhahran ประเทศซาอุดีอาระเบีย ระหว่างเดือนมกราคม ค.ศ. 1985 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 1987 จากผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตต่อความเข้มรังสีตรงมีค่าขึ้นกับ clearness index ของบรรยากาศ โดยเมื่อค่า clearness index สูงกว่า 0.15 ค่าสัดส่วนของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตต่อความเข้มรังสีตรงจะมีค่าคงที่เท่ากับ 3.45 % และในช่วงฤดูฝนสัดส่วนดังกล่าวจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.6 %

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในลักษณะที่คล้ายกัน โดย Al-Aruri และคณะ (1988) ที่ประเทศคูเวต ซึ่งพบว่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่คูเวตมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม และพบว่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตโดยเฉลี่ยมีสัดส่วนคิดเป็น 4.62 % ของรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ (global radiation) และที่ประเทศคูเวตเช่นเดียวกัน Kollias และ Baqer (1984) ได้ศึกษาผลของมุมตกกระทบของรังสีอุลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นในช่วง 285-320 nm หรือในช่วง UV-B โดยเน้นการนำผลไปใช้ในการแพทย์

โดยทั่วไป อุปกรณ์การวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มักมีราคาแพง การจัดทำเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตให้ครอบคลุมพื้นที่ของประเทศมักทำได้ไม่ทั่วถึง ในการแก้ปัญหาดังกล่าวนักวิทยาศาสตร์ในหลายประเทศจึงได้สร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจากค่าตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา 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 ยังมีการพัฒนาแบบจำลองแบบ physical ซึ่งพิจารณากระบวนการดูดกลืนและการกระเจิง (scattering) รังสีอุลตราไวโอเลตที่ผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก โดยแต่ละแบบจำลองจะมีระดับของความซับซ้อนแตกต่างกัน ตัวอย่างแบบจำลองดังกล่าวที่ใช้กันในช่วงทศวรรษที่ 1975 ได้แก่ แบบจำลองของ Green และคณะ (1974) และแบบจำลองของ Baker และคณะ (1980) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้ต้องอาศัยข้อมูลจากการวัด UV-B ประกอบในการคำนวณด้วย ซึ่งไม่สามารถใช้ได้ทั่วไป ดังนั้น Stamnes และคณะ (1988) แห่ง Geophysical Institute, University of Alaska จึงได้นำแบบจำลองการถ่ายเทรังสีในบรรยากาศซึ่งพัฒนาโดย Chandrasekhar (1960) มาทำการประยุกต์ใช้กับการถ่ายเทรังสีอุลตราไวโอเลตในบรรยากาศโลก และได้ทำการแก้สมการของแบบจำลอง โดยวิธี Discrete Ordinate (DO) โดยแบ่งบรรยากาศออกเป็นชั้นย่อยๆ จำนวนมาก และพิจารณาการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีอุลตราไวโอเลตที่เกิดขึ้นในชั้นต่างๆ จนถึงพื้นผิวโลก พร้อมทั้งทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งเรียกว่า UVSPEC สำหรับใช้ในงานทั่วไปด้วย แบบจำลองนี้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางโดย Tsay และ Stamnes (1992) ซึ่งใช้แบบจำลอง DO กับข้อมูลสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่วัดได้ที่นิวซีแลนด์ ต่อมา Forster (1995) ได้ใช้แบบจำลอง DO กับข้อมูลของอังกฤษ และ Schwander และคณะ (1997) ได้ใช้แบบจำลอง DO กับข้อมูลของเยอรมัน ผลการใช้แบบจำลอง DO กับข้อมูล UV-B ในส่วนต่างๆ ของโลก พบว่าแบบจำลองดังกล่าวให้ผลค่อนข้างละเอียดถูกต้อง นอกจากนี้ยังมีแบบจำลองทางฟิสิกส์อื่นๆ ที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า เช่น แบบจำลองทางฟิสิกส์ของ Varotsos (1995) และแบบจำลอง TUV ของ Madronich (1993)

เนื่องจากการศึกษารังสีอุลตราไวโอเลตโดยอาศัยเครื่องมือวัดภาคพื้นดินมีข้อจำกัดที่จำนวนสถานีวัดซึ่งมีราคาแพง และบางบริเวณไม่สะดวกในการติดตั้งเครื่องวัด ดังนั้น Krotkov และคณะ (1998) ได้พัฒนาวิธีการคำนวณความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยอาศัยข้อมูลโอโซนและข้อมูล radiance ที่ได้จาก total ozone mapping spectrometer (TOMS) ของดาวเทียม Nimbus-7 (ช่วง ค.ศ. 1979-1992) และดาวเทียม Earth Probe (ช่วง ค.ศ. 1996-1998) สำหรับกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆและมีฝุ่นละอองจะแสดงในเทอมของค่า aerosols attenuation factor (η) ซึ่งสามารถหาได้จากข้อมูล radiance ที่ได้จากดาวเทียมและแบบจำลองการส่งผ่านรังสี DISORT ที่พัฒนาขึ้นโดย Stamnes และคณะ (1998) โดยหาออกมาในรูปของ aerosols index (AI) ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถใช้คำนวณความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างกว้างขวาง โดยพบว่าค่า percentage error สำหรับในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและฝุ่นละอองมีค่าประมาณ 4% ที่ความยาวคลื่น 305 nm มีค่าประมาณ 8% ที่ความยาวคลื่น 300 nm และมีค่าประมาณ 12% ที่ความยาวคลื่น 295 nm ส่วนในวันที่มีฝุ่นละอองจะมีค่า percentage error ที่สูงกว่า

เนื่องจากปริมาณเมฆมีความสำคัญต่อปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลต ดังนั้น Krotkov และคณะ (2001) จึงได้พัฒนาวิธีการหาค่า cloud-transmission factor (C_T) โดยอาศัยข้อมูล radiance จาก TOMS ซึ่งสามารถคำนวณค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่พื้นผิวโลกในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 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 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น cloud optical thickness สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของพื้นผิวโลก และ solar zenith angle นอกจากนี้ยังได้พัฒนาวิธีการสำหรับกรณีพื้นที่ที่มีหิมะปกคลุมด้วย

Nunez และคณะ (1994) ใช้ข้อมูลดาวเทียม GSM ทำการหาความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่เมือง Melbourne ประเทศออสเตรเลียในช่วงเวลาเพียง 20 วัน โดยใช้แบบจำลองของความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่าความเข้มรังสีรวมรายวันและค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันจากข้อมูลการวัดที่เมือง Tasmania ประเทศออสเตรเลีย

Lubin และคณะ (1994) ทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบริเวณ Antarctic โดยใช้ข้อมูลโอโซนจาก TOMS/Nimbus-7 และข้อมูล Planetary albedo ที่ได้จาก NOAA/AVHRR โดยทำการเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกจากข้อมูลดาวเทียม NOAA channel 1 และใช้ delta-Eddington model หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอุลตราไวโอเลต จากนั้นทำการแยกพื้นที่ที่เป็นพื้นน้ำ หิมะ และน้ำแข็ง โดยใช้ข้อมูลจาก NOAA channel 3 และ 4 แล้วใช้ delta-Eddington radiative transfer model คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า UV Transmission ได้จากข้อมูล NOAA/AVHRR แล้วจึงคำนวณหาความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่พื้นผิวโลก

Eck และคณะ (1995) ได้พัฒนาวิธีการคำนวณค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกที่เมือง Toronto ประเทศแคนาดา (44°N , 79°W) ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 1990 ซึ่งเป็นช่วงที่ปราศจากหิมะและน้ำแข็งปกคลุมพื้นที่ โดยอาศัยข้อมูลโอโซนและ radiance จากดาวเทียม TOMS/Nimbus-7 สำหรับกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมได้ตั้งสมมติฐานไว้ 3 ข้อ ได้แก่ 1) ไม่มีการดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเลตเนื่องจากเมฆ 2) ค่า cloud reflectivity มีค่าคงที่ตลอดช่วงของรังสีอุลตราไวโอเลต 3) ใช้ค่า UV-directional reflectivity ที่วัดได้จาก TOMS มาแทนค่า cloud spectral hemispherical albedo และจากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและจากการวัดด้วยเครื่อง Brewer spectrophotometer ที่เวลา 10:00-12:00 LST ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ TOMS โคจรผ่าน Toronto พอดี โดยพบว่า percentage difference ของข้อมูลรายชั่วโมง

มีค่าอยู่ระหว่าง +3.9% ถึง -5.8% และข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงมีค่า RMSD เท่ากับ 9.3% และค่า mean difference เท่ากับ -1.2%

Meerkoetter และคณะ (1997) ได้นำข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม ERS-2/GOME และข้อมูลเมฆ (cloud optical thickness) ที่ได้จากดาวเทียม NOAA/AVHRR โดยอาศัย AVHRR Processing scheme Over Cloud, Land and Ocean (APOLLO) มาทำการหาค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตบริเวณทางตอนใต้ของประเทศเยอรมัน โดยใช้ข้อมูลเพียง 2 วันเท่านั้น เป็นตัวแทนของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม และได้ใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสีคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตจากการแปรค่าของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ solar zenith angle (20° - 75°) ปริมาณโอโซน (200-400 DU) และ cloud optical thickness (0-120) นอกจากนี้ยังได้กำหนดค่า aerosols optical depth เท่ากับ 0.2 และสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอุลตราไวโอเลตของพื้นผิวโลก มีค่าเท่ากับ 0.03 โดยในแบบจำลองนี้สมมติให้เมฆอยู่ที่ระดับความสูง 2.5-4.5 กิโลเมตร ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินพบว่า ค่า relative deviation มีค่าประมาณ 4.5 %

Vanderbout (2000) ได้เสนอวิธีการคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตในยุโรป โดยอาศัยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม ERS-2/GOME และข้อมูล TOA radiance จากดาวเทียม MVIRI/Meteosat จากนั้นใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสี UVSPEC สร้าง Look-up table 2 ตาราง ตารางแรกสำหรับคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตที่พื้นผิวโลก ซึ่งมีการแปรค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลต ได้แก่ solar zenith angle ปริมาณโอโซน ค่า cloud liquid water thickness ค่าทัศนวิสัย ค่าระดับความสูงจากน้ำทะเล และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอุลตราไวโอเลตของพื้นผิวโลก 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 ทำให้สามารถหาค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตที่พื้นผิวโลกได้ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้าง

Li และคณะ (2000) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตที่พื้นผิวโลก ซึ่งได้พิจารณาสมการสมดุลของรังสีผ่านบรรยากาศโดยแบ่งบรรยากาศออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นโอโซน และชั้นที่ประกอบด้วยโมเลกุลอากาศ เมฆ และฝุ่นละออง และเขียนสมการสมดุลของรังสีอุลตราไวโอเลตที่ระหว่างรอยต่อทั้ง 2 ชั้น สำหรับค่าความเข้มข้นรังสีอุลตราไวโอเลตที่สะท้อนกลับสู่อวกาศภายนอกที่ TOA สามารถหาได้โดยอาศัยแบบจำลองการส่งผ่านรังสี และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ความยาวคลื่น 360 nm ที่ได้จากข้อมูลดาวเทียม EP/TOMS หรือใช้ข้อมูลดาวเทียม NOAA/AVHRR (R_{vis}) ในช่วงแสงสว่าง จากการเปรียบเทียบค่ารังสีอุลตราไวโอเลตที่

ถูกดัดแปลงโดยพื้นผิวโลกที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง DISORT และจากวิธีที่พัฒนาขึ้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน 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 erythral 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 และ solar zenith angle โดยพบว่าให้ค่า relative mean และ RMSD ของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงอยู่ในช่วง 3-14% และ 20-45% ตามลำดับ

สำหรับการศึกษารังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทย ผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องวัด TUV ที่อาคารวิทยาศาสตร์ 3 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ในปี พ.ศ. 2534 และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2535 (ทิพวรรณ สุธา, 2535) และวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ในปี พ.ศ. 2543 (สุมาลย์ บรรเทิง, 2543) การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นและศึกษาเฉพาะ TUV เท่านั้น

ในปี พ.ศ. 2546-2547 สัมฤทธิ์ สุทธิประภา (2004) ได้ทำการพัฒนาวิธีการทำนายความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากเครื่องวัด Brewer Spectrophotometer ที่สถานีกรุงเทพฯ และสงขลา

จากการศึกษางานวิจัยทั้งหมดที่ผ่านมา จะเห็นว่าในประเทศไทยมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตค่อนข้างน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้เสนอที่จะดำเนินการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในประเทศไทยโดยการติดตั้งเครื่องมือวัดในหลายภูมิภาคและการศึกษาโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม ตามรายละเอียดที่จะกล่าวในบทต่อไป

บทที่ 3

การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตจากสถานีวัดในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย

การวัดรังสีอัลตราไวโอเลตในประเทศไทยที่ผ่านมา มีการดำเนินงานโดย 2 หน่วยงาน ได้แก่ การวัดของห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และ กรมอุตุนิยมวิทยา โดยการวัดของห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ผู้วิจัยเป็นผู้ติดตั้งเครื่องมือวัด และรับผิดชอบการวัดและบันทึกข้อมูล การวัดดังกล่าวประกอบด้วย การวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ (erythemal ultraviolet radiation, EUV) การวัดรังสีอัลตราไวโอเลตบี (absolute ultraviolet B radiation, UV-B) การวัดรังสีอัลตราไวโอเลตรวม (total ultraviolet radiation, TUV) และการวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต (spectral ultraviolet radiation) สำหรับการวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา จะเป็นการวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตที่กรุงเทพฯ และสงขลา เนื่องจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยามีปัญหาด้านการสอบเทียบและความต่อเนื่องของข้อมูล ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลที่ได้จากการวัดของห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการ โดยมีรายละเอียดของการวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.1 การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์ (erythemal ultraviolet radiation, EUV)

รังสีอัลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 280-400 nm ซึ่งแต่ละความยาวคลื่นจะมีผลต่อผิวหนังมนุษย์ไม่เท่ากัน ผลดังกล่าวได้แก่ การทำให้เกิดอาการแดดเผา (sun burn) ซึ่งแสดงออกโดยมีผิวแดง (redening of skin) และการแสบร้อนผิวหนัง หากได้รับรังสีดังกล่าวต่อเนื่องจะพัฒนาไปเป็นฝ้าและมะเร็งผิวหนังได้ ลักษณะการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ต่อรังสีอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในช่วง 280-400 nm จะเรียกว่า erythemal response (รูปที่ 2.8) และจะเรียกปริมาณรังสีอัลตราไวโอเลตที่ผิวหนังมนุษย์ตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวว่า erythemal ultraviolet radiation หรือ EUV ปริมาณ EUV เป็นข้อมูลสำคัญ ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าบริเวณใดมีความเสี่ยงต่ออันตรายที่จะเกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลตมากน้อยเพียงใด

โดยทั่วไปความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์จะมีค่าขึ้นกับสถานะทางอุตุนิยมวิทยาและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของประเทศ ซึ่งแตกต่างกันไปตามภูมิภาคต่างๆ ดังนั้นในการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ในประเทศไทย ผู้วิจัยจึงได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ขึ้น 4 แห่ง แห่งละ 1 ภูมิภาค

พร้อมทั้งได้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลา 4-6 ปี แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยรายละเอียดของการดำเนินการจะกล่าวในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.1.1 การวัดและบันทึกข้อมูล

เนื่องจากประเทศไทยแบ่งได้เป็น 4 ภูมิภาคหลัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ติดตั้งเครื่องวัดไว้ภูมิภาคละ 1 แห่ง 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)

ผู้วิจัยจะเรียกสถานที่ทำการวัดดังกล่าวว่าสถานีวัด ทั้งนี้เพราะเป็นการวัดและบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายปี โดยตำแหน่งของสถานีวัดแสดงดังรูปที่ 3.1 สำหรับอุปกรณ์ที่ทำการวัดซึ่งติดตั้งที่แต่ละสถานี ได้แก่ UV-Biometer รุ่น 501A ผลิตโดยบริษัท Solar Light ประเทศสหรัฐอเมริกา (รูปที่ 3.2) เครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟยี่ห้อ Yokogawa รุ่น LR4110 และเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100 (รูปที่ 3.3) โดยเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตสามารถวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ (erythmal ultraviolet radiation) ซึ่งมีลักษณะกราฟของการตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ตามรูปที่ 3.4 ผู้วิจัยจะติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบนคาเฟ่ของอาคารโดยติดบนเสาสูงประมาณ 150 เซนติเมตร เพื่อมิให้มีเงาของสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้บัง สัญญาณที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลซึ่งอยู่ภายในอาคารที่ติดตั้งเครื่องวัด ลักษณะของเครื่องวัดและบันทึกข้อมูล ที่สถานีวัดทั้ง 4 แห่ง แสดงไว้ในรูปที่ 3.5-3.12



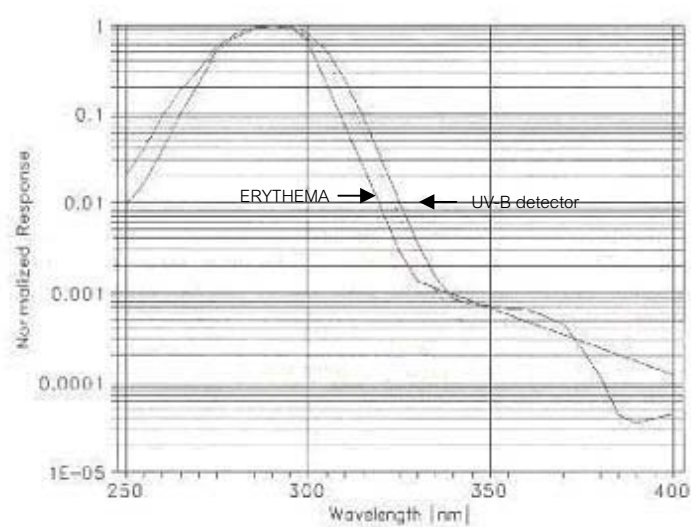
รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่ผู้วิจัยได้จัดตั้งขึ้น



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลต (UV-Biometer) รุ่น 501A



รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100



รูปที่ 3.4 แสดงกราฟของการตอบสนองของเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์



รูปที่ 3.5 แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.6 แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.7 แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอุตสาหกรรมไอโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 3.8 แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 3.9 แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีนครปฐม



รูปที่ 3.10 แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีนครปฐม

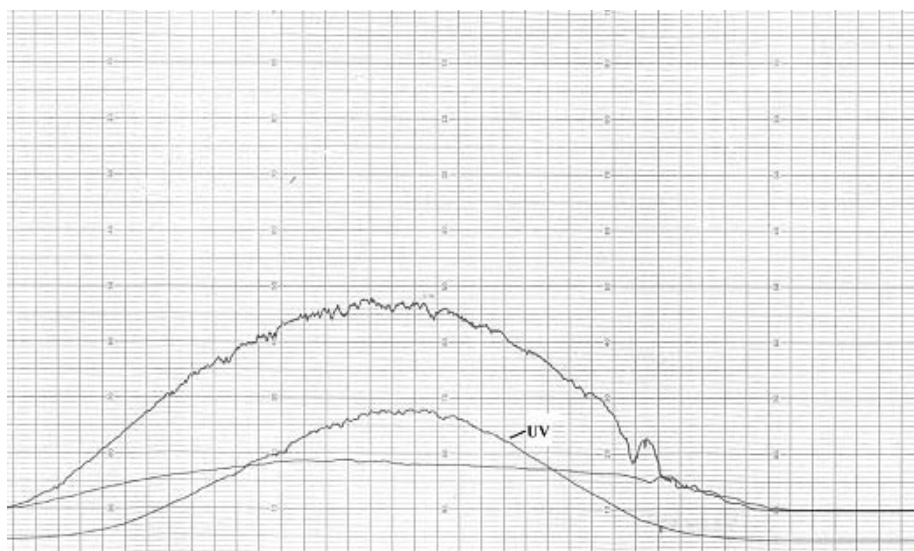


รูปที่ 3.11 แสดงภาพเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่สถานีสงขลา



รูปที่ 3.12 แสดงภาพเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีสงขลา

สัญญาณที่ได้จากหัววัดจะอยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้าในช่วงประมาณ 0-3 โวลต์ สัญญาณดังกล่าวจะถูกบันทึกลงบนกระดาษกราฟแบบต่อเนื่องด้วย chart recorder (ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.13) ในขณะเดียวกันก็บันทึกค่าแบบตัวเลขด้วยเครื่อง data logger ข้อดีของการบันทึกด้วยกระดาษกราฟคือ ผู้ดูแลเครื่องวัดจะสังเกตสภาพการทำงานของเครื่องวัดได้ง่าย กล่าวคือ กรณีที่เครื่องวัดขัดข้องจะสังเกตเห็นความผิดปกติบนกราฟได้ทันที แต่ข้อมูลที่บันทึกได้จะไม่สะดวกในการนำมาใช้งาน เพราะต้องนำมาอ่านด้วยสายตา สำหรับข้อมูลที่ได้จาก data logger จะสามารถนำมาอ่านด้วยคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง แต่อย่างไรก็ตามหากเกิดความผิดปกติของการวัดก็สังเกตได้ยาก ทำให้ข้อมูลเสียเป็นเวลานาน ดังนั้นการบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล 2 ชนิด ร่วมกันเป็นการแก้ปัญหการบันทึกข้อมูลได้ดี



รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างของข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต ซึ่งบันทึกด้วย chart recorder ที่สถานีนครปฐม ในวันที่ 3 มกราคม 2001

เนื่องจากการบันทึกข้อมูลด้วย data logger จะไม่บันทึกอย่างต่อเนื่อง เพราะจะทำให้ได้ข้อมูลจำนวนมากเกินความจำเป็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงตั้งโปรแกรมของ data logger ให้บันทึกสัญญาณทุกๆ 1 วินาที หลังจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 10 นาที แล้วทำการบันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้

ข้อมูลที่ได้จาก data logger ซึ่งอยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปของพลังงาน โดยอาศัยสมการ

$$I_{UV} = \frac{V}{S} \quad (3.1)$$

เมื่อ I_{UV} = ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต [W/m^2]
 V = ศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหัววัด [Volt]
 S = sensitivity ของหัววัด [$V/(W/m^2)$]

สำหรับในบางช่วงที่ data logger ขัดข้อง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจาก chart recorder ซึ่งต้องอ่านด้วยสายตาเป็นค่าศักย์ไฟฟ้า แล้วแปลงเป็นค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเช่นเดียวกับค่าที่ได้จาก data logger

3.1.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต

เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ติดตั้งใช้งานต่อเนื่องกลางแจ้งเป็นเวลานานๆ จะมีการเสื่อมสภาพ โดยค่า sensitivity ซึ่งใช้สำหรับแปลงศักย์ไฟฟ้าให้เป็นค่าความเข้มรังสีจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยค่า sensitivity ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ดังนั้นหลังจากที่เครื่องวัดถูกใช้งานไปแล้ว จะต้องทำการสอบเทียบเป็นระยะๆ ซึ่งโดยทั่วไปควรสอบเทียบปีละ 1 ครั้ง ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้จัดซื้อเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพิ่มเติมอีก 1 เครื่อง เพื่อใช้เครื่องวัดดังกล่าวเป็นเครื่องวัดมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องวัดของสถานีอื่นๆ



รูปที่ 3.14 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่จัดซื้อเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นเครื่องวัดมาตรฐาน

ในการสอบเทียบ ผู้วิจัยจะเดินทางนำหัววัดมาตรฐานบนขาตั้งชั่วคราว ซึ่งในที่นี้จะดัดแปลงจากขาตั้งกล้องถ่ายรูป โดยติดตั้งให้อยู่ใกล้กับเครื่องวัดของสถานีและอยู่ในระดับความสูงเดียวกัน แล้วต่อสายสัญญาณจากเครื่องวัดทั้งสองมาเข้า data logger เครื่องเดียวกัน จากนั้นจะบันทึกสัญญาณทุกๆ 30 วินาที โดยทั่วไปการสอบเทียบจะดำเนินการในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส และจะสอบเทียบตั้งแต่เวลาประมาณ 9.00 น. ถึง 15.00 น. ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีค่าหลายระดับได้แก่ มีค่าต่ำในช่วงเช้าและช่วงบ่าย และให้ค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน จากนั้นจะนำค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดมาตรฐานมาแปลงให้เป็นค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต โดยใช้สมการ (3.1) และนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดของสถานี ภาพการสอบเทียบและกราฟที่ได้จากการสอบเทียบของสถานีต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.15-3.18



รูปที่ 3.15 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
ที่สถานีเชียงใหม่



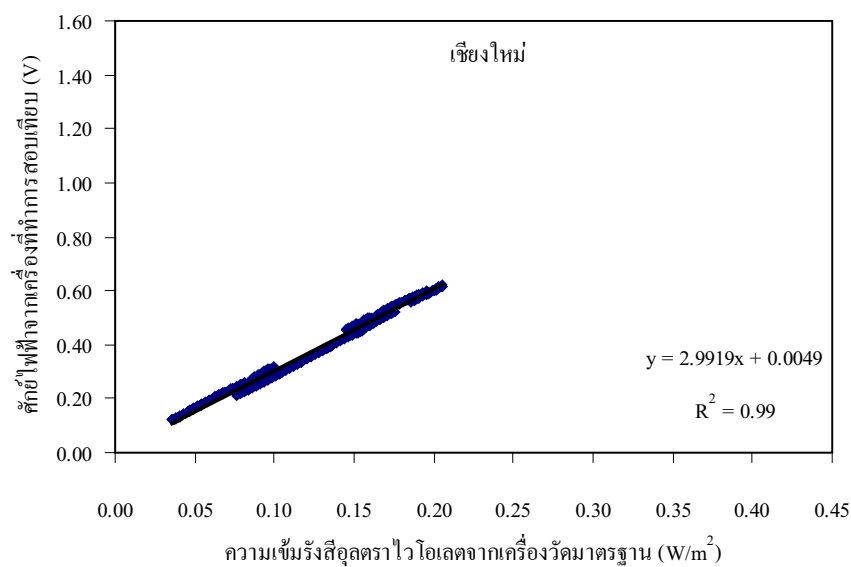
รูปที่ 3.16 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
ที่สถานีอุบลราชธานี



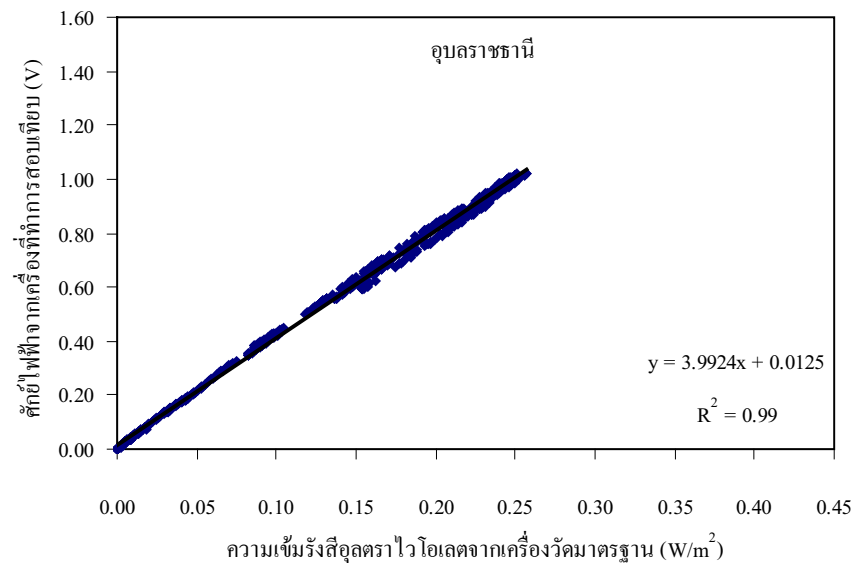
รูปที่ 3.17 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
ที่สถานีนครปฐม



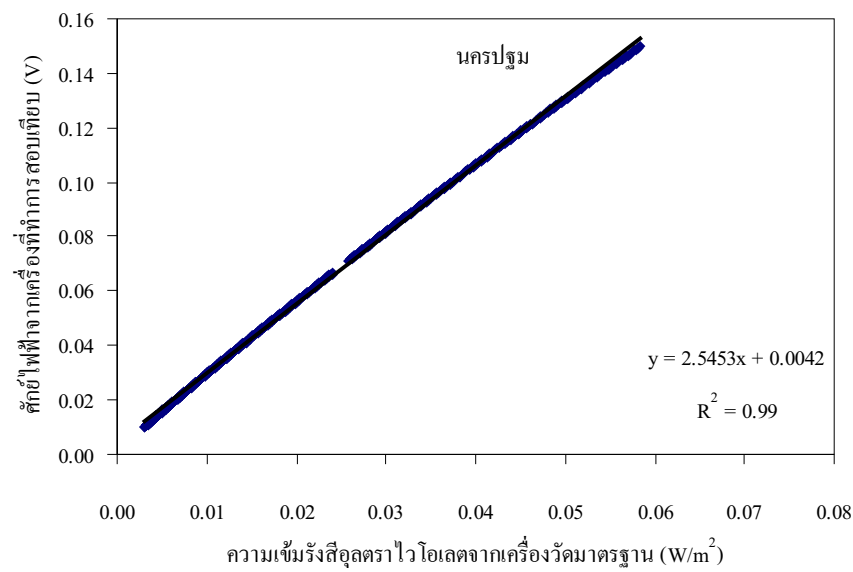
รูปที่ 3.18 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
ที่สถานีสงขลา



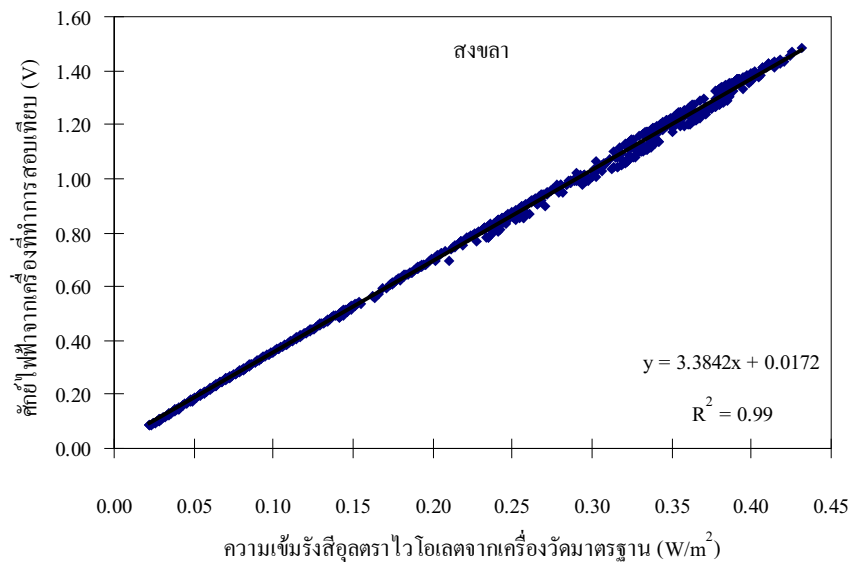
รูปที่ 3.19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
ที่ได้จากห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีเชียงใหม่ เมื่อวันที่
21 มีนาคม 2548



รูปที่ 3.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้จากห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 28 มีนาคม 2548



รูปที่ 3.21 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ที่ได้จากห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีนครพนม เมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2548



รูปที่ 3.22 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์
ที่ได้จากห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีสงขลา เมื่อวันที่
11 มีนาคม 2548

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าของเครื่องวัดที่ทำการสอบเทียบกับค่าความเข้มรังสี
อุลตราไวโอเลตจากห้ววัดมาตรฐานในรูปที่ 3.19-3.22 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยค่า
ความชันของกราฟจะเป็นค่า sensitivity (S) ของเครื่องวัดที่ต้องการสอบเทียบ หรือ

$$S = \frac{\text{ศักย์ไฟฟ้าของเครื่องที่ต้องการสอบเทียบ}}{\text{ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่วัดได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน}} \quad (3.2)$$

จากวิธีการดังกล่าว จะได้ค่า sensitivity ใหม่ของเครื่องวัดของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี
นครปฐม และสงขลา ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต

สถานี	ค่า sensitivity เดิม [$V/(W/m^2)$]	ค่า sensitivity ใหม่ [$V/(Wm^2)$]
เชียงใหม่	3.4226 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 12 กรกฎาคม 2547)	2.9919 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 21 มีนาคม 2548)
อุบลราชธานี	4.1871 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 2 พฤษภาคม 2547)	3.9924 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 28 มีนาคม 2548)
นครปฐม	2.8281 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 6 เมษายน 2547)	2.5453 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 11 มีนาคม 2548)
สงขลา	3.6927 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 11 เมษายน 2547)	3.3764 [$V/(W/m^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 14 มีนาคม 2548)

การสอบเทียบก่อนหน้านี้นี้ ผู้วิจัยได้ทำการสอบเทียบโดยการส่งเครื่องวัดของสถานีเชียงใหม่ไปสอบเทียบที่บริษัทผู้ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อเดือนมิถุนายน 2545 แล้วใช้เป็นเครื่องวัดมาตรฐานในการสอบเทียบสถานีวัดอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่า sensitivity เดิมกับค่า sensitivity ใหม่ พบว่าทั้ง 4 สถานี มีค่า sensitivity ลดลง เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเครื่องวัดที่ถูกใช้งานเป็นเวลานาน หลังจากที่ได้ค่า sensitivity ใหม่แล้ว ผู้วิจัยจะใช้ค่า sensitivity เดิมและค่าใหม่มาทำ linear interpolation เพื่อให้ได้ค่า sensitivity ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการสอบเทียบทั้งสองครั้ง เพื่อใช้คำนวณค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจากสีกย์ไฟฟ้าที่ได้

3.1.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล

ถึงแม้ว่าเครื่องวัดจะได้รับการสอบเทียบแล้วก็ตาม แต่ข้อมูลที่ได้ อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่างๆ เช่น การเกิดสัญญาณรบกวนเนื่องจากสายสัญญาณชำรุด หรือเครื่องบันทึกสัญญาณเกิดความผิดปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบสภาพของข้อมูลที่บันทึกได้ หรือที่เรียกทั่วไปว่า การควบคุมคุณภาพข้อมูล ซึ่งโดยทั่วไปทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การตรวจสอบทั่วไป และการตรวจสอบอย่างละเอียด โดยการตรวจสอบทั่วไปจะใช้การสังเกตข้อมูลที่บันทึกบนกระดาษกราฟ ซึ่งจะเห็นข้อมูลที่ผิดปกติได้โดยอาศัยความชำนาญจากการสังเกตข้อมูลที่ต่อเนื่องมาเป็นเวลาหลายปี

สำหรับการตรวจสอบอย่างละเอียด จะดำเนินการโดยใช้แบบจำลองการแผ่รังสีในบรรยากาศ (radiative transfer model) ที่พัฒนาขึ้นโดย Chandrasekhar (1960) ซึ่งสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$\mu \frac{dU_\nu}{d\tau}(\tau_\nu, \mu, \phi) = U_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) - S_\nu(\tau_\nu, \mu, \phi) \quad (3.3)$$

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

S_ν = source function

τ_ν = ความลึกเชิงแสง

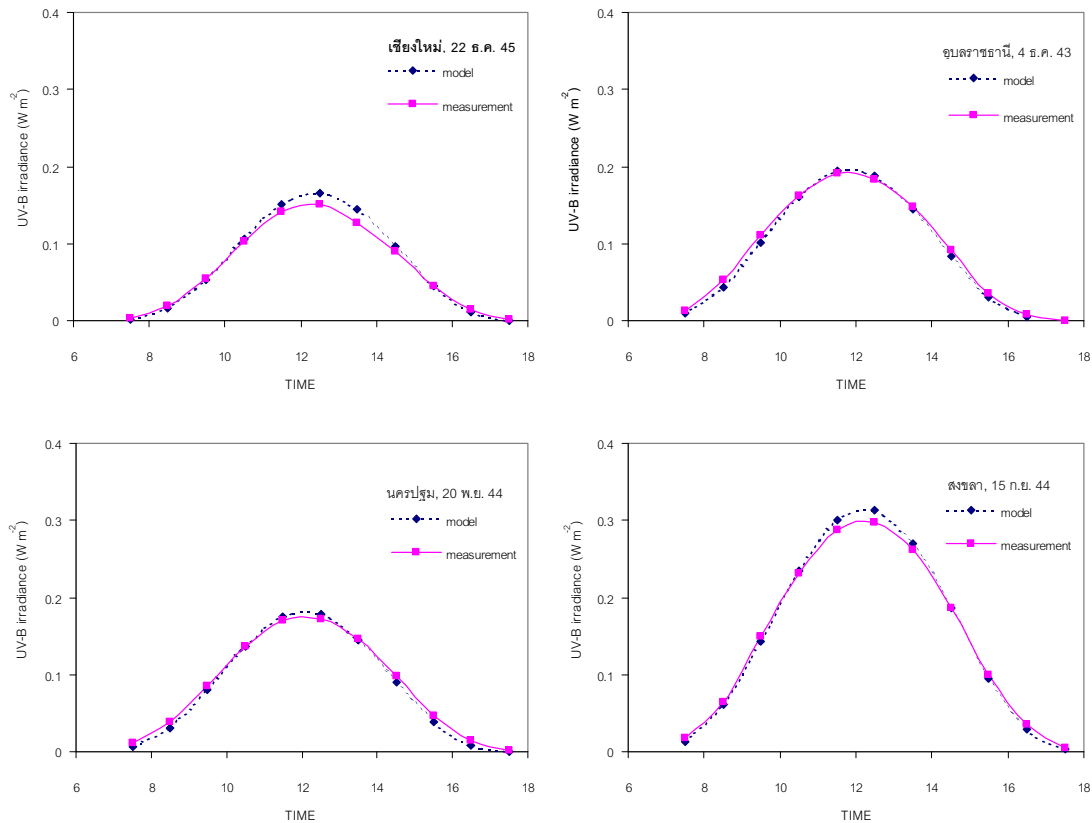
μ = cosine ของมุมเซนิธ (zenith angle)

ϕ = มุมอาซิมุท (azimuth angle)

ν = ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ต่อมา Stamnes และคณะ (1998) ได้พัฒนาวิธีการแก้สมการของแบบจำลองดังกล่าวโดยใช้วิธี discrete ordinate โดยแบ่งบรรยากาศเป็นชั้นขนานกัน เนื่องจากการแก้สมการวิธีนี้ประกอบด้วยขั้นตอนจำนวนมาก ดังนั้น Mayer และคณะ (1997) จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer code) ซึ่งมีชื่อว่า UVSPEC สำหรับช่วยในการคำนวณ โปรแกรมนี้ได้รับการทดสอบจากนักวิจัยต่างๆ (Zeng et al., 1994) และใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานด้านรังสีอุลตราไวโอเลต

ผู้วิจัยได้นำโปรแกรม UVSPEC มาตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล โดยในลำดับแรกจะทำการเลือกข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear day) และหาข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้เป็น input ของโปรแกรม UVSPEC ซึ่งวัดที่สถานีเดียวกันและวัดในเวลาเดียวกัน โดยข้อมูลดังกล่าว ได้แก่ ข้อมูลทัศนวิสัย (visibility) ข้อมูลปริมาณโอโซน และตำแหน่งดวงอาทิตย์ สำหรับข้อมูลปริมาณโอโซนจะใช้ข้อมูลที่ทำกรวัดโดยดาวเทียม TOMS/EP หลังจากนั้นจะทำการคำนวณความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตด้วยโปรแกรม UVSPEC แล้วนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าจากการวัด ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 3.23 ถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับค่าจากการวัดก็แสดงว่าข้อมูลจากการวัดมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 3.23 แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) ที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC

3.1.4 จำนวนข้อมูลที่น่าวิเคราะห์

หลังจากที่ทำการควบคุมคุณภาพของข้อมูลแล้ว พบว่าข้อมูลในช่วงต้นของการวัดของทุกสถานที่มีปัญหาด้านสัญญาณรบกวน และข้อมูลขาดหายค่อนข้างมาก ทั้งนี้เนื่องจากผู้ดูแลเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลที่อยู่ตามสถานีต่างๆ ยังขาดประสบการณ์ หลังจากที่ได้ทำการตรวจเยี่ยมสถานีวัด ผักผ่อนเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงสายสัญญาณและปรับปรุงระบบการบันทึกข้อมูลแล้ว จึงจะได้ข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้อง โดยข้อมูลที่คัดเลือกนำมาวิเคราะห์หามีช่วงเวลาของข้อมูลตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงช่วงเวลาของข้อมูลนำมาวิเคราะห์

สถานี	ช่วงเวลาของข้อมูล	จำนวนปี
เชียงใหม่	1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004	7 ปี
อุบลราชธานี	1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004	4 ปี
นครปฐม	1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004	7 ปี
สงขลา	1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004	4 ปี

3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์ (erythema ultraviolet radiation, EUV) ที่ควบคุมคุณภาพแล้วมาทำการวิเคราะห์ตามรายละเอียดดังนี้

3.1.5.1 การแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)

ก. กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

โดยทั่วไปในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear day) ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของมุมตกกระทบ (incident angle) และการแปรค่าของมวลอากาศที่รังสีผ่าน (air mass) โดยค่าสูงสุดของแต่ละวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในรอบปี สำหรับในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ (cloudy day) นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปกติเช่นเดียวกับกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆแล้ว ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเนื่องจากการบดบังดวงอาทิตย์ของเมฆด้วย

ในงานวิจัยนี้ ลำดับแรกจะทำการศึกษาการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ทั้งนี้เพราะเป็นวันที่ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตสูงสุด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์สูงสุด โดยผู้วิจัยจะทำการคัดเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆหรือมีเมฆน้อยที่สุดของแต่ละเดือน โดยสังเกตจากลักษณะการแปรค่าของรังสีรวมที่บันทึกด้วย chart recorder และสังเกตจากข้อมูลปริมาณเมฆ แล้วนำค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ได้มาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน พร้อมทั้งแสดงระดับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตตาม Canadian AES Scale (Burrows et al., 1994) ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.24-3.26

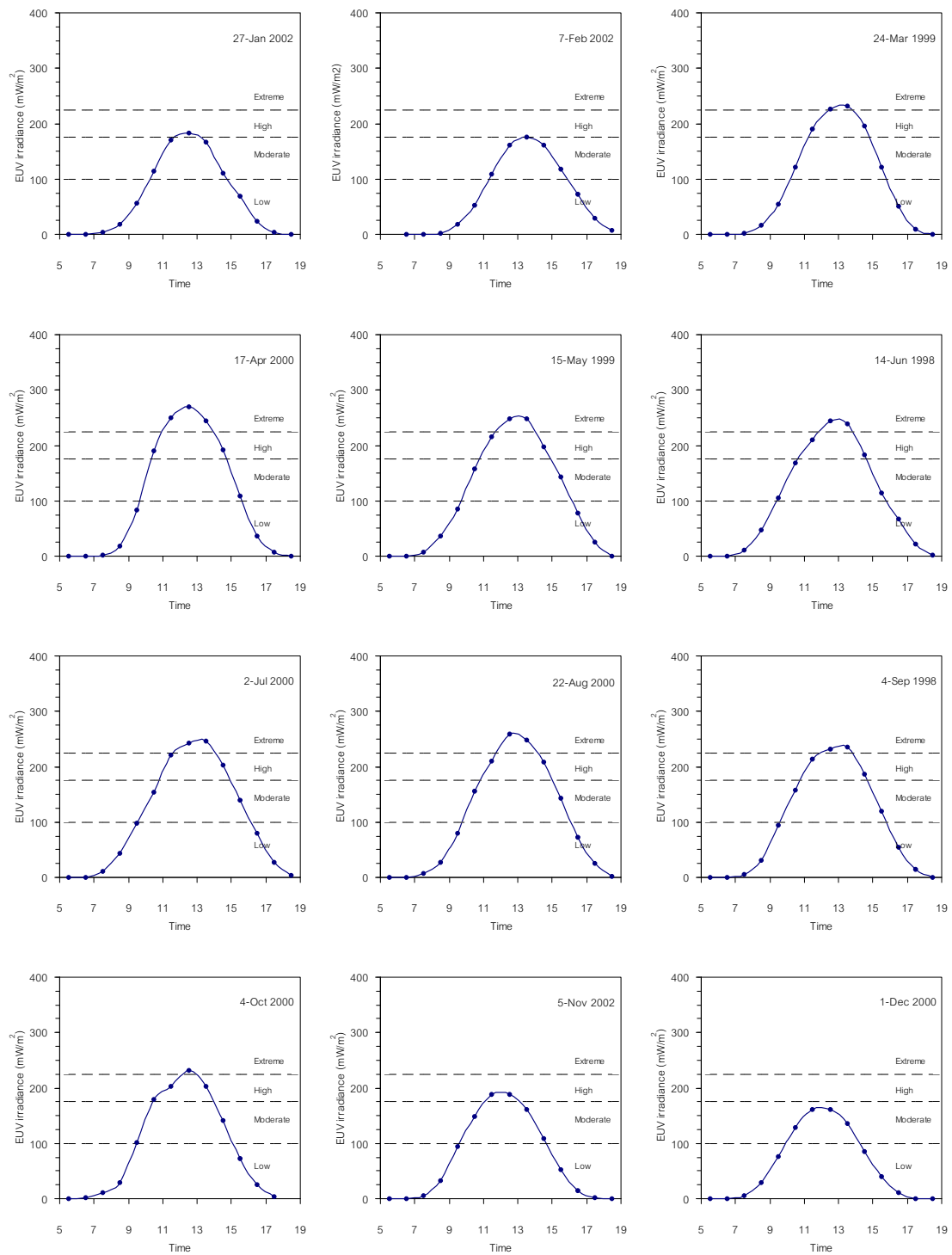
จากกราฟของสถานีเชียงใหม่ (รูปที่ 3.24) จะเห็นว่าในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลง

จนถึงช่วงเย็น โดยมีลักษณะการแปรค่าในช่วงเช้าและช่วงบ่ายค่อนข้างสมมาตร เมื่อพิจารณาระดับความเข้มของแต่ละเดือนพบว่า เดือนกุมภาพันธ์และธันวาคมเท่านั้นที่มีค่าตลอดทั้งวันอยู่ในระดับปานกลาง (moderate) และต่ำ (low) สำหรับเดือนอื่นๆ จะมีค่าตอนเที่ยงวันอยู่ในระดับสูง (high) และสูงมาก (extreme)

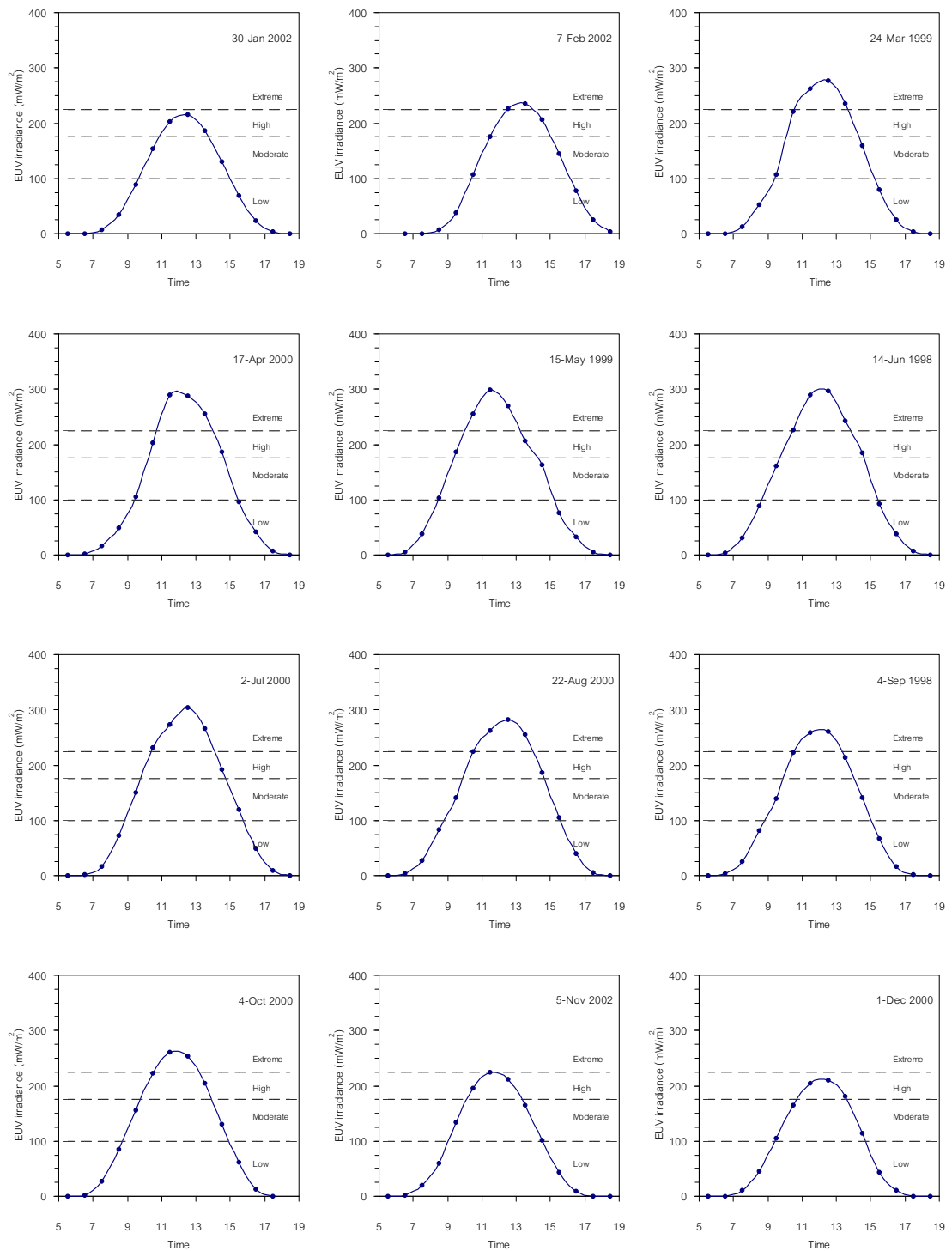
สำหรับสถานีอุบลราชธานี ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตของเดือนมกราคม พฤศจิกายนและธันวาคมจะมีค่าตอนเที่ยงวันอยู่ในระดับสูง และตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนตุลาคมจะมีค่าอยู่ในระดับสูงมาก สำหรับกรณีของสถานีนครปฐม มีเฉพาะเดือนมกราคมเท่านั้นที่มีค่าสูงสุดอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนเดือนพฤศจิกายนและธันวาคมมีค่าสูงสุดอยู่ในระดับสูง สำหรับเดือนอื่นๆ ที่เหลือจะมีค่าสูงสุดอยู่ในระดับสูงมาก และสำหรับสถานีสงขลา ค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตในช่วงท้องฟ้าปราศจากเมฆระหว่างเวลา 11.00-14.00 น. จะมีค่าอยู่ในระดับสูงมากของทุกเดือน สำหรับจำนวนของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของแต่ละสถานี แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของสถานีต่างๆ

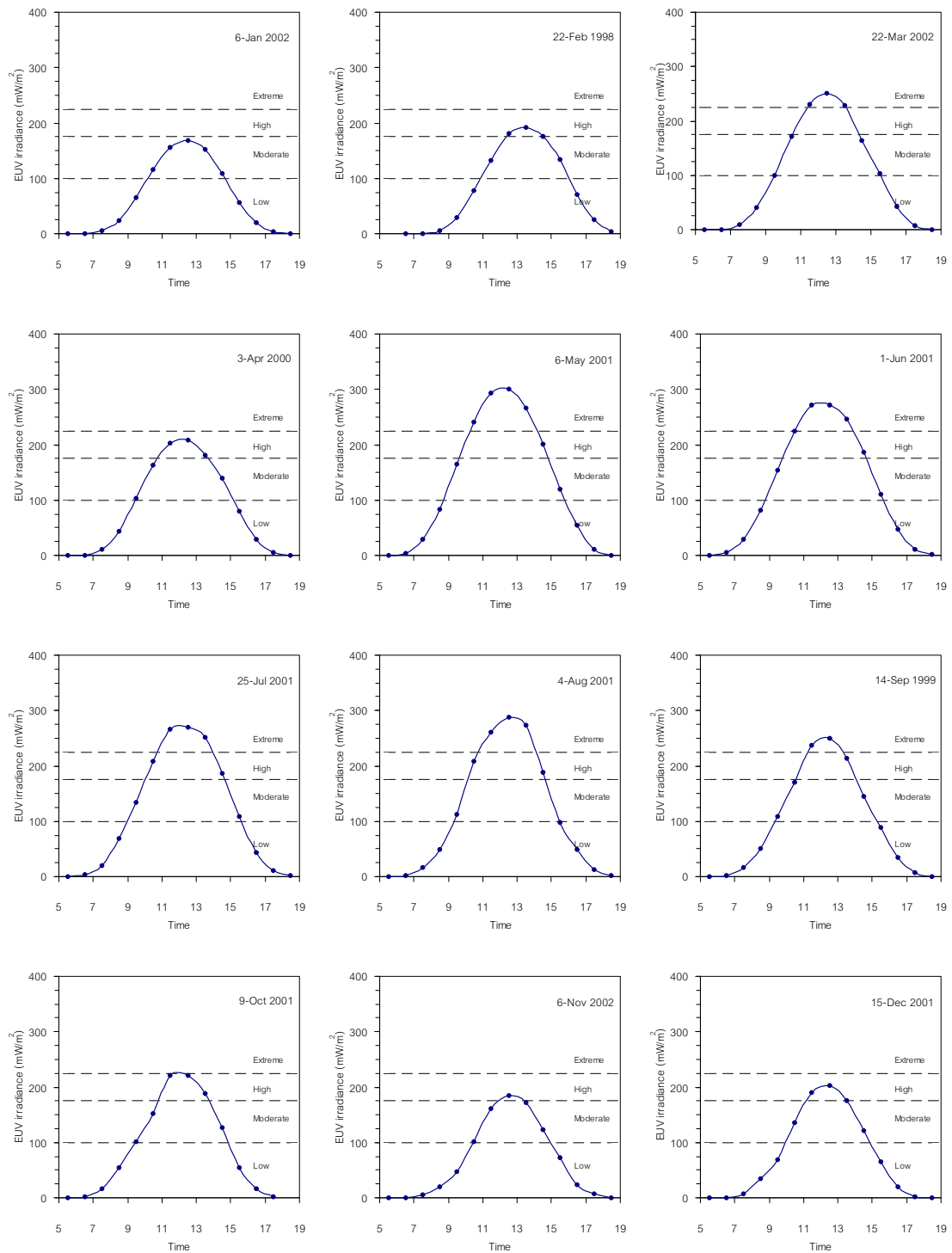
สถานี	ความยาวของข้อมูล		จำนวนวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ	
	ช่วงเวลา	จำนวนข้อมูล	จำนวนวัน	เปอร์เซ็นต์
เชียงใหม่	1 มกราคม 1998-31 ธันวาคม 2004	7 ปี	313 วัน	12.2%
อุบลราชธานี	1 มกราคม 2001-31 ธันวาคม 2004	4 ปี	78 วัน	5.3%
นครปฐม	1 มกราคม 1998-31 ธันวาคม 2004	7 ปี	286 วัน	11.2%
สงขลา	1 มกราคม 2001-31 ธันวาคม 2004	4 ปี	47 วัน	3.2%



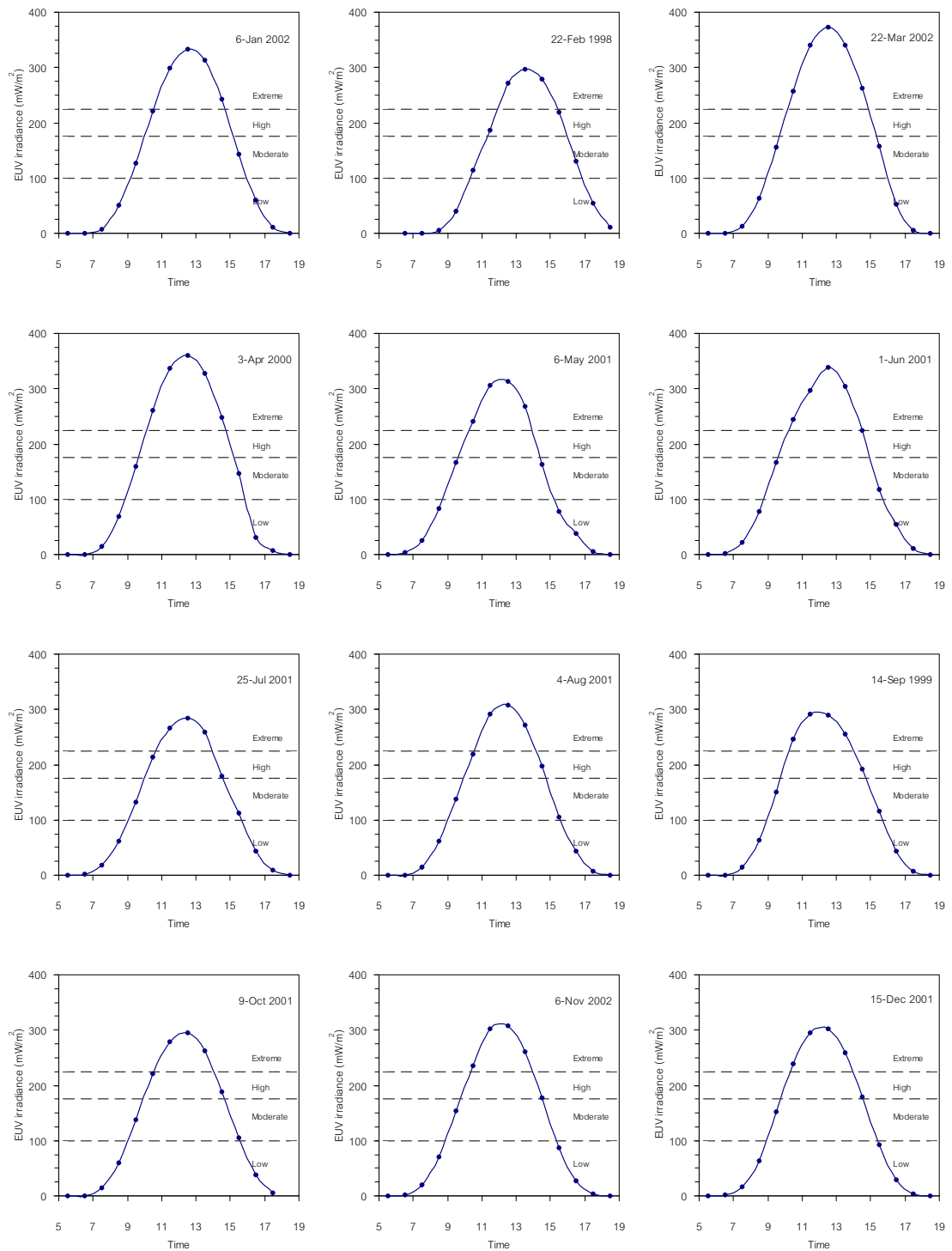
รูปที่ 3.24 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต
ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.25 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต
ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีอวกาศยาน



รูปที่ 3.26 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต
ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีนครปฐม

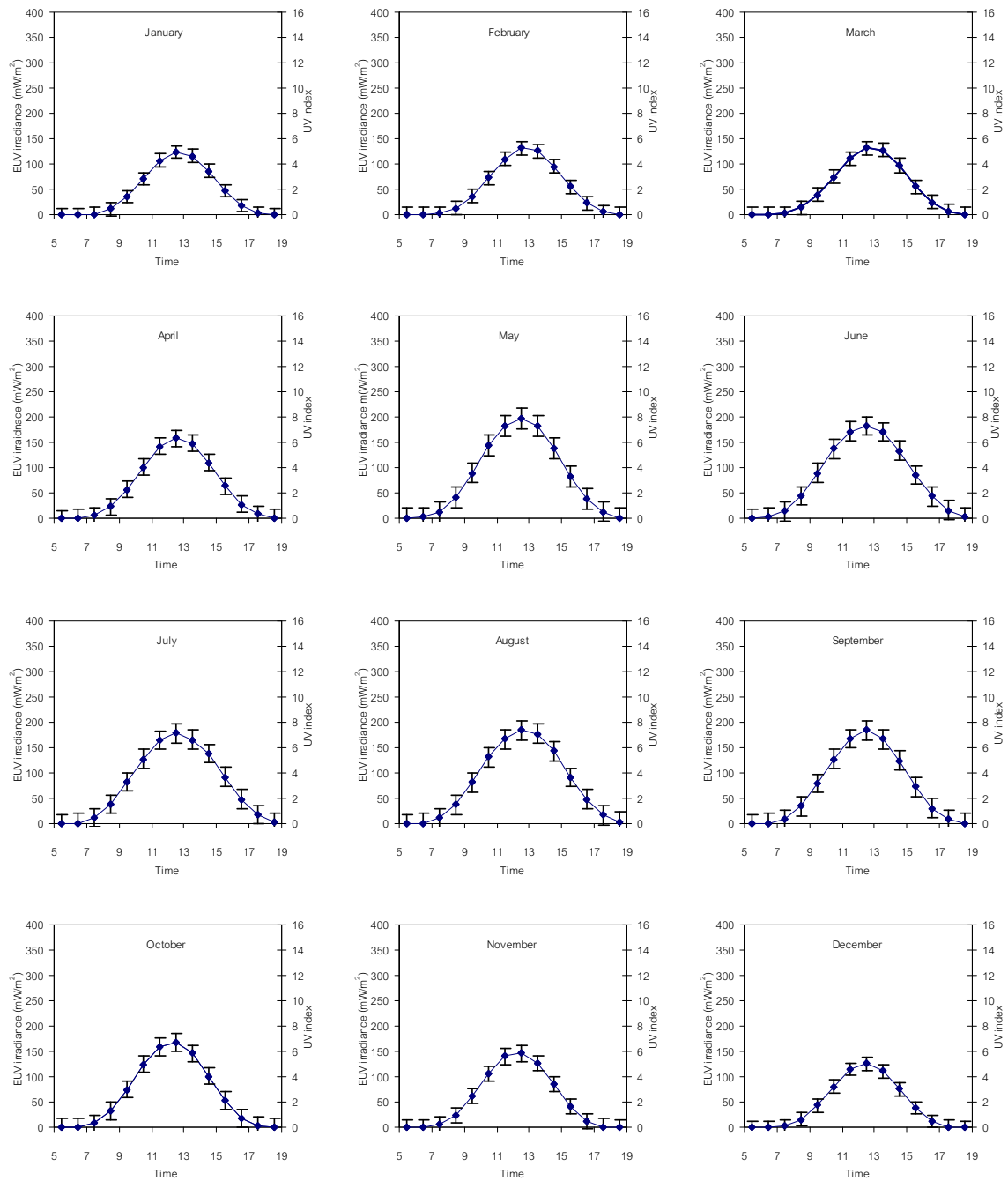


รูปที่ 3.27 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ต
ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีสงขลา

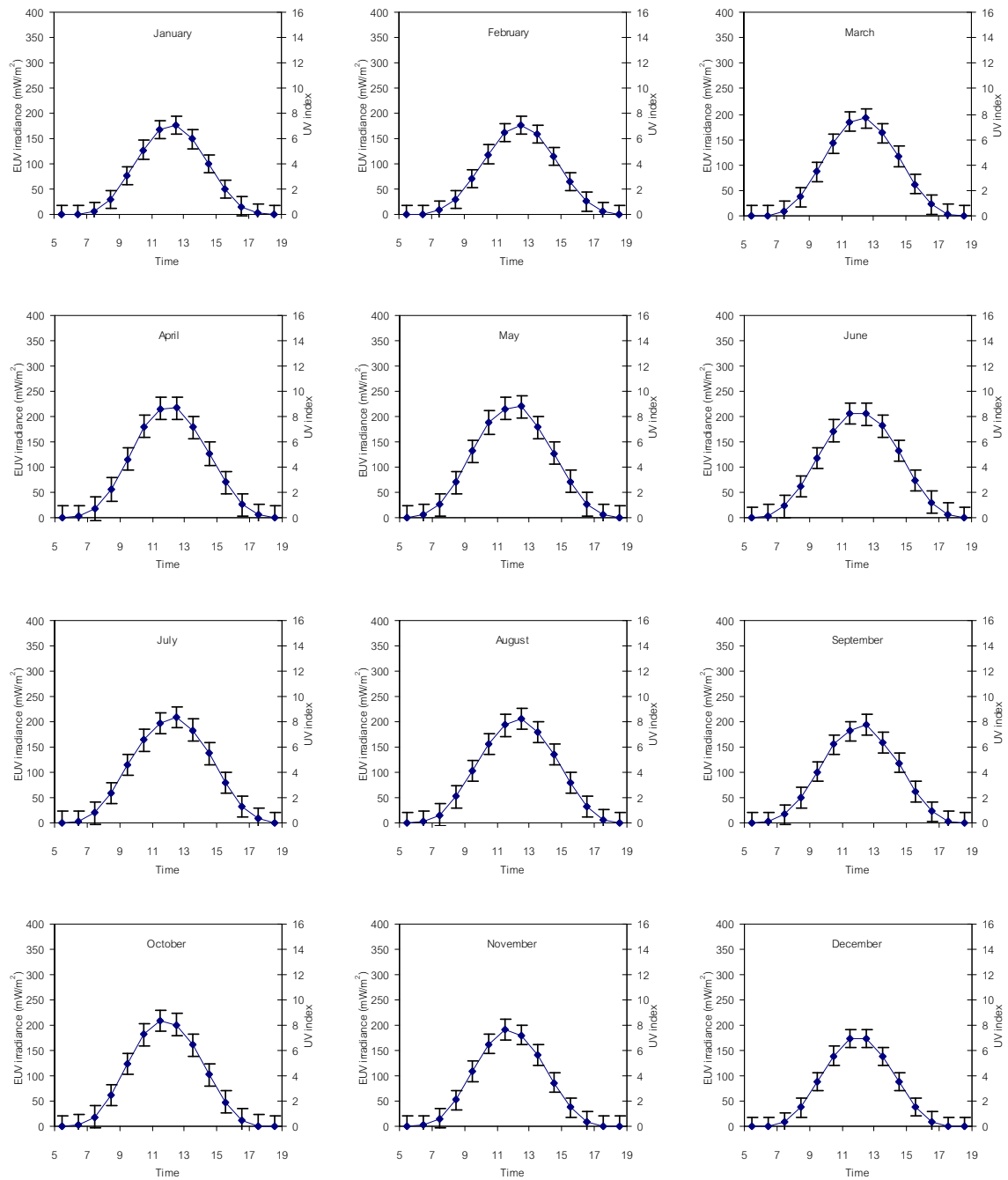
ข. กรณีท้องฟ้าทั่วไป

ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าทั่วไป นอกจากจะขึ้นกับปริมาณโอโซนและฝุ่นละอองในบรรยากาศและมุมตกกระทบแล้ว ยังขึ้นกับปริมาณเมฆซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิภาคและฤดูกาล โดยในบางวันเมฆสามารถทำให้ค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตอนเที่ยงวันลดลงเข้าใกล้ศูนย์ได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติ การบอกปริมาณความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจึงสามารถบอกได้ด้วยค่าเฉลี่ย ผู้วิจัยจึงได้นำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงของแต่ละเดือนมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.28-3.31

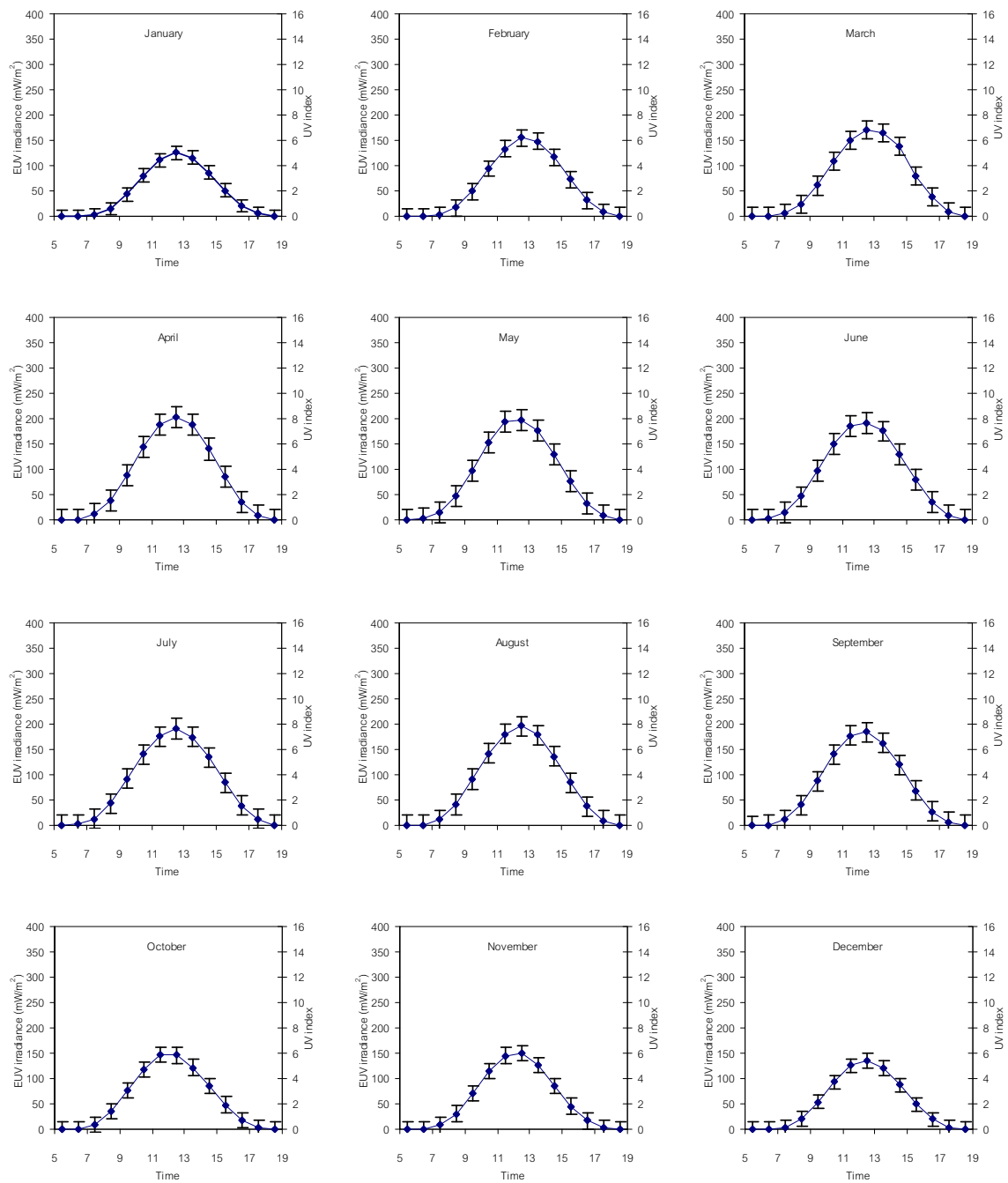
จากกราฟจะเห็นว่า การแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น กราฟของช่วงเช้ากับช่วงบ่ายจะมีลักษณะสมมาตร (symmetry) โดยค่าสูงสุด (peak) ของแต่ละสถานีจะเปลี่ยนแปลงไปตามเดือนต่างๆ ค่าเฉลี่ยสูงสุดของสถานีอุบลราชธานี นครปฐม และสงขลาอยู่ที่เดือนเมษายน และค่าเฉลี่ยสูงสุดของสถานีเชียงใหม่อยู่ที่เดือนพฤษภาคม



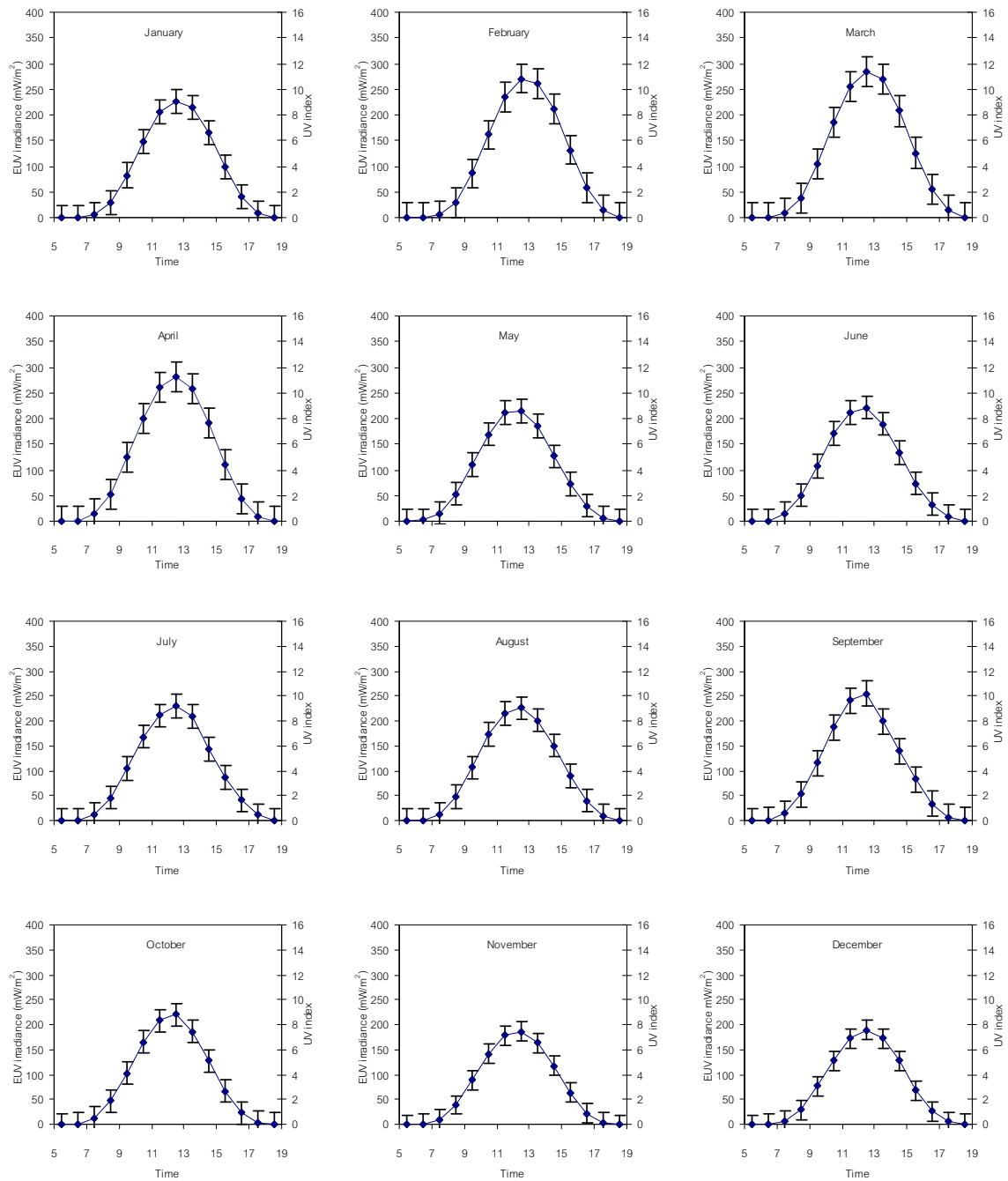
รูปที่ 3.28 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน
ของสถานีเชียงใหม่ [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.29 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน
ของสถานีอุบลราชธานี [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.30 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน
ของสถานีนครปฐม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.31 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน
ของสถานีสงขลา [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]

3.1.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation)

ค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่วัด ณ สถานีหนึ่ง โดยทั่วไปจะแปรตามฤดูกาลในรอบปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า หรือการเปลี่ยนมุมเคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (solar declination) และสถานะทางอุตุนิยมวิทยา ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณค่าของรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในรูปของพลังงานที่ได้รับในหน่วย $\text{kJ/m}^2\text{-day}$ จากข้อมูลที่วัดได้จากแต่ละสถานี แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.32-3.35

จากกราฟจะเห็นว่าที่สถานีเชียงใหม่ รังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4.09 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ จากนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนถึงเดือนสิงหาคม หลังจากเดือนสิงหาคม ค่ารังสีอุลตราไวโอเลตจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม โดยความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับเฉลี่ยทั้งปีมีค่า $3.13 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$

สำหรับกรณีของสถานีอุบลราชธานี รังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4.57 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ หลังจากนั้นจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไปจนถึงเดือนกรกฎาคม แล้วจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม โดยความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่า $3.90 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$

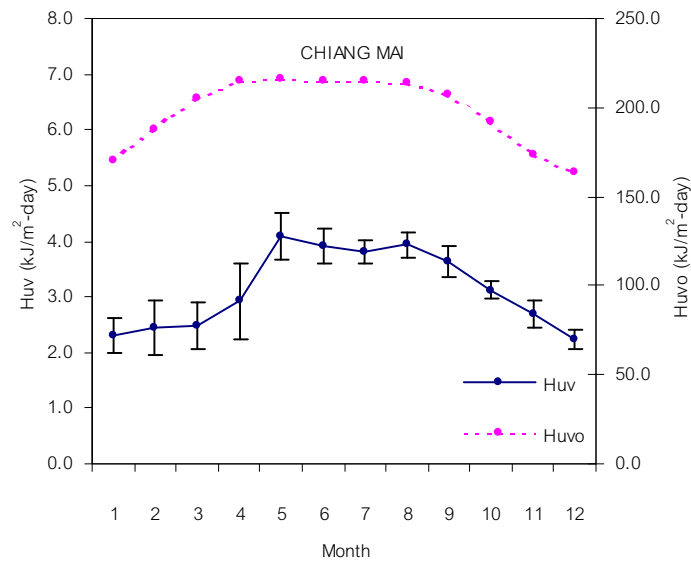
สำหรับกรณีของสถานีนครปฐม รังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายน ($4.13 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$) และค่อนข้างคงที่ไปจนถึงเดือนสิงหาคม แล้วจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงปลายปี โดยความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับเฉลี่ยทั้งปีมีค่า $3.43 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$

ในด้านของสถานีสงขลา ลักษณะการแปรค่าของรังสีอุลตราไวโอเลตแตกต่างไปจากสถานีอื่นๆ กล่าวคือ รังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับมีค่าค่อนข้างสูงตั้งแต่เดือนมกราคมและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม ($5.61 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$) จากนั้นจะลดลงในเดือนพฤษภาคมและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงเดือนกันยายน แล้วจะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม โดยความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับเฉลี่ยทั้งปีมีค่า $4.57 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$

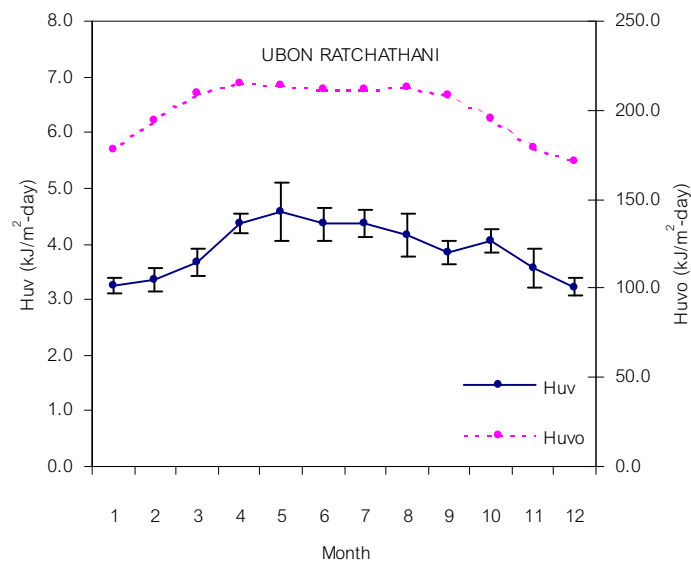
การเพิ่มขึ้นของปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับของทุกสถานีในช่วงต้นปีจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายนหรือพฤษภาคมแล้วแต่สถานี เกิดจากตำแหน่งของระนาบทางเดินปรากฏ (apparent path) ของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเป็นสำคัญ โดยตั้งแต่วันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม ระนาบทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์จะค่อยๆ เลื่อนจากซีกฟ้าใต้เข้าหาเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (celestial equator) ทำให้รังสี

ดวงอาทิตย์มีมุมตกกระทบ ณ ตำแหน่งของสถานีวัดลดลงเรื่อยๆ ดังรูปที่ 3.36 ดังนั้นรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นราบดังกล่าวบนบรรยากาศโลกจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามละติจูดและตามเวลา ดังกราฟในรูปที่ 3.37 ถึงแม้ว่าเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศลงมาจะลดลงเนื่องจากการดูดกลืนและการกระเจิงขององค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ โดยตัวกลางที่สำคัญที่สุดคือ เมฆ แต่ในช่วงเดือนมกราคม-เมษายนเป็นช่วงฤดูแล้ง (dry season) ท้องฟ้าส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับช่วงฤดูฝน ดังนั้นรังสีอุลตราไวโอเลตที่มาถึงพื้นผิวโลกยังคงมีการแปรตามค่าละติจูดและตามเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเป็นหลัก

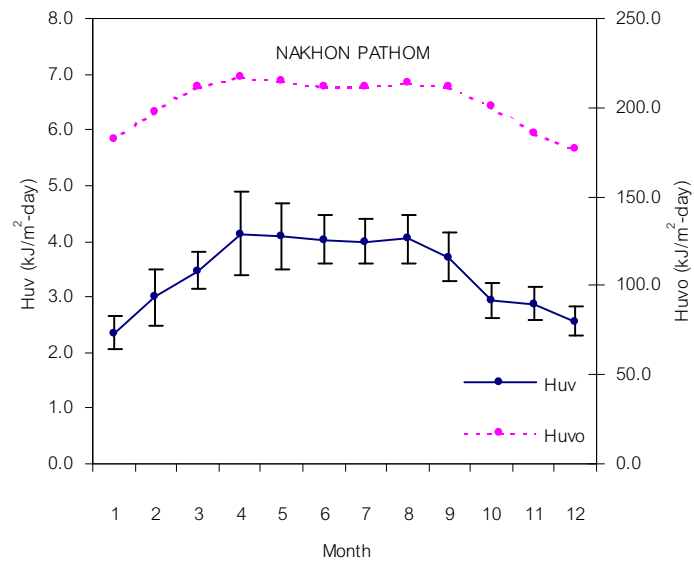
จากเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนกันยายน ถึงแม้รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศยังคงสูงอยู่ แต่ช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ท้องฟ้าส่วนใหญ่มีเมฆปกคลุมมาก รังสีอุลตราไวโอเลตจึงไม่เพิ่มขึ้น สำหรับช่วงหลังจากเดือนตุลาคมจนถึงเดือนธันวาคม รังสีอุลตราไวโอเลตมีค่าลดลง ถึงแม้ว่าภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางจะเป็นช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมน้อย ทั้งนี้เพราะรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมีค่าลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ และสำหรับกรณีของสงขลา ซึ่งมีฤดูฝนยาวนานถึงเดือนธันวาคม ผลจากเมฆประกอบกับผลจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ทำให้รังสีอุลตราไวโอเลตลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ



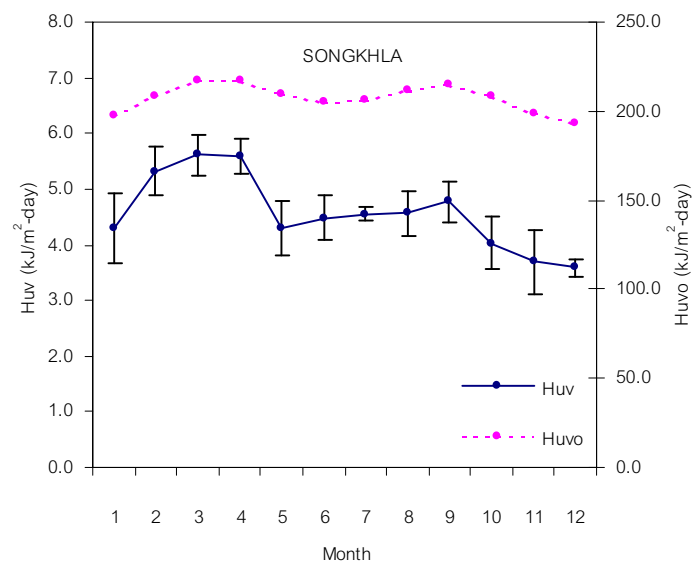
รูปที่ 3.32 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี ของสถานี เชียงใหม่ เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



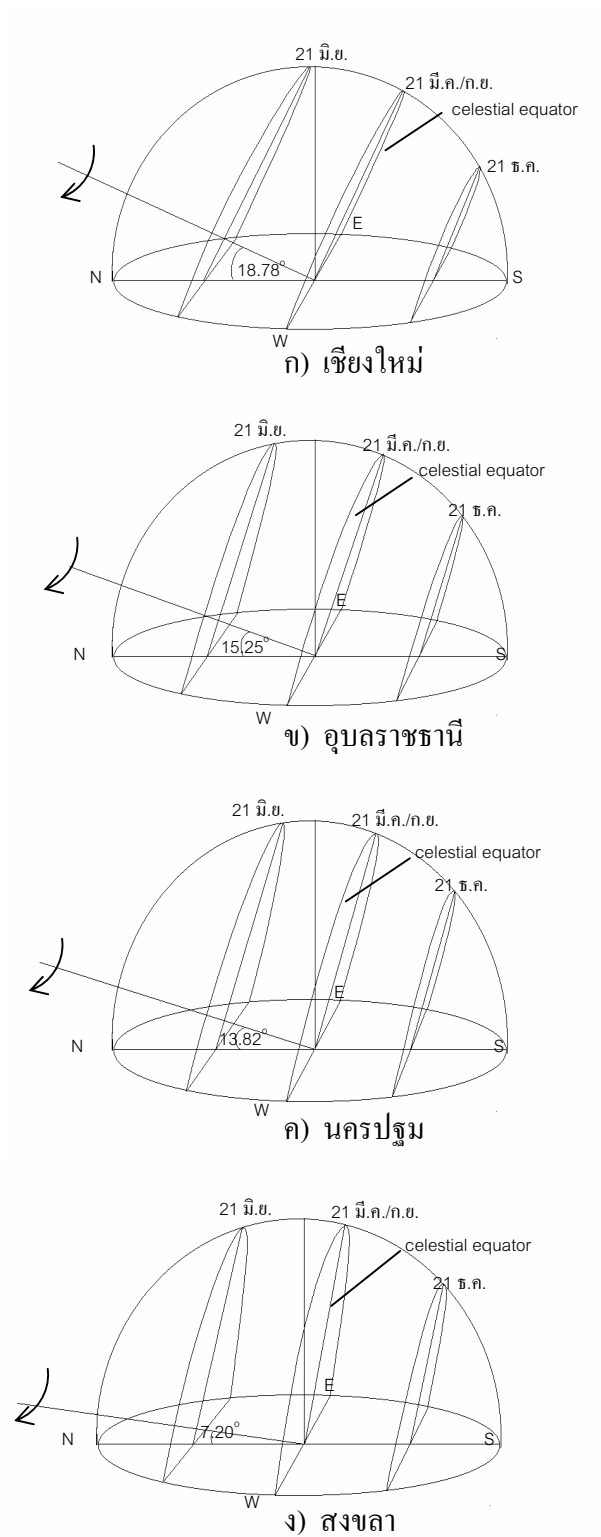
รูปที่ 3.33 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี ของสถานี อุบลราชธานี เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



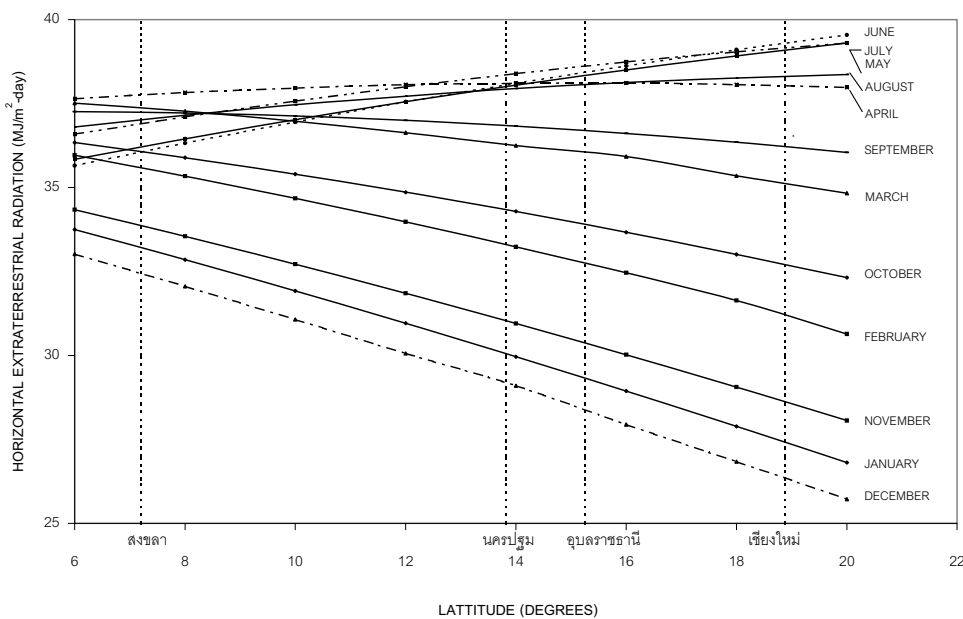
รูปที่ 3.34 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี ของสถานี นครปฐม เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



รูปที่ 3.35 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี ของสถานี สงขลา เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ Huvo เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



รูปที่ 3.36 แสดงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของสถานี



รูปที่ 3.37 แสดงการแปรค่าของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบ
ตามละติจูด ในเดือนต่างๆ

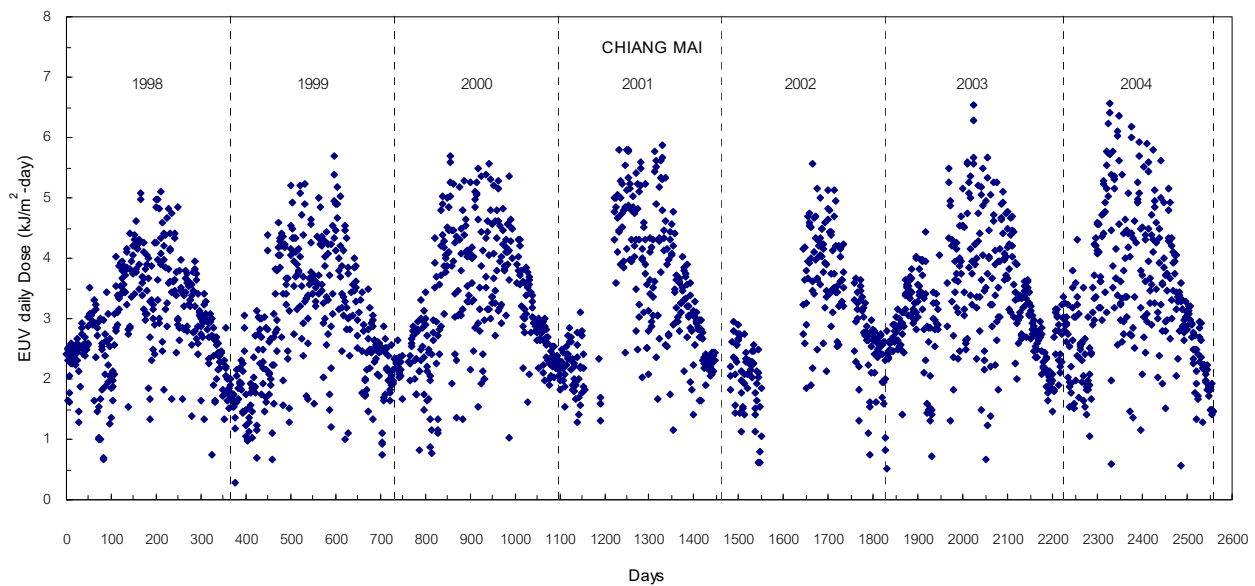
3.1.5.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตระหว่างปีต่างๆ (inter-annual variation)

โดยทั่วไป ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต ณ สถานที่หนึ่ง นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปีแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปีต่างๆ ด้วย ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยการนำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันมาเขียนกราฟกับเวลาผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.38-3.41

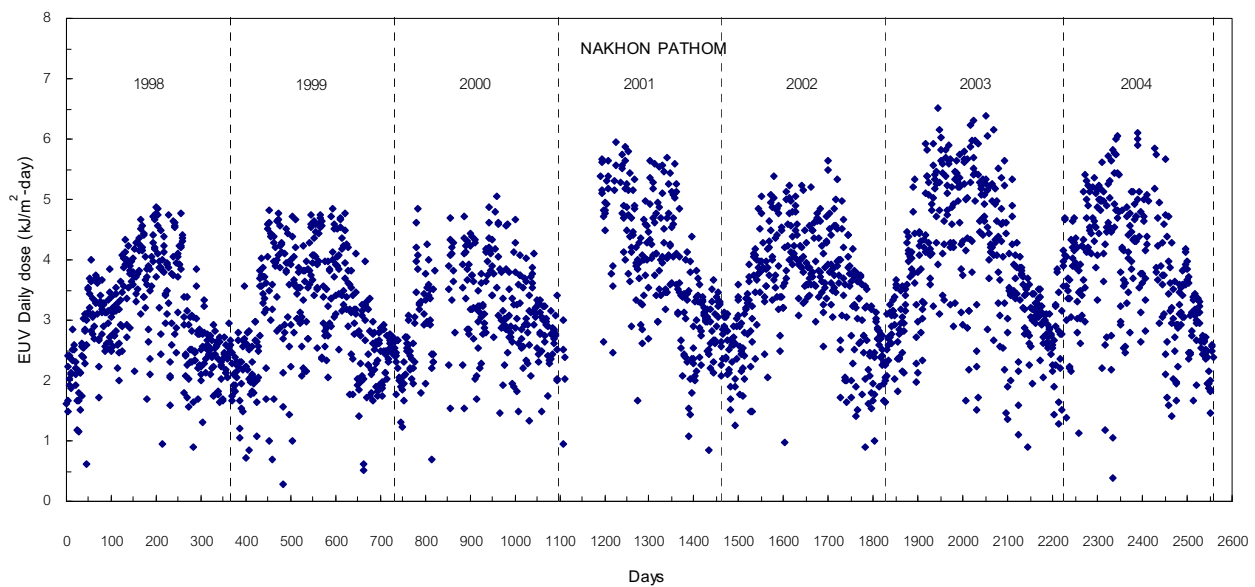
เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลแต่ละปีซึ่งคัดเลือกจากค่าสูงสุดลดหลั่นลงมาเป็นจำนวน 10% ของข้อมูลในปีนั้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นจะนำมาเขียนกราฟกับเวลาผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.42-3.45

จากกราฟการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตในปีต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่และนครปฐม จะเห็นแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต (EUV) ในช่วงเวลา 7 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 1998-2004) โดยมีการเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.13 และ 0.20 $\text{kJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ /ปี ตามลำดับ สำหรับสถานีอุบลราชธานีและสงขลา ยังเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน เนื่องจากระยะเวลาการวัดยังค่อนข้างสั้น การเพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจสืบเนื่องมาจากการลดลงของโอโซนตามแนวโน้มทั่วโลก

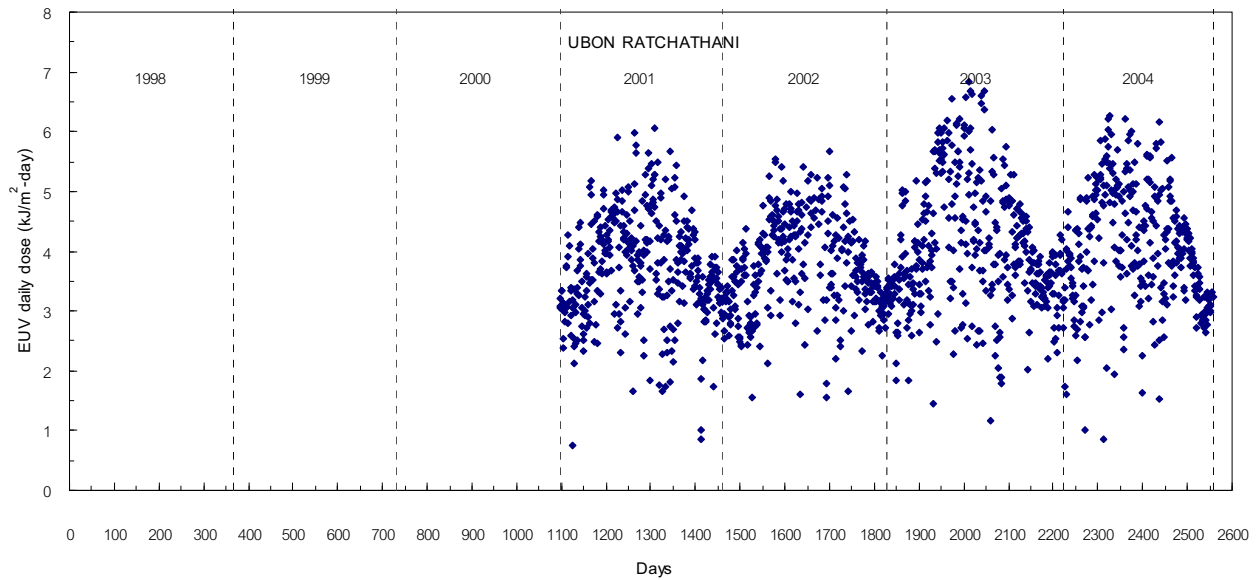
แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่มีอยู่ยังน้อยเกินไปที่จะสรุปได้ในขณะนี้ ดังนั้นหลังจากโครงการเสร็จสิ้นแล้ว จึงจำเป็นต้องดำเนินการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อไป เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว



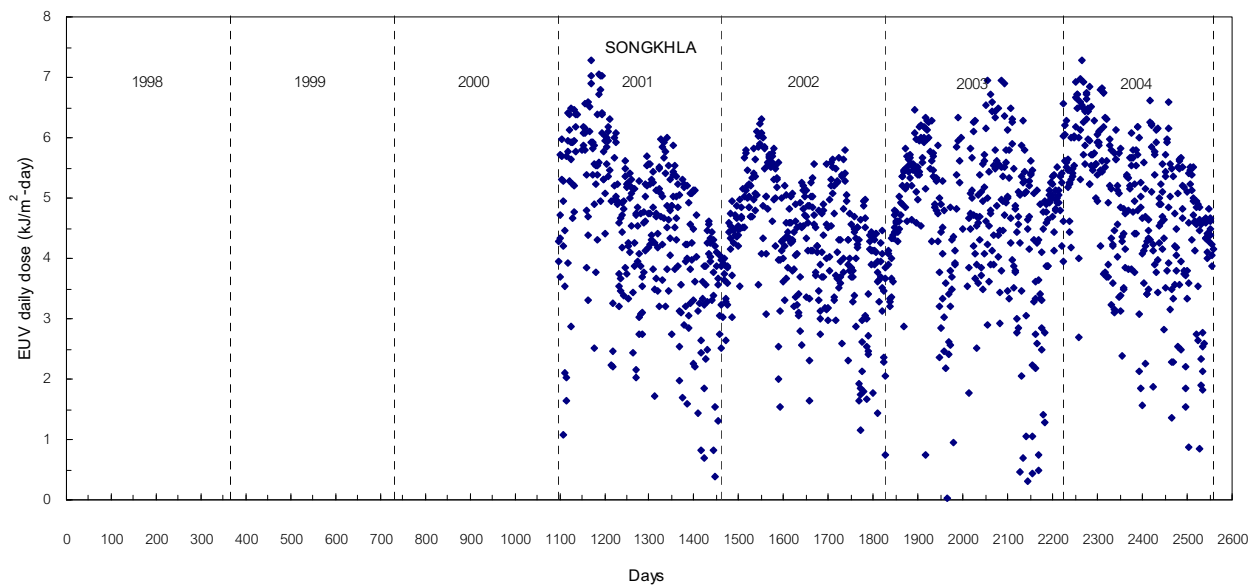
รูปที่ 3.38 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
เชียงใหม่ (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)



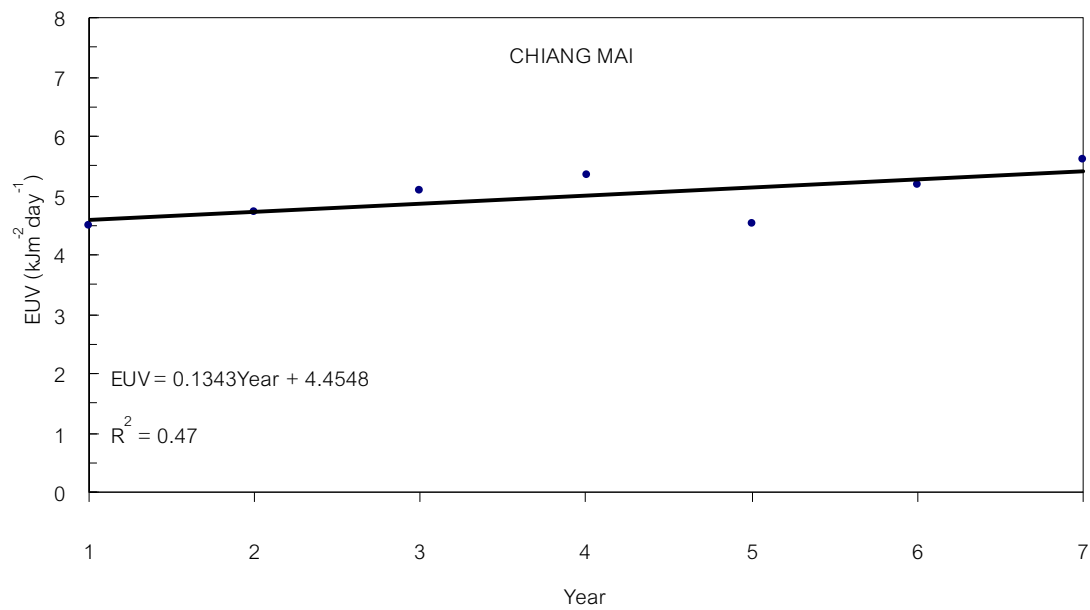
รูปที่ 3.39 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
นครปฐม (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)



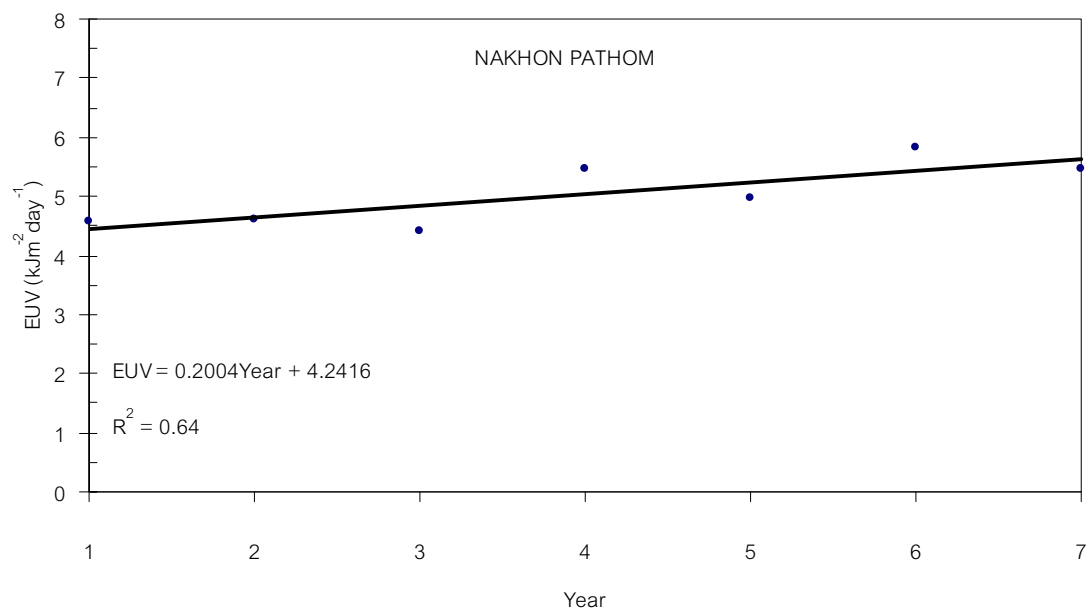
รูปที่ 3.40 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
อุบลราชธานี (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)



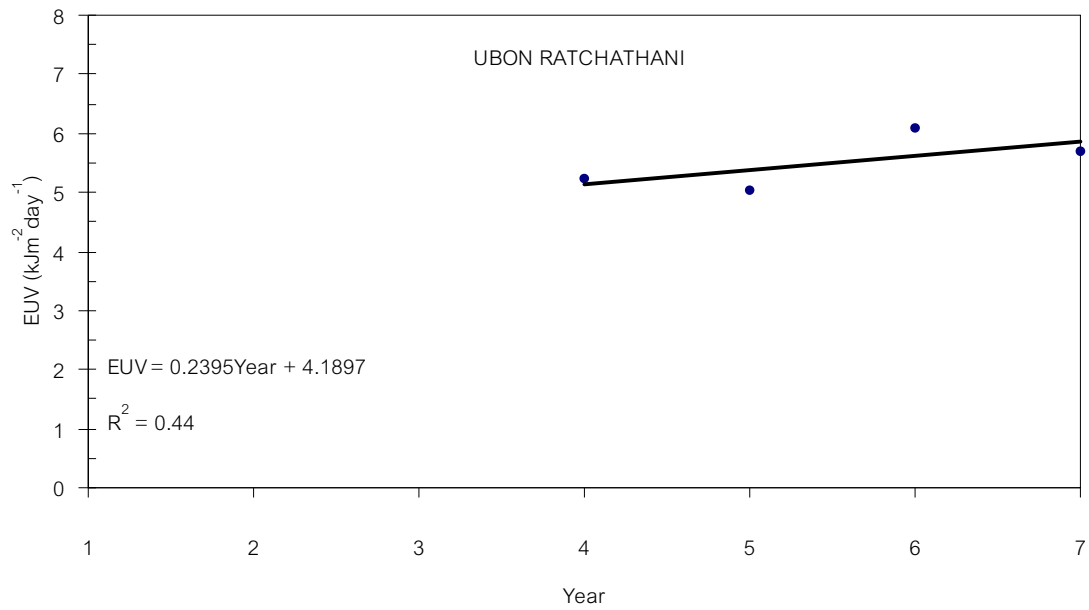
รูปที่ 3.41 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
สงขลา (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)



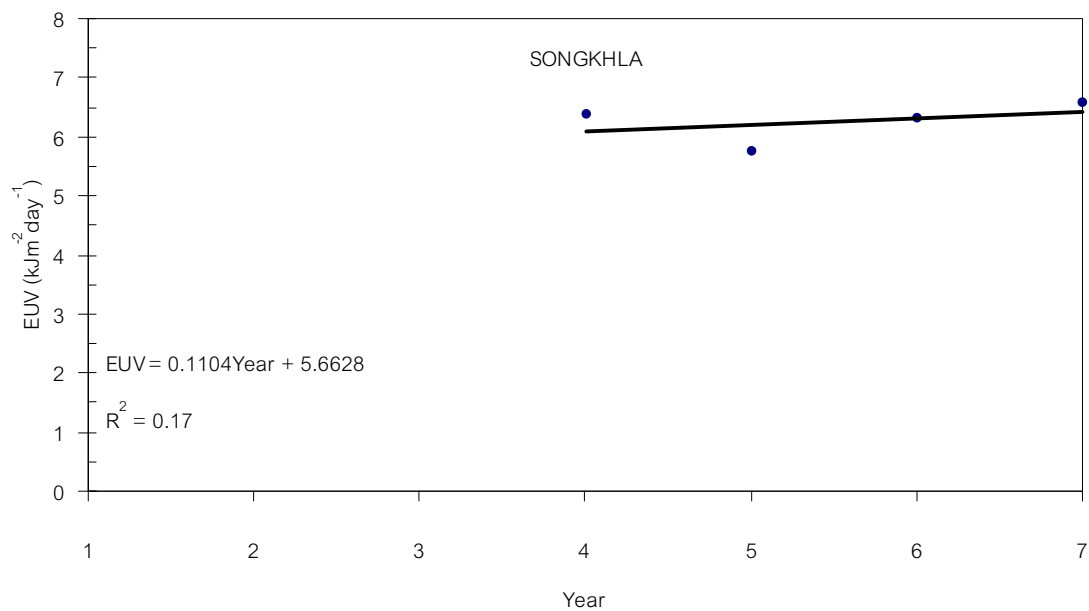
รูปที่ 3.42 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ในกลุ่ม 10% แรกจากค่าสูงสุดของสถานีเชียงใหม่



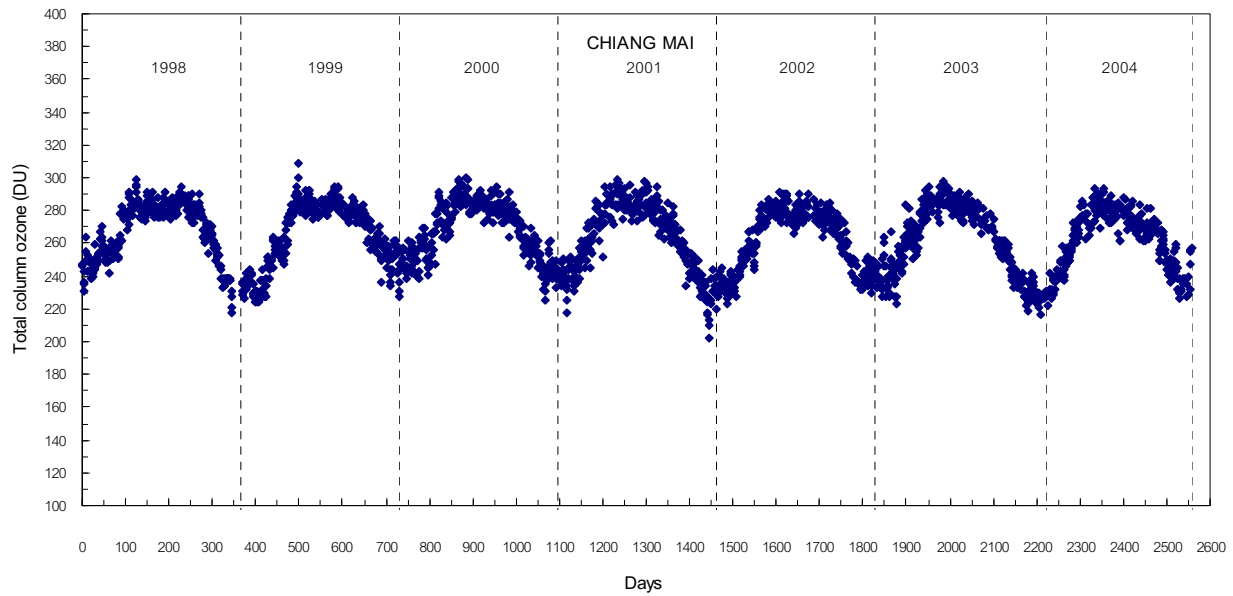
รูปที่ 3.43 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ในกลุ่ม 10% แรกจากค่าสูงสุดของสถานีนครปฐม



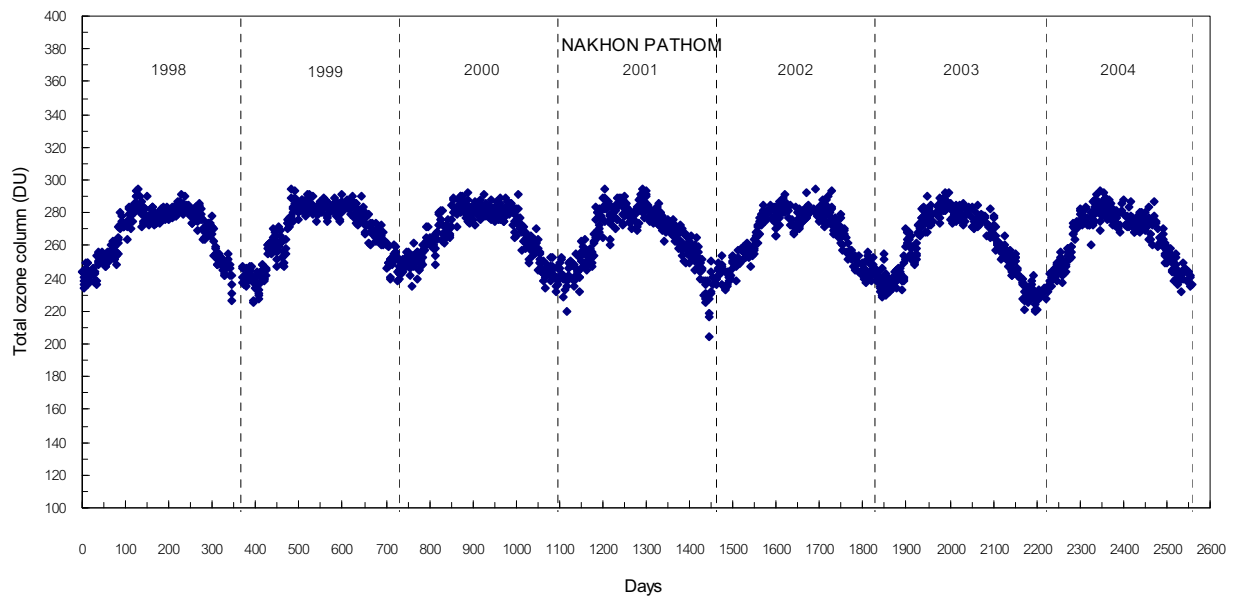
รูปที่ 3.44 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ในกลุ่ม 10% แรกจากค่าสูงสุดของสถานีอุบลราชธานี



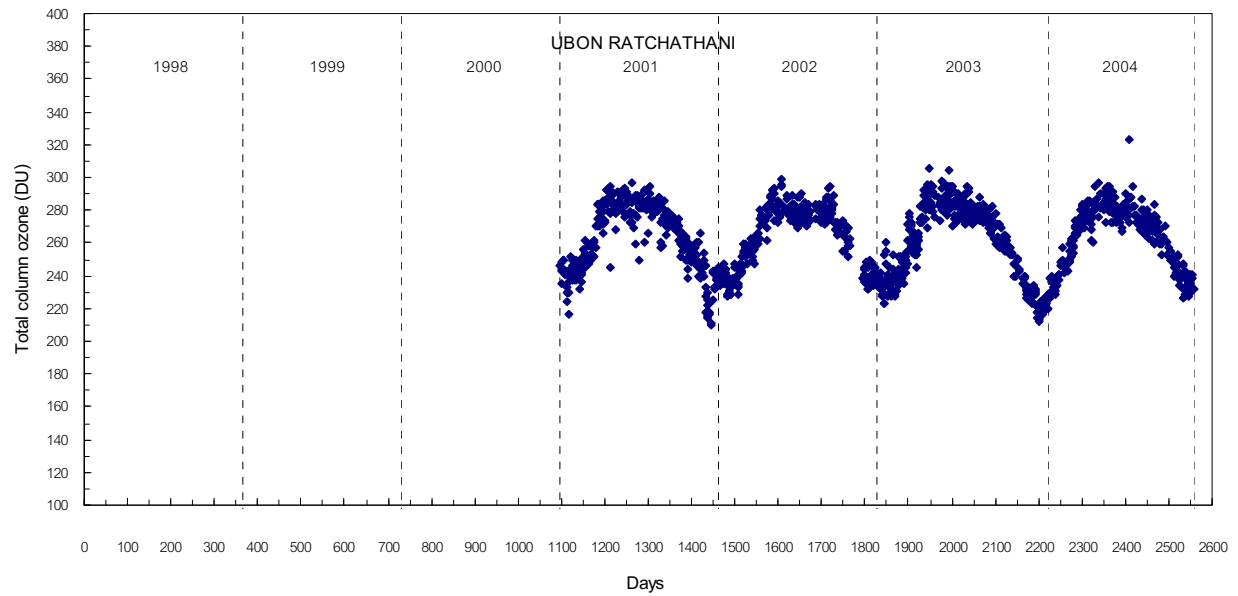
รูปที่ 3.45 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามปีต่างๆ ของค่าเฉลี่ย EUV ในกลุ่ม 10% แรกจากค่าสูงสุดของสถานีสงขลา



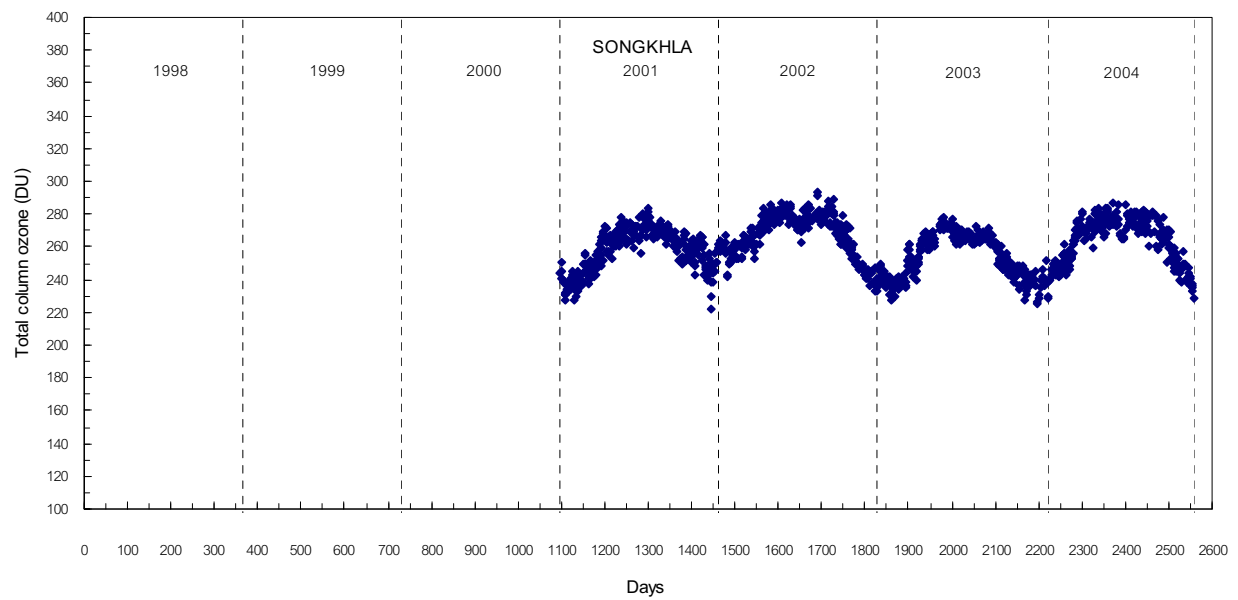
รูปที่ 3.46 แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
เชียงใหม่ (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)



รูปที่ 3.47 แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
นครปฐม (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 1998 – 31 ธันวาคม 2004)



รูปที่ 3.48 แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
อุบลราชธานี (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)



รูปที่ 3.49 แสดงการแปรค่าของปริมาณโอโซนในบรรยากาศรายวันตามปีต่างๆ ของสถานี
สงขลา (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2001 – 31 ธันวาคม 2004)

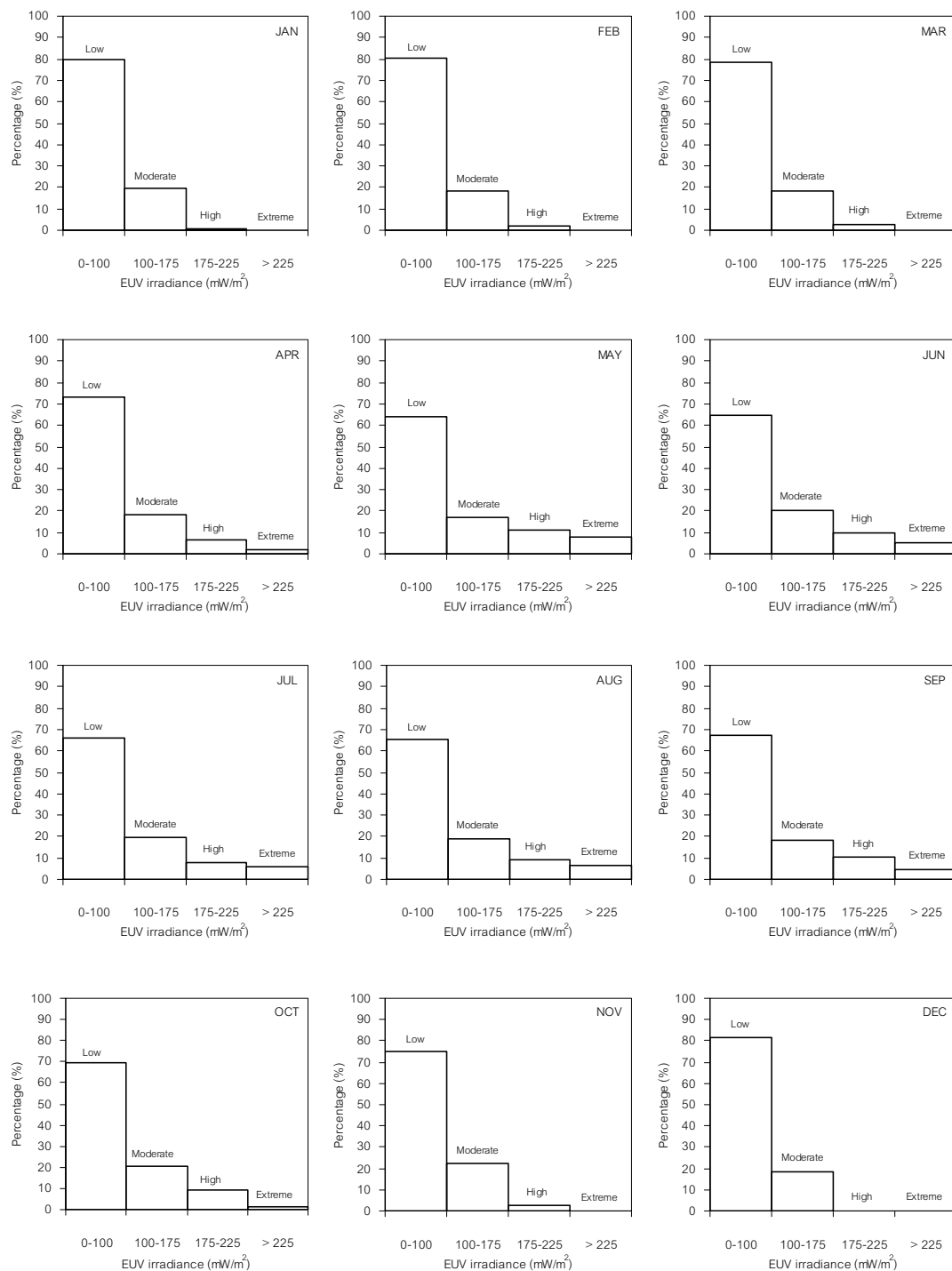
3.1.5.4 การแจกแจงค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง

ในวันที่สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation) อย่างเป็นระบบ กล่าวคือ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเย็น แต่ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะถูกรบกวนโดยเมฆ ทำให้มีค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตต่ำกว่าที่ควรได้รับ ข้อมูลเกี่ยวกับระดับของความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตในสภาพท้องฟ้าทั่วไปซึ่งมักมีเมฆปกคลุมจึงมีความสำคัญ เพราะเป็นข้อมูลจากสภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่

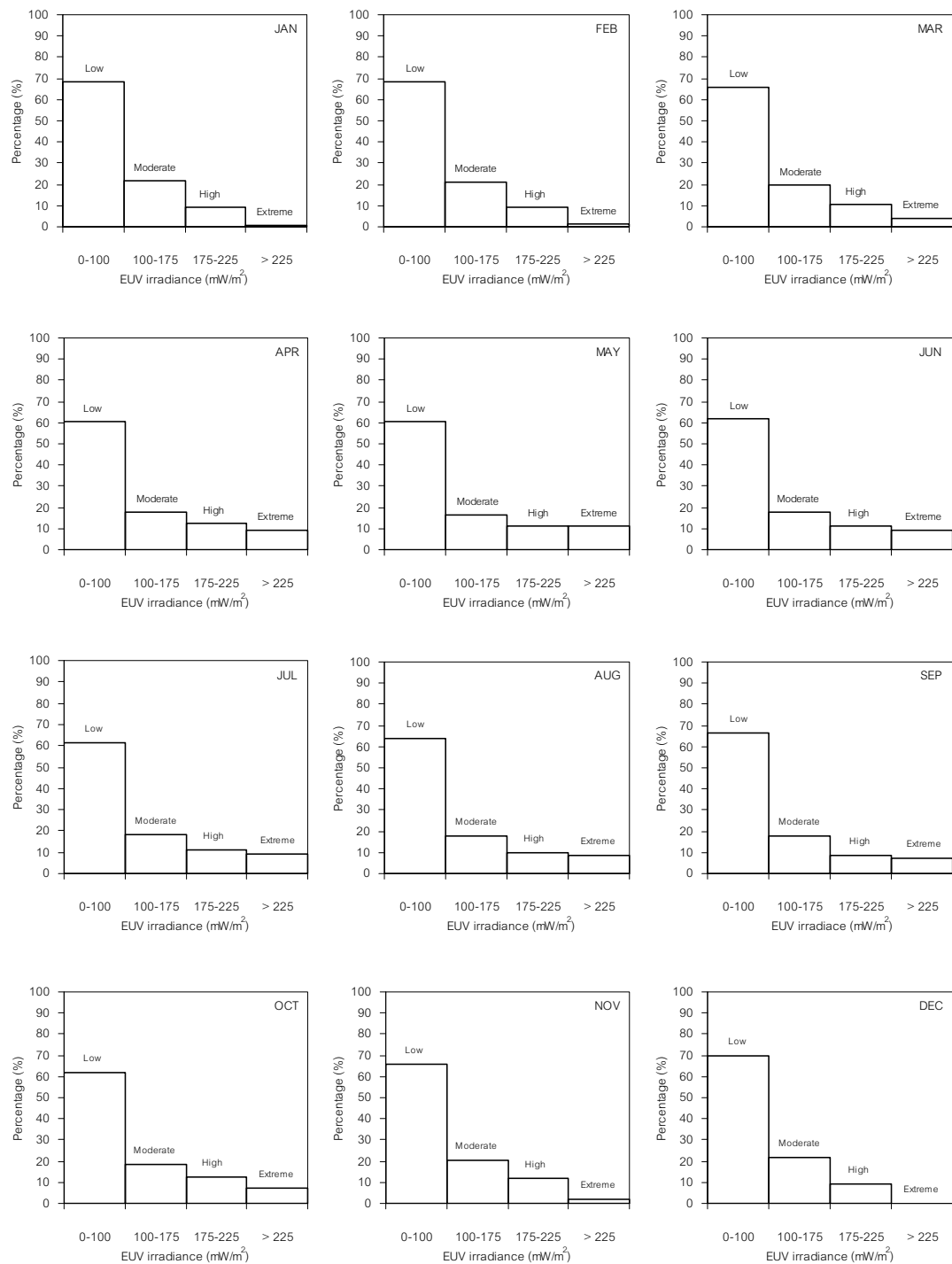
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงทั้งหมดมาทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่มีค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ โดยการแบ่งช่วงความเข้มตามระดับของ Canadian AES Scale (Burrows et al., 1994) การแจกแจงดังกล่าวจะทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็น (probability) ที่จะได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ ตามสถานที่และเดือนต่างๆ ในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.50-3.53 และทำการสรุปเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลรายชั่วโมงที่มีค่าความเข้มในระดับต่างๆ ในตารางที่ 3.4-3.7 นอกจากนี้ยังได้แบ่งช่วงเวลาของการแจกแจงออกเป็นข้อมูลในช่วงเช้า (6.00-12.00 น.) และช่วงบ่าย (12.00-19.00 น.) ดังรูปที่ 3.55-3.58 และสรุปผลลงในตารางที่ 3.8-3.11

จากกราฟและตารางดังกล่าวพบว่า สำหรับสถานีเชียงใหม่ ในเดือนพฤษภาคมจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มอยู่ในระดับสูงและระดับสูงมาก คือ 10.9% และ 7.7% ตามลำดับ และเมื่อแยกพิจารณาเป็นช่วงเช้าและช่วงบ่าย พบว่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตที่มีระดับสูงและสูงมากจะอยู่ในช่วงบ่ายมากกว่าช่วงเช้า ทั้งนี้เพราะโดยทั่วไปช่วงเช้าจะมีหมอกและความขุ่นมัวของบรรยากาศ (turbidity) มากกว่าช่วงบ่าย ดังนั้นในช่วงบ่ายจึงมีโอกาสพบค่าความเข้มข้นสีในระดับสูงมากกว่าช่วงเช้า

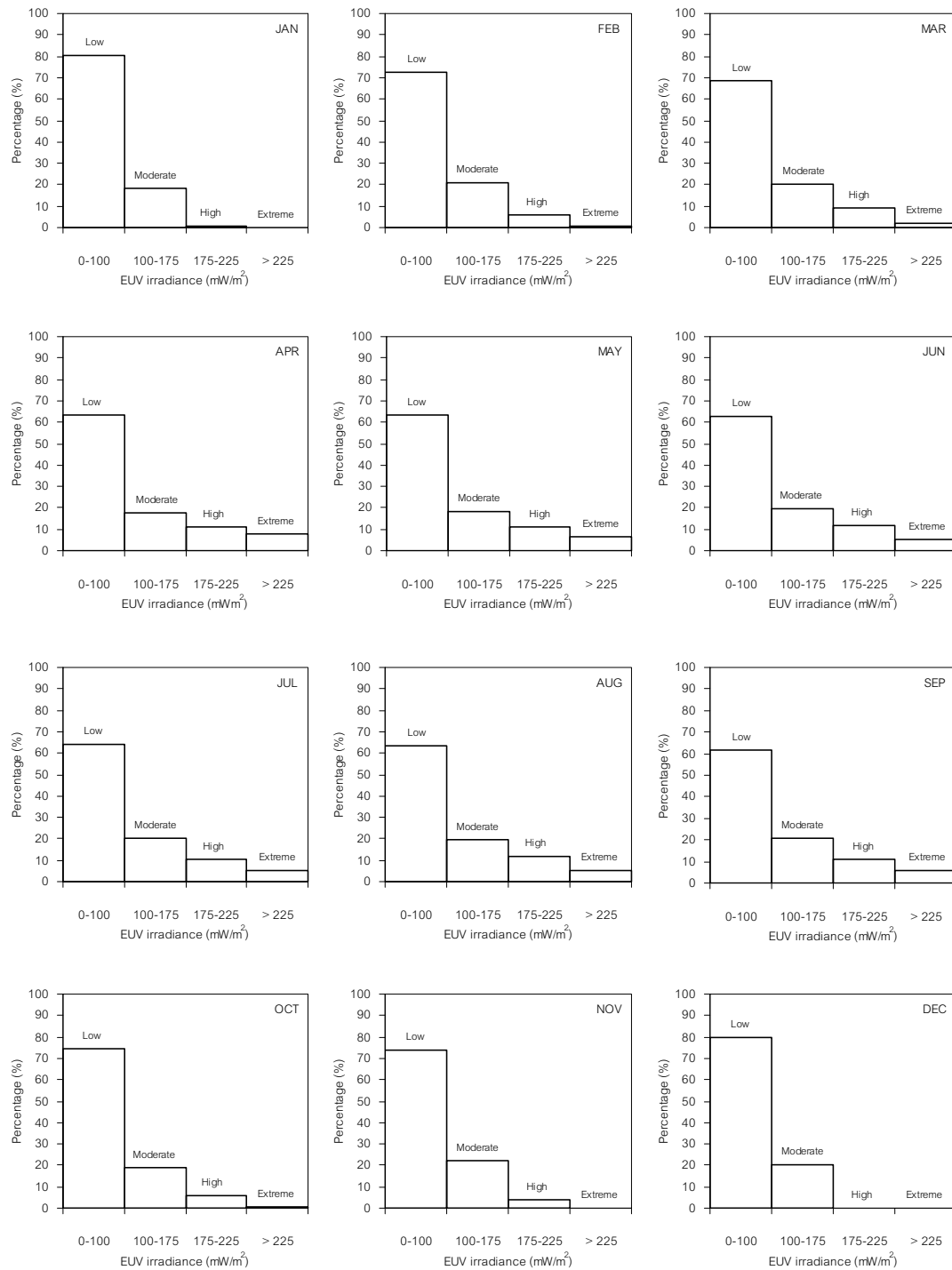
สำหรับสถานีอุบลราชธานีและนครปฐม การแจกแจงมีลักษณะคล้ายคลึงกับสถานีเชียงใหม่ แต่จะมีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่มีค่าระดับความเข้มสูงและสูงมาก มากกว่าของสถานีเชียงใหม่ โดยพบว่าสถานีอุบลราชธานี เปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มในระดับสูงอยู่ในเดือนเมษายน (12.7%) และระดับสูงมากในเดือนพฤษภาคม (11.3%) สำหรับสถานีนครปฐม พบว่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มในระดับสูงอยู่ในเดือนมิถุนายน (12.1%) และระดับสูงมากในเดือนเมษายน (7.6%) ในด้านของสถานีสงขลา เปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มในระดับสูงมาก โดยมีค่ามากกว่าสถานีอื่นๆ เพราะค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากภาคใต้ไปสู่ภาคเหนือ ตามการแปรค่าความเข้มข้นสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (รูปที่ 3.37)



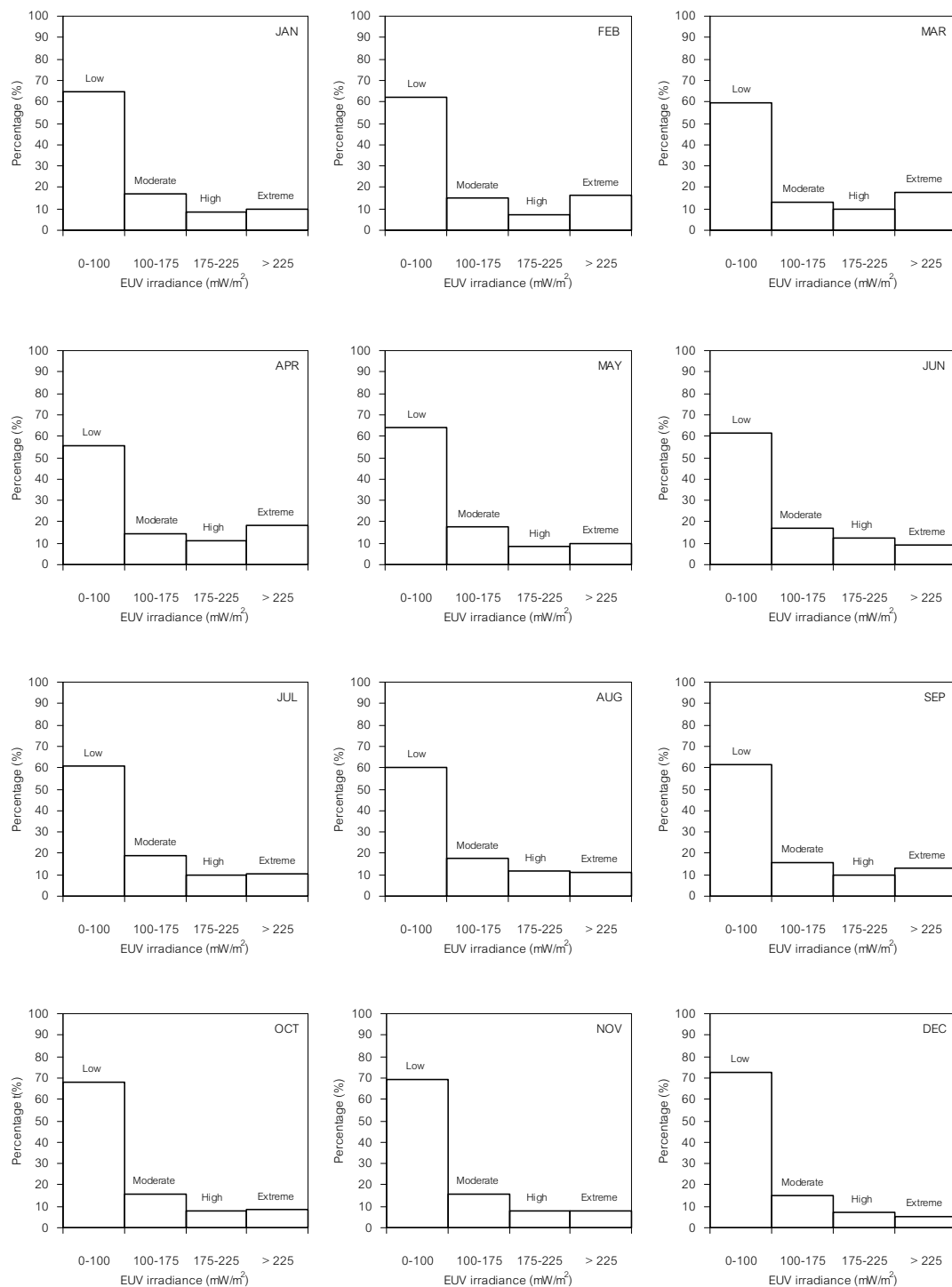
รูปที่ 3.50 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่



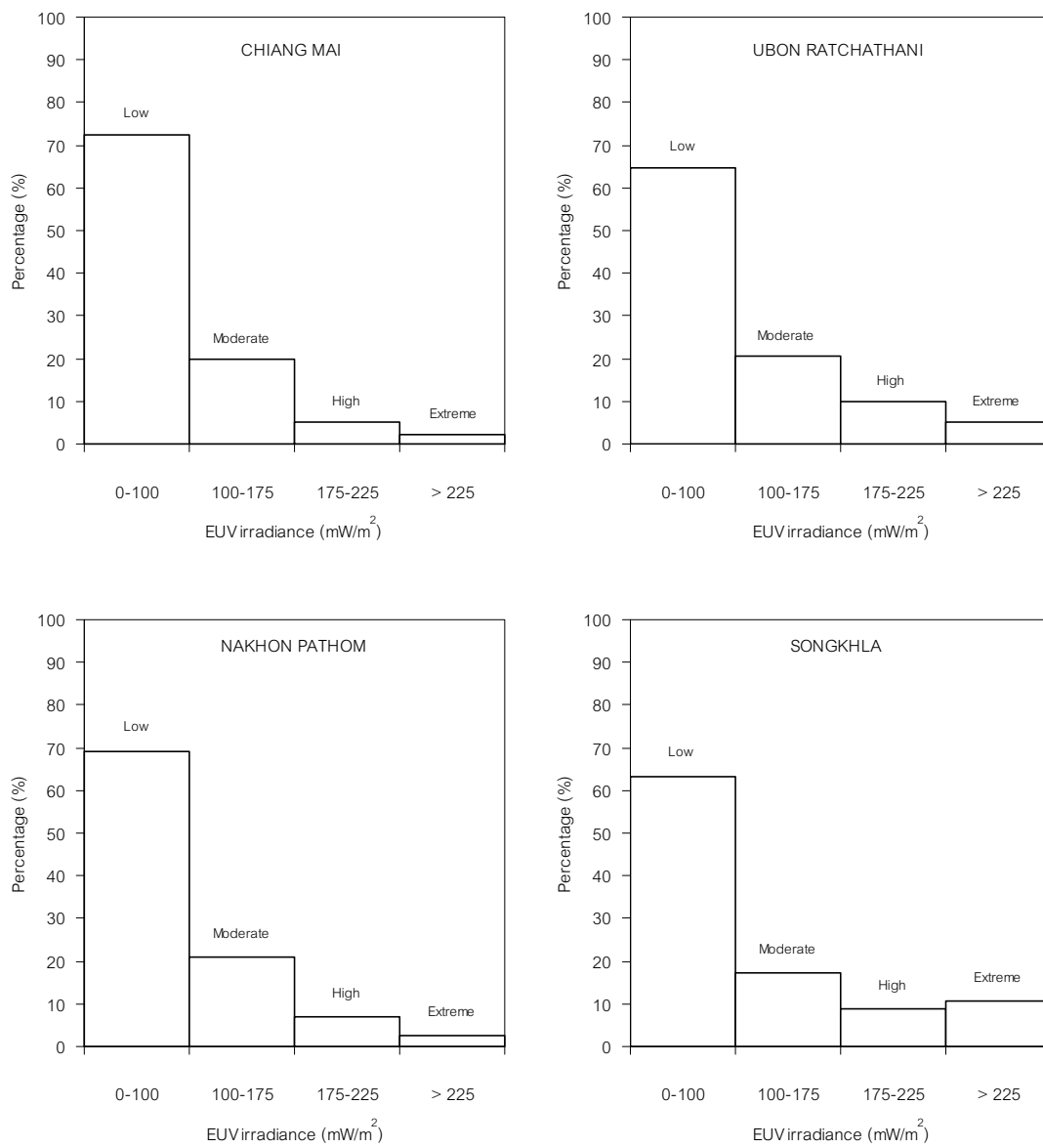
รูปที่ 3.51 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 3.52 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม



รูปที่ 3.53 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา



รูปที่ 3.54 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ตลอดทั้งปีของสถานีต่างๆ

ตารางที่ 3.4 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ของสถานีเชียงใหม่

Month	Percentage (CHIANG MAI) %			
	0-100 (mW/m ²) Low	100-175 (mW/m ²) Moderate	175-225 (mW/m ²) High	> 225 (mW/m ²) Extreme
January	79.8	19.4	0.8	0.0
February	80.1	18.2	1.7	0.0
March	78.6	18.5	2.7	0.2
April	73.2	18.6	6.2	1.9
May	64.2	17.2	10.9	7.7
June	64.8	20.4	9.7	5.2
July	66.2	19.9	7.9	6.0
August	65.3	18.9	9.0	6.8
September	67.2	18.2	10.2	4.5
October	69.6	20.4	9.0	1.0
November	75.0	22.5	2.5	0.0
December	81.7	18.2	0.0	0.1
Average	72.1	19.2	5.9	2.8

ตารางที่ 3.5 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ของสถานีอุบลราชธานี

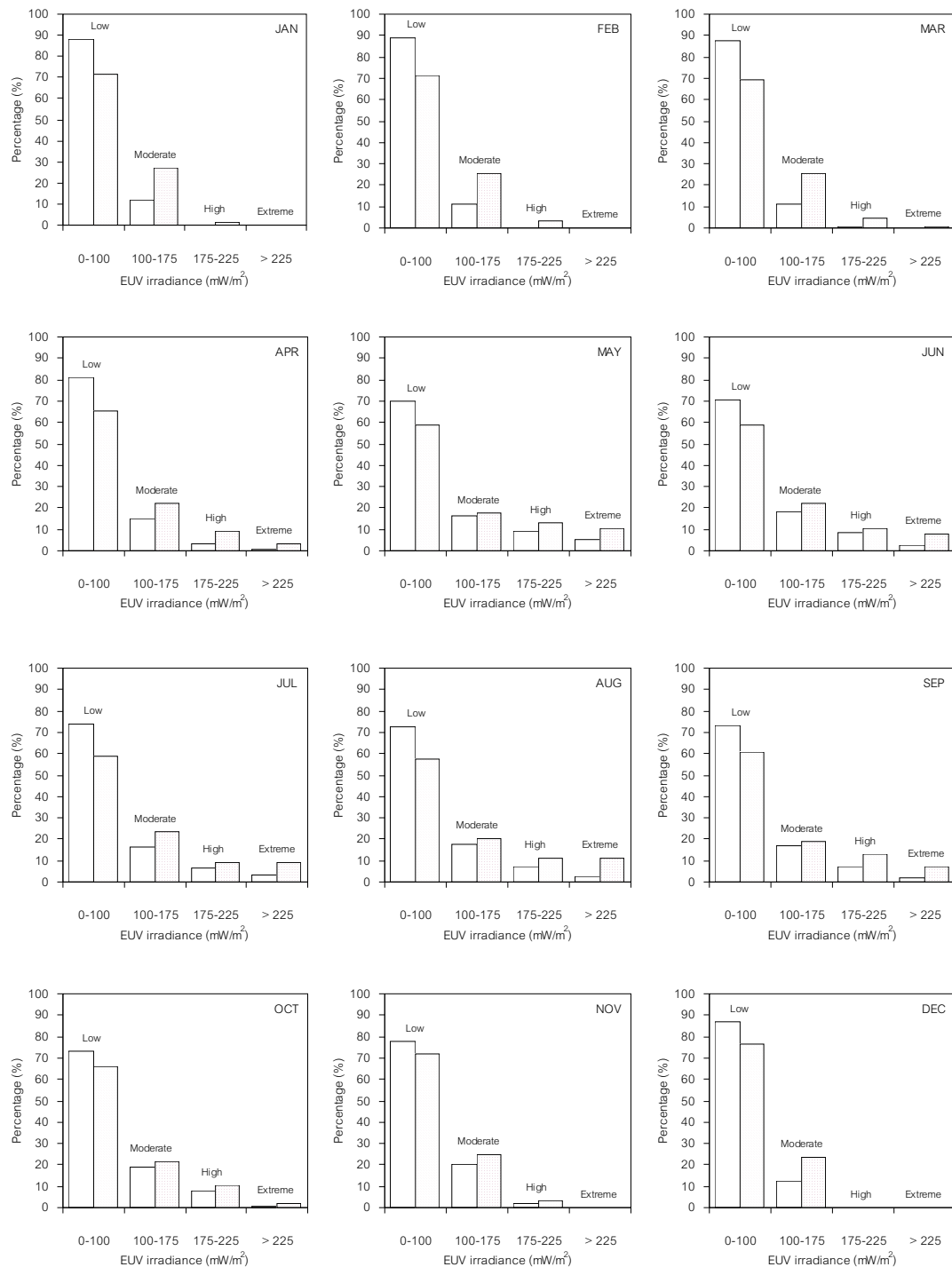
Month	Percentage (UBON RATCHATHANI) %			
	0-100 (mW/m ²)	100-175 (mW/m ²)	175-225 (mW/m ²)	> 225 (mW/m ²)
	Low	Moderate	High	Extreme
January	68.6	21.5	9.5	0.5
February	68.4	21.2	9.0	1.4
March	65.8	19.6	10.3	4.3
April	60.4	17.4	12.7	9.5
May	60.8	16.7	11.1	11.3
June	62.1	17.5	10.9	9.5
July	61.4	18.5	11.2	9.0
August	64.0	17.6	9.8	8.6
September	66.3	17.9	8.4	7.4
October	61.8	18.5	12.6	7.2
November	65.7	20.1	12.2	2.1
December	69.5	21.5	9.0	0.0
Average	64.6	19.0	10.6	5.9

ตารางที่ 3.6 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงของ
สถานีนครปฐม

Month	Percentage (NAKHON PATHOM) %			
	0-100 (mW/m ²)	100-175 (mW/m ²)	175-225 (mW/m ²)	> 225 (mW/m ²)
	Low	Moderate	High	Extreme
January	80.6	18.5	0.9	0.0
February	72.4	20.8	6.1	0.8
March	68.9	20.1	8.9	2.2
April	63.4	17.9	11.1	7.6
May	63.5	18.4	11.3	6.8
June	62.9	19.9	12.1	5.1
July	63.9	20.3	10.7	5.1
August	63.5	19.6	11.6	5.3
September	62.0	21.0	11.1	5.9
October	74.5	18.7	6.2	0.6
November	73.7	22.1	4.1	0.0
December	79.5	20.2	0.2	0.1
Average	69.1	19.8	7.8	3.3

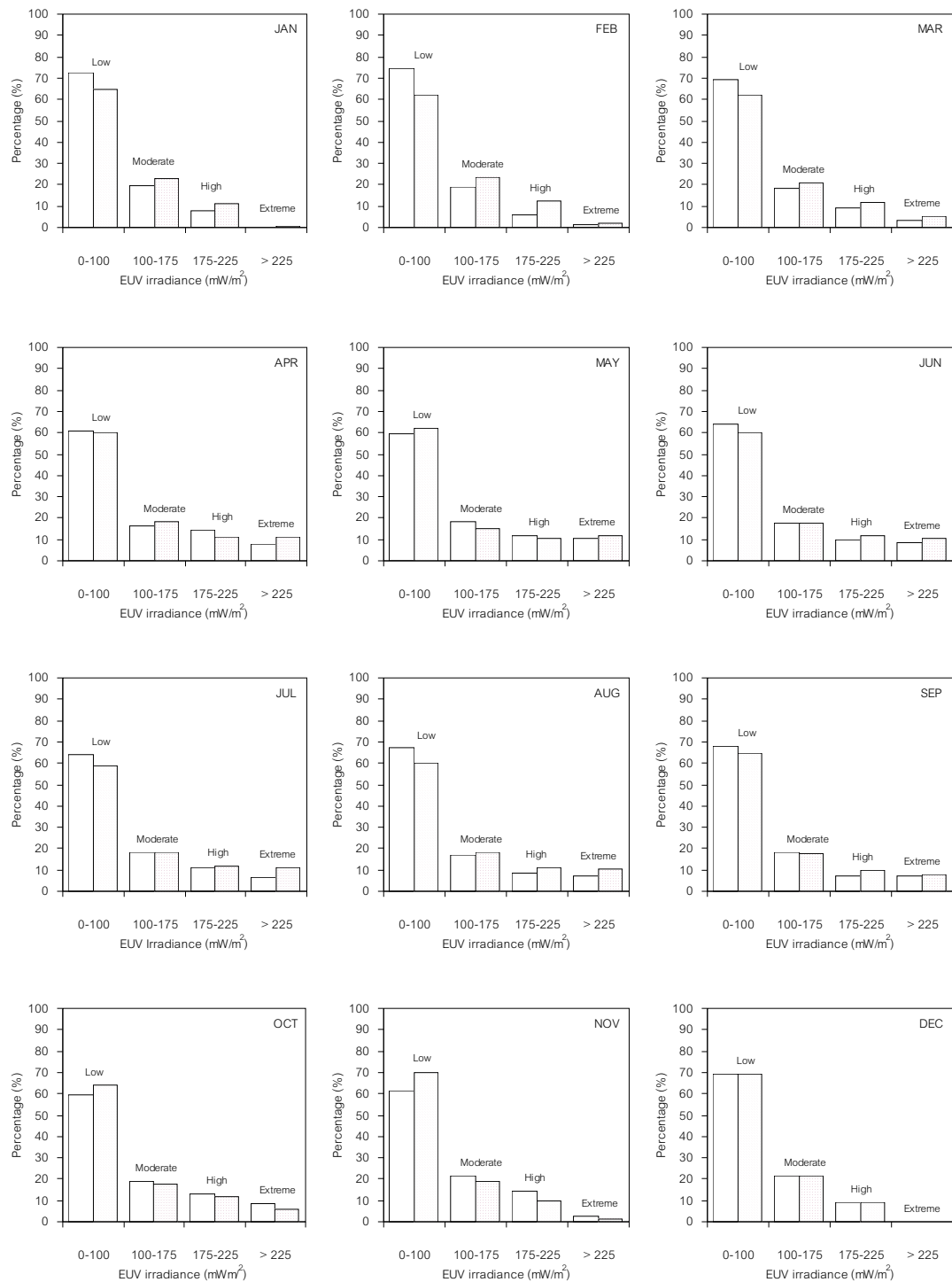
ตารางที่ 3.7 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
ของสถานีสงขลา

Month	Percentage (SONGKHLA) %			
	0-100 (mW/m ²)	100-175 (mW/m ²)	175-225 (mW/m ²)	> 225 (mW/m ²)
	Low	Moderate	High	Extreme
January	64.6	17.1	8.3	10.1
February	61.8	15.0	7.1	16.1
March	59.7	12.9	9.5	17.9
April	55.8	14.7	10.9	18.6
May	63.8	17.8	8.3	10.1
June	61.6	16.7	12.3	9.5
July	60.9	19.0	9.9	10.2
August	60.0	17.5	11.6	10.8
September	61.6	15.7	9.6	13.1
October	68.2	15.6	7.9	8.2
November	69.0	15.6	7.6	7.8
December	72.5	14.7	7.4	5.4
Average	63.3	16.0	9.2	11.5



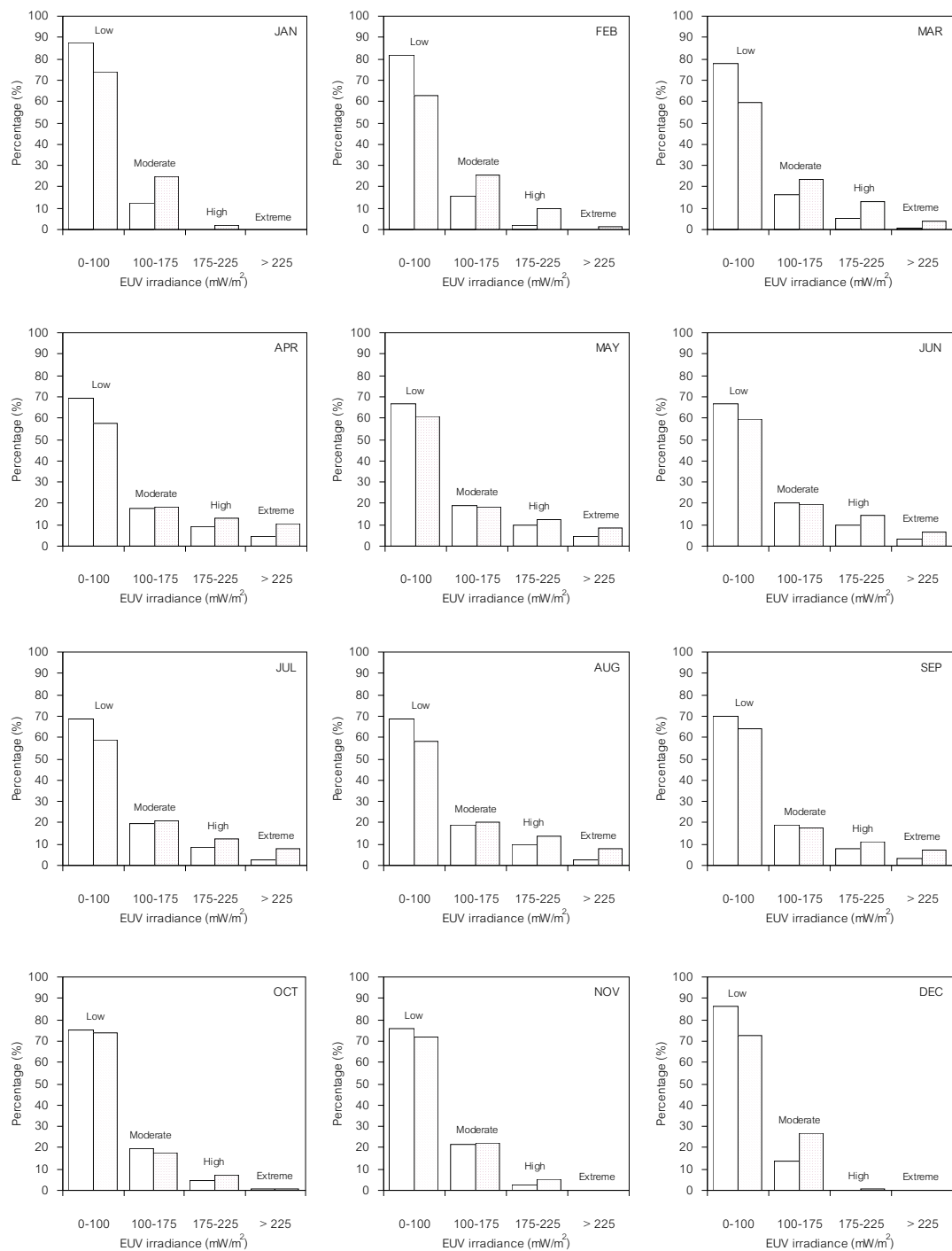
รูปที่ 3.55 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
(ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีเชียงใหม่

□ morning (5:00-12:00 น.) ■ afternoon (12:00-19:00 น.)



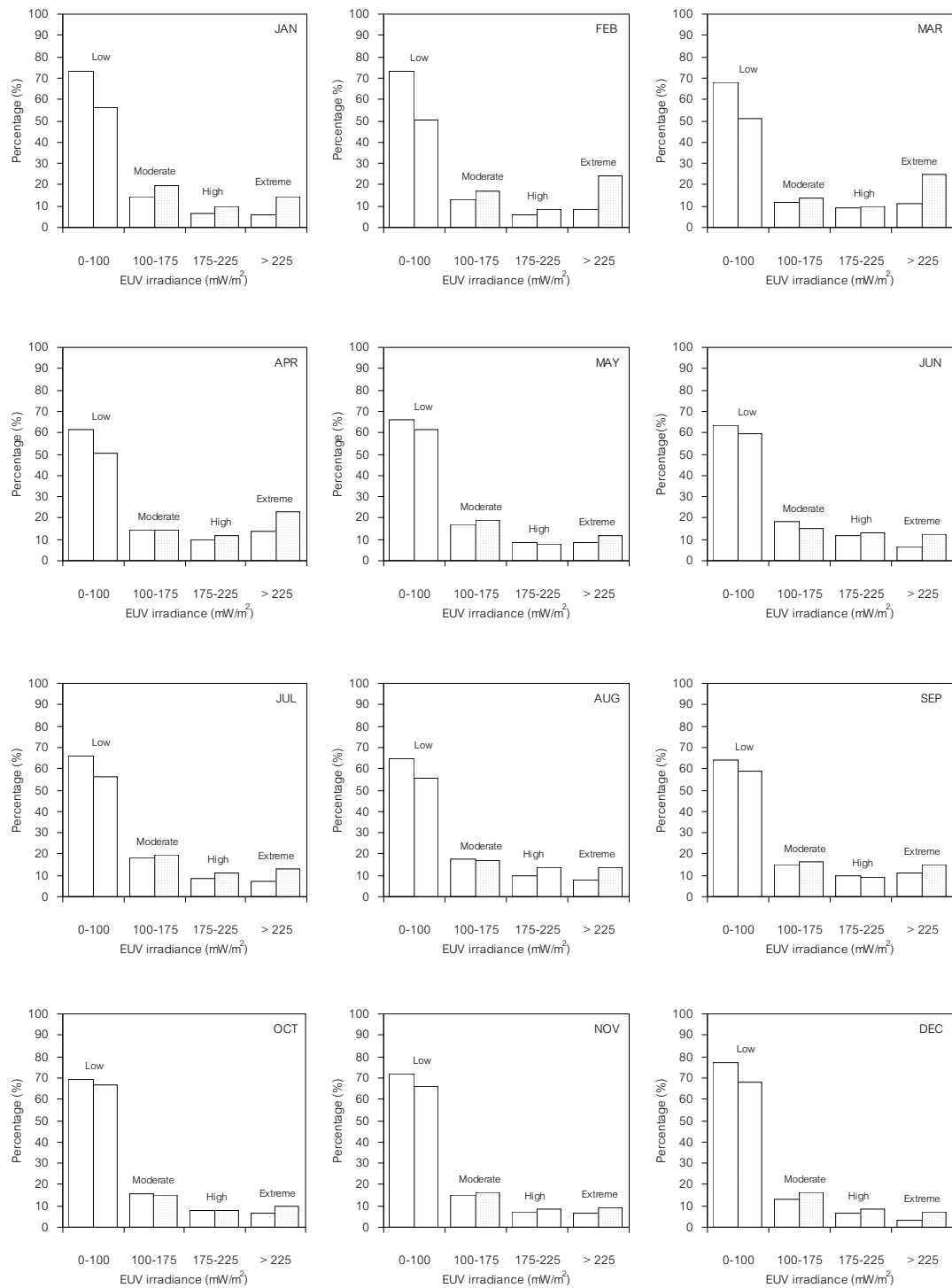
รูปที่ 3.56 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีอุบลราชธานี

□ morning (5:00-12:00 น.) ■ afternoon (12:00-19:00 น.)



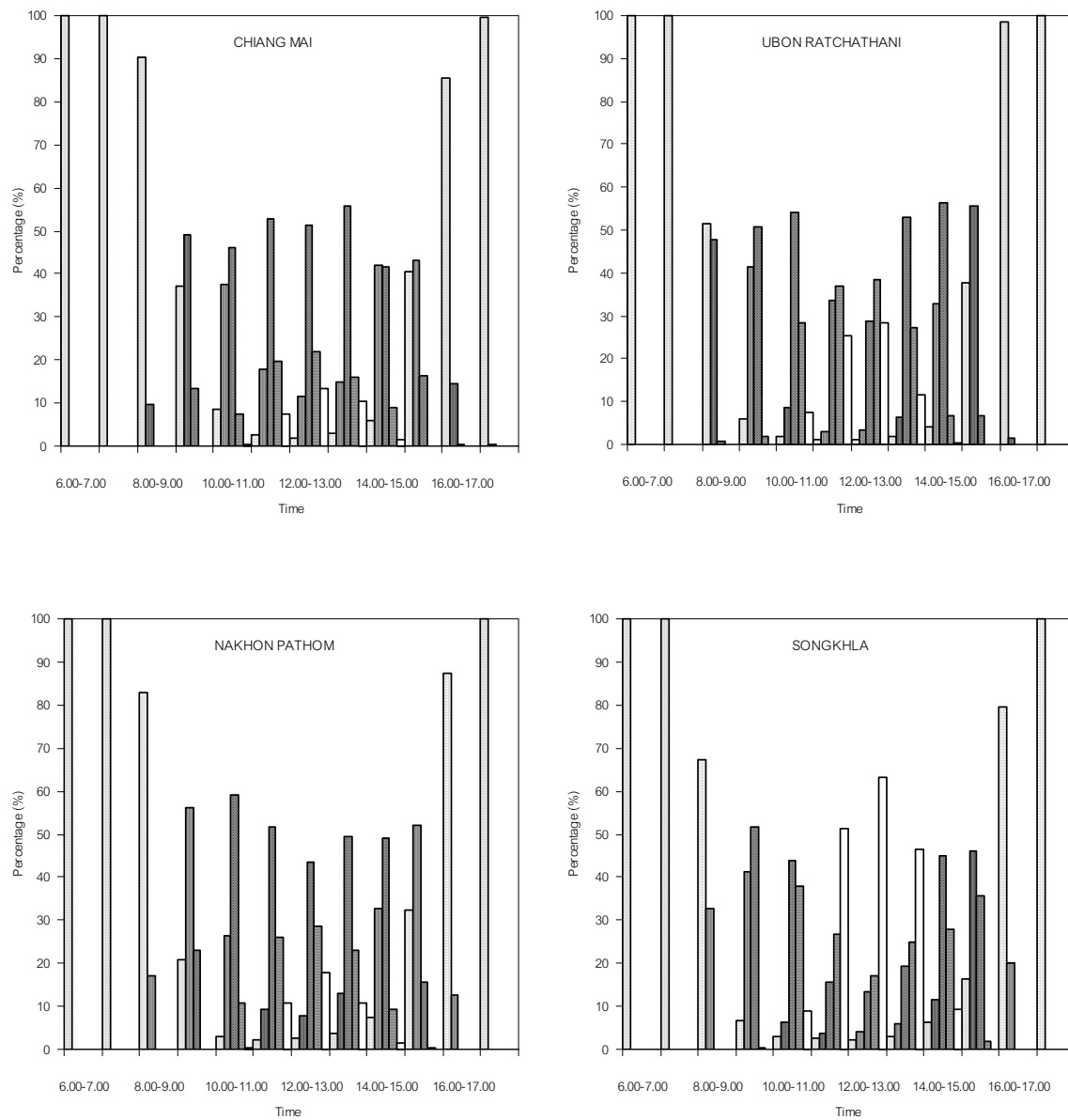
รูปที่ 3.57 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีนครปฐม

□ morning (5:00-12:00 น.) ▨ afternoon (12:00-19:00 น.)

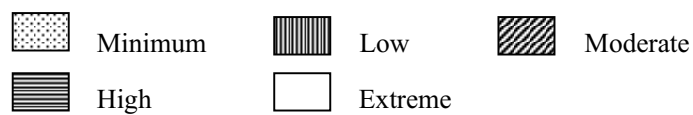


รูปที่ 3.58 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง (ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีสงขลา

□ morning (5:00-12:00 น.) ▨ afternoon (12:00-19:00 น.)



รูปที่ 3.59 แสดงการแจกแจงของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง ตลอดทั้งปี
ของสถานีต่างๆ



ตารางที่ 3.8 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
(ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีเชียงใหม่

Month	Percentage (CHIANG MAI) %							
	0-100 (mW/m ²)		100-175 (mW/m ²)		175 -225(mW/m ²)		> 225(mW/m ²)	
	Low		Moderate		High		Extreme	
	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon
January	88.1	71.5	11.9	26.8	0.0	1.6	0.0	0.0
February	88.3	68.8	11.6	27.0	0.1	4.1	0.0	0.1
March	87.3	68.1	11.6	26.3	1.0	5.4	0.0	0.2
April	79.5	65.4	15.0	21.2	4.4	9.3	1.1	4.1
May	66.2	59.0	16.2	16.1	9.8	10.3	7.8	14.6
June	69.5	60.1	18.2	21.7	9.2	9.7	3.1	8.6
July	72.5	58.7	16.1	22.0	7.8	8.5	3.6	10.8
August	71.8	58.0	16.8	19.5	8.0	10.5	3.4	12.1
September	71.8	60.6	17.0	18.2	8.5	13.0	2.7	8.2
October	71.2	65.1	19.7	21.7	8.6	10.9	0.5	2.2
November	76.7	72.3	20.9	24.2	2.5	3.5	0.0	0.0
December	85.4	74.9	14.6	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Average	77.4	65.2	15.8	22.5	5.0	7.2	1.8	5.1

ตารางที่ 3.9 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
(ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีอุบลราชธานี

Month	Percentage (UBON RATCHATHANI) %							
	0-100 (mW/m ²)		100-175 (mW/m ²)		175 -225(mW/m ²)		> 225(mW/m ²)	
	Low		Moderate		High		Extreme	
	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon
January	72.2	64.9	19.8	23.1	7.8	11.1	0.1	0.8
February	74.7	62.1	18.7	23.6	5.6	12.5	1.0	1.8
March	69.2	62.3	18.1	21.2	9.2	11.5	3.5	5.0
April	60.7	60.0	16.7	18.2	14.5	11.0	8.1	10.8
May	59.4	62.2	18.3	15.2	11.5	10.7	10.8	11.9
June	64.1	60.0	17.4	17.6	10.0	11.9	8.5	10.4
July	63.9	58.9	18.5	18.5	10.8	11.5	6.8	11.1
August	67.6	60.4	16.9	18.3	8.6	11.0	6.9	10.3
September	67.8	64.8	18.1	17.6	7.1	9.6	7.0	7.9
October	59.5	64.1	19.0	17.9	13.1	12.0	8.4	6.0
November	61.7	69.7	21.3	18.8	14.3	10.0	2.7	1.4
December	69.4	69.6	21.7	21.3	9.0	9.1	0.0	0.0
Average	65.8	63.3	18.7	19.3	10.1	11.0	5.3	6.5

ตารางที่ 3.10 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
(ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีนครปฐม

Month	Percentage (NAKHON PATHOM) %							
	0-100 (mW/m ²)		100-175 (mW/m ²)		175 -225(mW/m ²)		> 225(mW/m ²)	
	Low		Moderate		High		Extreme	
	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon
January	87.1	72.0	12.8	25.9	0.1	2.1	0.0	0.0
February	82.2	62.6	15.5	24.7	2.1	11.0	0.2	1.7
March	78.3	59.4	15.8	21.8	5.4	14.1	0.6	4.6
April	67.3	56.1	16.7	15.8	10.6	15.1	5.5	13.0
May	66.4	60.3	17.9	17.5	10.0	12.2	5.7	10.0
June	66.9	58.8	19.3	20.1	9.8	13.4	3.9	7.7
July	69.4	58.2	19.7	21.0	8.0	12.7	2.8	8.2
August	67.9	56.6	19.4	21.0	9.7	14.0	3.0	8.4
September	69.7	63.1	18.7	17.9	7.9	11.2	3.7	7.8
October	74.4	72.9	19.9	17.6	5.4	8.4	0.4	1.1
November	75.3	71.0	21.5	22.7	3.2	6.3	0.0	0.1
December	85.5	71.8	14.5	27.7	0.0	0.4	0.0	0.1
Average	74.2	63.6	17.6	21.1	6.0	10.1	2.1	5.2

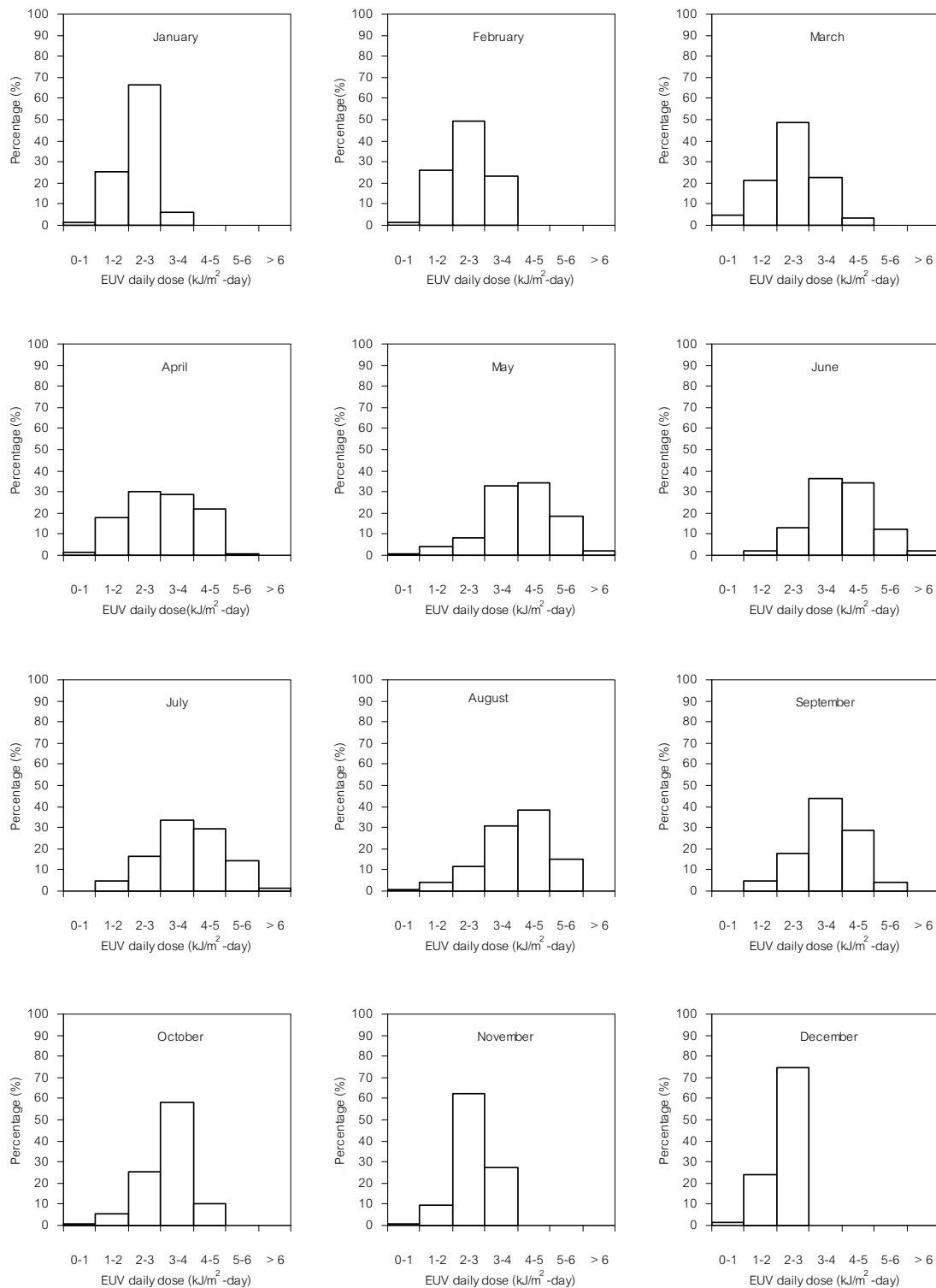
ตารางที่ 3.11 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง
(ช่วงเช้าและช่วงบ่าย) ของสถานีสงขลา

Month	Percentage (SONGKHLA) %							
	0-100 (mW/m ²)		100-175 (mW/m ²)		175 -225(mW/m ²)		> 225(mW/m ²)	
	Low		Moderate		High		Extreme	
	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon	morning	afternoon
January	73.3	55.9	14.2	19.8	6.8	9.7	5.7	14.5
February	73.2	50.4	12.8	17.2	5.6	8.6	8.4	23.9
March	68.2	51.2	12.0	13.9	9.0	10.1	10.8	24.9
April	61.5	50.1	14.6	14.7	9.8	12.0	14.0	23.2
May	66.2	61.3	16.8	18.8	8.7	8.0	8.3	11.9
June	63.5	59.7	18.1	15.2	11.6	12.9	6.8	12.1
July	65.7	56.2	18.5	19.4	8.5	11.2	7.2	13.1
August	64.5	55.7	17.8	17.2	9.6	13.6	8.1	13.5
September	64.2	59.0	14.9	16.5	10.1	9.1	10.8	15.3
October	69.5	67.0	15.9	15.3	7.9	7.8	6.7	9.8
November	71.9	66.0	14.8	16.5	7.0	8.2	6.2	9.4
December	77.3	67.7	12.8	16.6	6.5	8.3	3.3	7.4
Average	68.3	58.3	15.3	16.8	8.4	10.0	8.0	14.9

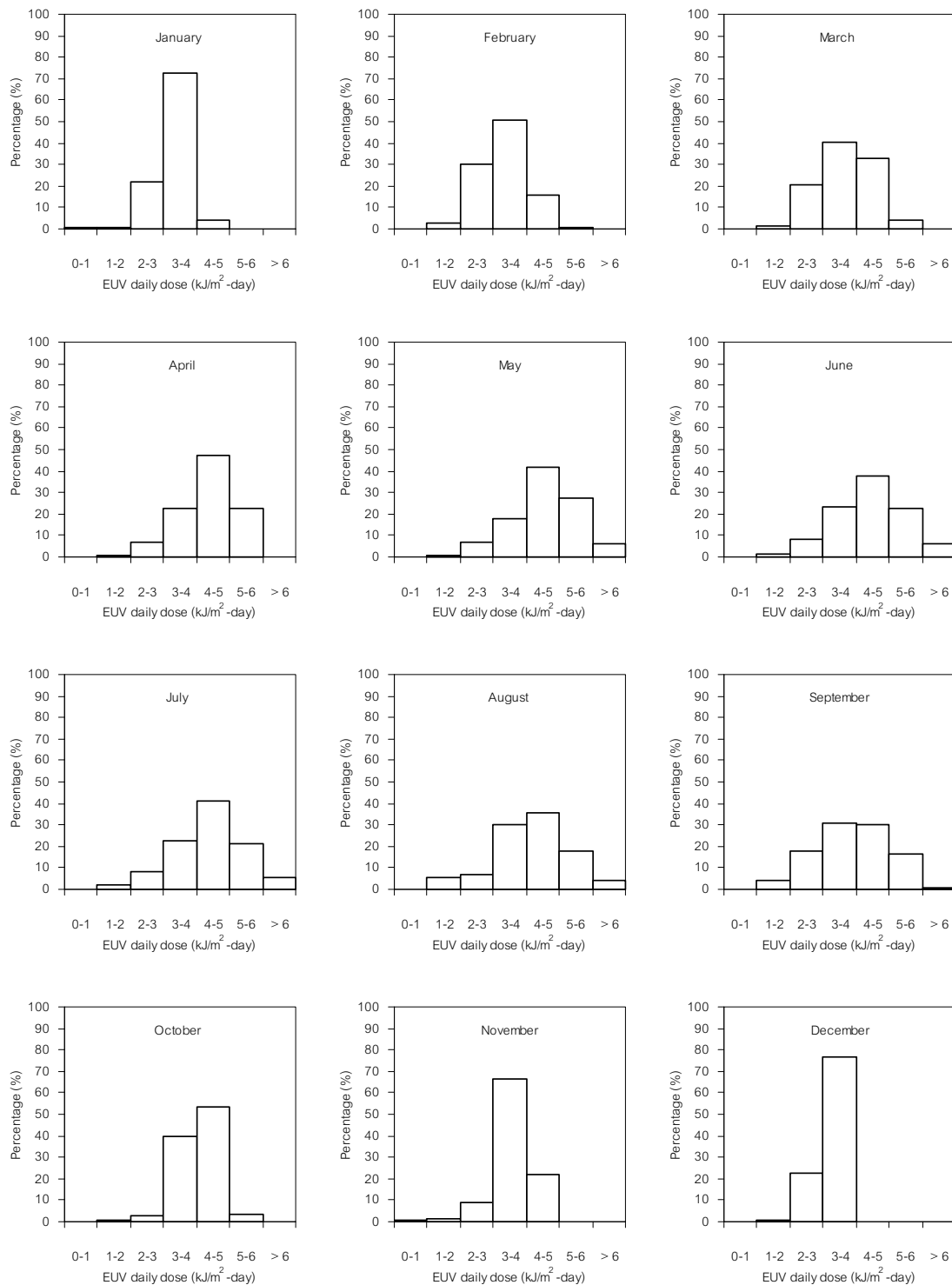
3.1.5.5 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวัน

ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันเป็นปริมาณพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก 1 ตารางเมตร ตั้งแต่เวลาเช้าจรดเย็น (UV daily dose) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาและทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ (apparent sun path) ของแต่ละพื้นที่ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันของแต่ละสถานีในแต่ละเดือนซึ่งจะทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็นของการได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ ตลอดทั้งวันของเดือนต่างๆ ในรอบปี โดยจะนำข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันทั้งหมดมาทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนวันที่มีค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตในระดับต่างๆ ดังรูปที่ 3.60-3.63

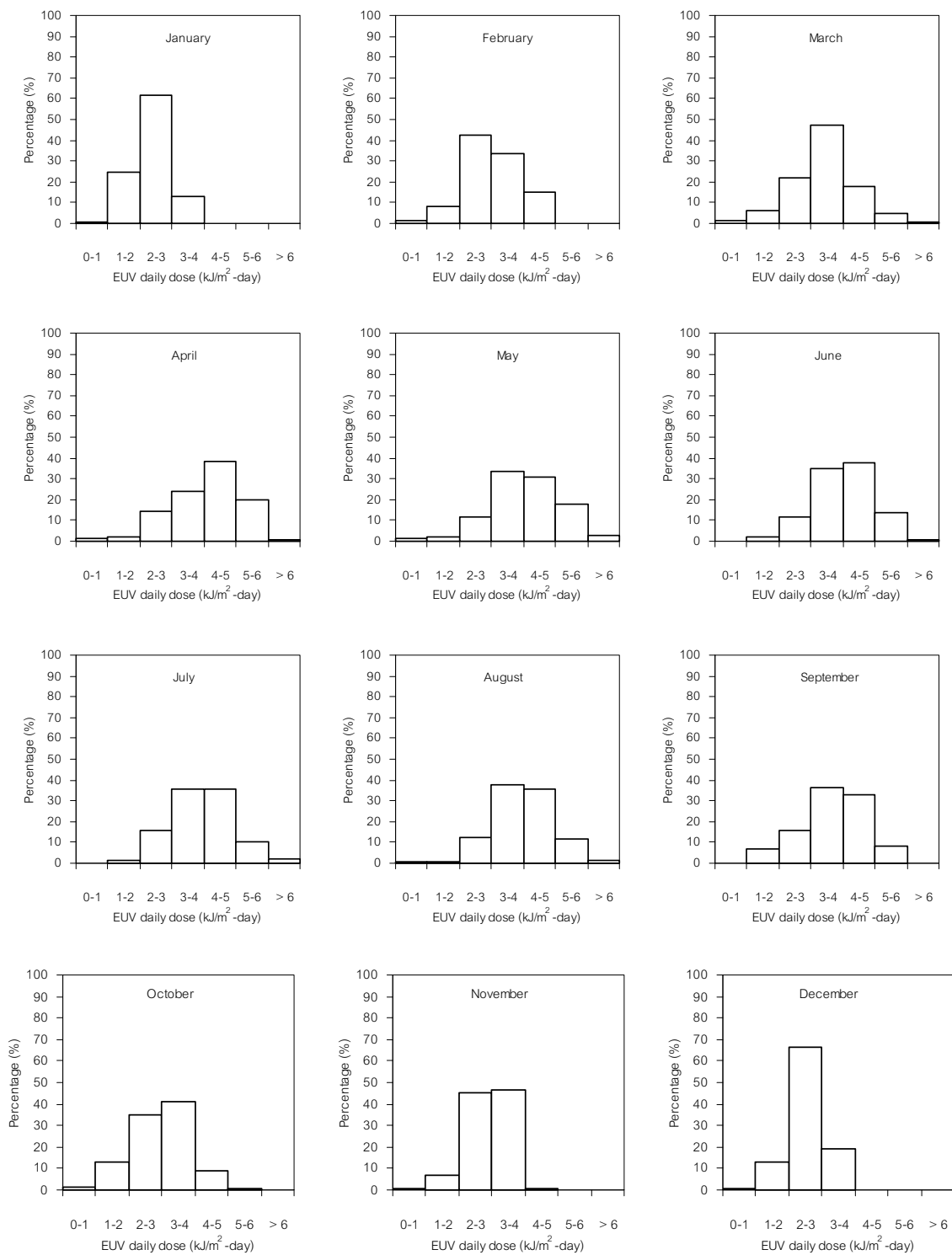
จากกราฟพบว่าลักษณะการแจกแจงรายเดือน (statistical distribution) ของรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐม ส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกันกล่าวคือ ลักษณะการกระจายด้านค่าความเข้มน้อยจะค่อนข้างสมมาตร (symmetric) กับด้านความเข้มมาก ยกเว้นเดือนธันวาคมของสถานีเชียงใหม่และอุบลราชธานีที่กราฟเบี่ยงไปทางค่าความเข้มมาก กรณีของการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตลอดทั้งปี (รูปที่ 3.60) กราฟของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐมมีลักษณะคล้ายกันคือ คล้ายกับการแจกแจงปกติ (normal distribution) แต่ของสถานีสงขลากราฟจะเบี่ยงไปทางค่ามาก แสดงว่ารังสีอุลตราไวโอเลตที่สถานีสงขลามีความเข้มเฉลี่ยสูงกว่าสถานีอื่นๆ



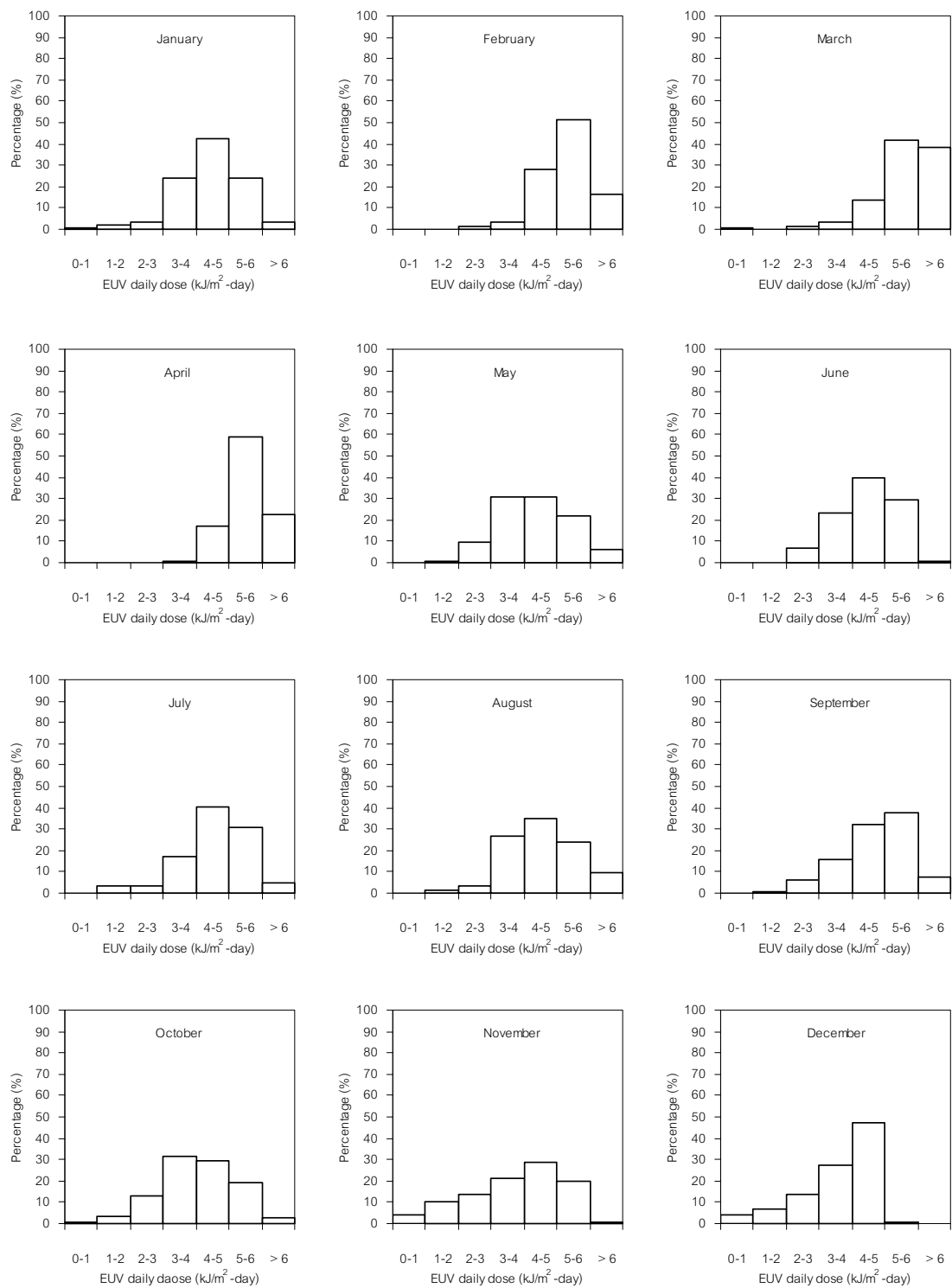
รูปที่ 3.60 แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ
ของสถานีเชียงใหม่



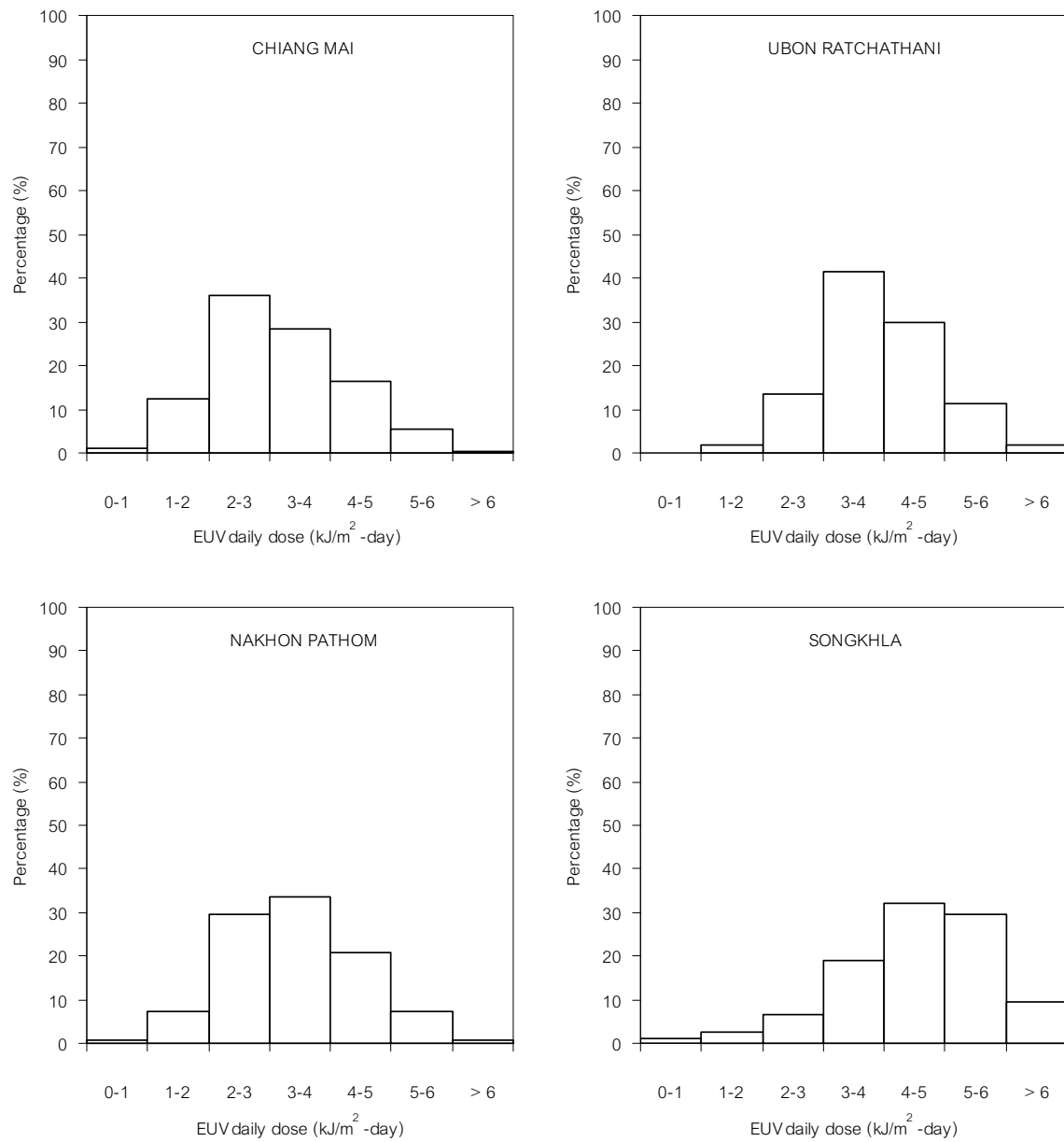
รูปที่ 3.61 แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ
ของสถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 3.62 แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ
ของสถานีนครปฐม



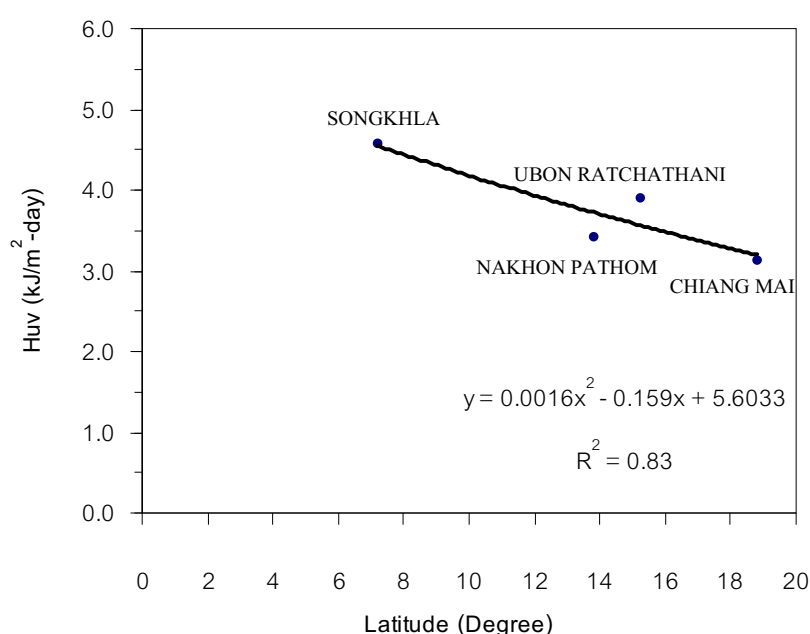
รูปที่ 3.63 แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันในเดือนต่างๆ
ของสถานีสงขลา



รูปที่ 3.64 แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวัน (EUV daily dose) ตลอดทั้งปีของสถานีต่างๆ

3.1.5.6 การแปรค่าตามละติจูดของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต

โดยทั่วไป ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจะขึ้นกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์และสภาพภูมิอากาศของบริเวณนั้นๆ สำหรับประเทศไทยมีลักษณะพื้นที่ที่เป็นแนวยาวจากใต้สุดที่ละติจูด 5.61°N ขึ้นไปถึงเหนือสุดที่ละติจูด 20.46°N โดยภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงจากภาคใต้ไปสู่ภาคเหนือ ผู้วิจัยได้ศึกษาผลดังกล่าวแล้วนำเสนอในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่แต่ละสถานีได้รับกับตำแหน่งที่สถานีนั้นตั้งอยู่ ผลที่ได้แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 3.65



รูปที่ 3.65 แสดงการแปรค่าตามละติจูดของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต
เมื่อ Huv เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

จากกราฟจะเห็นว่ารังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับมีแนวโน้มเพิ่มจากสถานีเชียงใหม่ไปยังสงขลา ตามการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ซึ่งขึ้นกับละติจูด แต่เนื่องจากรังสีอุลตราไวโอเลตมิได้ขึ้นกับอิทธิพลของตำแหน่งดวงอาทิตย์แต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับสภาพภูมิอากาศด้วย ทำให้กราฟไม่เรียงต่อกันเป็นเส้นตรง เช่น กรณีนครปฐมกับอุบลราชธานี ซึ่งมีละติจูดใกล้เคียงกันแต่มีค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตแตกต่างกัน

3.1.5.7 การเปรียบเทียบความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่วัดได้ในประเทศไทยกับต่างประเทศ

ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่ประเทศต่างๆ ได้รับ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับละติจูดที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตสูงสุด ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นค่าตอนเที่ยงวันของฤดูร้อนในประเทศต่างๆ มาเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดซึ่งวัดได้จากสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.12 จากตารางจะเห็นว่า ผู้ที่อยู่ในเขตละติจูดสูงๆ เมื่อเดินทางมาประเทศไทยจะได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตเพิ่มขึ้นประมาณ 1 เท่าตัว ซึ่งจะต้องเพิ่มความระมัดระวังอันตรายของรังสีอุลตราไวโอเลตโดยเลือกใช้เสื้อผ้าหรือครีมป้องกันที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่วัดได้ในต่างประเทศและประเทศไทย (ข้อมูลของต่างประเทศได้จาก Ilyas et al., 1999)

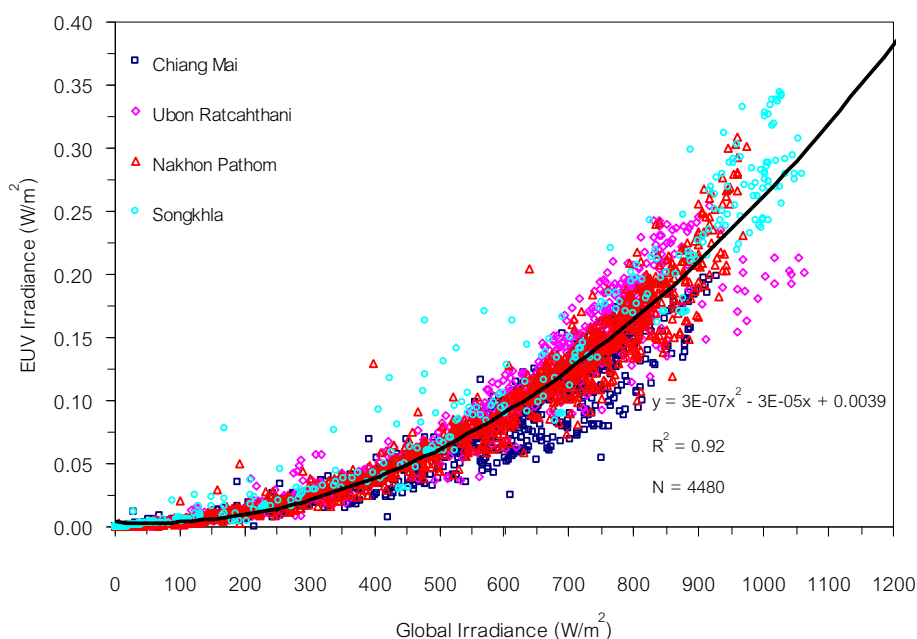
สถานที่	ละติจูด	ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตสูงสุด [W/m^2]
สงขลา	7.2° N	0.37
นครปฐม	13.8° N	0.30
อุบลราชธานี	15.3° N	0.30
เชียงใหม่	18.8° N	0.27
Penang (Malaysia)	5.3° N	0.30
Natal (Brazil)	6.0° N	0.30
Leba (Poland)	54.8° N	0.12
Stockholm (Sweden)	59.4° N	0.14
Punta Arenas (Chile)	53.0° N	0.07

3.1.5.8. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับความเข้มรังสีรวมของ

ดวงอาทิตย์

ก. กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ

เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งมีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ (erythemal ultraviolet radiation, EUV) เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้นจึงคาดหมายได้ว่าจะพบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ซึ่งวัดในช่วงความยาวคลื่น 300-3000 nm ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีดังกล่าวในกรณีวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จะเป็นกรณีที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตตกกระทบพื้นผิวโลกสูงสุด ผู้วิจัยจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับความเข้มรังสีรวมในกรณีดังกล่าวจากข้อมูล 4 สถานี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.66



รูปที่ 3.66 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตกับ
รังสีรวมของดวงอาทิตย์ ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ
(N คือ จำนวนข้อมูล)

จากกราฟจะพบว่า ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความสัมพันธ์ค่อนข้างดีกับความเข้มรังสีรวม โดยสามารถ fit กราฟดังกล่าวด้วยสมการ

$$I_{\text{EUV}} = 0.0000003I_G^2 - 0.00003I_G + 0.0039 \quad (3.3)$$

$$R^2 = 0.92$$

เมื่อ I_{EUV} = ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต [W/m^2]
 I_G = ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ [W/m^2]
 R^2 = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

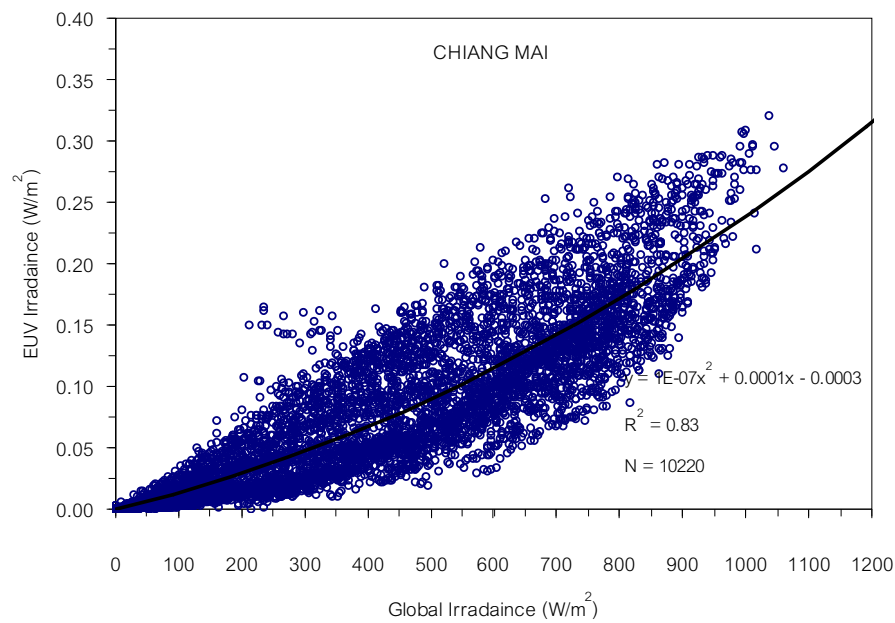
ความสัมพันธ์ที่ได้นี้จะใช้เป็นประโยชน์ต่อการประมาณค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจากค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีจำนวนสถานีวัดมากกว่า

ข. กรณีท้องฟ้าทั่วไป

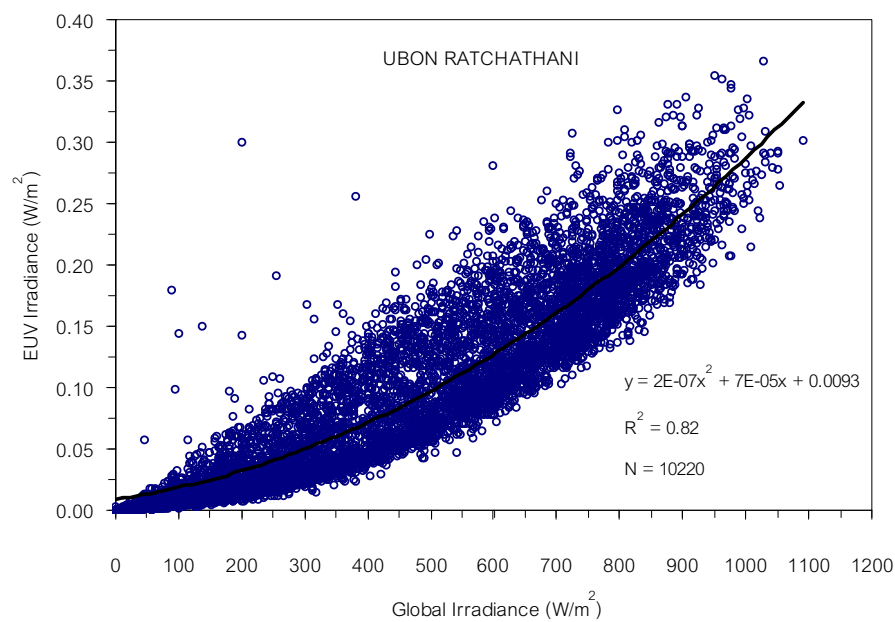
โดยทั่วไปท้องฟ้ามักมีเมฆปกคลุม ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์น้อย ดังนั้นความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจึงสัมพันธ์กับสภาพท้องฟ้าด้วย ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตมาเขียนกราฟกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ในกรณีท้องฟ้าทั่วไป

- ความเข้มรังสีรายชั่วโมง

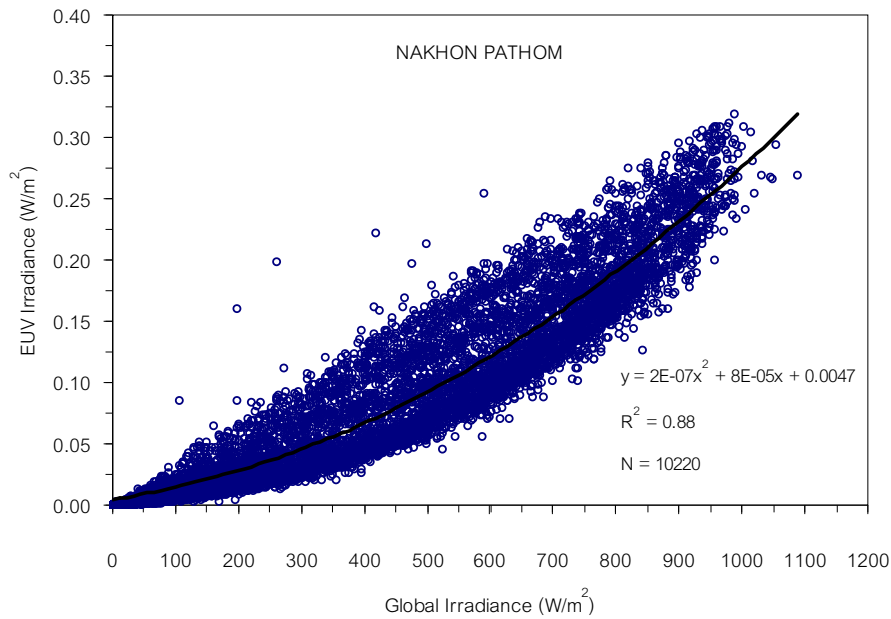
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงและความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลามาเขียนกราฟ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 3.67-3.70



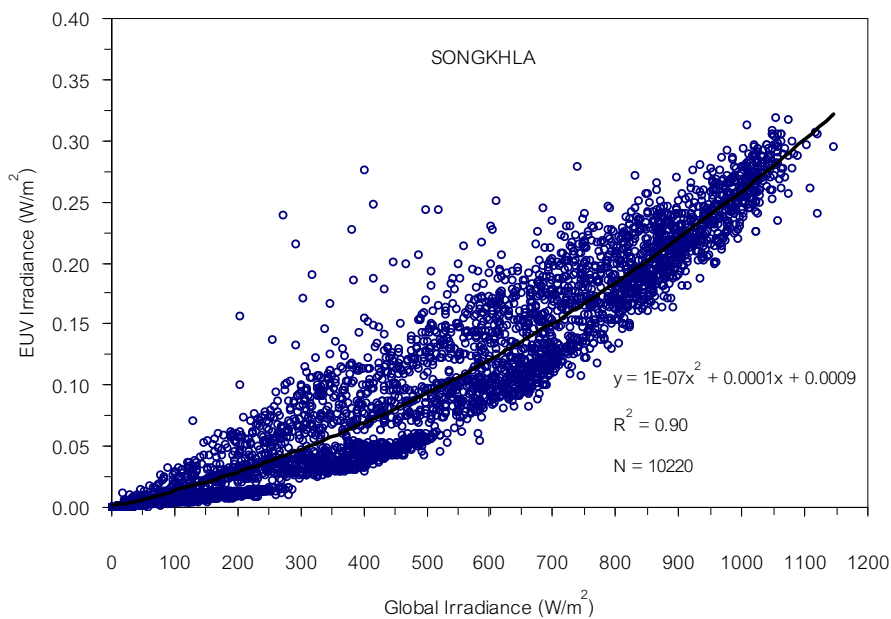
รูปที่ 3.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของสถานีเชียงใหม่ (N คือ จำนวนข้อมูล)



รูปที่ 3.68 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของสถานีอุบลราชธานี (N คือ จำนวนข้อมูล)



รูปที่ 3.69 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของสถานีนครปฐม (N คือ จำนวนข้อมูล)



รูปที่ 3.70 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ในกรณีท้องฟ้าทั่วไปของสถานีสงขลา (N คือ จำนวนข้อมูล)

จากกราฟทั้งหมดจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีทั้งสองมีค่าค่อนข้างกระจาย แต่อย่างไรก็ตาม ลักษณะของกราฟแสดงให้เห็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวม รายชั่วโมงและความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง จากรูปที่ 3.67-3.70 สามารถ fit กราฟของแต่ละสถานีได้ดังสมการ

สถานีเชียงใหม่

$$I_{H,EUV} = 0.0000001I_{H,G}^2 + 0.0001I_{H,G} + 0.0003 \quad (3.4)$$

$$R^2 = 0.83$$

สถานีอุบลราชธานี

$$I_{H,EUV} = 0.0000002I_{H,G}^2 + 0.00007I_{H,G} + 0.0093 \quad (3.5)$$

$$R^2 = 0.82$$

สถานีนครปฐม

$$I_{H,EUV} = 0.0000002I_{H,G}^2 + 0.00008I_{H,G} + 0.0047 \quad (3.6)$$

$$R^2 = 0.88$$

และสถานีสงขลา

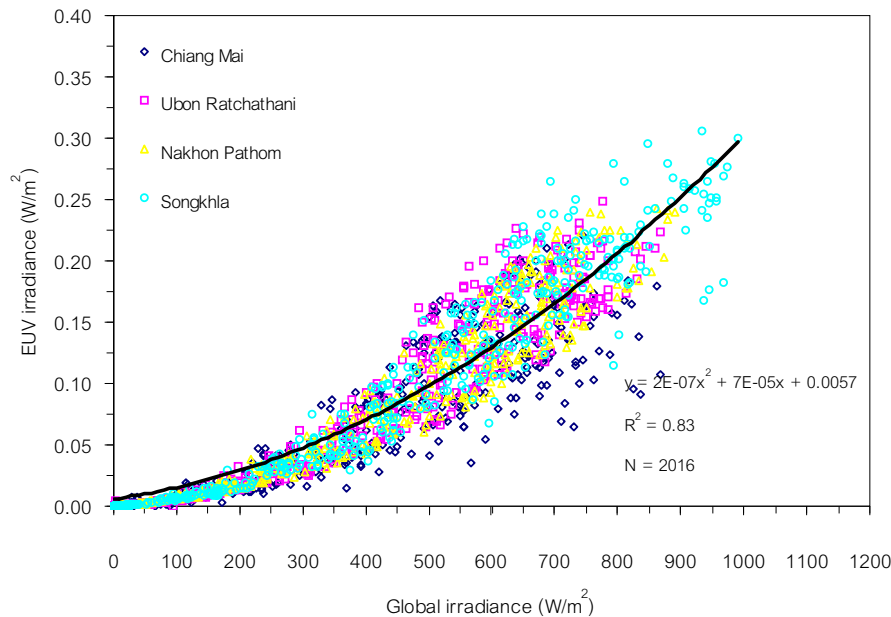
$$I_{H,EUV} = 0.0000001I_{H,G}^2 + 0.0001I_{H,G} + 0.009 \quad (3.7)$$

$$R^2 = 0.90$$

เมื่อ $I_{H,EUV}$ = ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมง [W/m^2]
 $I_{H,G}$ = ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมง [W/m^2]
 R^2 = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

- ความเข้มรังสีรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมงกับความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีทั้งสองมีการกระจายค่ามาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีดังกล่าวโดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.71



รูปที่ 3.71 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน ในกรณีท้องฟ้าทั่วไป (N คือ จำนวนข้อมูล)

จากกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนและความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนมีแนวโน้มค่อนข้างดี โดยสามารถ fit กราฟได้ด้วยสมการ

$$\bar{I}_{H,EUV} = 0.0000002\bar{I}_{H,G}^2 + 0.00007\bar{I}_{H,G} + 0.0057 \quad (3.8)$$

$$R^2 = 0.83$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \bar{I}_{H,EUV} &= \text{ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน [W/m}^2\text{]} \\ \bar{I}_{H,G} &= \text{ความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน [W/m}^2\text{]} \\ R^2 &= \text{สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์} \end{aligned}$$

3.1.5.9 สรุป

จากความสำคัญของรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) ผู้วิจัยจึงได้ทำการวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต (EUV) ในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทยทั้ง 4 แห่ง ได้แก่ ภาคเหนือที่จังหวัดเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุบลราชธานี ภาคกลางที่จังหวัดนครปฐม และภาคใต้ที่จังหวัดสงขลา หลังจากนั้นได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่ทำกรวัดได้จำนวน 4-7 ปี มาทำการวิเคราะห์การแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตตามเวลาในรอบวัน การเปลี่ยนแปลงค่าตามฤดูกาล และการแปรค่าระหว่างปีต่างๆ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงตามละติจูด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลต และความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ด้วย

ผลการวิเคราะห์การแปรค่าตามเวลาในรอบวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear day) พบว่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตสูงสุดตอนเที่ยงวันจะแปรค่าตามเวลาในรอบปี โดยที่สถานีสงขลามีค่าสูงสุดมากกว่าสถานีอื่นๆ สำหรับการแปรค่าตามฤดูกาลพบว่า การแปรค่าของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และนครปฐมมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ค่าความเข้มจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมไปจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายนหรือเดือนพฤษภาคม และค่อนข้างคงที่ไปจนถึงเดือนสิงหาคมหรือกันยายน จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม สำหรับสถานีสงขลา ช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายน ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ จากนั้นจะลดลงในเดือนพฤษภาคมและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเล็กน้อยจนถึงเดือนกันยายน แล้วจึงลดลงถึงค่าต่ำสุดตอนปลายปี โดยรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อปีของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา มีค่าเท่ากับ 3.13, 3.90, 3.40 และ 4.57 kJ/m²-day ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการแจกแจงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่มีค่าความเข้มอยู่ในระดับต่างๆ ตาม Canadian UV index scale พบว่าสถานีสงขลามีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่มีค่าความเข้มอยู่ในระดับสูงมากจำนวน 11.5% ของข้อมูลรายชั่วโมงตลอดปี ซึ่งสูงกว่าสถานีอื่นๆ สำหรับปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้รับทั้ง 4 สถานี พบว่าสถานีสงขลาได้รับสูงสุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากประเทศในเขตละติจูดสูงๆ เช่น ที่เมืองสตอกโฮล์ม ประเทศสวีเดน พบว่าความเข้มสูงสุดในประเทศไทยมีค่ามากกว่าประเทศในละติจูดสูงประมาณ 1 เท่า นอกจากนี้ยังได้ทำการหาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่าความเข้มรังสี

อุลตราไวโอเลตกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประมาณความเข้มรังสี
อุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV) จากค่าความเข้มรังสีรวมได้

3.2 การศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวม (Total ultraviolet radiation, TUV)

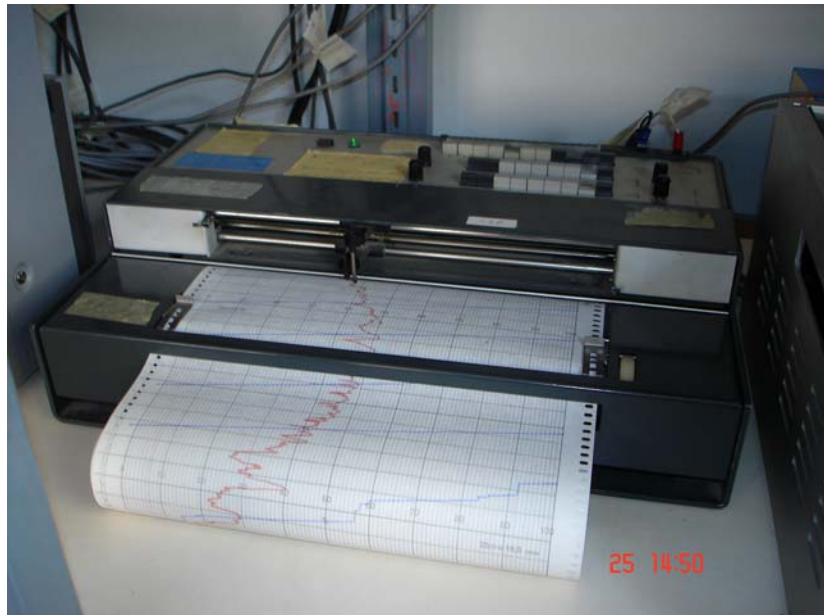
นอกจากการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์ (EUV) แล้ว ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตรวม (total ultraviolet radiation, TUV) ซึ่งเป็นผลรวมของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตเอ็กซีตเรตกับรังสีอัลตราไวโอเลตบี โดยมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 290-385 nm รังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวจะมีความเข้มสูงกว่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี ซึ่งทำให้วัดได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ผลของรังสีในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวยังเป็นผลรวมของรังสีอัลตราไวโอเลตทั้งหมดที่ตกกระทบพื้นผิวโลก โดยผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัด TUV ที่คาเฟ่ของอาคารวิทยาศาสตร์ 3 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และทำการวัดมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 โดยได้มีการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์บางส่วนแล้ว (ทิพวรรณ สุธา, 2539) แต่เนื่องจากเครื่องวัดดังกล่าวขาดการสอบเทียบมาเป็นเวลานาน อีกทั้งส่วนประกอบบางชิ้นเสื่อมคุณภาพ ทำให้ข้อมูลในช่วงหลังไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ส่งเครื่องวัดดังกล่าวกลับไปซ่อมและสอบเทียบใหม่ แล้วนำกลับมาติดตั้งที่อาคารวิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลอีกครั้งในเดือนมิถุนายน 2001 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งได้ข้อมูลแล้วประมาณ 4 ปี ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลนี้มาทำการวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง สำหรับรายละเอียดของการดำเนินการจะกล่าวในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.2.1 การวัดและบันทึกข้อมูล

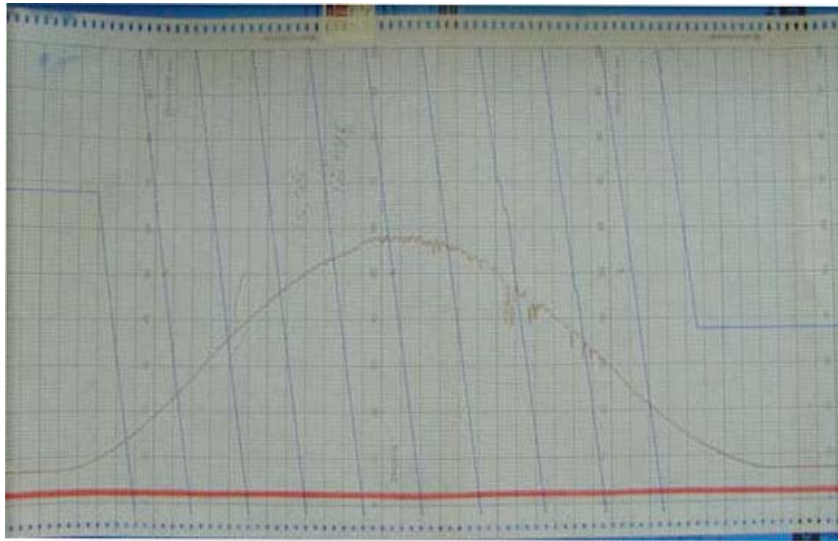
ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด TUV รุ่น TUVR ผลิตโดยบริษัท Eppley ประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตได้ในช่วงความยาวคลื่น 290-385 nm มี cosine response error เท่ากับ $\pm 2\%$ ช่วงมุมเซนติ 10°-90° และมี linearity เท่ากับ $\pm 2\%$ ลักษณะของเครื่องวัดดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 3.72 สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดนี้อยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยทำการบันทึกสัญญาณดังกล่าวด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟ (chart recorder) ของ Kipp & Zonen รุ่น BD41 (รูปที่ 3.73) ตัวอย่างกราฟที่บันทึกได้แสดงดังรูปที่ 3.74 ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง แต่เนื่องจากการบันทึกสัญญาณด้วยเครื่อง chart recorder ไม่สะดวกในการนำข้อมูลที่ได้ออกไปใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100 (รูปที่ 3.75) ไปพร้อมกันด้วย โดยตั้งโปรแกรมของ data logger ให้บันทึกสัญญาณทุกๆ 1 วินาที จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 10 นาที และบันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้ ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง data logger สามารถนำไปแปลงเป็นค่าความเข้มได้โดยสามารถใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้



รูปที่ 3.72 แสดงเครื่องวัด TUV ซึ่งติดตั้งอยู่ที่คานฟ้าของอาคารวิทยาศาสตร์ 1
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 3.73 แสดงเครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น BD41
ที่ใช้บันทึกสัญญาณ TUV



รูปที่ 3.74 แสดงตัวอย่างกระดาษกราฟที่ใช้บันทึกสัญญาณของเครื่องวัด TUV



รูปที่ 3.75 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100 ที่ใช้บันทึกข้อมูล TUV

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมบนอาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ซึ่งเป็นบริเวณที่โล่งแจ้งไม่มีเงาของสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้บัง โดยยึดติดกับเสาสูงประมาณ 150 เซนติเมตร สัญญาณที่ได้จะส่งไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลซึ่งอยู่ภายในอาคารที่ติดตั้งเครื่องวัด ผู้วิจัยจะนำค่าศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่บันทึกได้มาหารด้วยค่า sensitivity เพื่อแปลงเป็นค่าความเข้ม (irradiance) รังสีอุลตราไวโอเลตรวมในหน่วย W/m^2 และเมื่อรวมค่าทั้งชั่วโมงจะได้ค่าพลังงาน (irradiation) รายชั่วโมงในหน่วย $\text{J/m}^2\text{-hr}$ เช่นเดียวกับกรณีของรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ (สมการ 3.1)

3.2.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวม

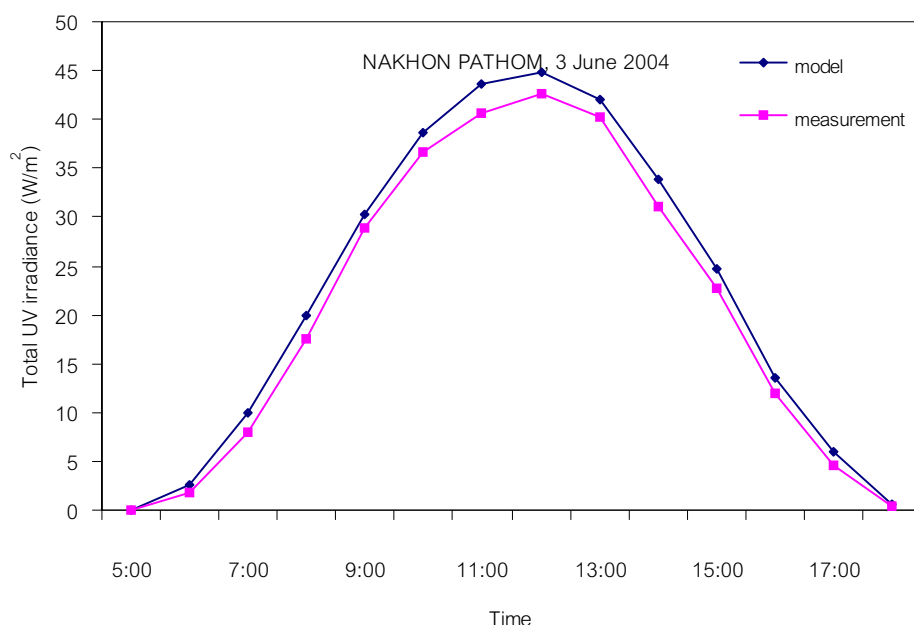
เนื่องจากเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมทำการติดตั้งใช้งานกลางแจ้งต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 จึงทำให้ค่า sensitivity ซึ่งใช้สำหรับแปลงศักย์ไฟฟ้าให้เป็นความเข้มรังสีอาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม อีกทั้งเครื่องวัดดังกล่าวมีอุปกรณ์บางชิ้นที่ชำรุดด้วย ผู้วิจัยจึงได้ส่งเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมไปซ่อมบำรุงและสอบเทียบที่บริษัทผู้ผลิต ประเทศสหรัฐอเมริกา ในเดือนมกราคม ค.ศ. 2001 โดยผลจากการสอบเทียบแสดงดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวม

สถานี	ค่า sensitivity เริ่มต้น [$\text{V}/(\text{W/m}^2)$]	ค่า sensitivity ใหม่ [$\text{V}/(\text{W/m}^2)$]
นครปฐม	145×10^{-6} [$\text{V}/(\text{W/m}^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 12 มีนาคม 2534)	175×10^{-6} [$\text{V}/(\text{W/m}^2)$] (สอบเทียบเมื่อ 7 มีนาคม 2544)

3.2.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล

สำหรับการควบคุมคุณภาพของข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมจะทำเช่นเดียวกับรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลต่อผิวหนังของมนุษย์ ได้แก่ การตรวจสอบทั่วไปและการตรวจสอบอย่างละเอียด สำหรับการตรวจสอบโดยทั่วไป จะสามารถดูการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าได้จากกราฟบันทึกข้อมูล ส่วนการตรวจสอบอย่างละเอียด จะสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง UVSPEC ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 3.76 ซึ่งถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับค่าจากการวัดก็แสดงว่าข้อมูลจากการวัดมีความละเอียดถูกต้องในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 3.76 แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC

3.2.4 จำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

เนื่องจาก ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัด TUV มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม แห่งเดียวเท่านั้น โดยเครื่องวัดดังกล่าวติดตั้งใช้งานมานานและไม่ได้รับการสอบเทียบ จนถึง ปี ค.ศ. 2001 อีกทั้งอุปกรณ์บางชิ้นของเครื่องเกิดการชำรุด เสียหาย ข้อมูลที่ได้ในช่วงแรกอาจไม่ถูกต้องมากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่สถานีวัดดังกล่าว หลังจากการนำเครื่องวัดไปสอบเทียบที่ต่างประเทศแล้ว คือตั้งแต่เดือนเมษายน ค.ศ. 2001 จนถึงเดือนสิงหาคม ค.ศ. 2005 รวมระยะเวลา 4 ปี 4 เดือน

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลรังสีอุลตราไวโอเลตรวม (TUV) ที่ควบคุมคุณภาพแล้วมาทำการวิเคราะห์ตามรายละเอียดดังนี้

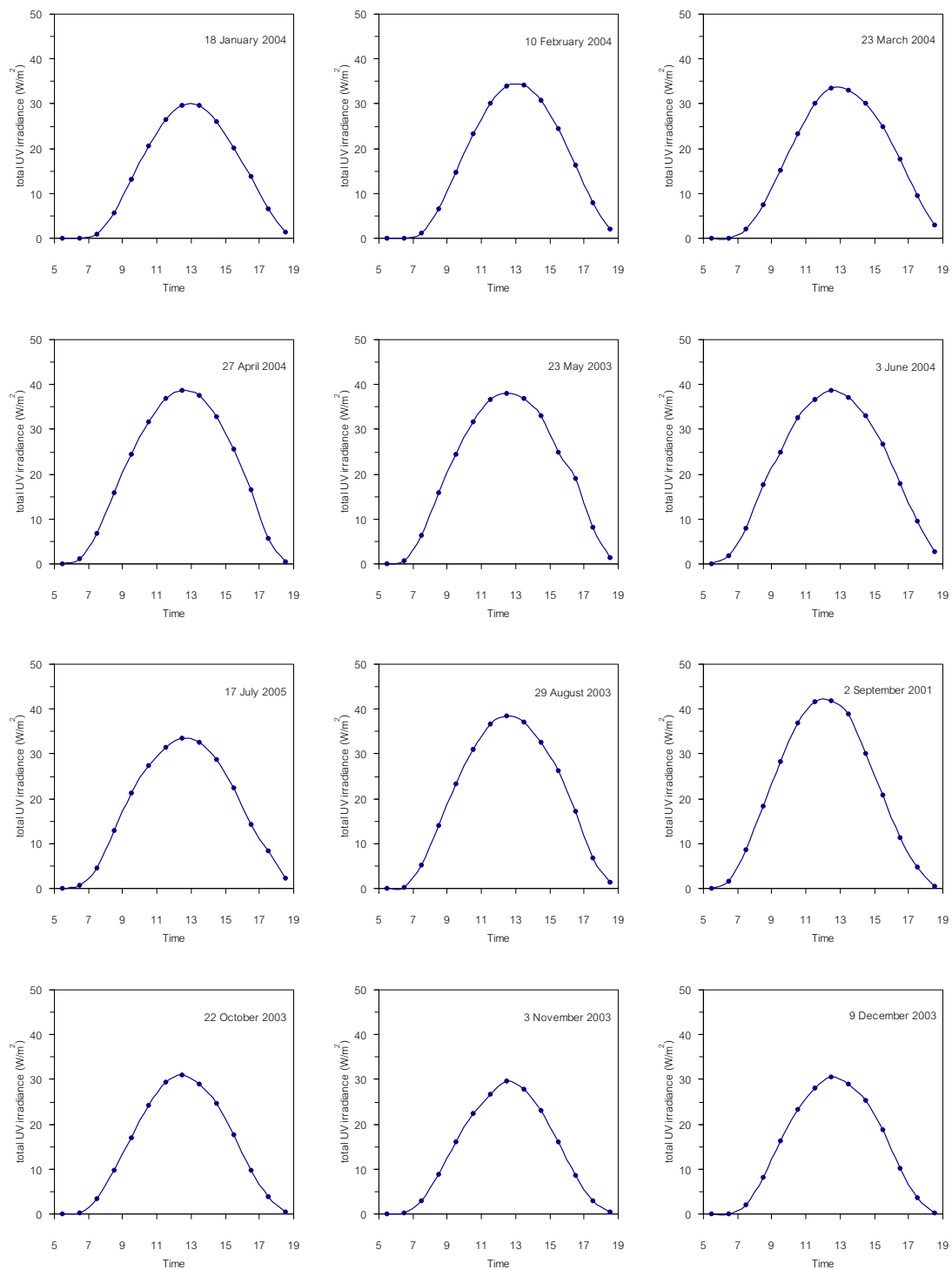
3.2.5.1 การแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมตามเวลาในรอบวัน

(diurnal variation)

ก. กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ เนื่องจากเป็นวันที่ได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตสูงสุด ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆในแต่ละเดือน แล้วนำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.77

จากกราฟพบว่าในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น โดยมีลักษณะการแปรค่าในช่วงเช้าและช่วงบ่ายค่อนข้างสมมาตร และจากการแปรค่าความเข้มรังสีของแต่ละเดือนพบว่า ค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงเดือนมิถุนายน และมีค่าลดลงอีกครั้งในเดือนกรกฎาคม จากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นและมีค่าคงที่ไปจนถึงเดือนธันวาคม

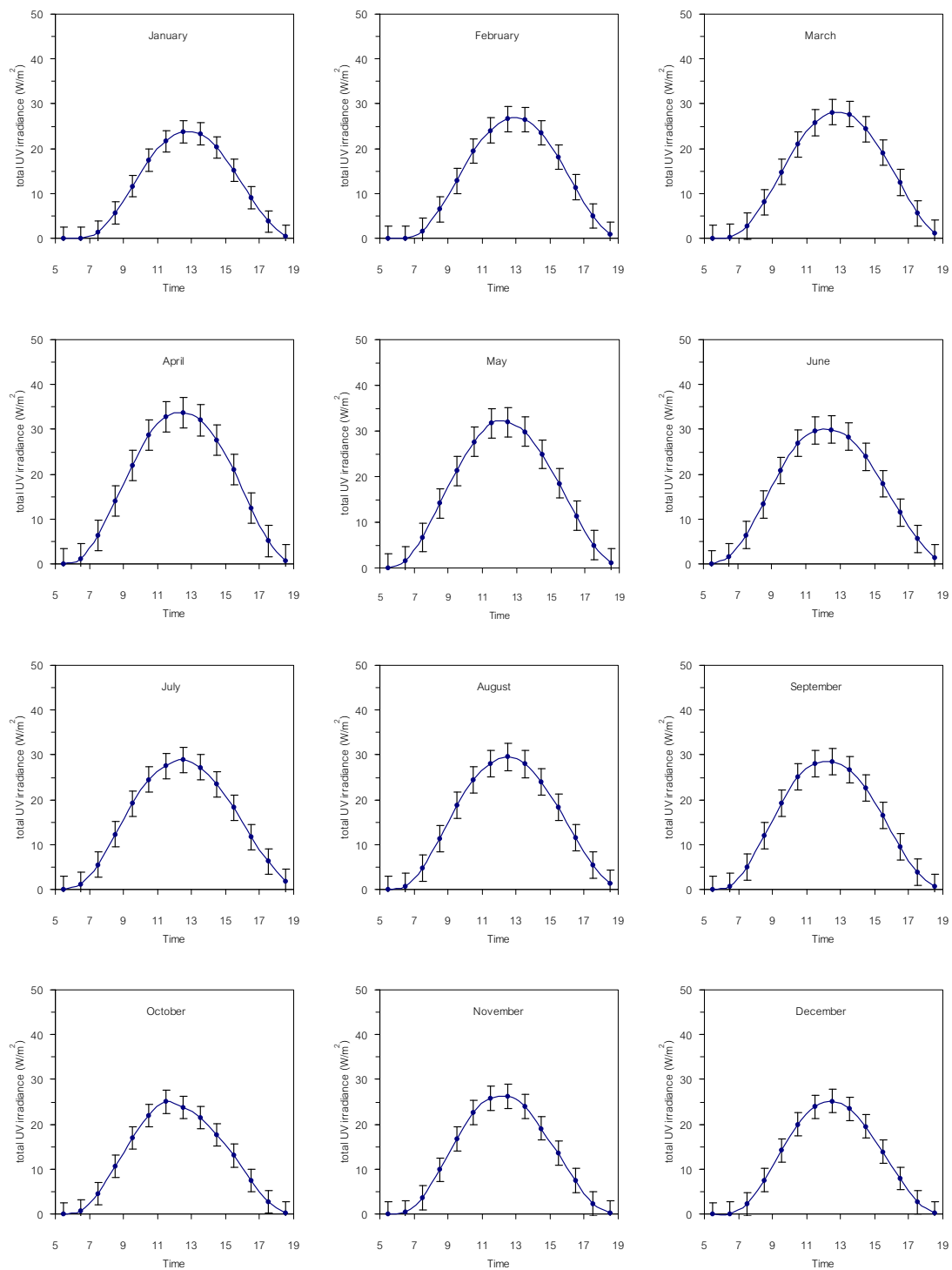


รูปที่ 3.77 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวม
ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ

ข. กรณีท้องฟ้าทั่วไป

สำหรับกรณีท้องฟ้าทั่วไป ผู้วิจัยนำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือน จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยที่หาได้มาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.78

จากกราฟพบว่า การแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมตามเวลาในรอบวันมีลักษณะการแปรค่าคล้ายกับกรณีวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ กล่าวคือ ค่าความเข้มรังสีจะค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น โดยค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายน

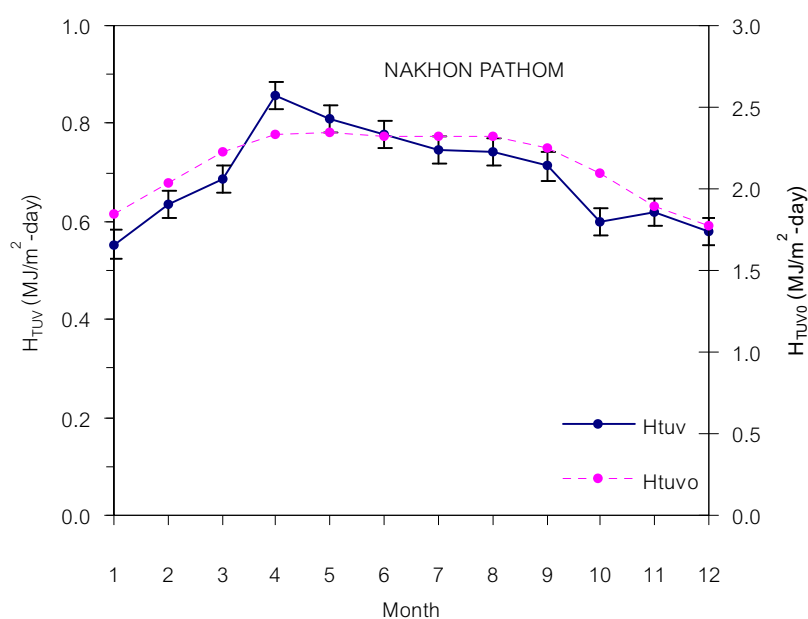


รูปที่ 3.78 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลา
ในรอบวัน [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]

3.2.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation)

โดยทั่วไปค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตจะแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปีซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาและการเปลี่ยนแปลงทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ตามมุมเคลิเนชัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้คำนวณค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในรูปของพลังงานที่ได้รับในหน่วย $\text{MJ/m}^2\text{-day}$ และนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี ดังแสดงในรูปที่ 3.79

จากกราฟพบว่า ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายน ($0.86 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$) จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนตุลาคมและเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายน แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม โดยค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้รับเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าเท่ากับ $0.70 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$

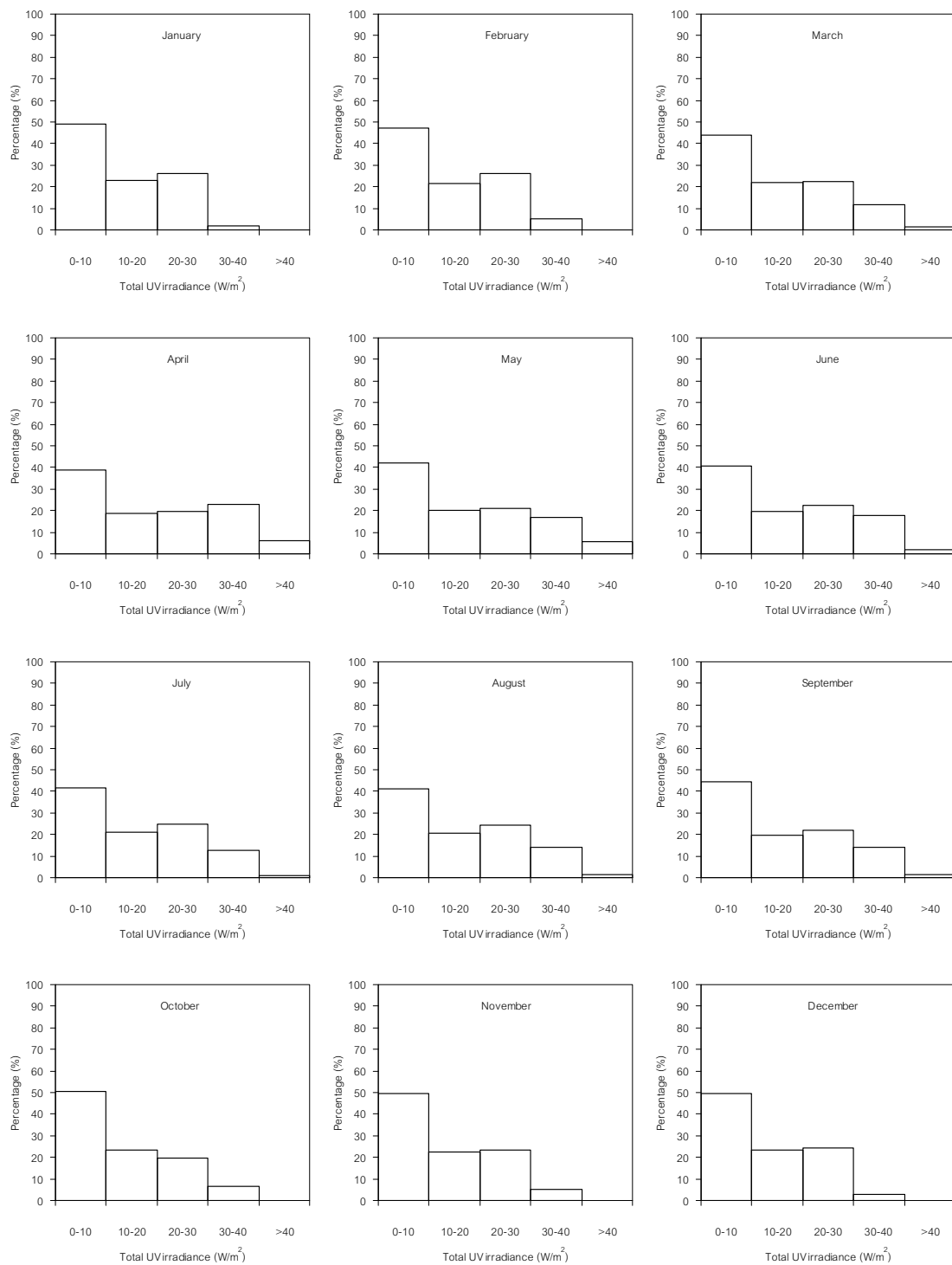


รูปที่ 3.79 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมตามเวลาในรอบปี

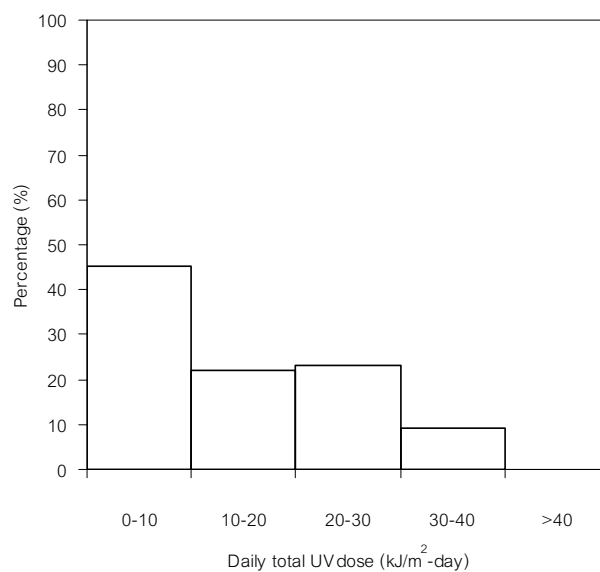
เมื่อ H_{TUV} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{TUV0} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตรวมที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

3.2.5.3 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมง

ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป การเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในรอบวันเช่นเดียวกับกรณีวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ แต่ค่าความเข้มรังสีที่ได้รับจะมีค่าต่ำกว่า ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมมาทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชั่วโมงที่ได้รับค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมในระดับต่างๆ โดยทำการแบ่งช่วงความเข้มรังสีออกเป็นช่วง ช่วงละ 10 W/m^2 จากกราฟพบว่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดของค่าความเข้มอยู่ในระดับมากกว่า 40 W/m^2 อยู่ในเดือนเมษายน (6.9%) โดยเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มจะมีค่าต่ำในเดือนมกราคมแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงเดือนเมษายน จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนธันวาคม ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 3.80 และสรุปผลลงในตารางที่ 3.14



รูปที่ 3.80 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมง
ในเดือนต่างๆ



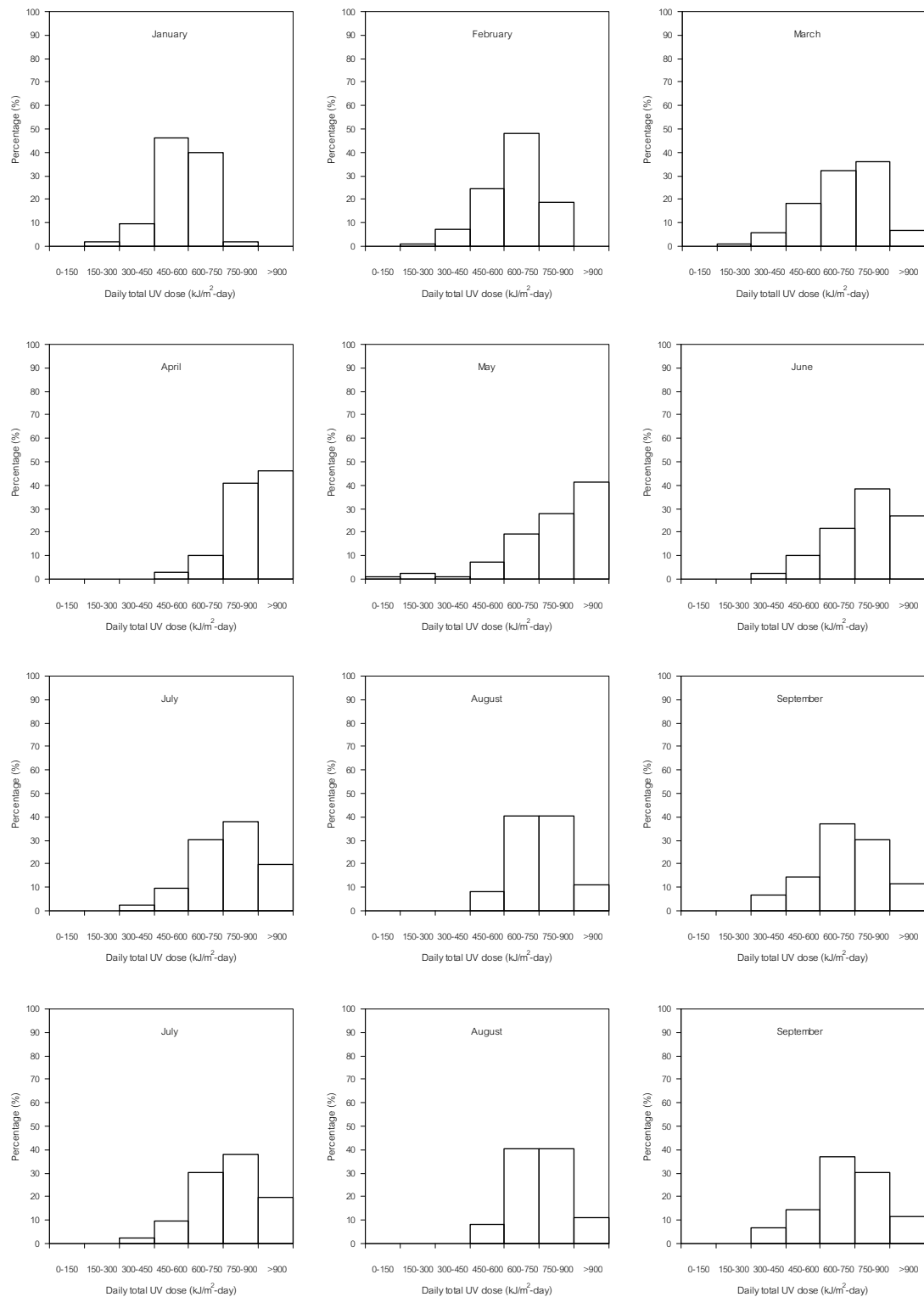
รูปที่ 3.81 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงตลอดทั้งปี

ตารางที่ 3.14 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงในเดือนต่างๆ

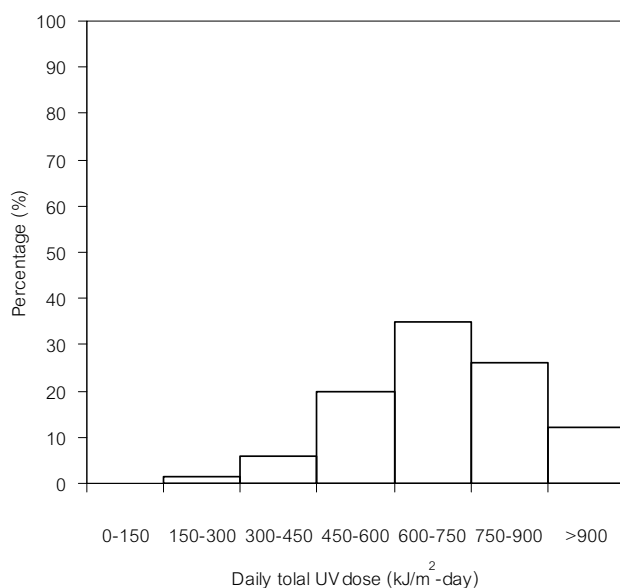
Month	Percentage %				
	0-10 (W/m ²)	10-20 (W/m ²)	20-30 (W/m ²)	30-40 (W/m ²)	> 40 (W/m ²)
January	49.1	22.8	26.4	1.7	0.0
February	47.1	21.7	26.0	5.2	0.0
March	43.9	22.1	22.4	11.6	1.3
April	38.6	18.6	19.8	22.9	6.0
May	42.1	20.0	20.9	16.9	5.4
June	40.7	19.4	22.3	17.6	1.9
July	41.7	21.0	24.7	12.6	1.0
August	41.0	20.7	24.3	14.0	1.2
September	44.3	19.7	22.2	13.8	1.3
October	50.5	23.4	19.5	6.6	0.1
November	49.4	22.2	23.2	5.2	0.0
December	49.5	23.4	24.1	2.9	0.0
Average	44.8	21.3	23.6	10.9	1.5

3.2.5.4 การแจกแจงค่าความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตรวมรายวัน

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มข้นสีอุลตราไวโอเลตรวมรายวันซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นสีที่ได้รับตลอดทั้งวันมาทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยได้แบ่งช่วงของการแจกแจงออกเป็นช่วงละ $150 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ แล้วทำการหาค่าความถี่เทียบกับข้อมูลทั้งหมดของจำนวนวันที่มีค่าในช่วงดังกล่าว แล้วหาค่าเปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.82 จากกราฟจะเห็นว่า ลักษณะการแจกแจงส่วนใหญ่จะมีการเบ้ไปทางค่าความเข้มสูง



รูปที่ 3.82 แสดงการแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายวันในเดือนต่างๆ



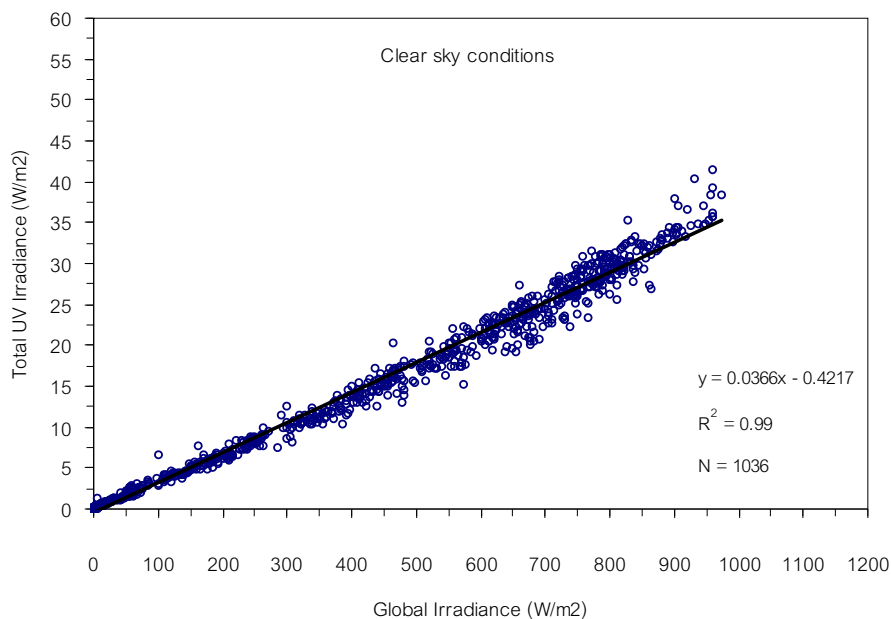
รูปที่ 3.83 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายวันตลอดทั้งปี

3.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์

ทำนองเดียวกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์กับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงมาหาความสัมพันธ์กับความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมง โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี

ก. กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ

ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงและความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ แล้วจึงนำความเข้มรังสีดังกล่าวมาเขียนกราฟ ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.84



รูปที่ 3.84 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมง กับรังสีรวมรายชั่วโมงของดวงอาทิตย์ ในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (N คือ จำนวนข้อมูล)

จากกราฟจะพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีทั้งสองมีความสอดคล้องกัน จากกราฟสามารถ fit สมการได้ดังนี้

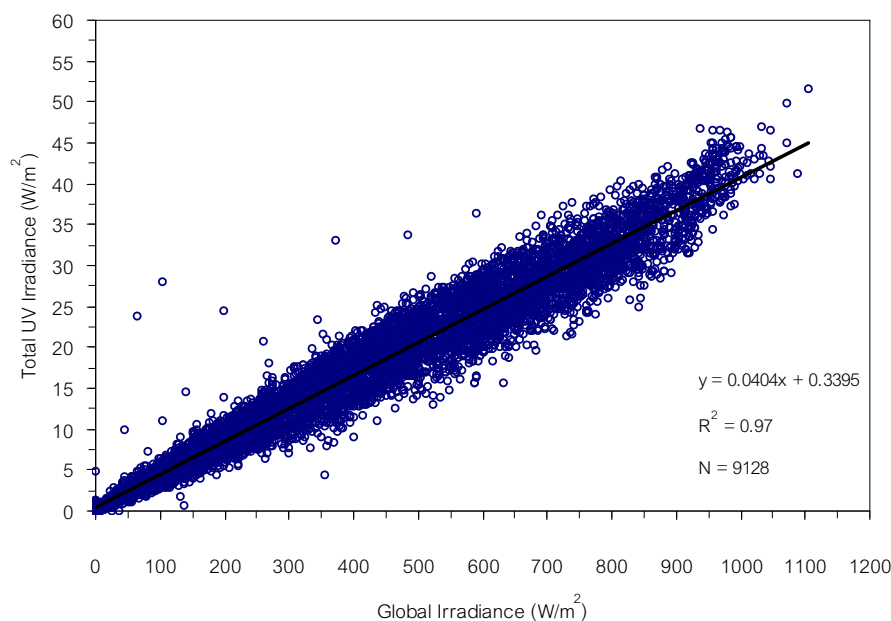
$$H_{TUV} = 0.0366H_G - 0.4217 \quad (3.9)$$

$$R^2 = 0.99$$

เมื่อ H_{TUV} = ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวม [$\text{MJ/m}^2\text{-day}$]
 H_G = ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ [$\text{MJ/m}^2\text{-day}$]
 R^2 = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ข. กรณีท้องฟ้าทั่วไป

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงและความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงมาเขียนกราฟ ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.85



รูปที่ 3.85 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงกับรังสีรวมรายชั่วโมงของดวงอาทิตย์ ในกรณีท้องฟ้าทั่วไป (N คือ จำนวนข้อมูล)

จากกราฟจะพบว่า ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงและความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงมีความสัมพันธ์ค่อนข้างดี โดยสามารถ fit กราฟดังกล่าวด้วยสมการ

$$H_{TUV} = 0.0404H_G + 0.3395 \quad (3.10)$$

$$R^2 = 0.97$$

เมื่อ H_{TUV} = ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวม [MJ/m²-day]

H_G = ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ [MJ/m²-day]

R^2 = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ความสัมพันธ์ที่ได้ทั้งสองกรณีนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการประมาณค่าความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงจากค่าความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงของดวงอาทิตย์ได้

3.2.7 สรุป

จากการศึกษาความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวม ที่ผู้วิจัยได้ทำการวัดและเก็บบันทึกข้อมูลที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม แล้วทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติต่างๆ ได้แก่ การแปรค่าตามเวลาในรอบวัน การแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปี การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมรายชั่วโมงและรายวัน

ผลการวิเคราะห์การแปรค่าตามเวลาในรอบวันพบว่า ความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรวมจะแปรค่าในลักษณะที่ค่อนข้างสมมาตรในช่วงเช้าและช่วงบ่าย กล่าวคือ ค่าความเข้มรังสีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวันและจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น สำหรับกรณีการแปรค่าตามฤดูกาลพบว่าค่าความเข้มรังสีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายน และค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงปลายปี โดยรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันเฉลี่ยต่อปีมีค่าเท่ากับ $0.70 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$

3.3 การศึกษาความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B)

ค่า absolute UV-B เป็นฟลักซ์ของรังสีอุลตราไวโอเลต ซึ่งมีได้คำนวณผลการตอบสนองของผิวหนังมนุษย์ ค่าที่ได้จึงเป็นพลังงานที่แท้จริงของสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงรังสีอุลตราไวโอเลต ปริมาณ absolute UV-B มีความสำคัญต่อการศึกษาสมดุลของรังสีในบรรยากาศ (radiative budget) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดซื้อเครื่องวัดและติดตั้งเครื่องวัดรังสีอุลตราไวโอเลตบี และนำข้อมูลที่บันทึกได้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อการศึกษาลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี ซึ่งรายละเอียดของการดำเนินการจะกล่าวในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.3.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ ทำการจัดซื้อเครื่องมือวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) รุ่น UV-S-B-C ซึ่งผลิตโดยบริษัท Kipp & Zonen จำนวน 4 เครื่อง พร้อมทั้งดำเนินการติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา 1 เครื่อง และที่คาเฟ่ของอาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม จำนวน 2 เครื่อง โดยเครื่องที่ 1 ใช้วัด global absolute UV-B และอีกเครื่องหนึ่งได้ติดตั้งพร้อมแผงแบนบังรังสีตรง เพื่อวัด diffuse absolute UV-B หลังจากที่ทำกรวัดได้ประมาณ 1 ปี จึงได้ถอดหัววัดนี้ไปติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับเครื่องวัดสุดท้ายจะเก็บรักษาไว้ใช้เป็นหัววัดมาตรฐานสำหรับสอบเทียบ ซึ่งเครื่องวัด absolute UV-B สามารถวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีในช่วงความยาวคลื่น 280-315 nm โดย cosine response มีค่าเท่ากับ $\pm 4\%$ ในช่วงมุมเซนติ 0°-70° โดยลักษณะของเครื่องมือวัดรังสีอุลตราไวโอเลตบี แสดงไว้ในรูปที่ 3.86 สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดอยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟ (chart recorder) ของ Yokogawa รุ่น LR4120 (รูปที่ 3.87) ข้อดีของการบันทึกสัญญาณดังกล่าวคือ ทำให้ทราบความผิดปกติของข้อมูลได้ทันที แต่เนื่องจากข้อมูลที่บันทึกลงบนกระดาษกราฟไม่สะดวกในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100 (รูปที่ 3.88) ไปพร้อมๆ กัน โดยตั้งโปรแกรมให้ data logger บันทึกสัญญาณทุก 1 วินาที หลังจากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 10 นาที และบันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้ ซึ่งข้อมูลที่บันทึกด้วยเครื่อง data logger สามารถนำไปแปลงเป็นค่าความเข้มของรังสีได้ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีนี้เป็นค่าพลังงานที่แท้จริงของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงรังสีอุลตราไวโอเลต เครื่องวัดดังกล่าวมีลักษณะการตอบสนองต่อรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 280-315 nm ดังรูปที่ 3.89



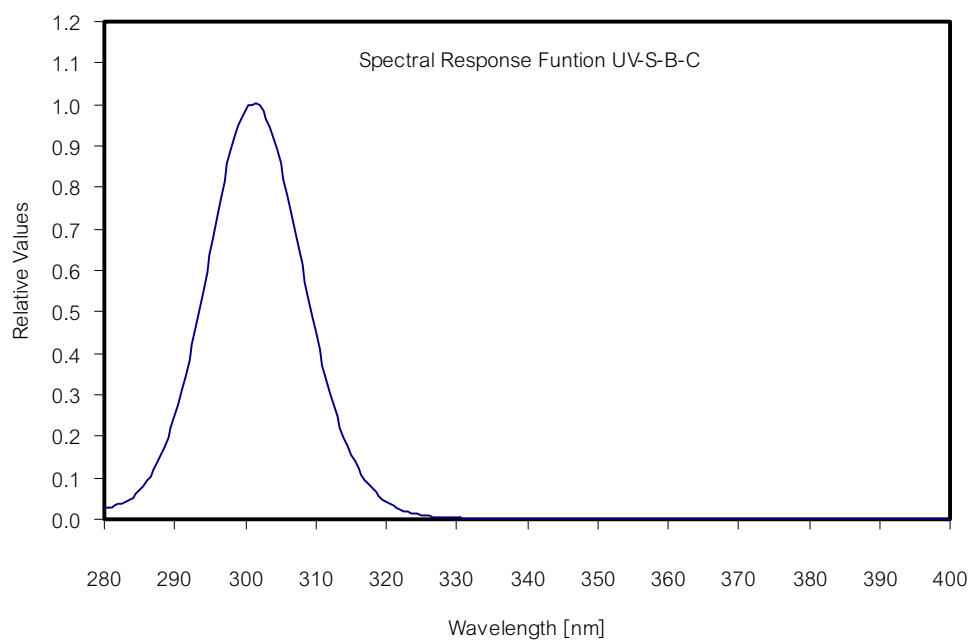
รูปที่ 3.86 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) รุ่น UV-S-B-C



รูปที่ 3.87 แสดงเครื่องบันทึกสัญญาณลงบนกระดาษกราฟของ Yokogawa รุ่น LR4120



รูปที่ 3.88 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลเชิงตัวเลข (data logger) ของ Yokogawa รุ่น DC100 ที่ใช้บันทึกความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี



รูปที่ 3.89 แสดงลักษณะการตอบสนองต่อรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นในช่วง 280-315 nm ของเครื่องวัดรังสีอุลตราไวโอเลตบี

ผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีบนาคาฟ้าของอาคาร โดยติดเครื่องวัดบนเสาที่มีความสูงประมาณ 150 เซนติเมตร เพื่อมิให้เงาของต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้างบัง สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลซึ่งอยู่ภายในตัวอาคารที่ติดตั้งเครื่องวัดดังกล่าว ตำแหน่งและลักษณะของเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ติดตั้งตามสถานีต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.90-3.94



รูปที่ 3.90 แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี



รูปที่ 3.91 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่สถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.92 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่สถานีนครปฐม



รูปที่ 3.93 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีซึ่งติดตั้งพร้อมวงแหวนบังรังสีตรงที่สถานีนครปฐม ซึ่งต่อมาภายหลังได้นำไปติดตั้งที่สถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.94 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่สถานีสงขลา

หลังจากนั้น ผู้วิจัยจะนำค่าศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่บันทึกได้มาหารด้วยค่า sensitivity ของเครื่องวัด โดยใช้สมการ 3.1 เช่นเดียวกับกรณีของรังสีอุลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ เพื่อแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีในหน่วย W/m^2 และเมื่อรวมค่าความเข้มรังสีทั้งชั่วโมงจะได้ค่าพลังงานรายชั่วโมงในหน่วย J/m^2-hr

3.3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี

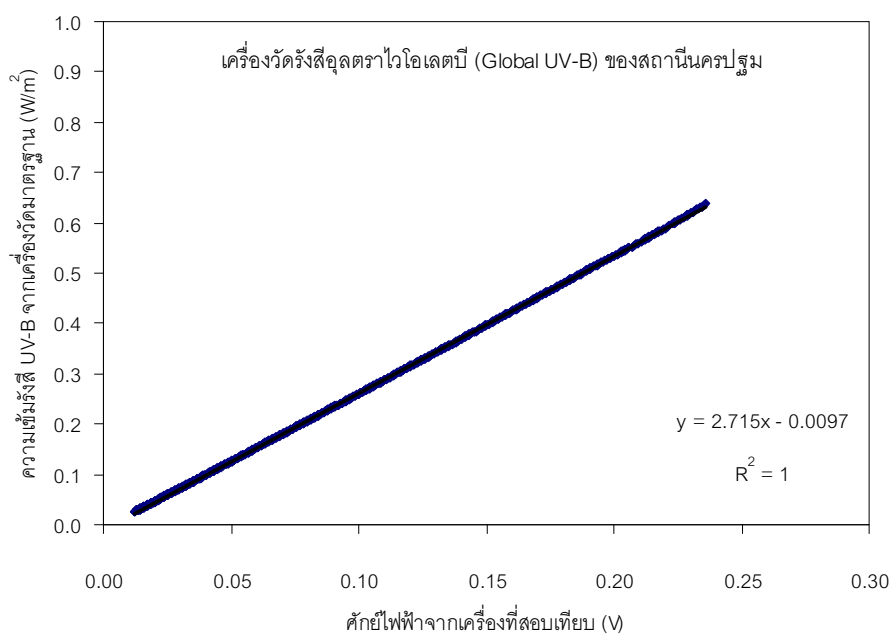
เนื่องจากเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีถูกติดตั้งใช้งานกลางแจ้งเป็นเวลานาน จึงทำให้ค่า sensitivity ซึ่งใช้สำหรับแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าให้เป็นความเข้มรังสีมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการสอบเทียบเครื่องวัดเป็นระยะๆ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีโดยใช้หั่ววัดที่เก็บไว้เป็นหั่ววัดมาตรฐานเป็นตัวสอบเทียบ

ในการสอบเทียบ ผู้วิจัยจะนำหั่ววัดมาตรฐานซึ่งติดตั้งอยู่บนขาตั้งกล้องถ่ายรูปที่ถูกดัดแปลงเพื่อใช้สำหรับการสอบเทียบ โดยติดตั้งให้อยู่ใกล้กับเครื่องวัดของแต่ละสถานีและอยู่ในความสูงระดับเดียวกัน จากนั้นจึงต่อสายสัญญาณจากเครื่องวัดมาเข้า data logger เครื่องเดียวกัน โดยทั่วไปการสอบเทียบเครื่องวัดจะดำเนินการในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งเริ่มดำเนินการตั้งแต่เวลาประมาณ 9.00 น. ถึง 15.00 น. จากนั้นนำค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหั่ววัดมาตรฐานมาแปลงเป็นความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี และนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดของสถานีวัด ภาพการสอบเทียบและกราฟที่ได้จากการสอบเทียบของสถานีวัดต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.95-3.99

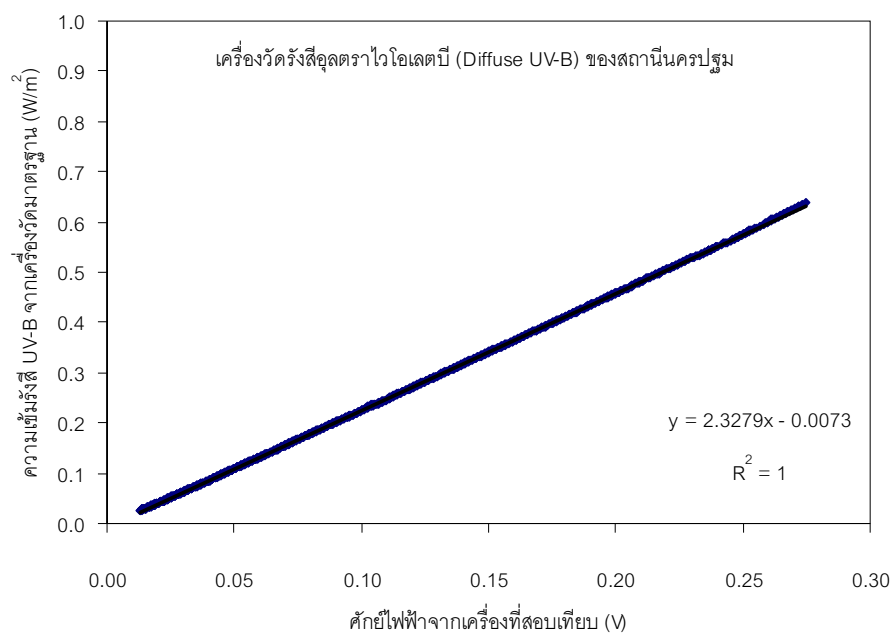
สำหรับการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอัลตราไวโอเลตบีซึ่งติดตั้งวงแหวนบังรังสีตรงด้วยนั้น ก่อนเริ่มทำการสอบเทียบจะต้องถอดวงแหวนดังกล่าวออกก่อนจึงเริ่มดำเนินการ โดยหลักการสอบเทียบจะเหมือนกับการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตอื่นๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว



รูปที่ 3.95 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีที่สถานีนครปฐม



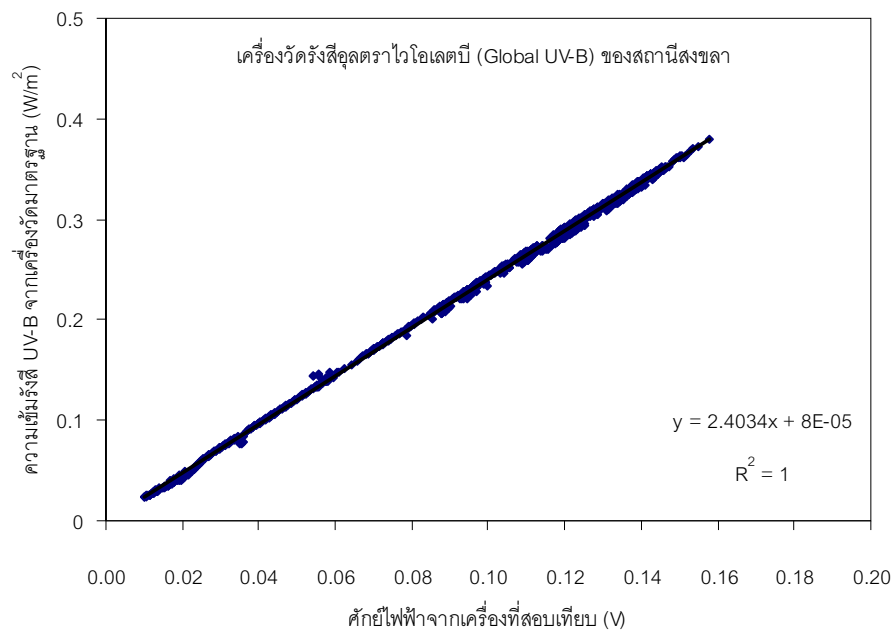
รูปที่ 3.96 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (Global UV-B) ที่ได้จากหัววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดของสถานีนครปฐม เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548



รูปที่ 3.97 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Diffuse UV-B) ที่ได้จากหัววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดของสถานีนครปฐม เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548



รูปที่ 3.98 แสดงการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่สถานีสงขลา เมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2548



รูปที่ 3.99 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (Global UV-B) ที่ได้จาก
ห้ววัดมาตรฐานกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากห้ววัดของสถานีสงขลา เมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2548

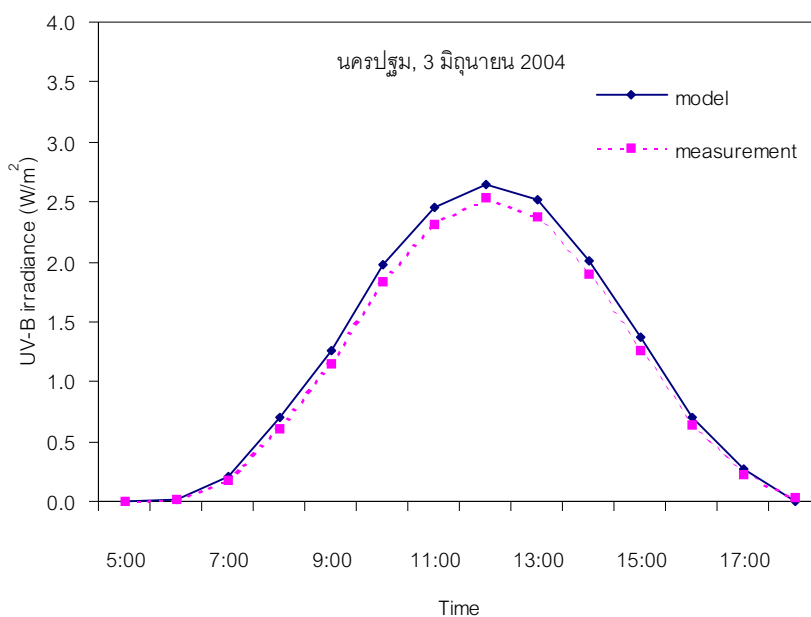
จากกราฟความสัมพันธ์จะสามารถหาค่า sensitivity ใหม่ของเครื่องวัดได้เหมือนกรณีของ
เครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ โดยค่า sensitivity ใหม่ของ
เครื่องวัดแสดงไว้ตามตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 แสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี

สถานี	ค่า sensitivity เดิม [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$]	ค่า sensitivity ใหม่ [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$]
นครปฐม		
- Global UV-B	2.4291 [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$] สอบเทียบเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2547	2.7150 [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$] สอบเทียบเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548
- Diffuse UV-B	2.4050 [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$] สอบเทียบเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2547	2.3279 [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$] สอบเทียบเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548
สงขลา		
- Global UV-B	2.1969 [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$] สอบเทียบเมื่อวันที่ 11 เมษายน 2547	2.4034 [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$] สอบเทียบเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2548
เชียงใหม่		
- Global UV-B	2.3279 [$\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$] สอบเทียบเมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2548	-

3.3.3 การควบคุมคุณภาพข้อมูล

การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีนั้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการเช่นเดียวกับการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตอื่นๆ กล่าวคือ การตรวจสอบทั่วไป สามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ไฟฟ้าที่เครื่องบันทึกข้อมูลลงบนกระดาษกราฟ และการตรวจสอบอย่างละเอียด ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้จากการวัดกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง UVSPEC ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 3.100



รูปที่ 3.100 แสดงตัวอย่างของความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (Absolute UV-B) ที่ได้จากการวัด และจากการคำนวณด้วยโปรแกรม UVSPEC

3.3.4 จำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

เนื่องจากเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีถูกติดตั้งที่สถานีวัดต่างๆ ในระยะเวลาที่ไม่พร้อมกัน และข้อมูลที่วัดได้ยังมีไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลของแต่ละสถานีที่วัดตั้งแต่เครื่องเริ่มติดตั้งมาวิเคราะห์เพื่อการศึกษา โดยข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีช่วงเวลาของข้อมูลตามตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 แสดงช่วงเวลาของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

สถานี	ช่วงเวลาของข้อมูล	จำนวนปี
นครปฐม		
- Global UV-B	4 พฤษภาคม 2003 - 31 สิงหาคม 2005	2 ปี 3 เดือน
- Diffuse UV-B	23 ตุลาคม 2003 - 19 มีนาคม 2005	1 ปี 5 เดือน
สงขลา		
- Global UV-B	7 กันยายน 2003 - 31 กรกฎาคม 2005	1 ปี 10 เดือน
เชียงใหม่		
- Global UV-B	22 มีนาคม 2005 - 31 สิงหาคม 2005	6 เดือน

3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (absolute UV-B) ที่ควบคุมคุณภาพข้อมูลแล้วมาทำการวิเคราะห์ตามรายละเอียดดังนี้

3.3.5.1 การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation)

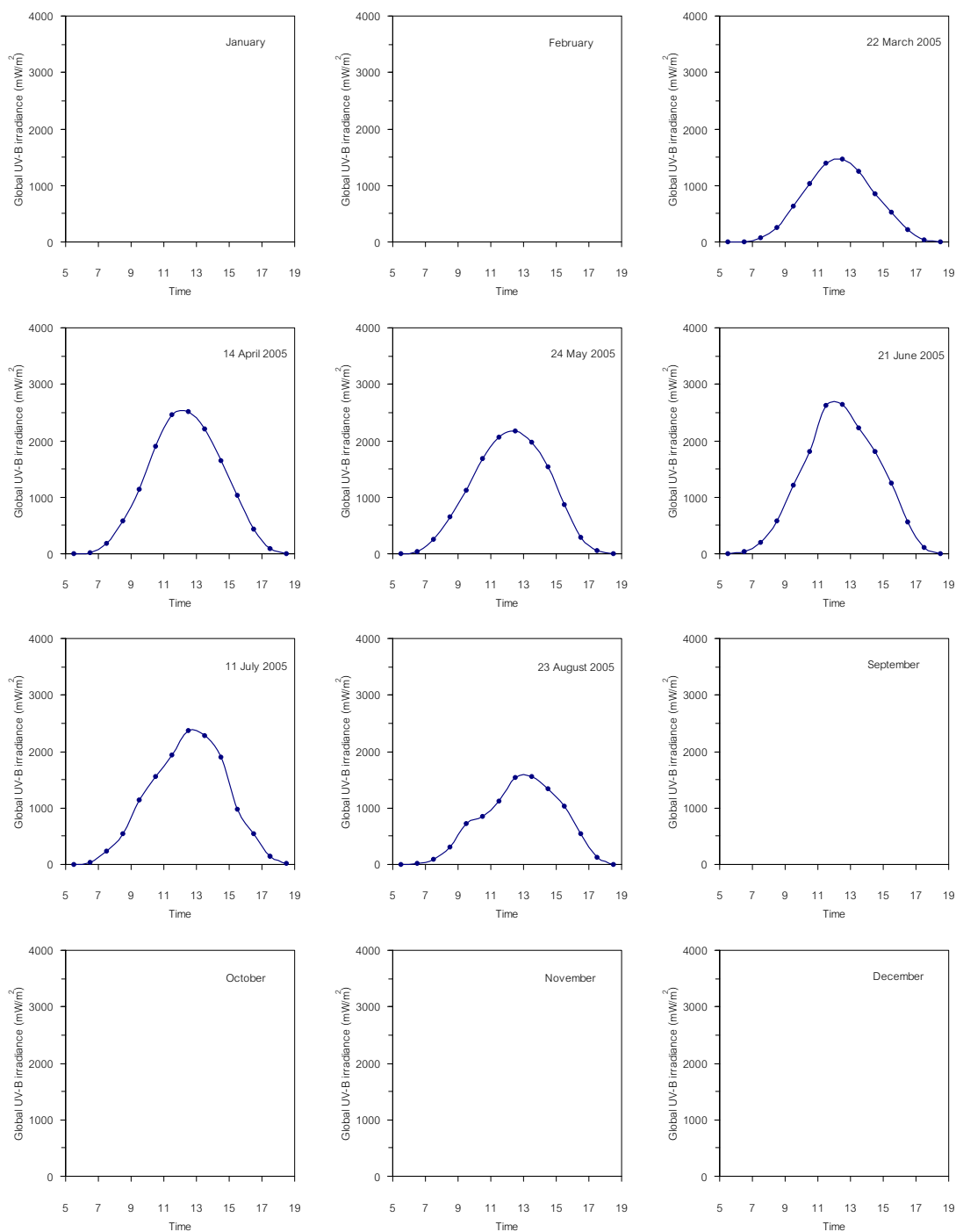
ก. กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

ในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีที่ได้รับจะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสภาพท้องฟ้ามีเมฆ การศึกษาในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะทำการเลือกค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีรายชั่วโมงในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆหรือวันที่มีปริมาณเมฆน้อยที่สุดของแต่ละเดือนที่วัดได้จาก 3 สถานี ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ สถานีนครปฐม และสถานีสงขลา หลังจากนั้นจะนำความเข้มรังสีรายชั่วโมงที่คัดเลือกแล้วมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.100-3.104

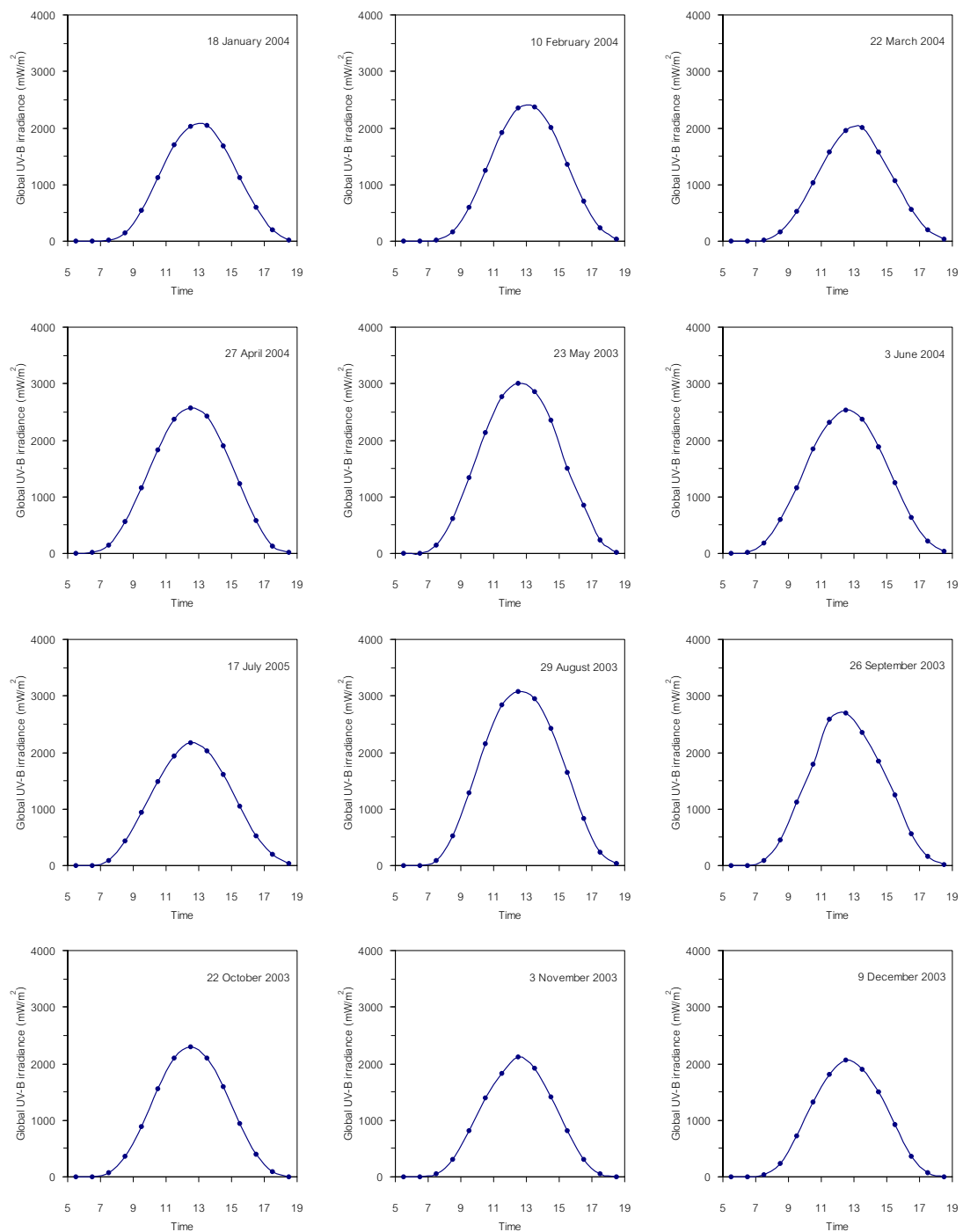
สำหรับกรณีของสถานีเชียงใหม่ เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี เมื่อเดือนมีนาคม 2548 จำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติจึงมีเพียง 6 เดือน จากกราฟ (รูปที่ 3.101) จะเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนมีค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น

สำหรับกรณีของสถานีนครปฐม (รูปที่ 3.102) ค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆตอนเที่ยงวันจะเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม จากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนถึงเดือนกรกฎาคม แล้วจะค่อยๆ ลดลงไปจนถึงช่วงปลายปี สำหรับความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีที่เป็นรังสีกระจาย (diffuse UV-B) จากกราฟในรูปที่ 3.103 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวันเพียงเล็กน้อยตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนธันวาคม

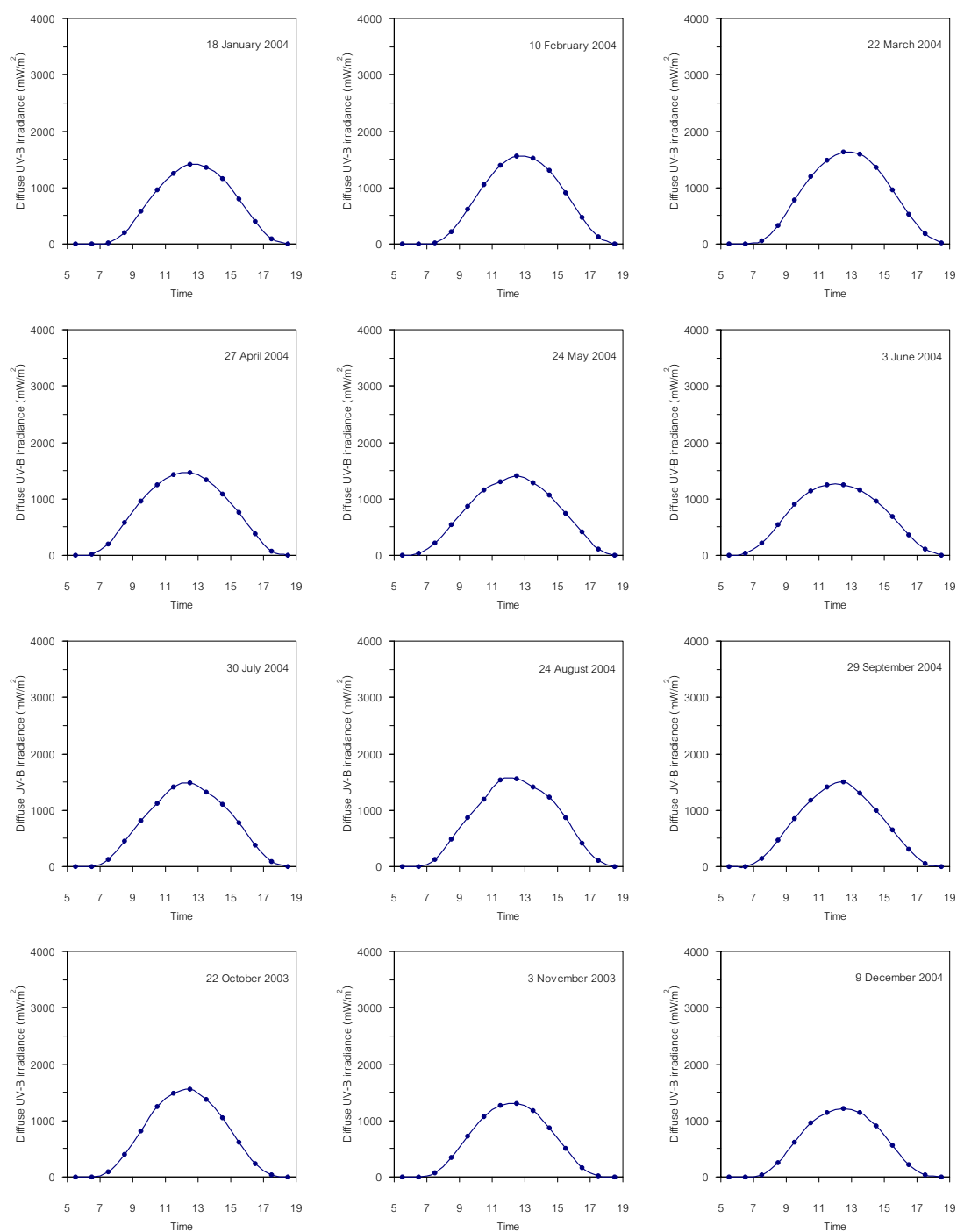
ในด้านของสถานีสงขลา การแปรค่าตามเวลาในรอบวันของค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบีจะแตกต่างจากสถานีเชียงใหม่และนครปฐม กล่าวคือมีค่าเพิ่มขึ้นจากต้นปีจนถึงเดือนมีนาคม และค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนกรกฎาคม แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคม จากนั้นจะมีค่าลดลงอีกครั้งจนถึงเดือนตุลาคมและมีค่าสูงอีกครั้งหนึ่งในเดือนพฤศจิกายน แล้วจึงลดลงในช่วงเดือนธันวาคม การเปลี่ยนแปลงของค่าสูงสุด (peak value) ดังกล่าวเป็นผลมาจากหลายสาเหตุที่สำคัญ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ฝุ่นละอองและโอโซนในบรรยากาศ



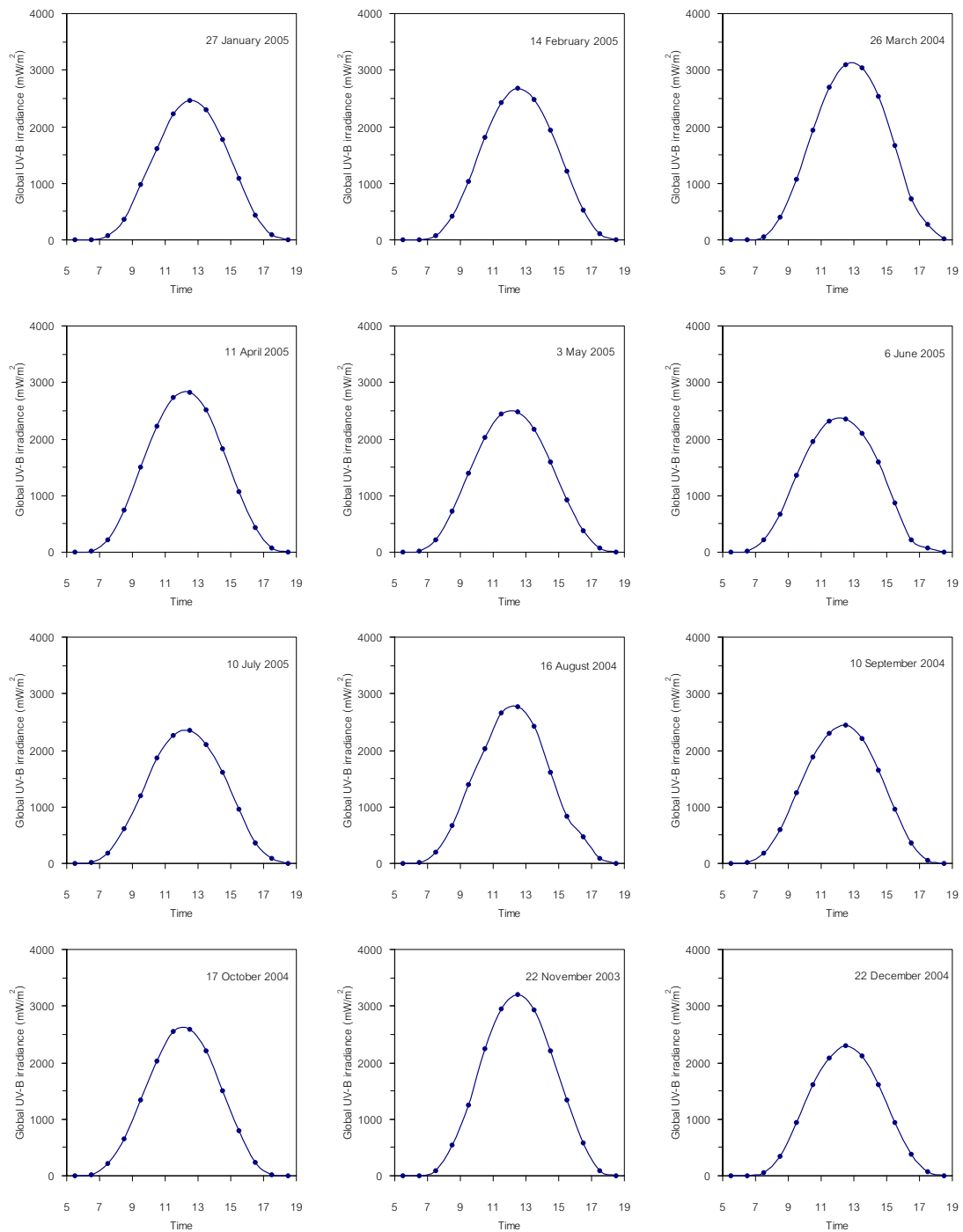
รูปที่ 3.101 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.102 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีนครปฐม



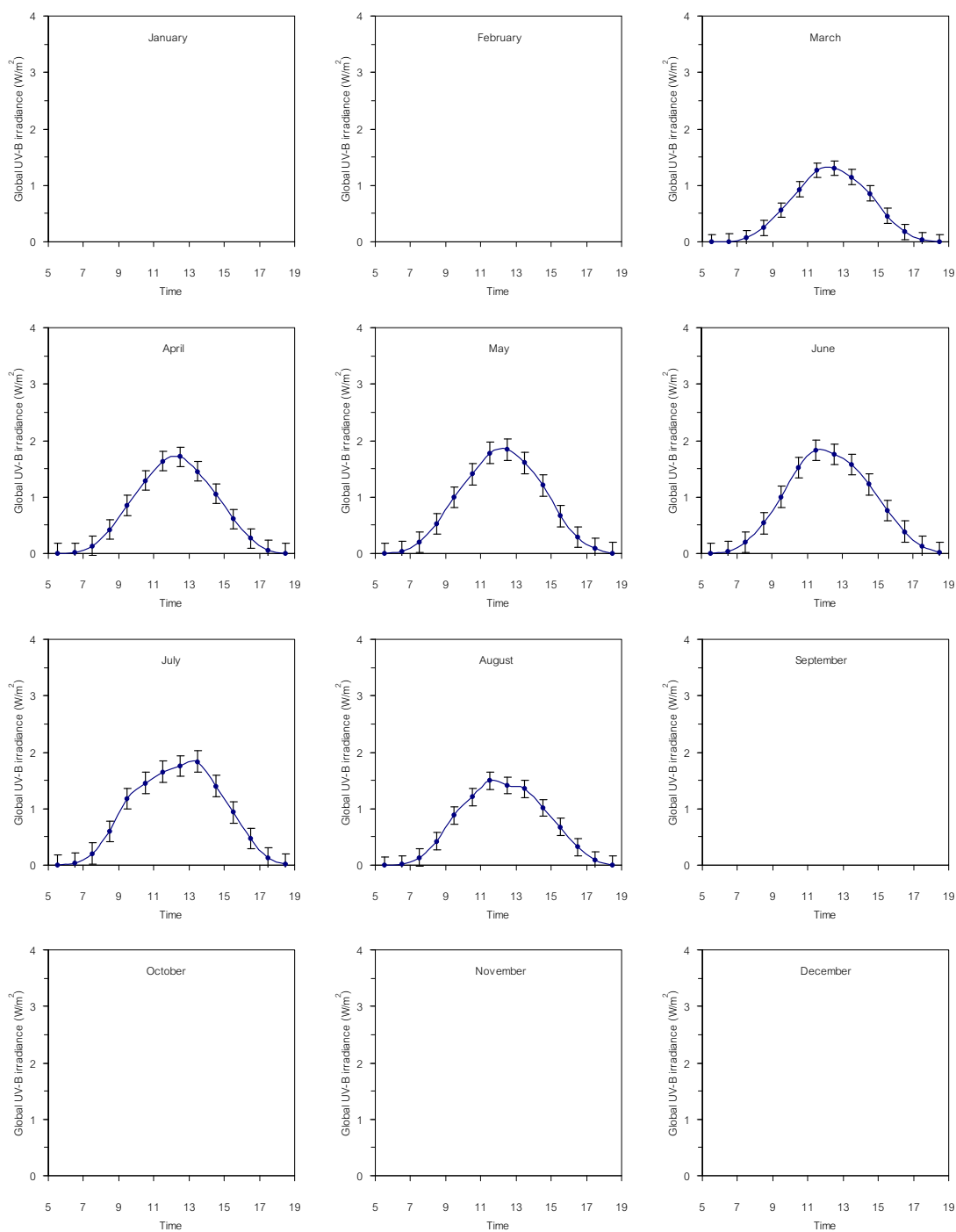
รูปที่ 3.103 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (Diffuse UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีนครปฐม



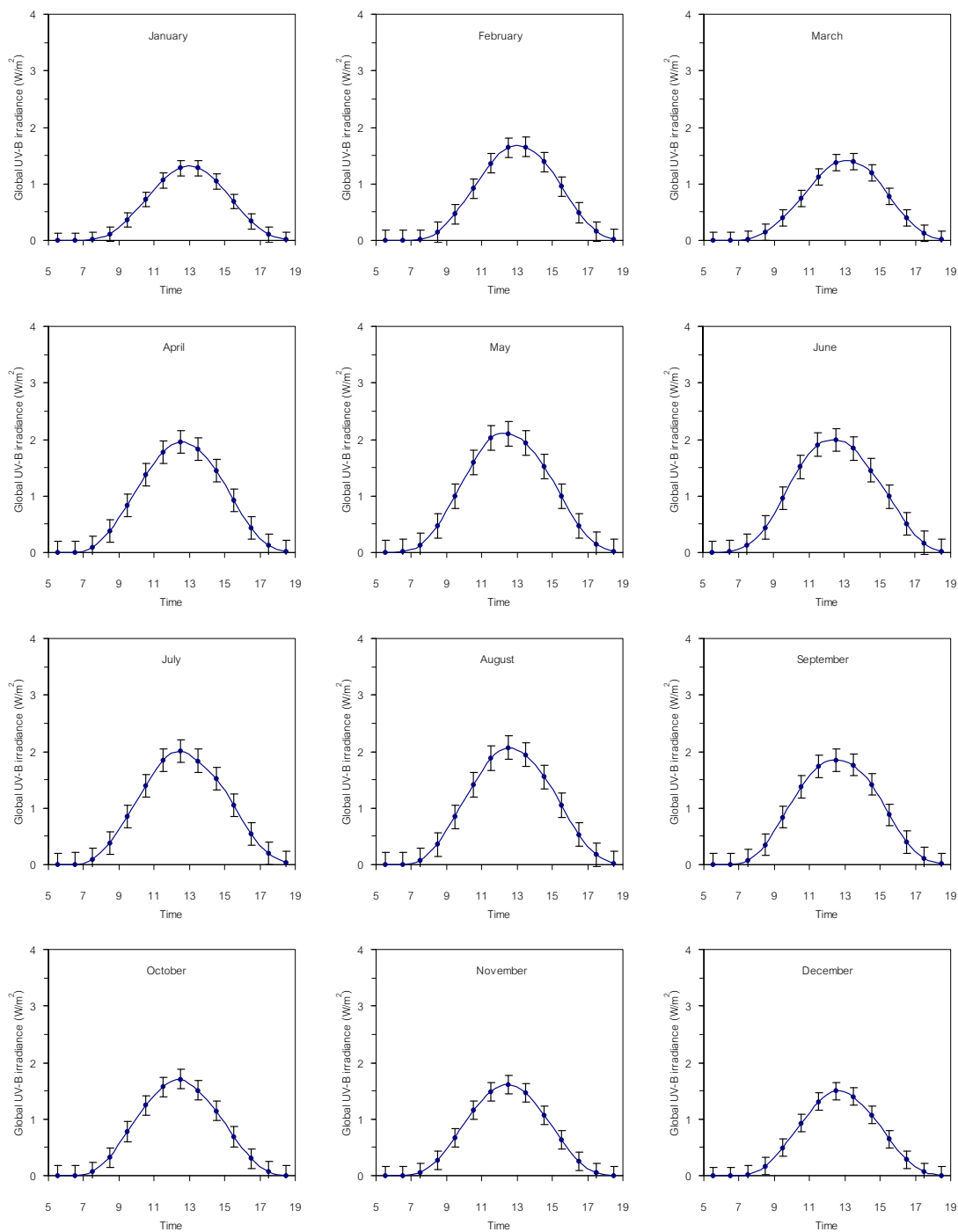
รูปที่ 3.104 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากข้อมูลของสถานีสงขลา

ข. กรณีท้องฟ้าทั่วไป

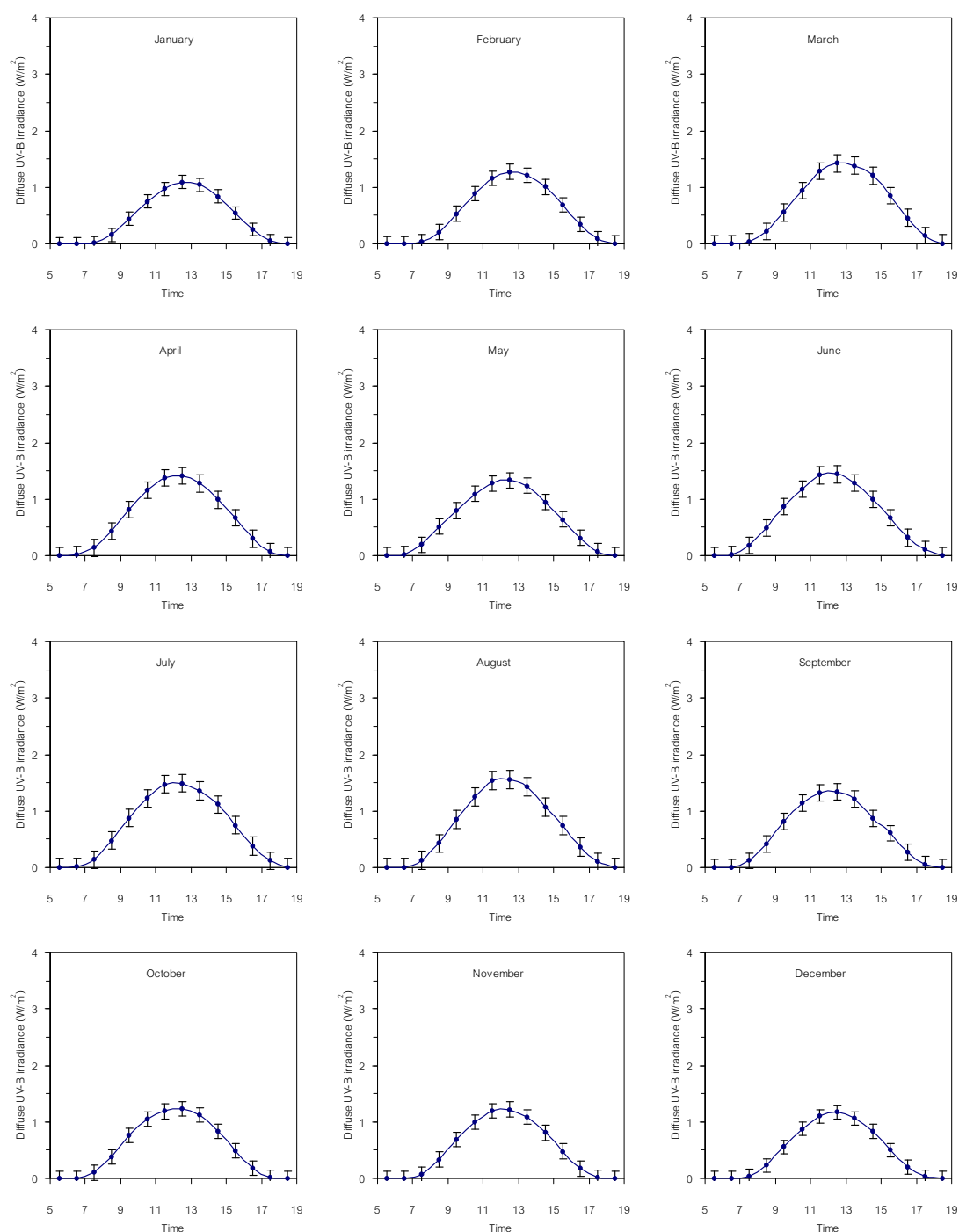
ผู้วิจัยจะนำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีรายชั่วโมงที่วัดได้มาคำนวณหาค่ารายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน แล้วจึงนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.105-3.105 จากกราฟจะเห็นว่า การแปรค่าตามเวลาในรอบวันของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน มีลักษณะของกราฟคล้ายกับกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ กล่าวคือจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน แล้วค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น โดยค่าสูงสุด (peak value) จะแปรตามเดือนต่างๆ ในรอบปี



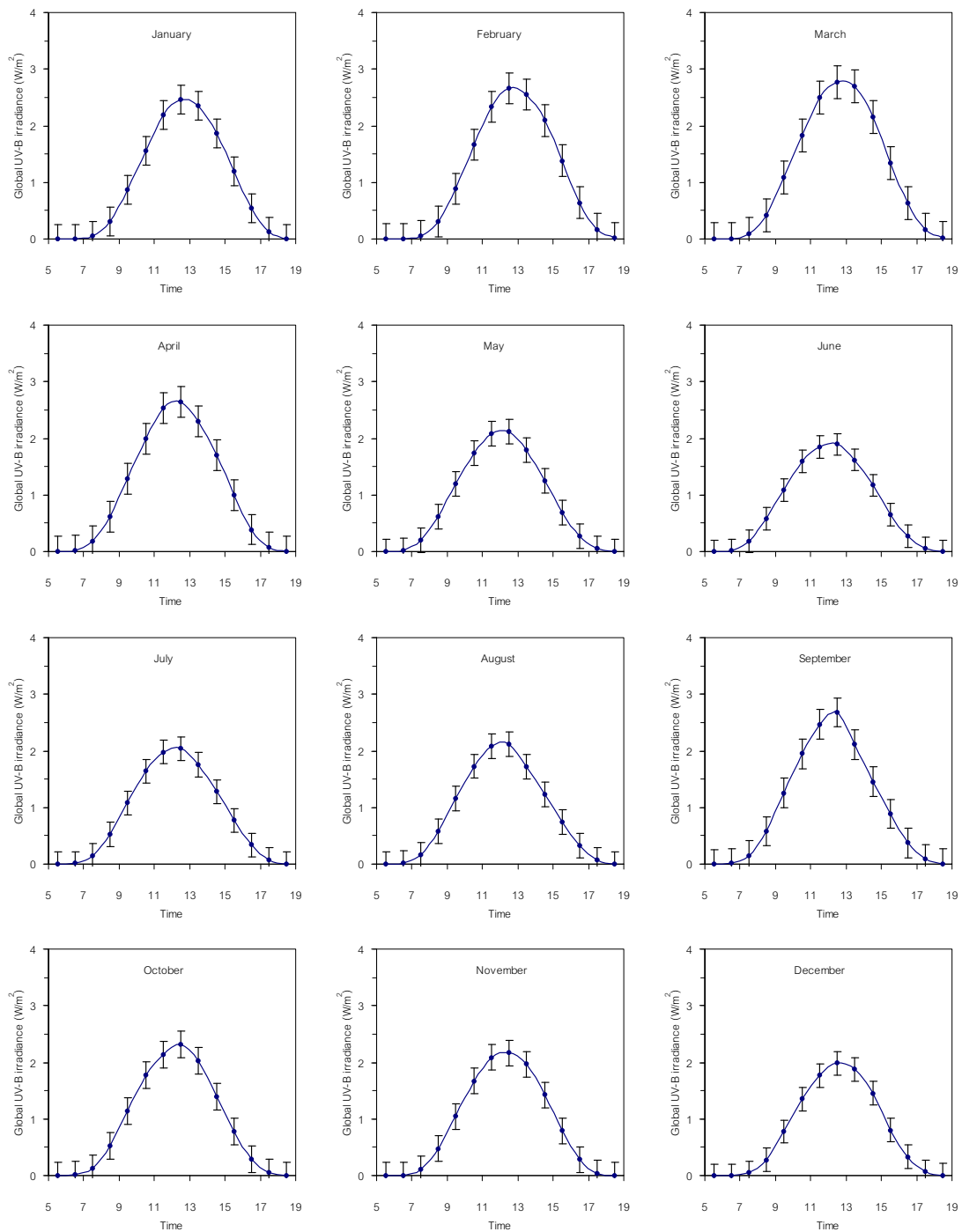
รูปที่ 3.105 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีเชียงใหม่ [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.106 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีนครปฐม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.107 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (diffuse UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีนครปฐม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.108 แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวันของสถานีสงขลา [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]

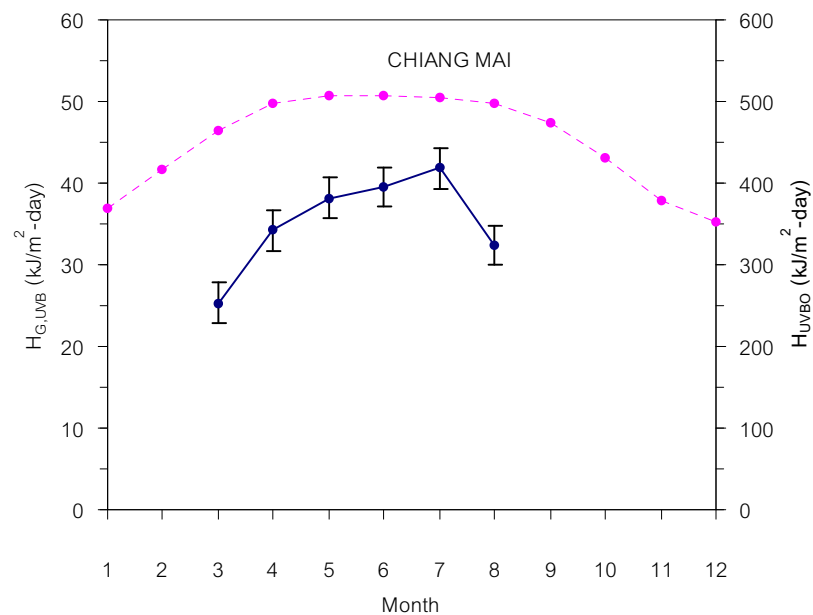
3.3.5.2 การแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีตามฤดูกาลในรอบปี (seasonal variation)

ผู้วิจัยได้ทำค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (absolute global ultraviolet radiation B) ของแต่ละสถานีมาหาค่ารายวันเฉลี่ยต่อเดือนแล้วมาเขียนกราฟกับเวลา โดยเปรียบเทียบกับค่านอกบรรยากาศโลก ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.109-3.112

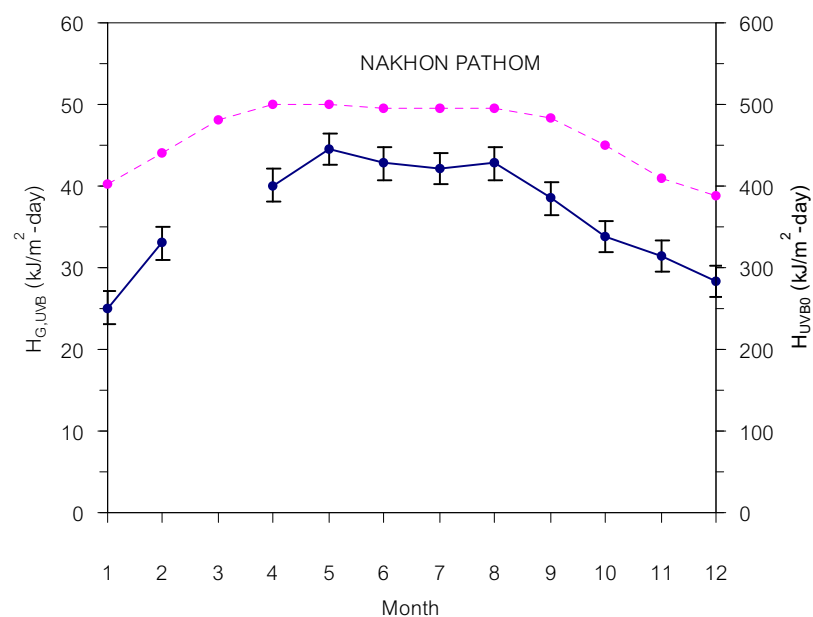
จากรูปจะเห็นว่า กรณีของสถานีเชียงใหม่ ถึงแม้ว่าข้อมูลมีปริมาณน้อย แต่จะเห็นแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีจากต้นปีไปจนถึงค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม แล้วค่อยๆ ลดลงในช่วงครึ่งหลังของปี ตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีนอกบรรยากาศโลก

กรณีของสถานีนครปฐม ค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (รังสีรวม) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมไปจนถึงค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม ($44.52 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$) แล้วค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนธันวาคม สำหรับกรณีรังสีกระจายจะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับกรณีของรังสีรวม โดยมีค่าสูงเท่ากับ $44.52 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$ ในช่วงฤดูฝน (เมษายน-สิงหาคม) โดยเมฆเป็นสาเหตุสำคัญของการเพิ่มขึ้นดังกล่าว

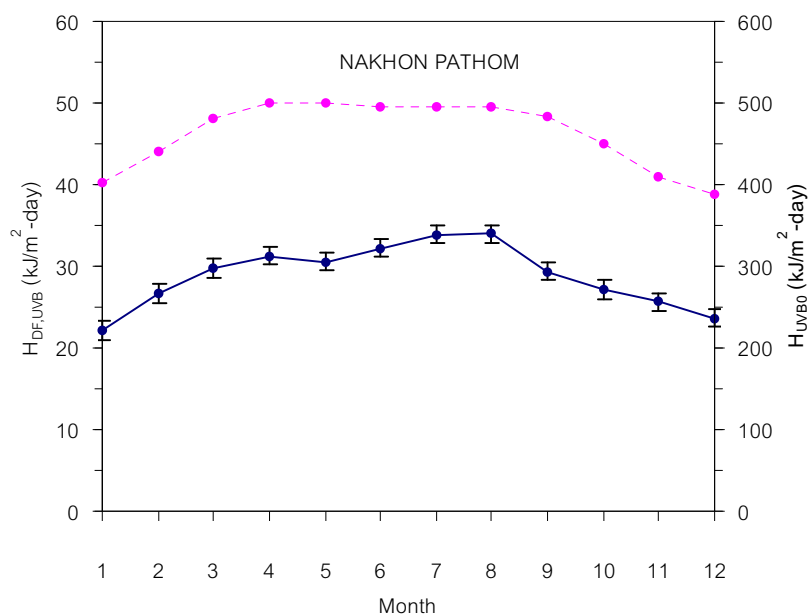
ในด้านของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีของสถานีสงขลา พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมไปจนถึงค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม ($46.39 \text{ kJ/m}^2\text{-day}$) แล้วค่อยๆ ลดลง และเพิ่มขึ้นอีกครั้งจากเดือนมิถุนายนไปจนถึงค่า peak ที่สองในเดือนกันยายน หลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม โดยลักษณะภูมิอากาศและมุมเดคลิเนชันมีบทบาทสำคัญต่อการแปรค่าดังกล่าว เช่นเดียวกับกรณีการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่มีผลต่อผิวหนังมนุษย์ (EUV)



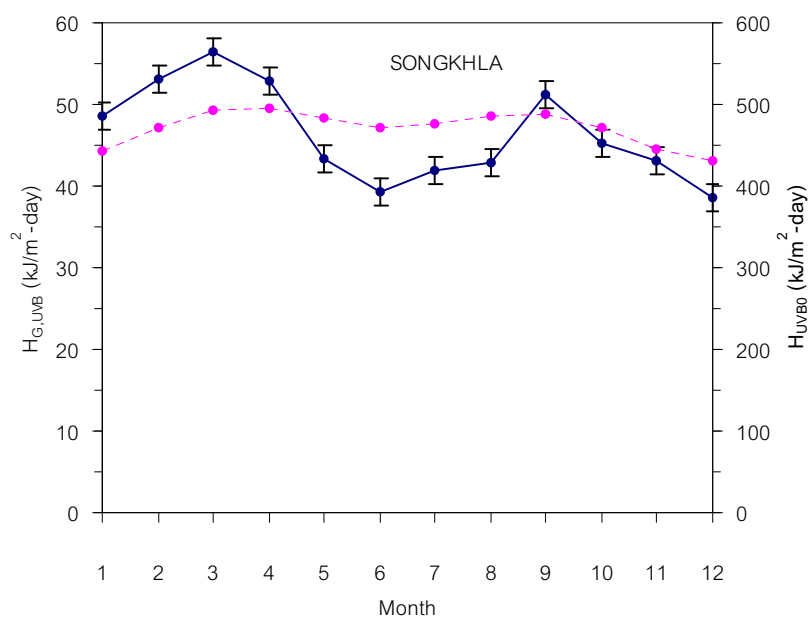
รูปที่ 3.109 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีเชียงใหม่ เมื่อ $H_{G,UVB}$ เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



รูปที่ 3.110 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีนครปฐม เมื่อ $H_{G,UVB}$ เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



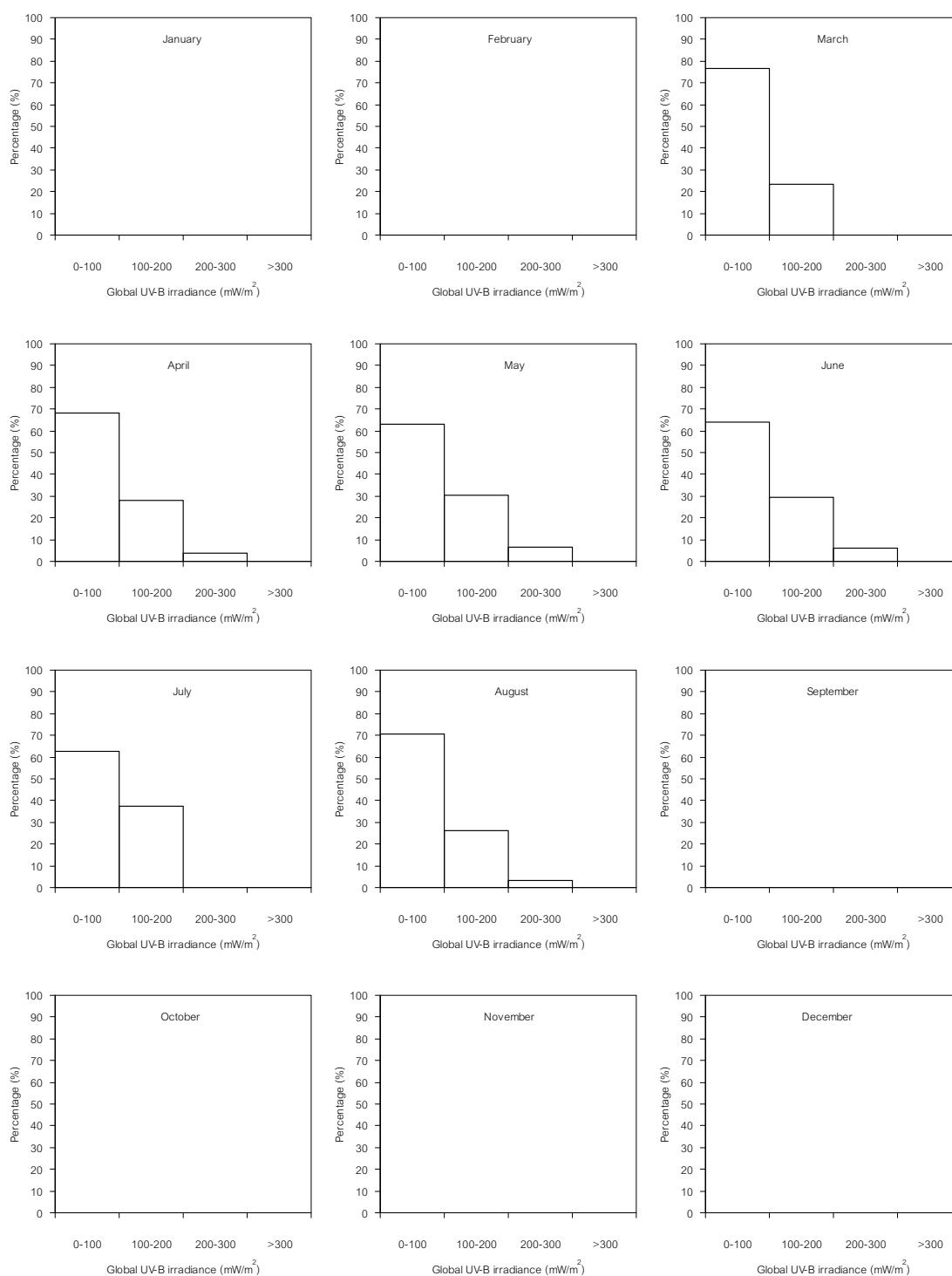
รูปที่ 3.111 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (diffuse UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีนครปฐม เมื่อ $H_{DF,UVB}$ เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน



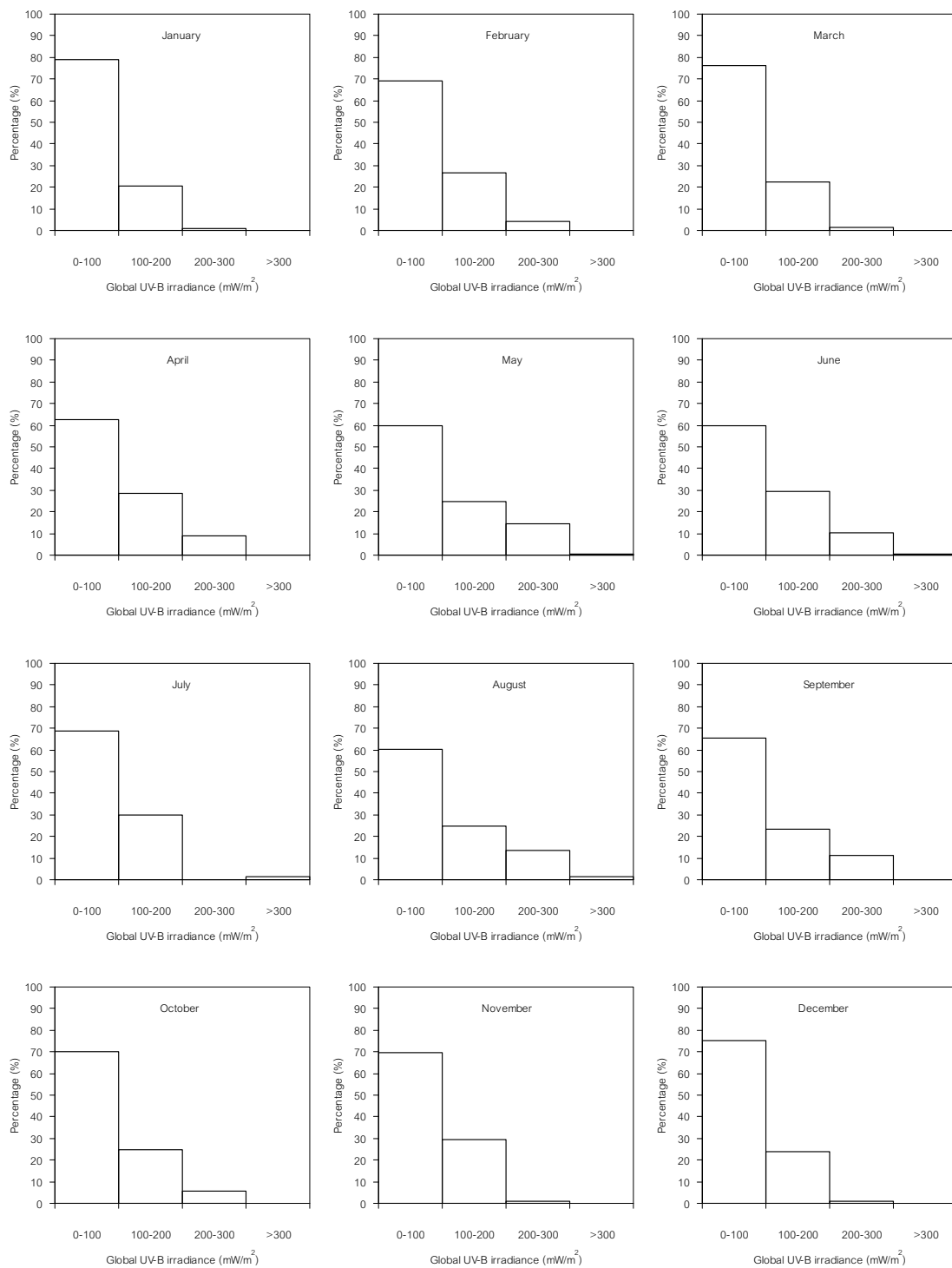
รูปที่ 3.112 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) ตามเวลาในรอบปีของสถานีสงขลา เมื่อ $H_{G,UVB}$ เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน และ H_{UVB0} เป็นรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่ได้รับนอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

3.3.5.3 การแจกแจงค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีรายชั่วโมง

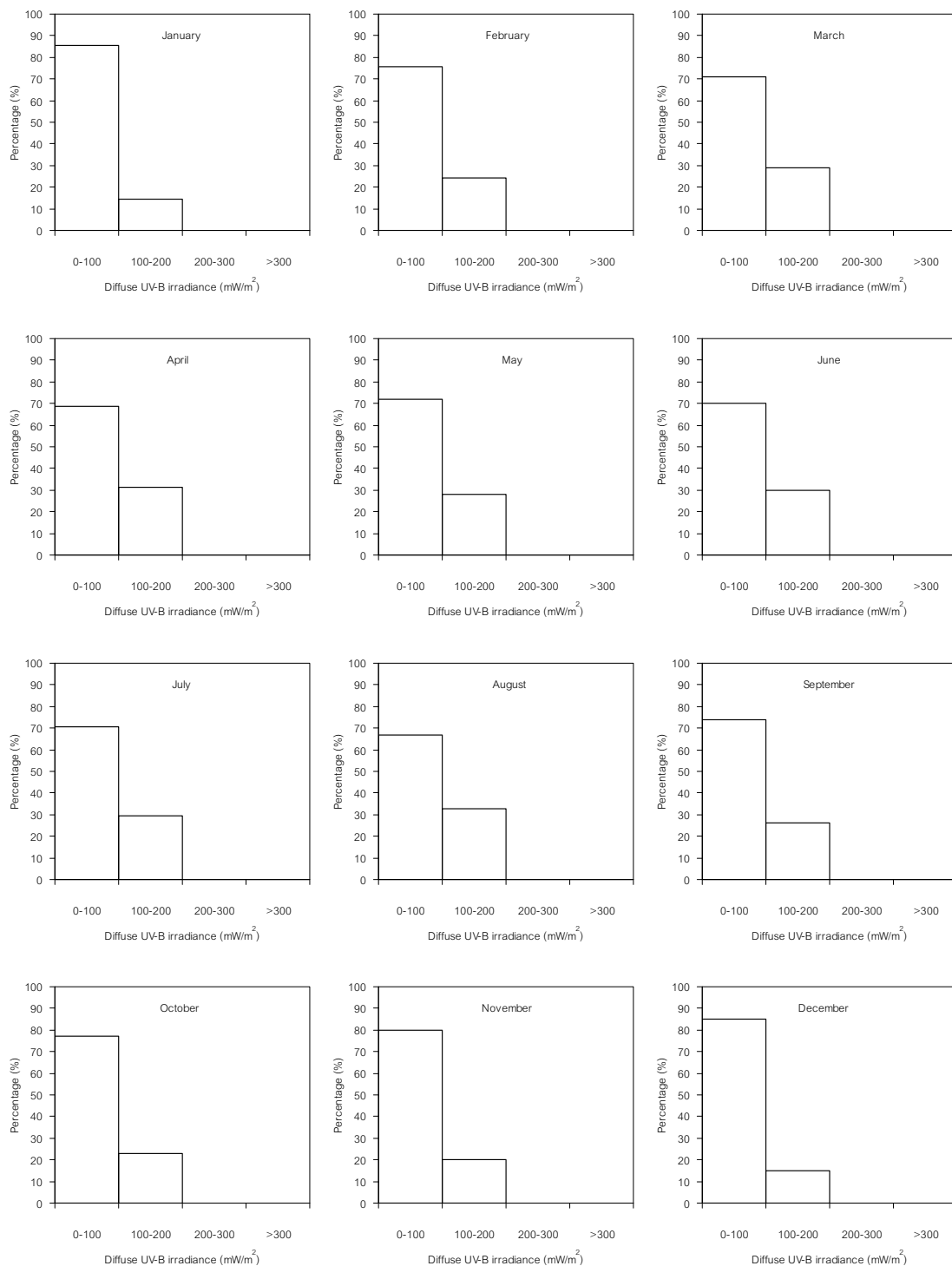
ผู้วิจัยจะนำข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีรายชั่วโมงที่วัดได้จาก 3 สถานี มาวิเคราะห์หาความถี่สะสม โดยได้แบ่งช่วงของข้อมูลออกเป็น 4 ช่วง ช่วงละ 100 mW/m^2 แล้วจึงหาความถี่ของจำนวนชั่วโมงที่มีค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีในช่วงที่กำหนดไว้ และหาเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับข้อมูลทั้งหมด จากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้ไปเขียนกราฟกับระดับความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบีที่แบ่งไว้ ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.113-3.117 และสรุปผลลงในตารางที่ 3.17-3.20



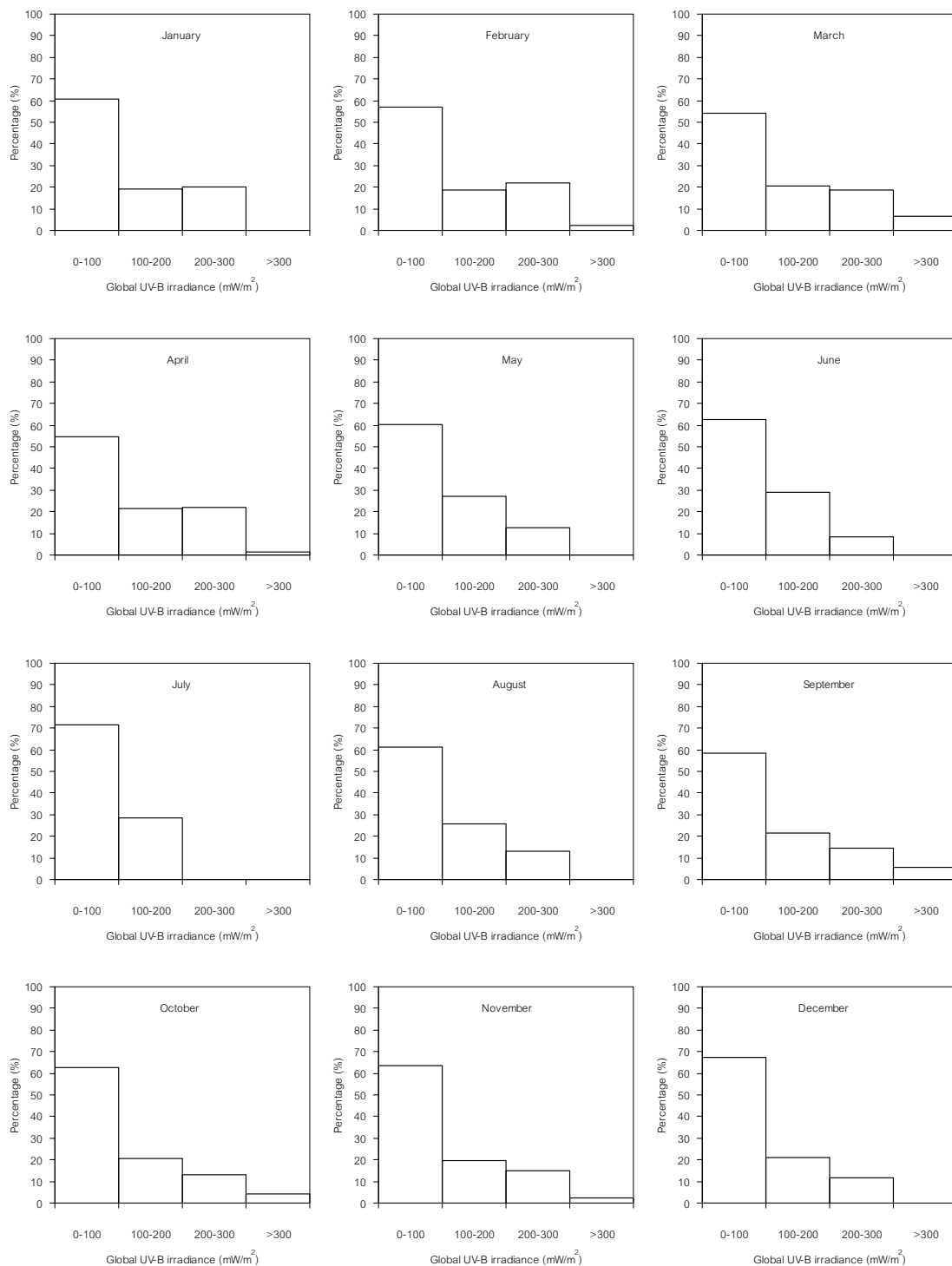
รูปที่ 3.113 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.114 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม



รูปที่ 3.115 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุตราไวโอเลตบี (diffuse UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีนครปฐม



รูปที่ 3.116 แสดงการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตบี (global UV-B) รายชั่วโมงในเดือนต่างๆ ของสถานีสงขลา

3.4 การศึกษาความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต (Spectral ultraviolet radiation)

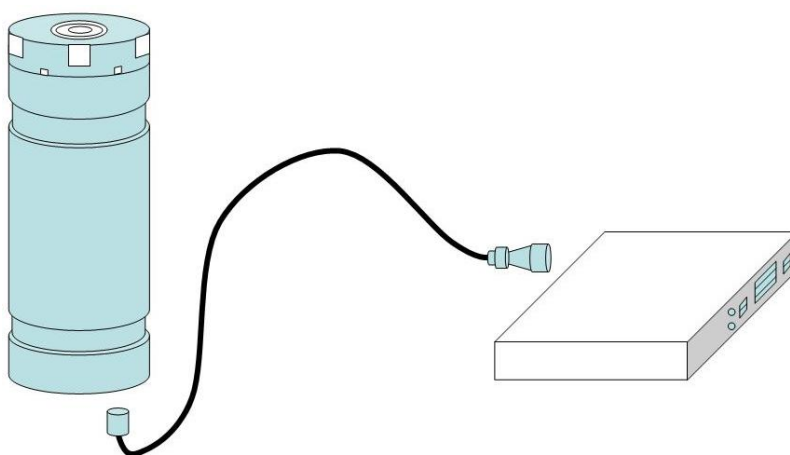
นอกจากการศึกษาความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ในหัวข้อที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งเป็นความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดในแต่ละช่วงความยาวคลื่น โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดซื้อและติดตั้งเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต (GUV) บนคาบศฟ้าของอาคารวิทยาศาสตร์ 1 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม โดยได้ทำการวัดและบันทึกข้อมูล แล้วนำมาวิเคราะห์ได้ตามรายละเอียดดังนี้

3.4.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดซื้อและทำการติดตั้งเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตของบริษัท Biospherical Instruments Inc. รุ่น GUV-2511 ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วง 6 ความยาวคลื่นได้แก่ 305, 313, 320, 340, 380 และ 395 nm ตามลำดับ โดยลักษณะของเครื่องวัดดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 3.124



รูปที่ 3.124 แสดงลักษณะเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต GUV รุ่น 2511



รูปที่ 3.125 แสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต GUV รุ่น 2511

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลตอยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้า เครื่องวัดจะประกอบด้วยหัววัดและ Temperature/computer controller interface โดย controller interface จะต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องและการบันทึกข้อมูล ผู้วิจัยจะตั้งโปรแกรมเพื่อทำการแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าความเข้มรังสี โดยโปรแกรมหักค่าจะถูกตั้งโปรแกรมให้รับสัญญาณจากเครื่องวัดตลอด 24 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที จากนั้นจะนำมาหาค่าเฉลี่ยทุกๆ 1 นาที แล้วบันทึกค่าเฉลี่ยลงในไฟล์ .MDB ผู้วิจัยจะทำการแปลงข้อมูลดังกล่าวโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปของ Microsoft Access สำหรับการนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป



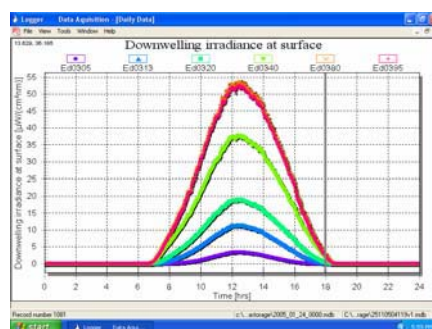
รูปที่ 3.126 แสดงเครื่อง Temperature/computer controller interface ของเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเลต



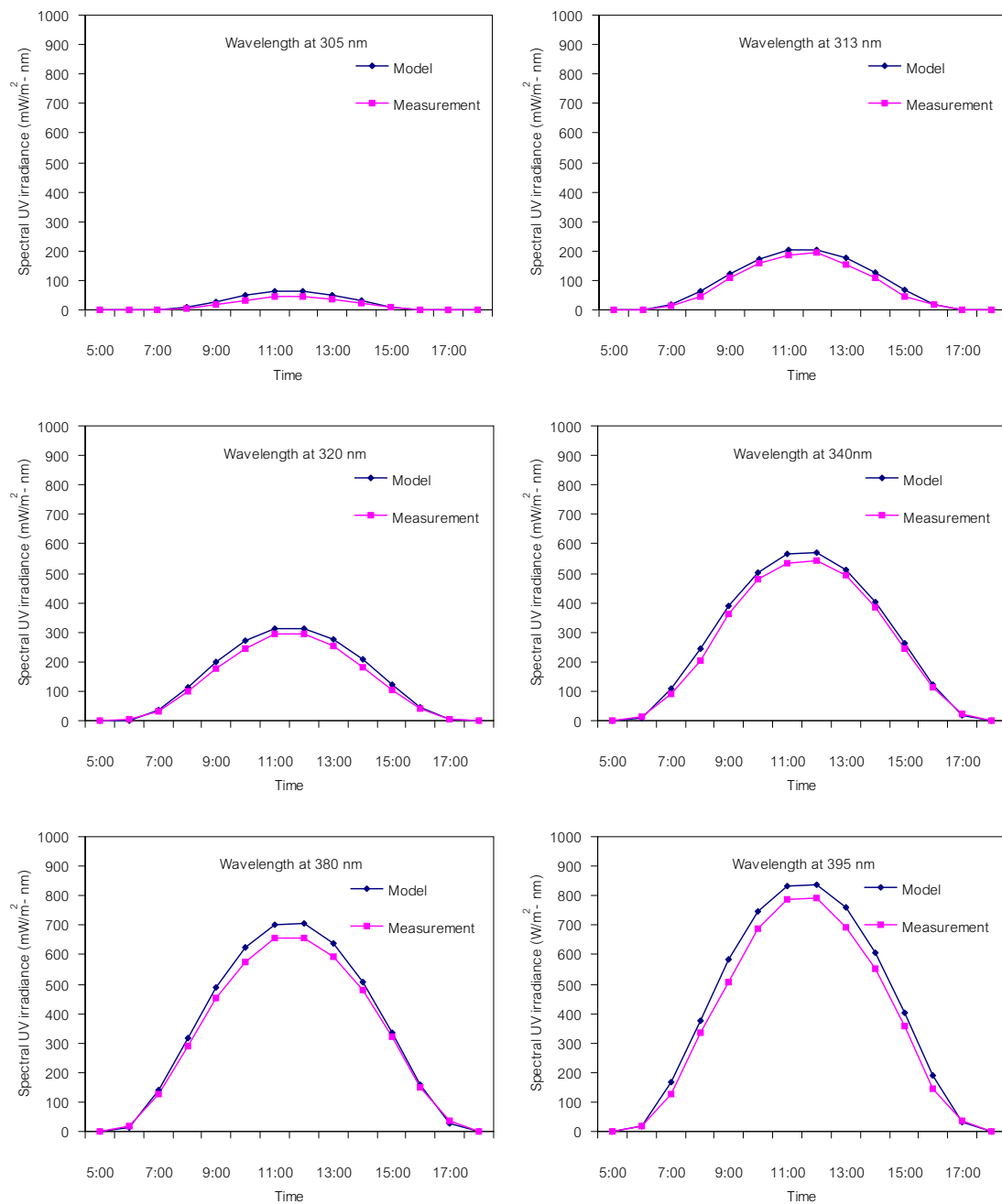
รูปที่ 3.127 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งติดตั้งโปรแกรม Logger

3.4.2 การควบคุมคุณภาพข้อมูล

เนื่องจากค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่วัดได้ แม้จะได้มาจากเครื่องวัดที่มีสมรรถนะสูง แต่ก็มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดขึ้นจากขั้นตอนการวัด การบันทึก และการอ่านข้อมูล ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์จำเป็นต้องทำการควบคุมคุณภาพของข้อมูลก่อน โดยขั้นตอนในการควบคุมคุณภาพข้อมูลความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตนั้น จะมีวิธีการในการดำเนินการเช่นเดียวกับข้อมูลความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตอื่นๆ คือ จะต้องตรวจสอบข้อมูลแบบทั่วไป และตรวจสอบอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในการนำไปวิเคราะห์ โดยการตรวจสอบข้อมูลแบบทั่วไปจะสามารถดูการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าได้โดยตรงจากเครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3.128) ส่วนการตรวจสอบแบบละเอียดจะเช่นเดียวกับข้อมูลอื่นๆ คือ ทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง UVSPEC ซึ่งตัวอย่างของผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 3.129



รูปที่ 3.128 แสดงตัวอย่างความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่สามารถสังเกตได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.129 แสดงตัวอย่างของความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่ได้จากการวัดและการคำนวณ โดยแบบจำลอง UVSPEC

3.4.3 จำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

เนื่องจากผู้วิจัยได้ติดตั้งเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต GUV ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐมเพียงแห่งเดียว โดยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2004 ซึ่งข้อมูลที่บันทึกได้มีระยะเวลา 1 ปี ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านขั้นตอนการควบคุมคุณภาพข้อมูลแล้วมาทำการวิเคราะห์

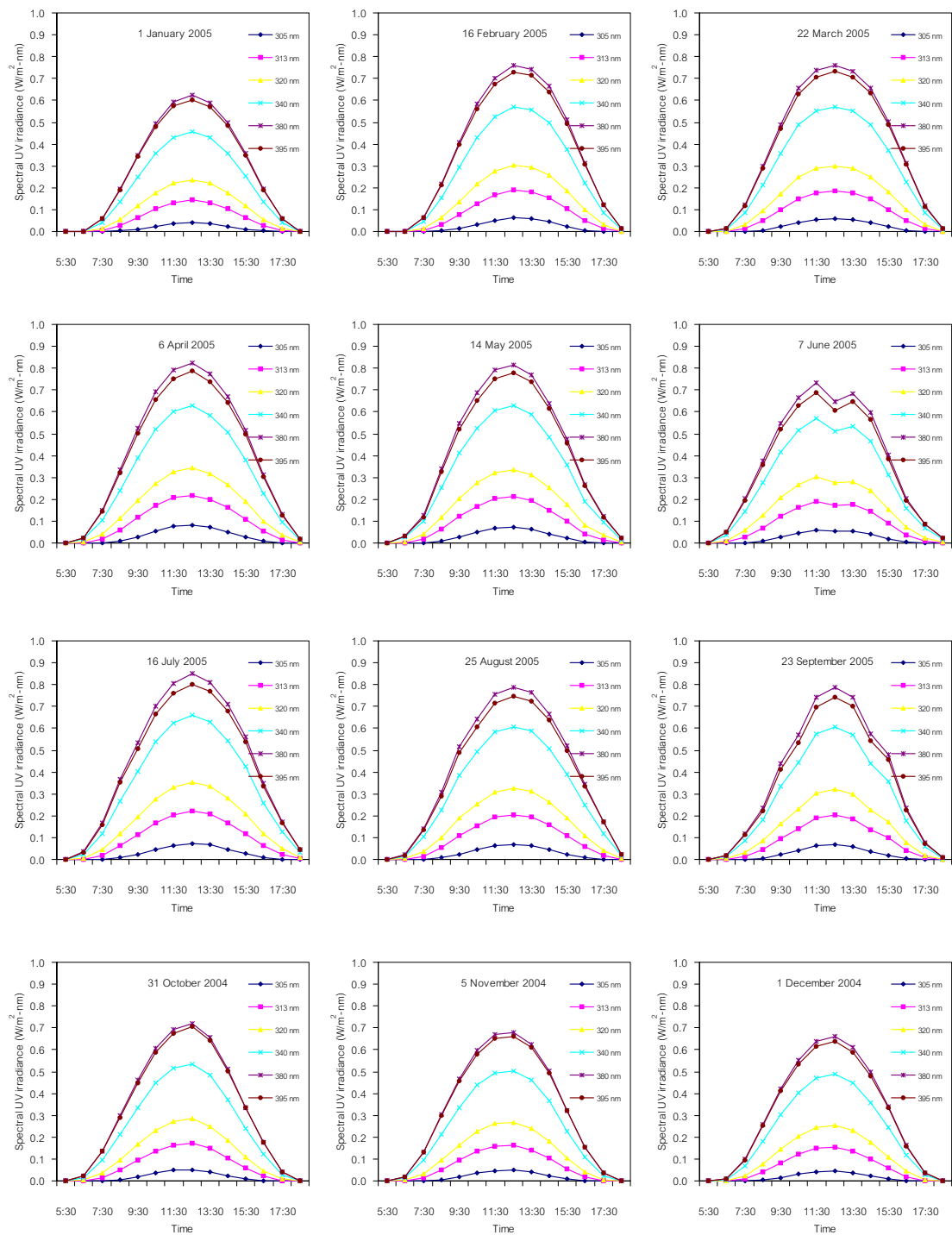
3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

3.4.4.1 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตตามเวลาในรอบวัน

ก. กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky)

ผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อมูลความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆแต่ละเดือน จากนั้นจึงนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวันดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.130

จากกราฟพบว่า การแปรค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตทุกความยาวคลื่นตามเวลาในรอบวันในช่วงเช้าและช่วงบ่ายมีลักษณะที่ค่อนข้างสมมาตร กล่าวคือ ค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มรังสีในแต่ละเดือนพบว่า ความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายน จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนกรกฎาคม แล้วมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม

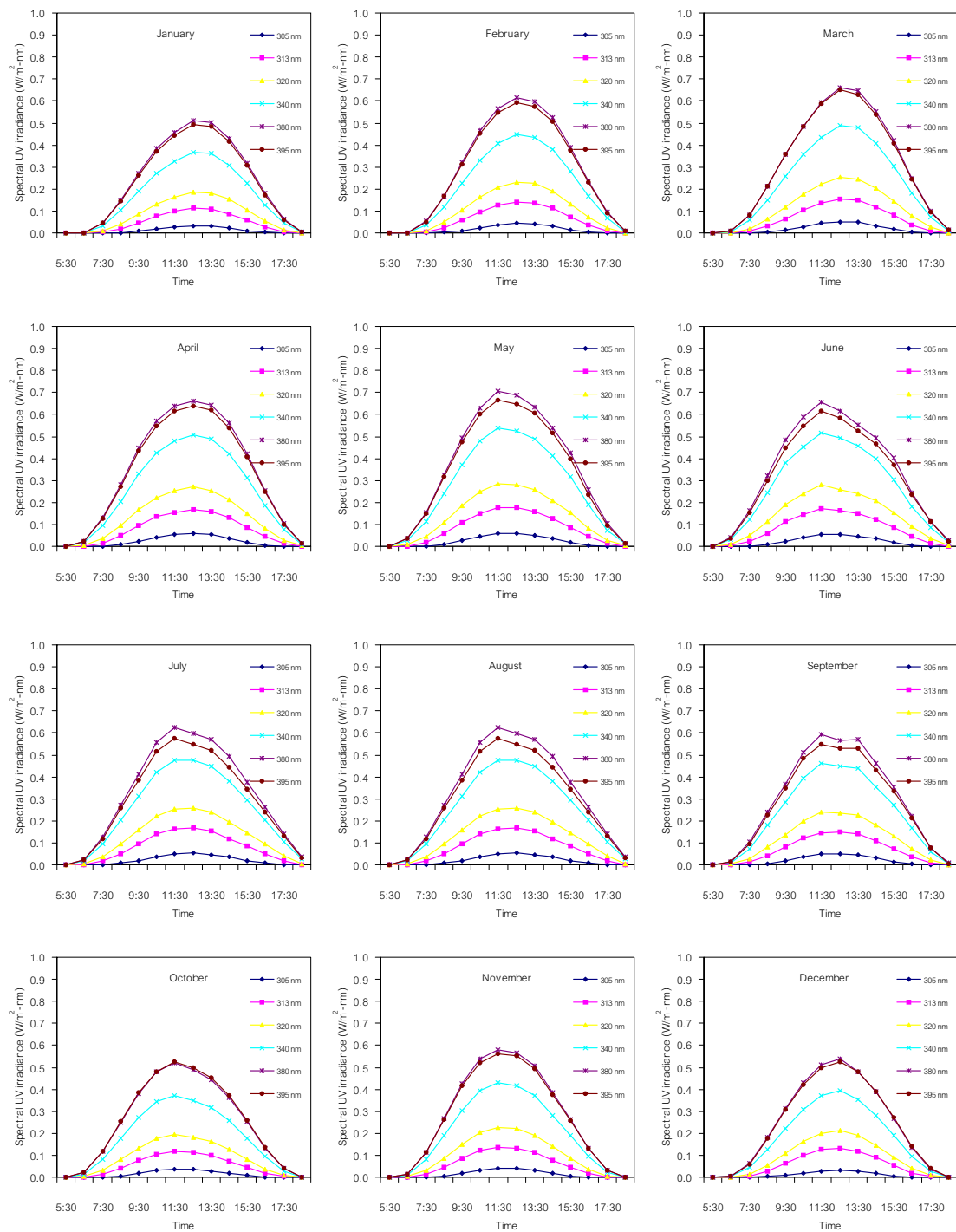


รูปที่ 3.130 แสดงการแปรค่าตามเวลาในรอบวันของความเข้มสเปกตรัมรังสีอัลตราไวโอเล็ต
ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ

ข. กรณีท้องฟ้าทั่วไป

ผู้วิจัยทำการศึกษาการแปรค่าตามเวลาในรอบวันสำหรับกรณีท้องฟ้าทั่วไป ซึ่งลักษณะการแปรค่าตามเวลาในรอบวันจะคล้ายกับกรณีวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ แต่เนื่องจากสภาพอากาศของแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยของความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตในแต่ละเดือน จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.131

จากรูปจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตของทุกเดือนจะมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น โดยค่าสูงสุดจะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละเดือนในรอบปี

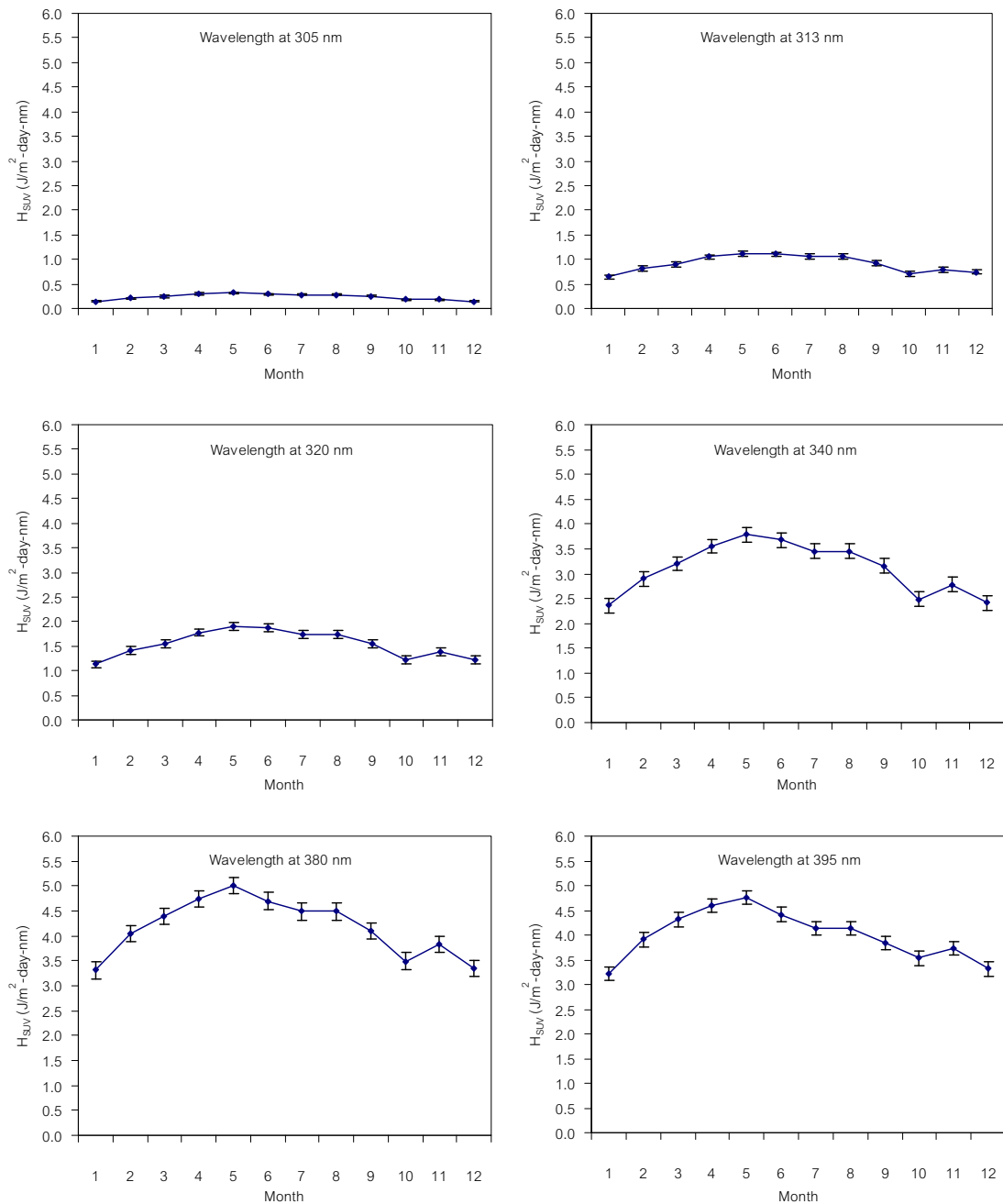


รูปที่ 3.131 แสดงการแปรค่าสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามเวลาในรอบวัน

3.4.4.2 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตตามฤดูกาลในรอบปี

การแปรค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตรายวันที่ความยาวคลื่นต่างๆ ตามเวลาในรอบปีมีความสำคัญ กล่าวคือ จะทำให้ทราบถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตของเดือนต่างๆในรอบปี ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตตามเวลาในรอบปี โดยได้คำนวณค่าความเข้มรังสีอุลตราไวโอเลตปีรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ความยาวคลื่น 305, 313, 320, 340, 380 และ 395 nm ตามลำดับ ในรูปของพลังงานที่ได้รับในหน่วย $\text{J/m}^2\text{-day}$ จากนั้นจึงนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.132

จากกราฟจะเห็นว่า การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่นทั้ง 6 ความยาวคลื่นมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ ความเข้มที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนถึงค่าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนตุลาคมและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนพฤศจิกายน แล้วจึงลดลงในเดือนธันวาคม

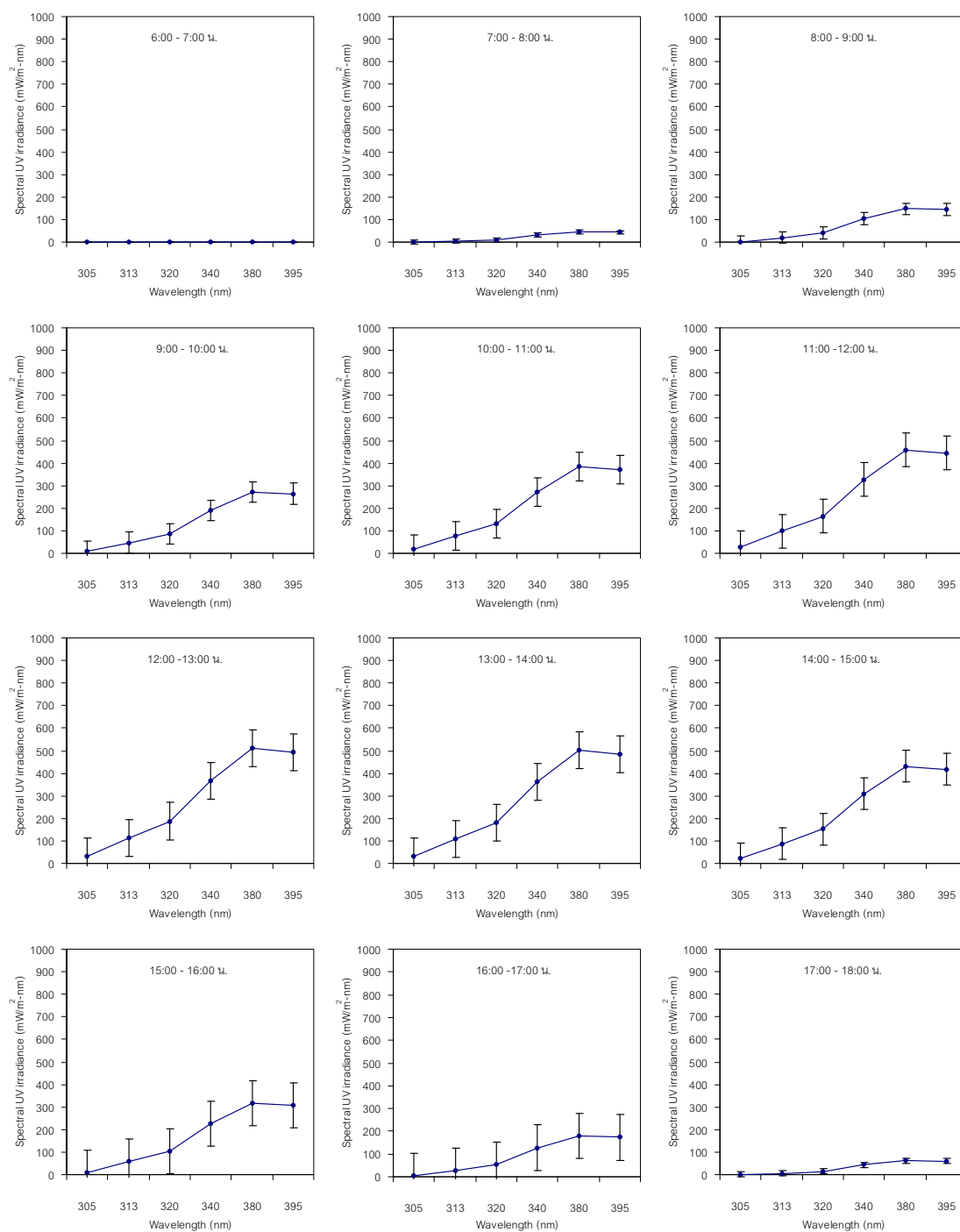


รูปที่ 3.132 แสดงการแปรค่าของความเข้มสเปกตรัมรังสีอุตราไวโอเลตตามเวลาในรอบปี
เมื่อ H_{SUV} เป็นความเข้มสเปกตรัมรังสีอุตราไวโอเลตที่ได้รับรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

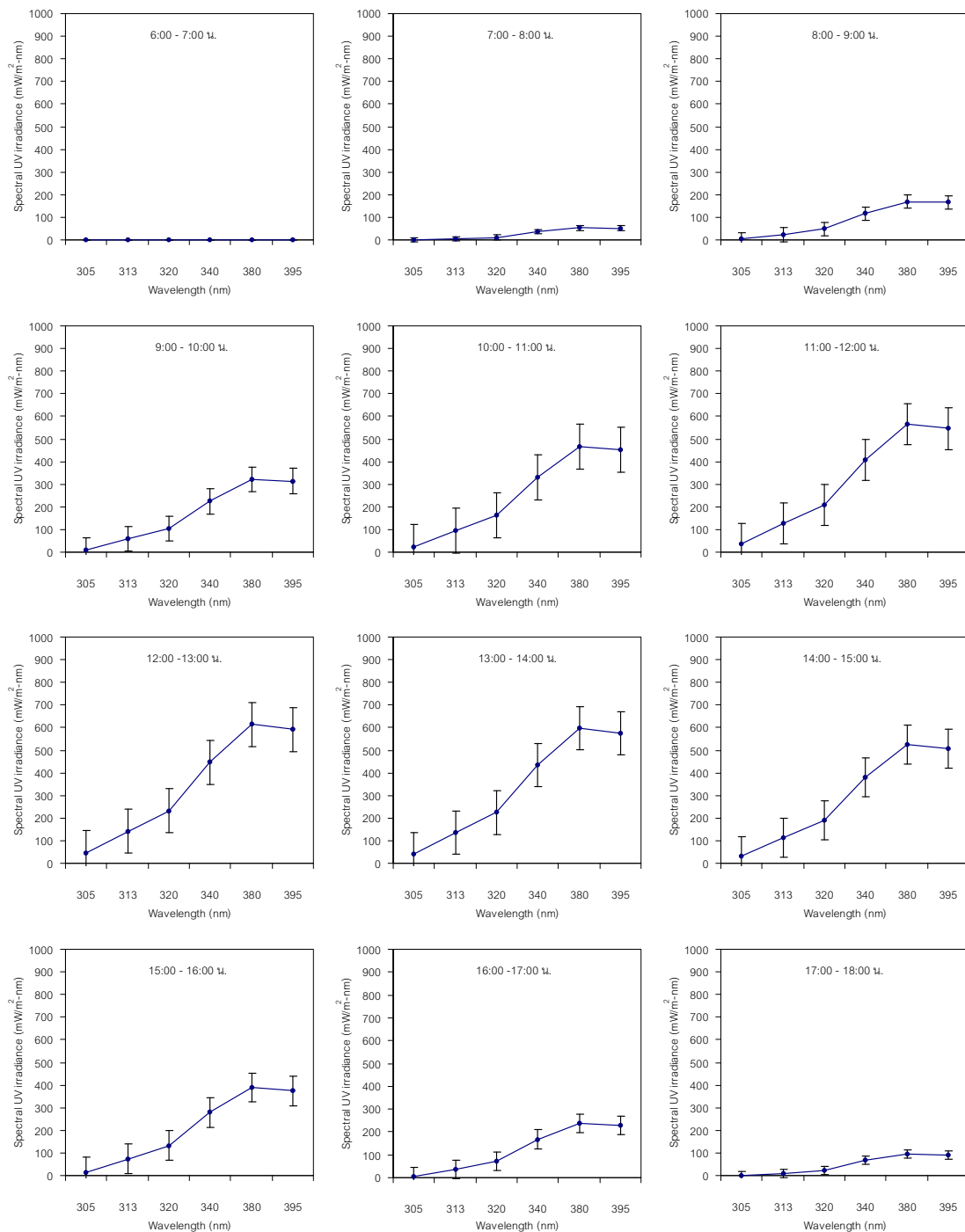
3.4.4.3 การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตตามความยาวคลื่น

ผู้วิจัยได้ศึกษาการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตตามความยาวคลื่น โดยนำค่าความเข้มรังสีที่ได้รับในแต่ละชั่วโมงมาทำการหาค่าเฉลี่ยสำหรับแต่ละเดือน แล้วจึงนำมาเขียนกราฟกับความยาวคลื่นที่ทำการวัด ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.133-3.145

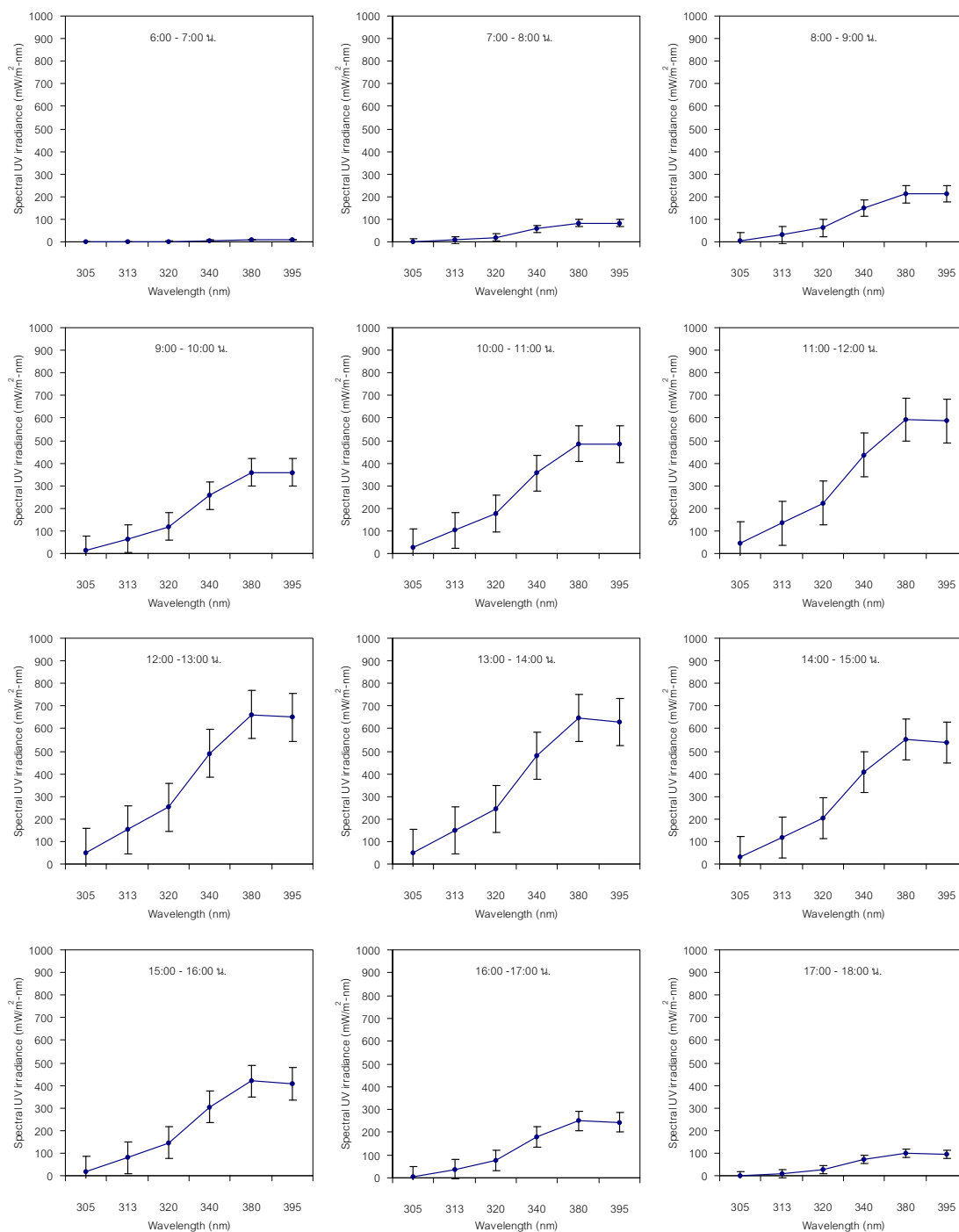
จากกราฟจะเห็นว่า การแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความยาวคลื่นที่สูงขึ้น โดยในแต่ละเดือนจะมีลักษณะการแปรค่าที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าไปจนถึงค่าสูงสุดตอนเที่ยงวัน และจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น



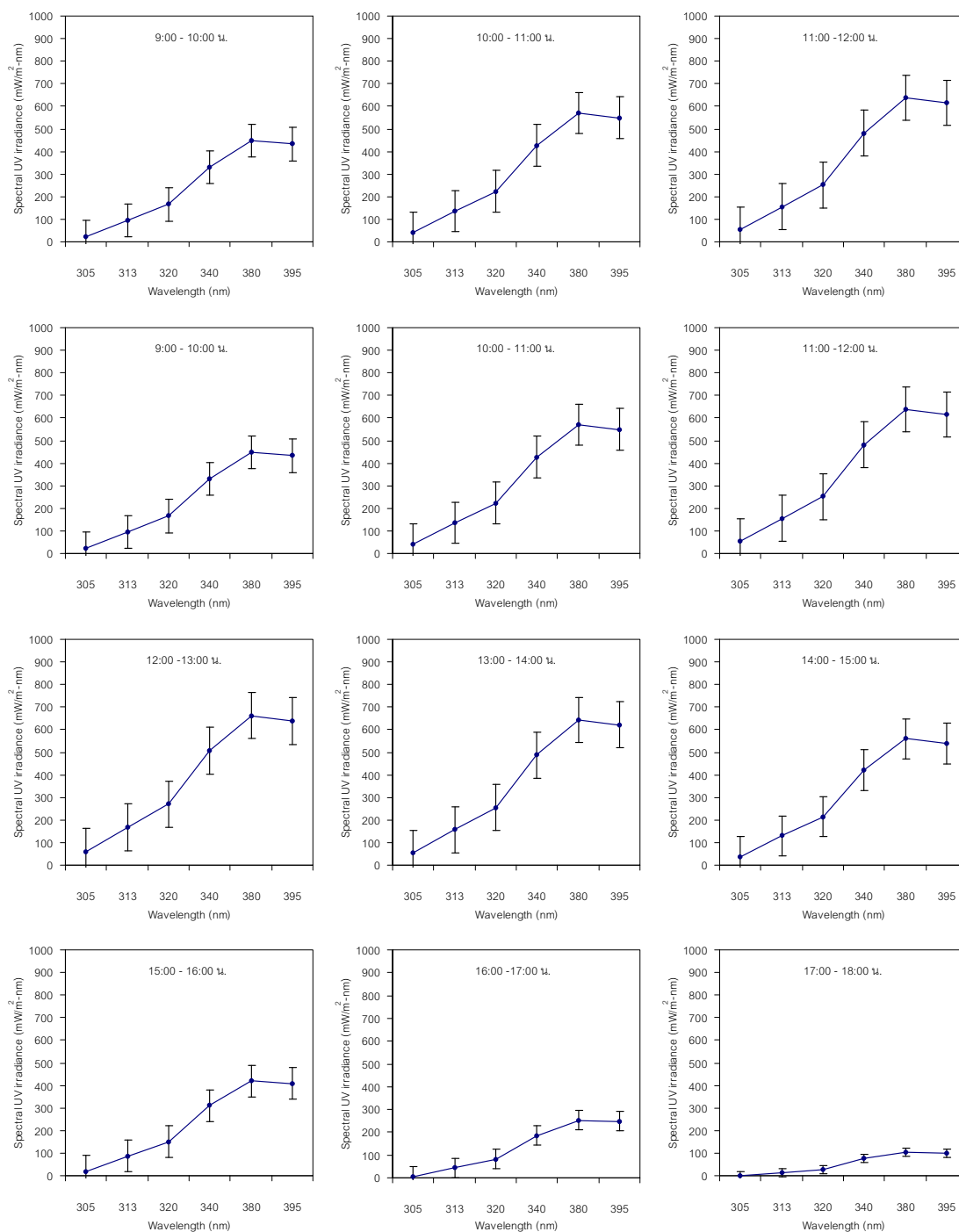
รูปที่ 3.133 แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน
ตามความยาวคลื่นของเดือนมกราคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย $\pm$ 1 standard
deviation, SD]



รูปที่ 3.134 แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามความยาวคลื่นของเดือนกุมภาพันธ์ [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.135 แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนตามความยาวคลื่นของเดือนมีนาคม [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard deviation, SD]



รูปที่ 3.136 แสดงการแปรค่าความเข้มสเปกตรัมรังสีอุลตราไวโอเลตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน
ตามความยาวคลื่นของเดือนเมษายน [error bar หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± 1 standard
deviation, SD]