รายงานฉบับสมบูรณ์

พัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 1 ระบบ

เสนอต่อ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

กระทรวงพลังงาน

โดย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กันยายน 2565

รายงานฉบับสมบูรณ์

พัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 1 ระบบ

เสนอต่อ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

โดย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

คุณประเสริฐ สินสุขประเสริฐ	อธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
คุณนวลจันทร์ เตชะเสริมสุขกุล	รองอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
คุณสุรีย์ จรูญศักดิ์	ผู้อำนวยการกองพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์

คณะกรรมการจัดทำโครงการ

คุณปฐมาภรณ์ พูลเกษม	ประธานกรรมการฯ
คุณอนุชาติ หวังทวีวงศ์	กรรมการ
คุณธัญลักษณ์ เกตุโสภา	กรรมการ
คุณกานต์ธิดา ขุนชิต	กรรมการ
คุณประภาวดี ครุฑขำ	กรรมการ

คณะผู้ดำเนินโครงการของมหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิสระ มะศิริ	ผู้จัดการโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมามาลย์ บรรเทิง	นักวิชาการด้านวิเคราะห์แบบจำลองรังสีอาทิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย	นักวิชาการด้านเครื่องมือวัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรทิพย์ โต๊ะสิงห์	นักวิชาการด้านพลังงานแสงอาทิตย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรัตน์ วัดตาล	นักวิชาการด้านพลังงานแสงอาทิตย์

คณะผู้ดำเนินโครงการของมหาวิทยาลัยศิลปากร (ต่อ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาน ปานแก้ว	นักวิชาการด้านข้อมูลดาวเทียม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุจดาว จารุจิตติพันธ์	นักวิชาการด้านข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์
อาจารย์ ดร.อรวรรณ์ อัมพร	นักวิจัย
นายยุทธศักดิ์ บุญรอด	นักวิจัย
นายนพรัตน์ พวงยิ้มน้อย	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายณรงค์ พูลแก้ว	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายเอกพบ ขจรไพศาล	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางสาวสหัสษา พีงาม	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายศาตตรา ศิริแก้ว	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางสาวปรารถนา ไหลวารินทร์	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางสาวสุนิษา แขกฮู้	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางวิชนิกุล จิรสิทธิธำรง	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางสาวนัฐยาศร บุริวัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายมงคล สังสัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายดนุช พลายสถิตย์	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางสาวชุติมณฑน์ เพิ่มวงศ์	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายภูธเนศ แสงจรูญ	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายวรพันธุ์ การชนะชาติ	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางสาววิจิตรา กังวานวิทย์	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางสาวเพชรรัตน์ พุ่มพวง	ผู้ช่วยนักวิจัย
นางรุ่งอรุณ นิมิตรนิวัฒน์	เจ้าหน้าที่การเงินและธุรการ
นางมลวลี จำรูญ	ผู้ประสานงานโครงการ และเจ้าหน้าที่การเงิน

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 1 ระบบ ซึ่งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ว่าจ้างมหาวิทยาลัยศิลปากรให้เป็นที่ปรึกษา ตามสัญญาเลขที่ 121/65 ลงวันที่ 13 ธันวาคม 2564

ผู้ดำเนินงานขอขอบคุณ คุณประเสริฐ สินสุขประเสริฐ อธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ที่สนับสนุนการดำเนินงาน

ผู้ดำเนินงานขอขอบคุณหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ติดตั้งและดูแลเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และมูลนิธิโครงการหลวง นอกจากนี้ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินงาน

ผู้ดำเนินงานขอขอบคุณ คุณนวลจันทร์ เตชะเสริมสุขกุล รองอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน คุณสุรีย์ จรูญศักดิ์ ผู้อำนวยการกองพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ คุณปฐมาภรณ์ พูลเกษม คุณอนุชาติ หวังทวีวงศ์ คุณธัญลักษณ์ เกตุโสภา คุณกานต์ธิดา ขุนชิต และคุณประภาวดี ครุฑขำ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิสระ มะศิริ
ผู้เขียนรายงาน

บทคัดย่อ

ในงานนี้ผู้ดำเนินงานได้พัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย โดยคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนจากแบบจำลองทางฟิสิกส์ที่คำนึงถึงการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากไอน้ำและโอโซน การลดทอนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก และการสะท้อนกลับไปมาของรังสีอาทิตย์ระหว่างพื้นผิวโลกและบรรยากาศ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลวัดภาคพื้นดินและข้อมูลดาวเทียมที่ครอบคลุมประเทศไทย สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลกหาได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 4 ดวง ได้แก่ GMS-5 GOES-9 MTSAT และ Himawari รวม 20 ปี (ค.ศ. 2001 - 2020) ในส่วนของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากโอโซนจะคำนวณจากปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียม TOMS/Earth Probe และ OMI/Aura สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากไอน้ำคำนวณจากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศ และสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองจะใช้ข้อมูลทัศนวิสัย ของสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ ผู้ดำเนินงานทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองโดยนำแบบจำลองไปคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์จำนวน 38 แห่ง จากการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองและจากการวัดพบว่าสอดคล้องกันดี โดยมีความแตกต่างในรูปของ root mean square difference เท่ากับ 8.6% และ mean bias difference เท่ากับ 1.3% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีสมรรถนะที่ดี นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานได้ดำเนินการซ่อมบำรุงและสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ทุกสถานีด้วย

จากนั้นผู้ดำเนินงานคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนทั่วประเทศโดยใช้แบบจำลองดังกล่าวและแสดงผลในรูปแผนที่รายวันเฉลี่ยต่อเดือนและรายวันเฉลี่ยต่อปี จากแผนที่พบว่าการกระจายตามพื้นที่ของรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุม ตำแหน่งของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่ประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุด ซึ่งบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ สำหรับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 17.5 MJ/m^2-day ซึ่งมีค่าลดลงจากค่าเฉลี่ยของศักยภาพแสงอาทิตย์ที่จัดทำขึ้นในปีที่ผ่าน ๆ มา อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนสำหรับประเทศไทยจะเห็นว่ามีค่าสูงและเหมาะแก่การใช้งานเป็นพลังงานทางเลือก

สำหรับการเผยแพร่ข้อมูล ผู้ดำเนินงานได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีระยะยาว (ค.ศ. 2001 - 2020) ซึ่งแสดงถึงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยมีการกำหนดตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ขอบเขตของประเทศและจังหวัด และระยะทางบนแผนที่ ซึ่งแผนที่ดังกล่าวเป็นโปสเตอร์กระดาษแข็งเคลือบผิวมันขนาด A0 จำนวน 100 แผ่น นอกจากนี้ได้จัดทำข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ออนไลน์ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้โดยง่ายและสื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้โดยสะดวก

Abstract

In this work, a new version of solar radiation map of Thailand was developed. A physical model was used to calculate monthly average daily solar radiation covering Thailand. This model concerns solar radiation absorption due to water vapor and ozone, attenuation of the radiation due to aerosols, reflection due to the atmosphere and surface, and multiple reflection between ground surface and the atmosphere. This requires several ground-based and satellite data. Earth-atmospheric reflectivity was obtained using satellite images from GMS-5 GOES-9 MTSAT and Himawari encompassing the 20-year period (2001 - 2020). For the absorption of solar radiation by ozone, it was computed from the ozone obtained from TOMS/Earth Probe and OMI/AURA satellite. The absorption of solar radiation by atmospheric water vapour was calculated from the amount of the water vapour derived from ambient air temperature and relative humidity. The depletion of solar radiation due to aerosol was estimated from visibility data collected at meteorological stations in Thailand. The performance of the model was evaluated by comparing solar radiation estimated from the model and that obtained from the 38 ground-based measurements. It was found that most solar radiation obtained from these two approaches was in good agreement with the root mean square difference of 8.6% and mean bias difference of 1.3%, which indicating that the model performs well. In addition, maintenance and calibration of solar radiation instruments at the 38 stations were also performed.

After the performance evaluation, the model was used to compute solar radiation over Thailand and the results were displayed as monthly and yearly maps. The maps reveal that geographical distribution of solar radiation was influenced by the monsoons, location of the earth relative to the sun, and local geographical features. The maximum solar radiation was found in April. The locations received high solar radiation situated in the Central and Northeastern regions. When averaged the solar radiation over the whole area of the country, the mean value is found to be 17.5 MJ/m^2-day. This value is lower than that of the previous work. However, the monthly average daily solar radiation in Thailand is sufficient to use for an alternating energy.

For publishing, the long-term yearly solar radiation map (2001 – 2020) was produced. This map on A0 paper presents the solar radiation covering the region of Thailand including latitude, longitude, province and country boundaries, and distance ratio of the map. Furthermore, solar radiation database and applications were generated on internet providing an easy access of these data.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		i
บทคัดย่อ		ii
สารบัญ		iv
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 เหตุผลและความจำเป็น	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
บทที่ 2	หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	3
	2.2 การประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์	6
	2.3 การหาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก	7
	2.3.1 วิธีการวัด	7
	2.3.2 วิธีการคำนวณ	10
	2.4 การจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์	17
	2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัยและผล	33
	3.1 งานจัดหาข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดินที่จำเป็นต้องใช้ในการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.1)	
	3.1.1 การจัดหาข้อมูลการสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลกจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี (ตาม TOR ข้อ 5.1(1))	33
	3.1.2 การจัดหาข้อมูลโอโซนจากดาวเทียมให้ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เพื่อใช้ในการคำนวณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากโอโซนในบรรยากาศ จำนวนอย่างน้อย 10 ปี (ตาม TOR ข้อ 5.1(2))	50
	3.1.3 การจัดหาข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยจำนวนอย่างน้อย 10 ปี เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศสำหรับใช้ในแบบจำลองการดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยไอน้ำ (ตาม TOR ข้อ 5.1(3))	63
	3.1.4 การจัดหาข้อมูลทัศนวิสัย (visibility) ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย จำนวนอย่างน้อย 10 ปี เพื่อใช้ในการคำนวณการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์จากฝุ่นละออง (ตาม TOR ข้อ 5.1(4))	85

หน้า

3.1.5 การจัดหาข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากสถานีวัดภาคพื้นดินทั่วประเทศไทยเพื่อนำมาใช้ประกอบการสร้างและทดสอบแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีจากภาพถ่ายดาวเทียม (ตาม TOR ข้อ 5.1(5)) 97

3.1.6 การจัดหาข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่สำหรับใช้ประกอบในการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์จากองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ (ตาม TOR ข้อ 5.1(6)) 152

3.2 งานจัดเตรียม (process) ข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดินให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งาน (ตาม TOR ข้อ 5.2) 154

3.2.1 การจัดหาตารางสอบเทียบข้อมูลดาวเทียมเพื่อใช้แปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์สำหรับใช้ในแบบจำลองคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.2(1)) 154

3.2.2 การหาพิกัดของข้อมูลดาวเทียมทุกพิกเซลที่สอดคล้องกับตำแหน่งของพื้นที่บนพื้นผิวโลกครอบคลุมทั่วประเทศ โดยต้องแปลงภาพถ่ายดาวเทียมจาก satellite projection ให้อยู่ใน cylindrical projection แล้วนำแผนที่ใน cylindrical projection ไปซ้อนทับเพื่อหาพิกัดของทุกพิกเซล (ตาม TOR ข้อ 5.2(2)) 156

3.2.3 การแปลงค่า gray level ของข้อมูลดาวเทียมให้อยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก โดยใช้ตารางสอบเทียบที่ได้มาตรฐาน เพื่อนำผลไปใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ตาม TOR ข้อ 5.2(3)) 157

3.2.4 การประมวลผลข้อมูลโอโซนจากดาวเทียมให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน เพื่อใช้สำหรับคำนวณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนในบรรยากาศ (ตาม TOR ข้อ 5.2(4)) 169

3.2.5 การคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศของประเทศไทย สำหรับใช้หาการดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยไอน้ำ (ตาม TOR ข้อ 5.2(5)) 180

3.2.6 การประมวลผลข้อมูลทัศนวิสัย สำหรับหาผลของฝุ่นละอองที่มีต่อรังสีอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.2(6)) 191

หน้า

3.3 งานซ่อมบำรุง ตรวจสอบการทำงานอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุปกรณ์ประกอบในการจัดเก็บข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ให้พร้อมในการใช้งานและสอบเทียบหัววัดความเข้มรังสีอาทิตย์ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.3)) 202

3.3.1 การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่ามีสถานะไม่พร้อมในการทำงานให้ดำเนินการเปลี่ยนหรือซ่อมบำรุงอุปกรณ์ของสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ครบถ้วนสำหรับใช้ในโครงการ (ตาม TOR ข้อ 5.3(1)) 202

3.3.2 การสอบเทียบหัววัดรังสีอาทิตย์ ณ สถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานสำหรับสถานีที่ไม่ได้สอบเทียบมากกว่า 1 ปีขึ้นไป เพื่อให้ได้ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ถูกต้องและแม่นยำสำหรับใช้ในโครงการ (ตาม TOR ข้อ 5.3(2)) 214

3.4 งานพัฒนาและปรับปรุงข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.4) 238

3.4.1 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม (ตาม TOR ข้อ 5.4(1) 238

3.4.2 การคำนวณสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดิน และคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศจากข้อมูลข้างต้น (ตาม TOR ข้อ 5.4(2) 244

3.4.3 การประมวลผล (process) และควบคุมคุณภาพข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินสำหรับใช้ในการทดสอบแบบจำลอง (ตาม TOR ข้อ 5.4(3)) 301

3.4.4 การทดสอบแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (ตาม TOR ข้อ 5.4(4)) 302

3.4.5 การคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่คำนวณได้ทั่วประเทศ และนำเสนอในรูปแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแผนที่ดังกล่าวต้องอยู่ใน cylindrical map projection (ตาม TOR ข้อ 5.4(5) 319

หน้า

3.4.6 การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย จากข้อมูลแผนที่ที่ได้ (ตาม TOR ข้อ 5.4(6) 325

3.5 การจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลที่ได้ (ตาม TOR ข้อ 5.5) 329

3.6 การจัดทำข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ออนไลน์ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้โดยง่ายและสื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้โดยสะดวก (ตาม TOR ข้อ 5.6) 332

3.7 การจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ โดยมีรูปแบบและเนื้อหาตามแนวปฏิบัติทั่วไปของรายงานทางวิชาการทางวิทยาศาสตร์ (ตาม TOR ข้อ 5.7) 337

บทที่ 4 สรุป 339

ข้อเสนอแนะ 341

เอกสารอ้างอิง 345

บทที่ 1
บทนำ

1.1 เหตุผลและความจำเป็น

ตามแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ประเทศไทยจะใช้พลังงานทดแทน 30% ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในปี พ.ศ. 2579 ในจำนวนพลังงานทดแทนทั้งหมดจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตไฟฟ้าจำนวน 6,000 MW โดยการออกแบบและเลือกที่ตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าวจำเป็นต้องใช้แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งแสดงการกระจายตามพื้นที่ของความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศ โดยทั่วไปความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกขึ้นกับสภาวะแวดล้อมทางภูมิศาสตร์และบรรยากาศ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและการบริหารจัดการพื้นที่ ทำให้จำเป็นต้องปรับปรุงข้อมูลของแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ให้ทันสมัยทุก ๆ 5 ปี โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ดำเนินการปรับปรุงครั้งล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2560 ดังนั้นจึงควรที่จะดำเนินการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยให้ทันสมัย เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านการพัฒนาและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ตามเป้าหมาย

เนื่องจากมหาวิทยาลัยศิลปากรมีอาจารย์และนักวิจัยที่มีประสบการณ์การวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์มากว่า 40 ปี และมีผลงานเป็นที่ยอมรับในระดับชาติและนานาชาติ ดังนั้นมหาวิทยาลัยจึงเสนอที่จะดำเนินการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1) เพื่อศึกษาพัฒนาและปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
2) เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระยะยาว
3) เพื่อปรับปรุงข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยเพื่อนำเก็บในฐานข้อมูลของ พพ.

บทที่ 2
หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและถือเป็นแหล่งพลังงานหลักของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตบนโลก โดยดวงอาทิตย์จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยกระบวนการแผ่รังสี เรียกว่า รังสีอาทิตย์ (solar radiation) ซึ่งรังสีอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลต (0.3 – 0.4 μm) แสงสว่าง (0.4 – 0.7 μm) และรังสีอินฟราเรด (0.7 – 3.0 μm) มนุษย์และสิ่งมีชีวิตสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์นี้ไปใช้ประโยชน์ตามธรรมชาติได้โดยตรงในรูปของแสงสว่างและความร้อน เช่น เพื่อการมองเห็น เพื่อให้ร่างกายอบอุ่น เป็นต้น นอกจากนี้ในช่วงเวลา 30 ปีที่ผ่านมา การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ประสบปัญหาด้านราคาที่สูงขึ้นและการใช้พลังงานดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ในประเทศต่าง ๆ จึงได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับนำพลังงานจากรังสีอาทิตย์หรือพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่สำคัญได้แก่ การพัฒนาโซลาร์เซลล์สำหรับผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อน และเครื่องอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1 – 2.5



รูปที่ 2.1 การผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ (ที่มา https://pea-gsee.com)



รูปที่ 2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.3 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อน (ที่มา https://www.greenpeace.org)



รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

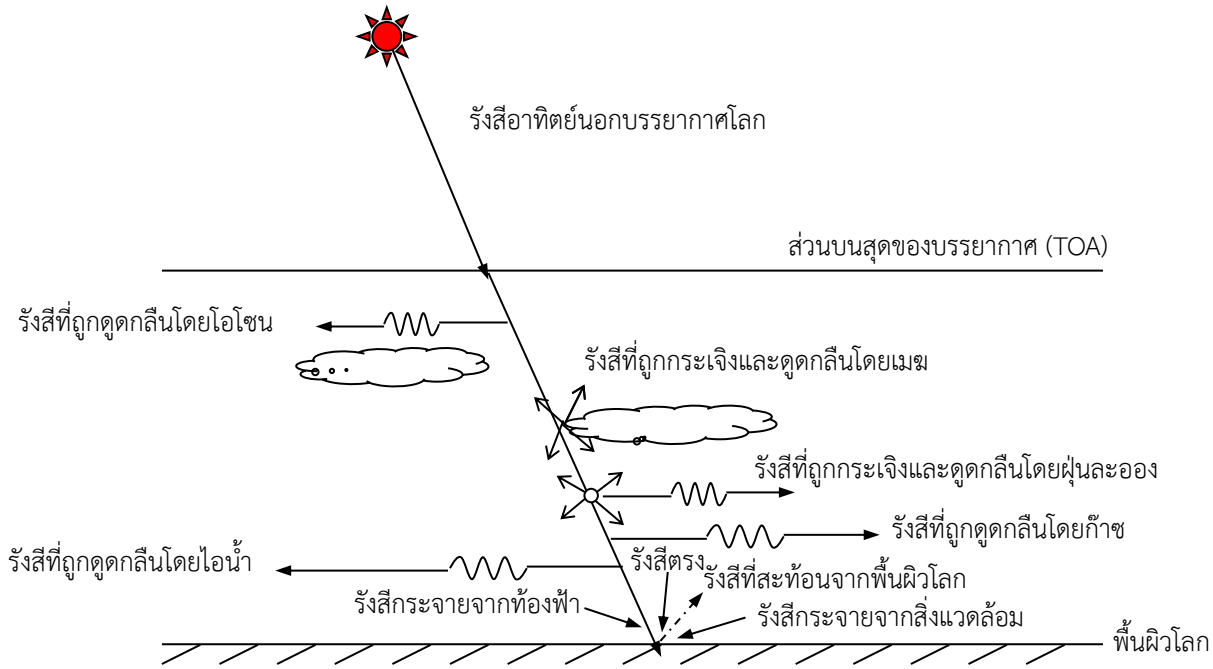


รูปที่ 2.5 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสง
(ที่มา https://www.soliclima.es)

2.2 การประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งจะหมายถึงปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานทดแทนได้ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกได้รับจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.3 - 3.0 μm ดังนั้นจึงเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงดังกล่าวว่า รังสีอาทิตย์ (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

รังสีอาทิตย์ที่เดินทางจากดวงอาทิตย์มาตกกระทบส่วนบนสุดของบรรยากาศโลก (top of atmosphere, TOA) จะมีค่าขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ และมุมตกกระทบ โดยปริมาณเหล่านี้สามารถคำนวณได้



รูปที่ 2.6 การดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศของโลก

หลังจากที่รังสีอาทิตย์ผ่านบรรยากาศลงมายังพื้นผิวโลก รังสีอาทิตย์บางส่วนจะถูกกระเจิงโดยโมเลกุลอากาศ เมฆ และฝุ่นละออง เกิดเป็นรังสีกระจาย (diffuse radiation) และบางส่วนถูกดูดกลืนโดยโอโซน ก๊าซ ฝุ่นละออง และเมฆ ส่วนที่เหลือพุ่งตรงมาถึงพื้นผิวโลกจะเป็นรังสีตรง (direct radiation) และจะเรียกรังสีตรงรวมกับรังสีกระจายจากท้องฟ้าว่า รังสีรวม (global radiation) (รูปที่ 2.6)

ดังนั้นรังสีรวมที่มาถึงพื้นผิวโลกในขณะเวลาใด ๆ จึงขึ้นอยู่กับเมฆ ไอน้ำ ฝุ่นละออง โอโซน และก๊าซอื่น ๆ กรณีของเมฆจะมีผลต่อรังสีอาทิตย์และมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่นั้น ๆ มากที่สุด สำหรับไอน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณไอน้ำ

มากกว่าในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ไอน้ำในบรรยากาศยังมีการเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิประเทศด้วย ไอน้ำจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด

ในด้านของฝุ่นละออง ซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ ทั้งนี้ไม่นับรวมเมฆและฝน โดยมีแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติและจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ฝุ่นละอองจะมีขนาด ชนิด และความหนาแน่นของอนุภาคขึ้นกับแหล่งที่มาของฝุ่นละอองนั้น สำหรับโอโซนจะมีปริมาณมากน้อยขึ้นกับตำแหน่งละติจูด และฤดูกาล โดยทั่วไปโอโซนจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตค่อนข้างสูงและในช่วงแสงสว่างเพียงเล็กน้อย ในกรณีของก๊าซอื่น ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน ปริมาณของก๊าซเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและพื้นที่ไม่มากนัก ก๊าซดังกล่าวจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด

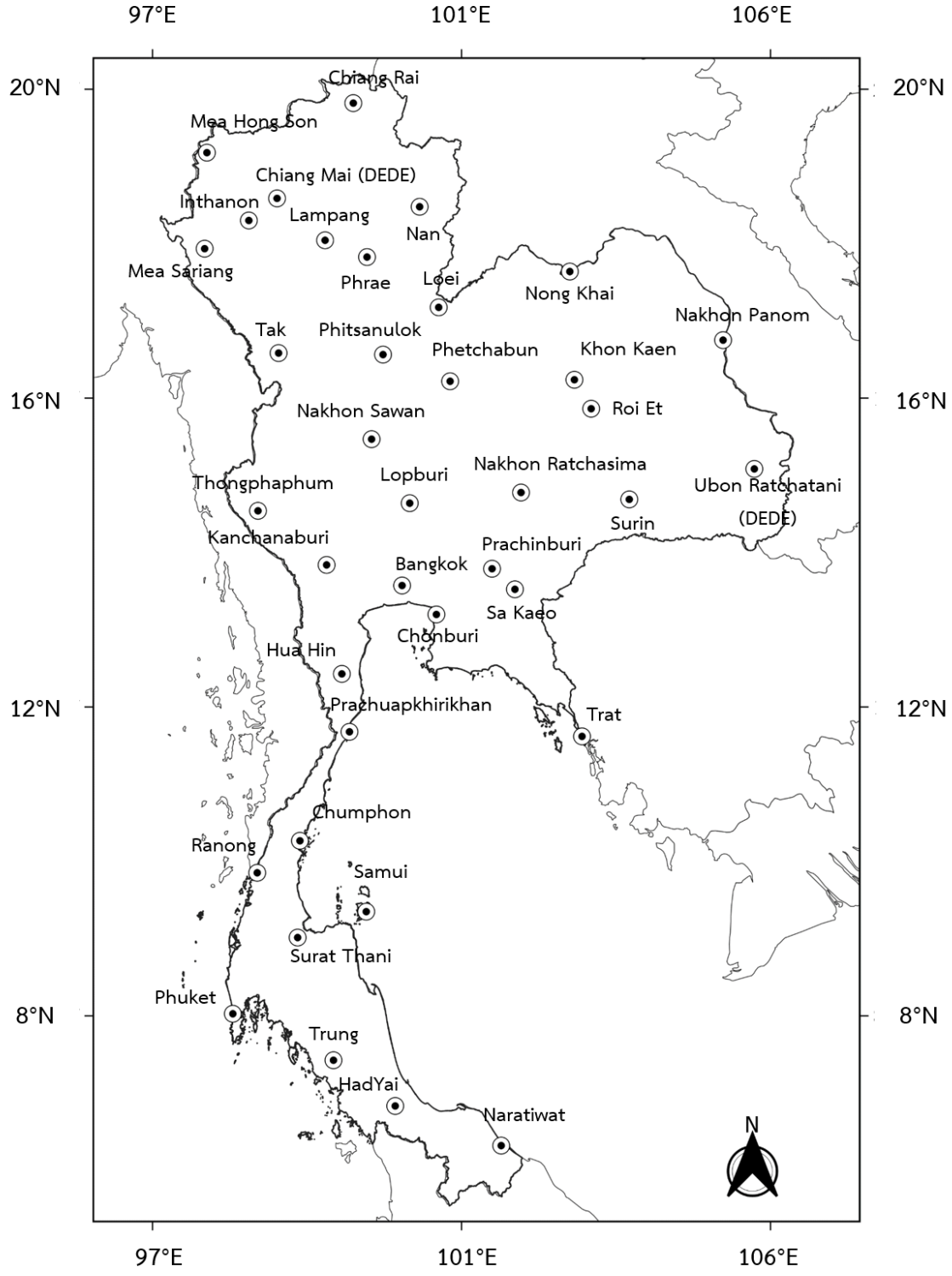
นอกจากปริมาณของรังสีอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกจะขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ ของบรรยากาศตามที่กล่าวไปแล้ว ปริมาณของรังสีอาทิตย์ที่ได้รับยังขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบบนพื้นผิวโลกด้วย โดยมุมดังกล่าวจะขึ้นกับเวลาในรอบวัน ฤดูกาลในรอบปี และตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ดังนั้นปริมาณรังสีอาทิตย์ที่พื้นที่ต่าง ๆ ได้รับจะแตกต่างกันไป ทำให้ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นนั้น ๆ แตกต่างกันด้วย

2.3 การหาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก

ในการหาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่ง ๆ สามารถทำได้ตามวิธีการดังต่อไปนี้

2.3.1 วิธีการวัด

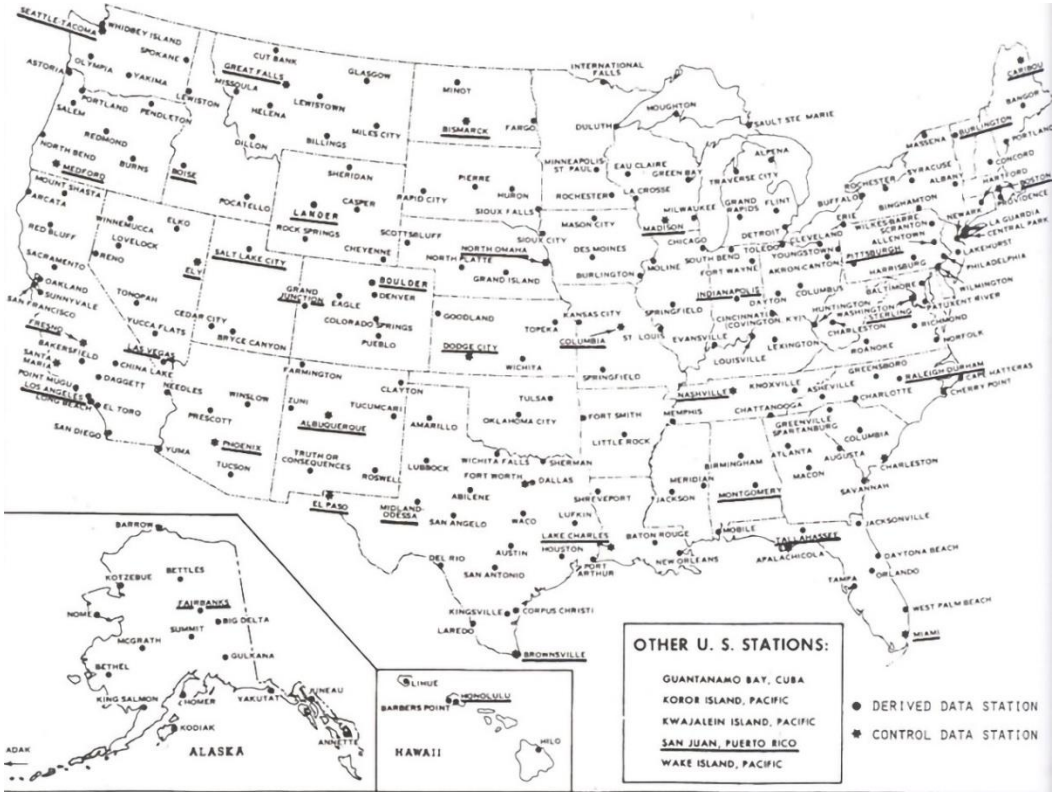
วิธีการพื้นฐานของการหาปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่ต่าง ๆ คือ การติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยทำการบันทึกข้อมูลต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 5 ปี แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่เป็นตัวแทนทางสถิติของพื้นที่นั้น ๆ จากความสำคัญของข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ในประเทศต่าง ๆ จึงมีการจัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ขึ้น ตัวอย่างของเครือข่ายสถานีวัดของประเทศต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.7 – 2.9



รูปที่ 2.7 เครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทย



รูปที่ 2.8 เครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศญี่ปุ่น



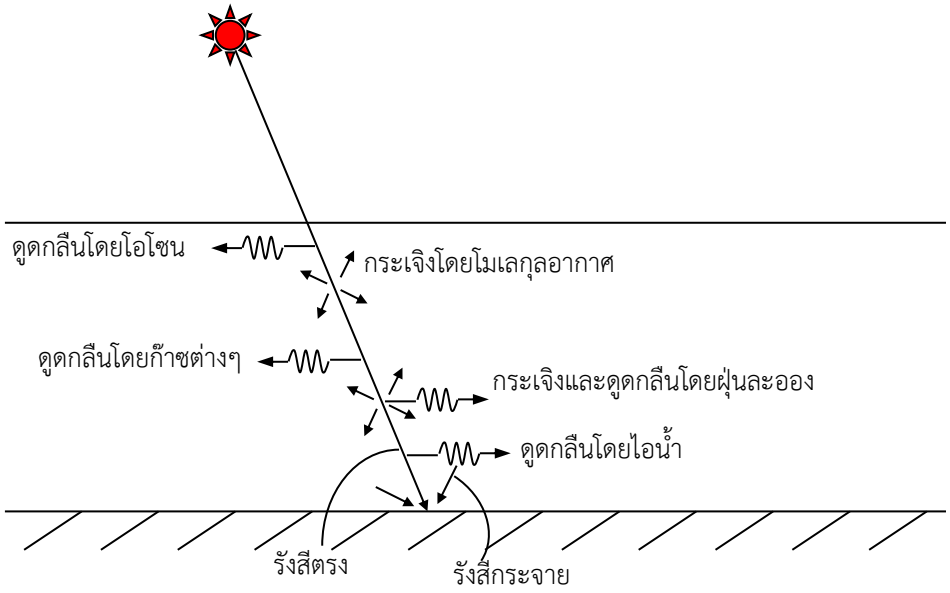
รูปที่ 2.9 เครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3.2 วิธีการคำนวณ

ในการหาความเข้มรังสีอาทิตย์โดยการคำนวณสามารถแบ่งได้เป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

2.3.2.1 การคำนวณหาความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

บรรยากาศในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ โมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละออง รังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศลงมาจะถูกองค์ประกอบเหล่านี้ดูดกลืนและกระเจิงตามแผนภูมิรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ

กรณีของรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในระนาบที่ตั้งฉากกับลำแสง ความเข้มรังสีของแต่ละความยาวคลื่นจะคำนวณได้ (Iqbal, 1983) ตามสมการ

$$\dot{I}_{n\lambda} = \dot{I}_{on\lambda}\tau_{r\lambda}\tau_{aer\lambda}\tau_{w\lambda}\tau_{o\lambda}\tau_{g\lambda} \qquad (2.1)$$

เมื่อ $\dot{I}_{n\lambda}$ คือ ความเข้มรังสีตรงบนระนาบที่ตั้งฉากกับลำแสงที่พื้นผิวโลก ($W/m^2 \cdot \mu m$)

$\dot{I}_{on\lambda}$ คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกในระนาบที่ตั้งฉากกับลำแสง ณ ตำแหน่งของโลกบนทางโคจรรอบดวงอาทิตย์ขณะนั้น ($W/m^2 \cdot \mu m$)

$\tau_{r\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศ (-)

$\tau_{aer\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการกระเจิงและดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง (-)

$\tau_{w\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ (-)

$\tau_{o\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน (-)

$\tau_{g\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของก๊าซที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน (-)

สำหรับกรณีของรังสีกระจายสามารถคำนวณได้จากสมการ (Iqbal, 1983) ต่อไปนี้

$$\dot{I}_{d\lambda} = (\dot{I}_{dr\lambda} + \dot{I}_{daer\lambda}) \frac{1}{1-\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}} + \dot{I}_{n\lambda} \cos\theta_z \left(\frac{\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}}{1-\rho_{g\lambda}\rho_{a\lambda}}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ $\dot{I}_{d\lambda}$ คือ ความเข้มรังสีกระจายบนพื้นราบที่พื้นผิวโลก ($W/m^2 \cdot \mu m$)

$\dot{I}_{dr\lambda}$ คือ ความเข้มรังสีกระจายที่เกิดจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศ ($W/m^2 \cdot \mu m$)

$\dot{I}_{daer\lambda}$ คือ ความเข้มรังสีกระจายที่เกิดจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง ($W/m^2 \cdot \mu m$)

$\dot{I}_{n\lambda}$ คือ ความเข้มรังสีตรงที่พื้นผิวโลกในระนาบที่ตั้งฉากกับลำแสง ($W/m^2 \cdot \mu m$)

$\rho_{g\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวโลก (-)

$\rho_{a\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศ (-)

ดังนั้นความเข้มรังสีรวมบนพื้นราบจะเท่ากับผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจาย (Iqbal, 1983) หรือเขียนได้ดังสมการ

$$\dot{I}_{\lambda} = \dot{I}_{n\lambda} \cos\theta_z + \dot{I}_{d\lambda} \quad (2.3)$$

เมื่อ θ_z คือ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ (degree)

สำหรับความเข้มรังสีรวมทุกความยาวคลื่น ($\dot{I}$) สามารถหาได้โดยการรวมความเข้มรังสีที่แต่ละความยาวคลื่น ($\dot{I}_{\lambda}$) ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.3 ถึง 3.0 μm (Iqbal, 1983) หรือเขียนได้ดังสมการ

$$\dot{I} = \int_{0.3\mu m}^{3.0\mu m} \dot{I}_{\lambda} d\lambda \quad (2.4)$$

เมื่อ $\dot{I}$ คือ ความเข้มรังสีรวมทุกความยาวคลื่น ($W/m^2 \cdot \mu m$)

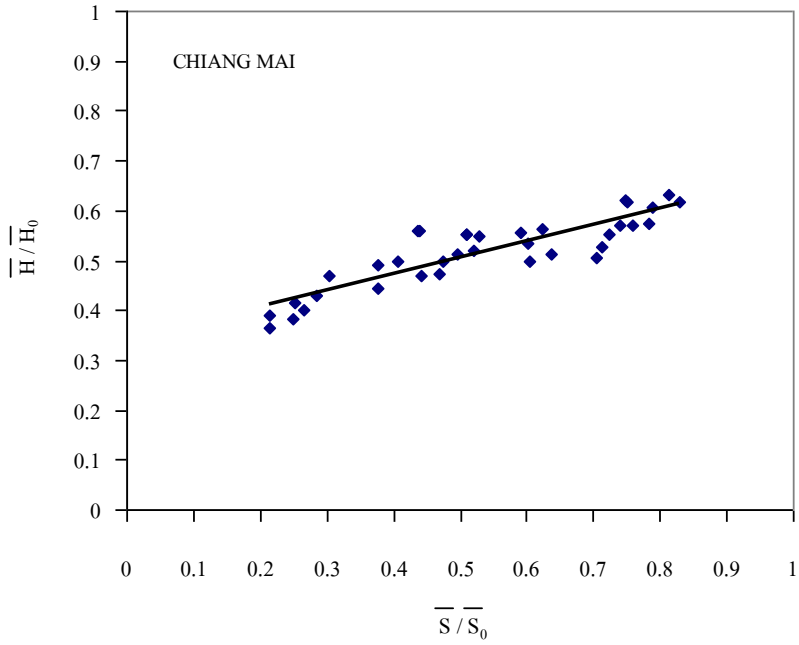
λ คือ ความยาวคลื่น (μm)

2.3.2.2 การคำนวณหาความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆ

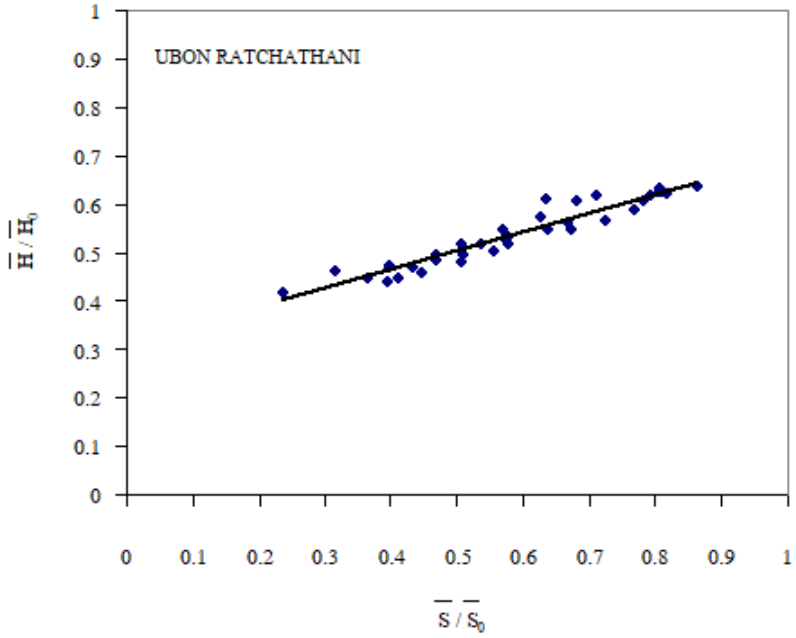
การคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในกรณีท้องฟ้ามีเมฆโดยตรงทำได้ยากเพราะจำเป็นต้องรู้ตำแหน่ง ขนาด และคุณสมบัติเชิงแสงของเมฆ อย่างไรก็ตาม เราสามารถประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์กับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ ได้ ที่สำคัญได้แก่ ความยาวนานแสงแดด (sunshine duration) และปริมาณเมฆ

ก. การคำนวณหาความเข้มรังสีอาทิตย์จากความยาวนานแสงแดด

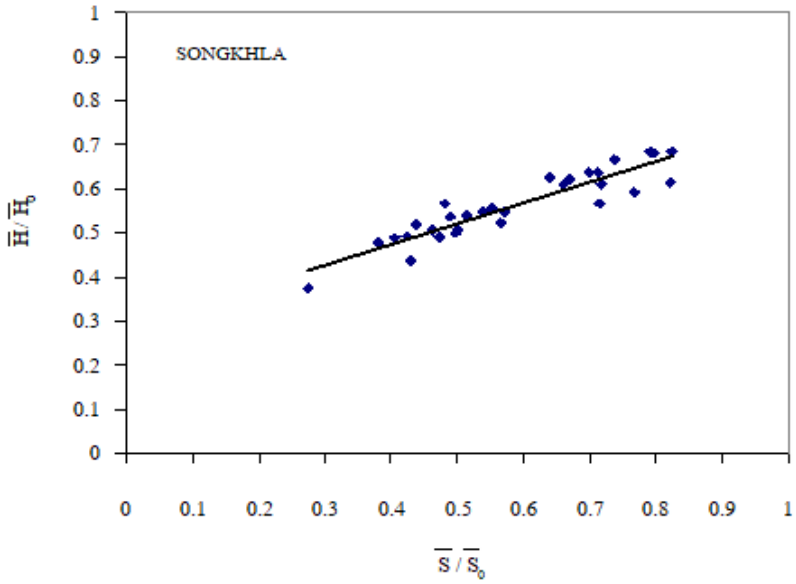
ความเข้มรังสีรวมมีความสัมพันธ์กับความยาวนานแสงแดด โดยความยาวนานของแสงแดดคือจำนวนชั่วโมงที่ความเข้มรังสีตรงจากดวงอาทิตย์มีค่าสูงกว่า 120 W/m^2 ดังนั้นหากความยาวนานแสงแดดในรอบวันมีค่ามากแสดงถึงพลังงานของรังสีอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกในวันนั้น ๆ มีค่ามากด้วยเช่นกัน ตัวอย่างความสัมพันธ์ทางสถิติของข้อมูลจากสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และสงขลา แสดงดังรูปที่ 2.11 - 2.13



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีรวมรายวัน ($\bar{H}$) ต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}_0$) กับอัตราส่วนของความยาวนานแสงแดด ($\bar{S}$) ต่อความยาวนานของวัน ($\bar{S}_0$) จากข้อมูลสถานีเชียงใหม่ (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545)



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีรวมรายวัน ($\bar{H}$) ต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}_0$) กับอัตราส่วนของความยาวนานแสงแดด ($\bar{S}$) ต่อความยาวนานของวัน ($\bar{S}_0$) จากข้อมูลสถานีอุบลราชธานี (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545)



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มรังสีรวมรายวัน ($\bar{H}$) ต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}_0$) กับอัตราส่วนของความยาวนานแสงแดด ($\bar{S}$) ต่อความยาวนานของวัน ($\bar{S}_0$) จากข้อมูลสถานีสงขลา (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545)

จากความสัมพันธ์ในกราฟดังกล่าวสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ตามตารางที่ 2.1

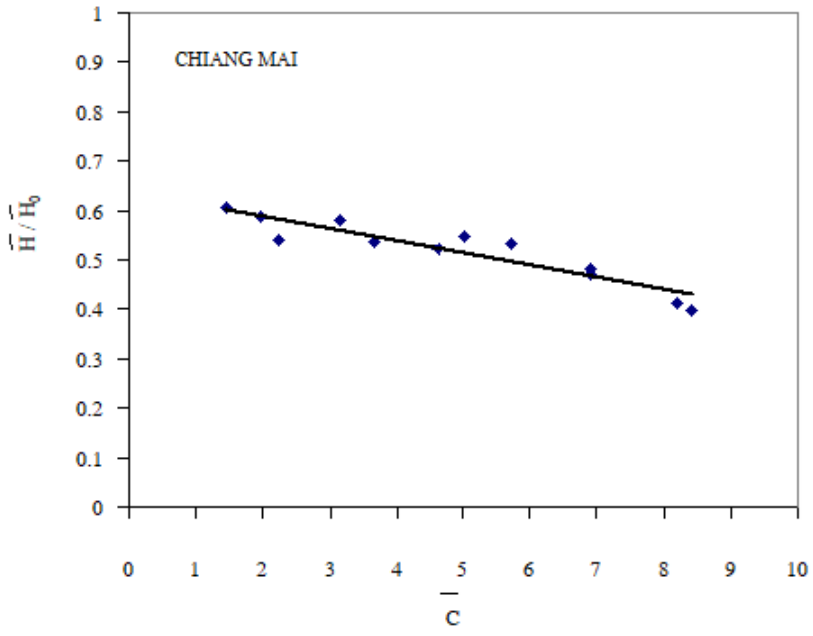
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีรวมรายวันต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}/\bar{H}_0$) กับอัตราส่วนของความยาวนานแสงแดดต่อความยาวนานของวัน ($\bar{S}/\bar{S}_0$) ของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และสงขลา (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545) เมื่อ R^2 คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination)

สถานี	สมการ	R^2
เชียงใหม่	$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.3416 + 0.3276\bar{S}/\bar{S}_0$	0.77
อุบลราชธานี	$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.3102 + 0.3880\bar{S}/\bar{S}_0$	0.92
สงขลา	$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.2818 + 0.4776\bar{S}/\bar{S}_0$	0.85

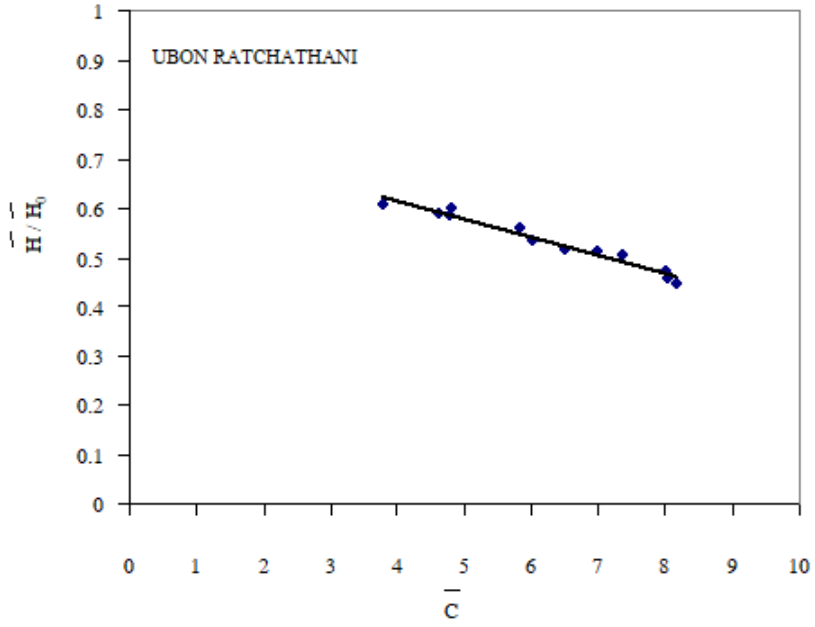
จากตารางจะเห็นว่าอัตราส่วนรังสีรวมรายวันต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}/\bar{H}_0$) กับอัตราส่วนของความยาวนานแสงแดดต่อความยาวนานของวัน ($\bar{S}/\bar{S}_0$) ของทุกสถานีมีความสัมพันธ์กันดีโดยพิจารณาได้จากสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้เป็นแบบเชิงเส้นนั่นคือความยาวนานแสงแดดมีค่าเพิ่มขึ้น พลังงานของรังสีรวมรายวันมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ข. การคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากปริมาณเมฆ

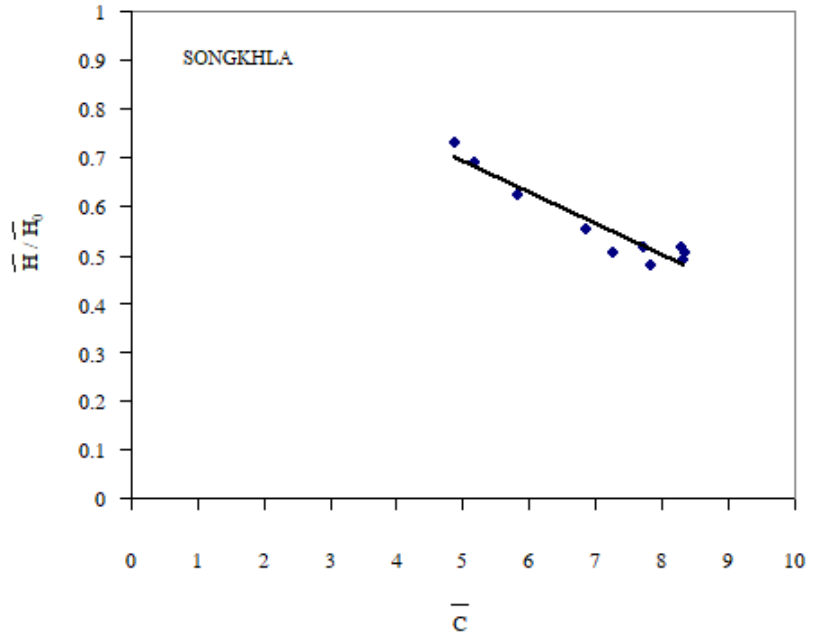
ปริมาณเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งมีผลต่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยวันที่มีเมฆมากจะมีความเข้มรังสีรวมต่ำเนื่องจากเมฆสะท้อนรังสีอาทิตย์กลับออกสู่อวกาศได้ดี ตัวอย่างเช่น กรณีของข้อมูลจากสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และสงขลา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14 - 2.16



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีรวมรายวัน ($\bar{H}$) ต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}_0$) กับปริมาณเมฆ ($\bar{c}$) ของสถานีเชียงใหม่ (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545)



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีรวมรายวัน ($\bar{H}$) ต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}_0$) กับปริมาณเมฆ ($\bar{c}$) ของสถานีอุบลราชธานี (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545)



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีรวมรายวัน ($\bar{H}$) ต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}_0$) กับปริมาณเมฆ ($\bar{c}$) ของสถานีสงขลา (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545)

จากความสัมพันธ์ในกราฟสามารถเขียนแทนได้ดังสมการตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของรังสีรวมรายวันต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}/\bar{H}_0$) กับปริมาณเมฆ ($\bar{c}$) ของสถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี และสงขลา (เสริม จันทร์ฉาย และคณะ, 2545) เมื่อ R^2 คือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination)

สถานี	สมการ	R^2
เชียงใหม่	$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.6398 - 0.0250\bar{c}$	0.86
อุบลราชธานี	$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.7626 - 0.0369\bar{c}$	0.96
สงขลา	$\bar{H}/\bar{H}_0 = 1.0134 - 0.0643\bar{c}$	0.91

จากตารางจะเห็นว่าอัตราส่วนของรังสีรวมรายวันต่อรังสีนอกบรรยากาศโลกรายวัน ($\bar{H}/\bar{H}_0$) กับปริมาณเมฆ ($\bar{c}$) ของทุกสถานีมีลักษณะคล้ายกันคือมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น โดยถ้าปริมาณเมฆมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มรังสีรวมรายวันมีค่าลดลง

2.3.2.3 การคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมในสภาพท้องฟ้าทั่วไป

เมื่อรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกผ่านเข้ามาในบรรยากาศโลก ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับออกไปในอวกาศโดยเมฆและบรรยากาศ ส่วนที่เหลือจะถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ ฝุ่นละออง และเมฆ เมื่อมาถึงพื้นโลกจะถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวโลก และบางส่วนจะถูกสะท้อนผ่านบรรยากาศกลับขึ้นไปในอวกาศอีกครั้งหนึ่ง รังสีอาทิตย์ที่ดาวเทียมรับได้จะประกอบด้วยรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากเมฆและบรรยากาศกับรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นดิน โดยข้อมูลดาวเทียมที่นิยมนำมาใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ คือข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบ geostationary ทั้งนี้เพราะจะอยู่นิ่งเมื่อเทียบกับตำแหน่งบนโลก ดังนั้นจึงสามารถบันทึกภาพสภาวะของบรรยากาศที่บริเวณเดียวกันได้หลายภาพต่อวัน

การหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกถึงพื้นโลกจากค่ารังสีอาทิตย์ที่ดาวเทียมวัดได้สามารถหาได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีมีระดับของความซับซ้อนและรายละเอียดแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. วิธีทางสถิติ

วิธีนี้ใช้หลักการสร้างความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ที่ดาวเทียมวัดได้กับค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบถึงพื้นดิน ซึ่งวัดได้ด้วยเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์หรือไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) ณ สถานีวัดภาคพื้นดิน จากนั้นใช้ความสัมพันธ์ที่ได้ไปคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ ณ จุดอื่น ๆ

ข. วิธีทางฟิสิกส์

การคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมโดยวิธีทางฟิสิกส์ จะพิจารณากระบวนการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีอาทิตย์ขณะที่เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศจนถึงพื้นโลก จากนั้นจะสร้างสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีนอกบรรยากาศโลกและรังสีที่ดาวเทียมวัดได้กับ รังสี

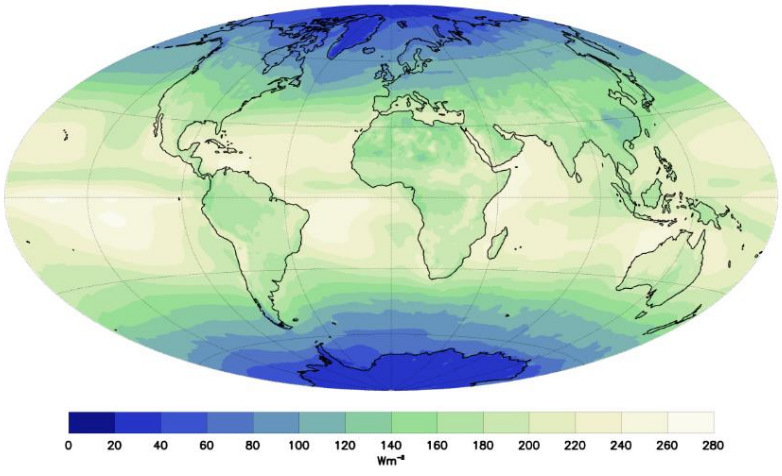
อาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก วิธีดังกล่าวต้องทำการวิเคราะห์การดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical properties) ขององค์ประกอบของบรรยากาศ ถึงแม้ว่าวิธีทางฟิสิกส์จะมีความซับซ้อนกว่าวิธีทางสถิติแต่ก็มีความเป็นสากลมากกว่า

2.4 การจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

หน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนทั่วโลกให้ความสำคัญกับข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกซึ่งถือเป็นพลังงานหลักที่โลกได้รับ จึงได้ดำเนินการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ครอบคลุมพื้นที่ต่าง ๆ โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียมและแบบจำลองต่าง ๆ กัน ตัวอย่างการจัดทำแผนที่ของหน่วยงานต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

- **NASA GEWEX Surface Radiation Budget (NASA SRB)**

Surface Radiation Budget (SRB) ของ Global Energy and Water Exchange (GEWEX) ซึ่งอยู่ภายใต้ World Climate Research Program (WCRP) ได้ทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสี (radiative transfer model) ร่วมกับฐานข้อมูลไอน้ำ HIRS ราย 3 ชั่วโมง สีของน้ำทะเลจากดาวเทียม MODIS ความเร็วลมผิวพื้นจากฐานข้อมูล MERRA-2 ฝุ่นละอองจาก MACv1 และโอโซนจาก ISCCP จากนั้นทำการคำนวณเป็นรังสีอาทิตย์ที่ปราศจากเมฆ แล้วจึงใช้ฐานข้อมูลเมฆจาก ISCCP มาคำนวณค่าดัชนีเมฆเพื่อนำมาคำนวณเป็นความเข้มรังสีอาทิตย์อีกขั้นหนึ่ง ข้อมูลที่ได้จะมีความละเอียดเชิงพื้นที่เพียง $1° \times 1°$ (ประมาณ 100×100 km^2) และมีความละเอียดเชิงเวลาที่ 3 ชั่วโมง



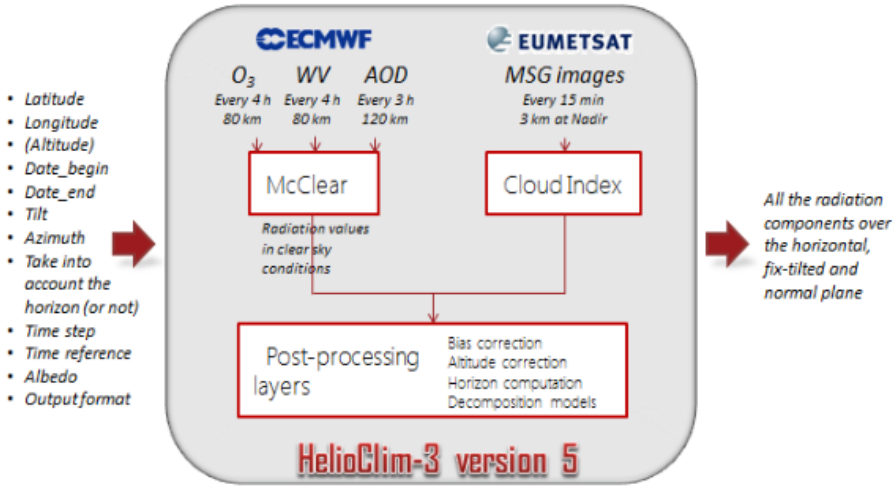
รูปที่ 2.17 แผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงของ NASA SRB (ที่มา http://gewex-srb.larc.nasa.gov/)

ข้อมูลรังสีอาทิตย์ของ NASA SRB ให้ข้อมูลครอบคลุมทั่วโลกและมีความต่อเนื่องของข้อมูลยาวนาน (ค.ศ. 1983 – 2017) อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวมีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างต่ำทำให้ขาดรายละเอียดของข้อมูลตามแนวร่องเขาและสันเขา ถึงแม้ว่าข้อมูลที่ได้จะมีความละเอียดเชิงเวลาสูง แต่เนื่องจากเมฆมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูงซึ่งอาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อการคำนวณปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนสูงด้วยเช่นกัน จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่สถานีวัดภาคพื้นดินพบว่ามีความแตกต่างกันในรูปของ root mean square difference (RMSD) ประมาณ 17 – 20 W/m^2 (Zhang et al., 2020)

- **Solar Radiation Data (SoDa) Service**

SoDa Service เป็นโครงการที่ได้รับการสนับสนุนจาก European Commission ในปี ค.ศ. 1999 และได้ดำเนินการโดยหน่วยงานเอกชนเพื่อให้บริการด้านข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ยาวนานต่อเนื่อง กระบวนการที่ใช้ในการคำนวณคือ Heliosat-2 ซึ่งจะทำการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆโดยอาศัยแบบจำลอง McClear (Lefèvre, 2013) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางฟิสิกส์ที่อาศัยตัวแปรอินพุทต่าง ๆ ได้แก่ โอโซน ไอน้ำ และฝุ่นละออง ละติจูด ลองจิจูด ความสูงจากระดับน้ำทะเล จากนั้นจะใช้ข้อมูลจากดาวเทียม METEOSAT มาคำนวณค่าดัชนีเมฆและนำไปหาความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นผิวโลกในกรณีท้องฟ้าทั่วไปโดยใช้แบบจำลองเอมไพริคัล (empirical model) (Rigollier, 2004) ข้อมูลที่ได้จะครอบคลุมพื้นที่ทวีปยุโรป โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 5 × 5 km^2 และความละเอียดเชิงเวลาที่ 15 นาที

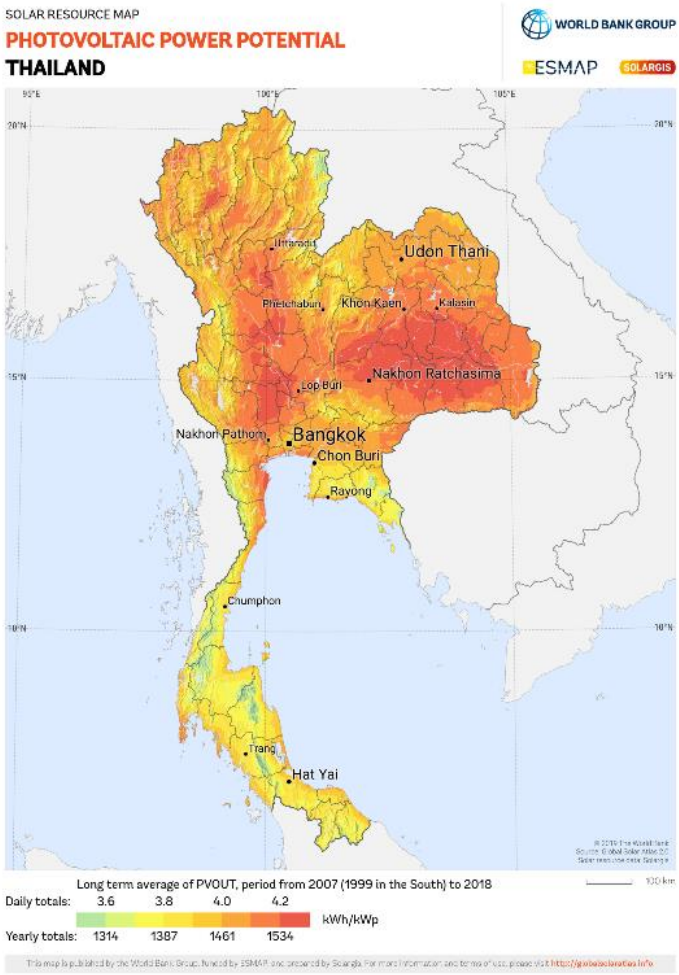
กระบวนการที่ใช้ในงานนี้เป็นวิธีการที่สามารถคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว แต่เนื่องจากการคำนวณกรณีท้องฟ้าทั่วไปใช้แบบจำลองเอมไพริคัลอาจทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง



รูปที่ 2.18 แผนภาพกระบวนคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ของ SoDa Service (ที่มา https://www.soda-pro.com/help/helioclim/helioclim-3-overview)

- **SolarGIS**

SolarGis ทำการคำนวณรังสีอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองแบบกึ่งเอมไพริคัล (semi-empirical model) โดยใช้ข้อมูลตัวแปรทางบรรยากาศ ได้แก่ ไอน้ำ ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ชนิดของฝุ่นละออง และโอโซน รวมถึงความสูงของพื้นที่ อุณหภูมิอากาศ ภูมิประเทศ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และดาวเทียมเทียบกับตำแหน่งที่วัด และค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก เพื่อคำนวณรังสีอาทิตย์กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ แล้วใช้ค่าดัชนีเมฆซึ่งหาได้จากดาวเทียมในช่องสัญญาณแสงสว่างและอินฟราเรดคำนวณรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป ข้อมูลที่ได้จาก SolarGis แสดงในรูปแบบของไฟล์ GIS ที่มีความละเอียดสูง (ประมาณ 4 × 4 km^2) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้งานได้อย่างสะดวก

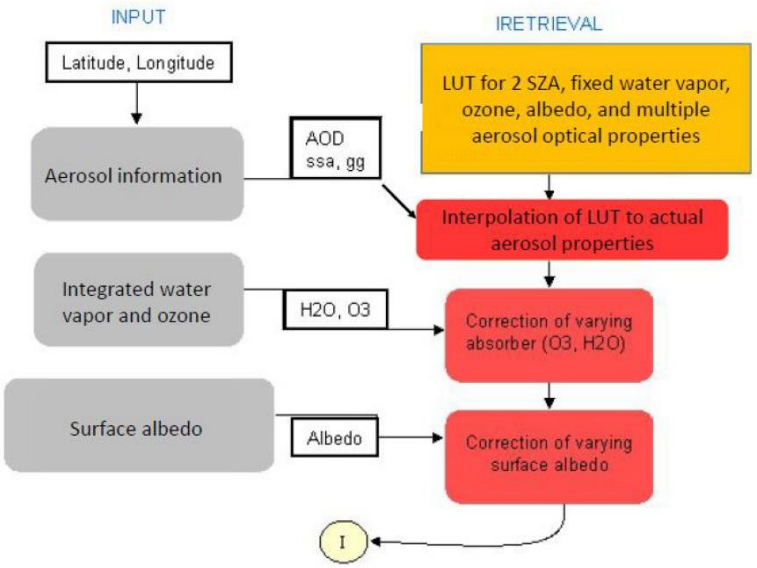


รูปที่ 2.19 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณประเทศไทยของ SolarGis
(ที่มา https://solargis.com/maps-and-gis-data/download)

- **ฐานข้อมูลโครงการ CM-SAF (SARAH2)**

Surface Solar Radiation Data Set - Heliosat เวอร์ชัน 2 (SARAH-2) (Pfeifroth et al., 2017) เป็นของ Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) ซึ่งเป็นฐานข้อมูล

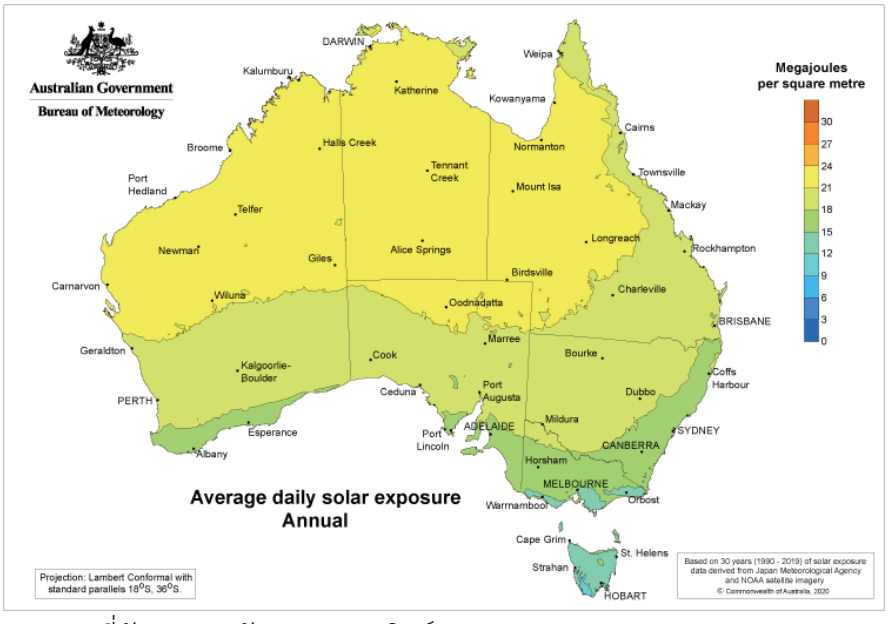
ที่คำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมประเภทอุตุนิยมวิทยา METEOSAT ในช่องแสงสว่าง ระหว่างปี ค.ศ. 1983 – 2017 ครอบคลุมลองจิจูด 65°W - 65°E และละติจูด 65°S - 65°N ซึ่งใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสีมาคำนวณค่าการสะท้อนของรังสีอาทิตย์ที่ดาวเทียมได้รับ แล้วจัดเก็บไว้เป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่ให้ครอบคลุมทุกตัวแปรทางสภาพอากาศ เช่น ฝุ่นละออง และพื้นดิน จากนั้นนำข้อมูลจากฐานข้อมูลดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์ระหว่างไอน้ำและโอโซน และคำนวณแก้ค่าให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นโลก ข้อมูลนี้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 5 × 5 km^2 สามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ใช้เป็นอินพุทในแบบจำลองจำเป็นต้องมีความถูกต้องสูงเนื่องจากต้องนำข้อมูลไปสืบค้นในตารางฐานข้อมูลที่คำนวณไว้เสร็จสิ้นแล้ว หากข้อมูลอินพุทมีความคลาดเคลื่อนจะทำให้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้มีความผิดพลาดไปด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.20 แผนภาพการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ของ CM-SAF (SARAH2) (ที่มา https://www.cmsaf.eu/SharedDocs/Literatur/document/2021/saf_cm_dwd_icdr_clara_rad_atbd_2_1_pdf.html)

- **Australian Bureau of Meteorology**

Australian Bureau of Meteorology ได้จัดทำแผนที่ศักยภาพแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน รายปี และรายฤดูกาล ในหน่วย MJ/m^2 โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1990 – 2019 โดยในแบบจำลองจะหาค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และคำนึงถึงการดูดกลืนเนื่องจากไอน้ำ การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวโลกและเมฆ ในงานนี้ใช้ข้อมูลในช่องแสงสว่างจากดาวเทียม GMS-4 GMS-5 GOES-9 MTSAT และ Himawari-8 ในการคำนวณจะใช้กระบวนการ Heliosat-4 ซึ่งเป็นกระบวนการทางสถิติ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการคำนวณจะถูกปรับแก้โดยใช้ข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินให้มีความถูกต้องมากขึ้น แผนที่ที่ได้นี้ครอบคลุมเพียงพื้นที่ประเทศออสเตรเลียเท่านั้น โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 5 km

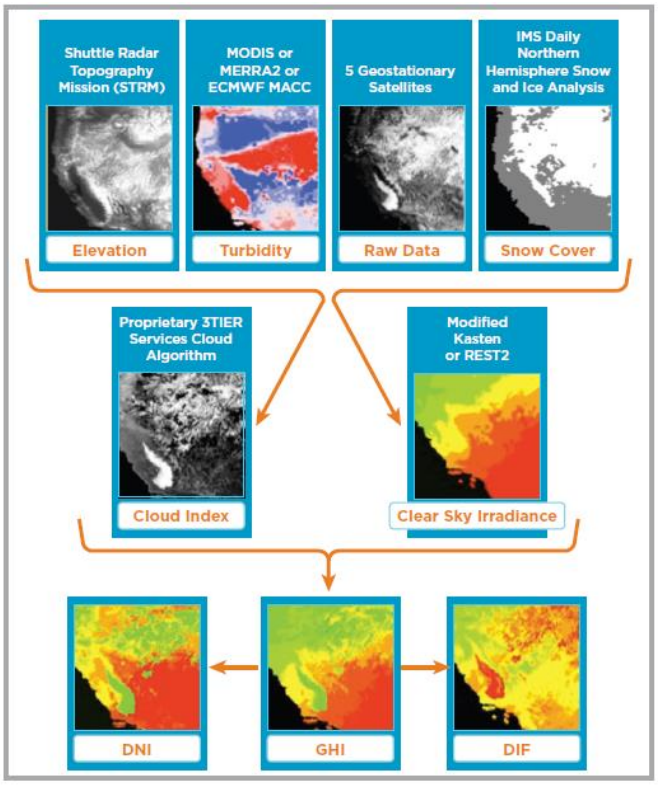


รูปที่ 2.21 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของ Australian Bureau of Meteorology (ที่มา http://www.bom.gov.au/jsp/ncc/climate_averages/solar-exposure/index.jsp)

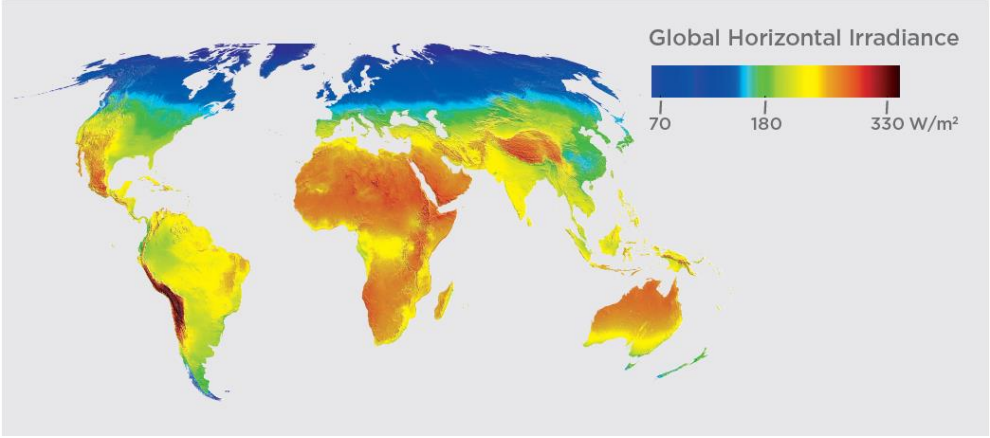
- **Vaisala**

ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ของ Vaisala จะใช้กระบวนการ Heliosat และใช้ข้อมูลสภาพอากาศ เช่น ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณไอน้ำในคอลัมน์อากาศ ความดันพื้นผิว และค่ากำลังของอังสตรอม (Angstrom exponent) ประกอบการคำนวณจากฐานข้อมูลที่มีการคำนวณไว้แล้ว ได้แก่ ECMWF- MACC MERRA2 และจากดาวเทียม MODIS ซึ่งในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจะใช้แบบจำลองของ modified Kasten clear sky model และ REST2 (Gueymard's SMARTS radiative transfer model) และปรับค่าด้วยดัชนีเมฆ

ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่ได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการวัด ณ สถานีวัดภาคพื้นดินพบว่า สำหรับพื้นที่เอเชียตะวันออกและ Oceania มีความแตกต่างกันในรูปของ RMSD เท่ากับ 19.70 - 21.02% และสำหรับทุกพื้นที่ทั่วโลกมี RMSD เท่ากับ 18.40 – 19.16%



รูปที่ 2.22 แผนภาพกระบวนการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของ Vaisala (ที่มา https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/3TIER%20Solar%20Dataset%20Methodology%20and%20Validation.pdf)

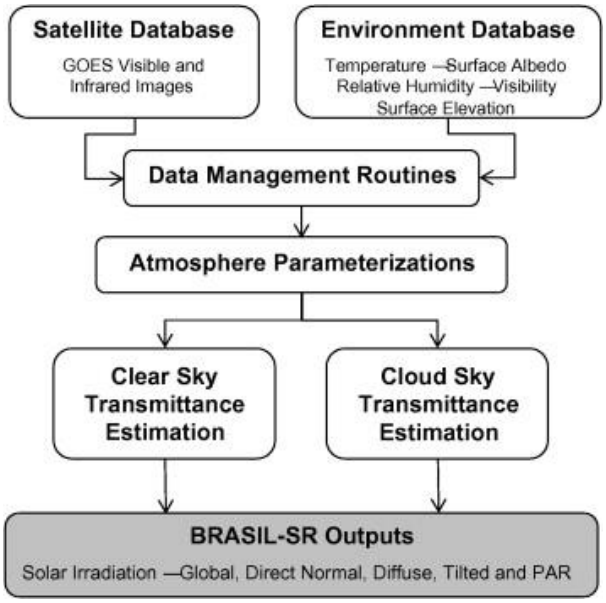


รูปที่ 2.23 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของ Vaisala (ที่มา https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/3TIER%20Solar%20Dataset%20Methodology%20and%20Validation.pdf)

- **CPTEC/INPE**

Weather Prevision Center and Climate Studies (CPTEC) ของ National Institute for Space Research (INPE) คำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ครอบคลุมประเทศบราซิล โดยใช้แบบจำลองกึ่ง

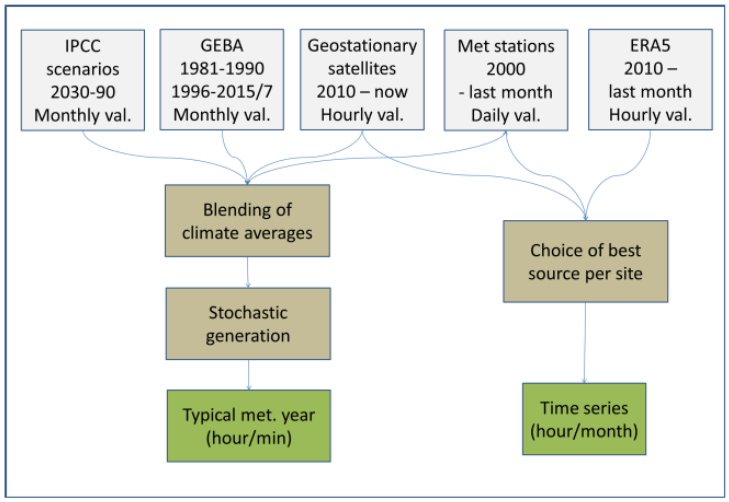
เอมไพริคัลซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ถึง 4 km โดยในแบบจำลองจะมีพารามิเตอร์ทางบรรยากาศสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและในสภาพท้องฟ้ามีเมฆด้วย แบบจำลองดังกล่าวค่อนข้างมีความได้เปรียบทางด้านการคำนวณเนื่องจากไม่มีความสลับซับซ้อน แต่แบบจำลองยังไม่ได้มีการเปรียบเทียบด้วยค่าการวัดจากพื้นดินในทุก ๆ พื้นที่ ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก local error (เพราะพื้นที่ในการสร้างแบบจำลองมักจะมีความจำเพาะ เช่น ลักษณะเป็นทะเล ที่โล่ง หรือป่าเขา) และจะส่งผลต่อสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง



รูปที่ 2.24 แผนภาพกระบวนการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์
(ที่มา http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/)

- Meteonorm

Meteonorm ได้ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สร้างจากฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศระยะยาว ซึ่งมีการใช้ข้อมูลประกอบกันหลายประเภททั้งข้อมูลการวัดภาคพื้นดิน ข้อมูลจากดาวเทียม ข้อมูลจากการประมาณค่า ซึ่งรวบรวมแล้วสร้างเป็นฐานข้อมูล แล้วนำมาคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองกึ่งเอมไพริคัล ข้อดีคือข้อมูลจะมีความต่อเนื่องมาก และมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง สำหรับข้อเสียจะมีความคลาดเคลื่อนของค่าจากการวัดจริงค่อนข้างสูง เนื่องจากข้อมูลอินพุทเป็นข้อมูลที่เกิดจากการรวบรวมข้อมูลมาจากหลาย ๆ แหล่ง รวมถึงข้อมูลประเภทปีตัวแทน ซึ่งจะมีความคลาดเคลื่อนสะสมค่อนข้างสูง (ในระดับเกิน 10% ของค่ารายเดือน)



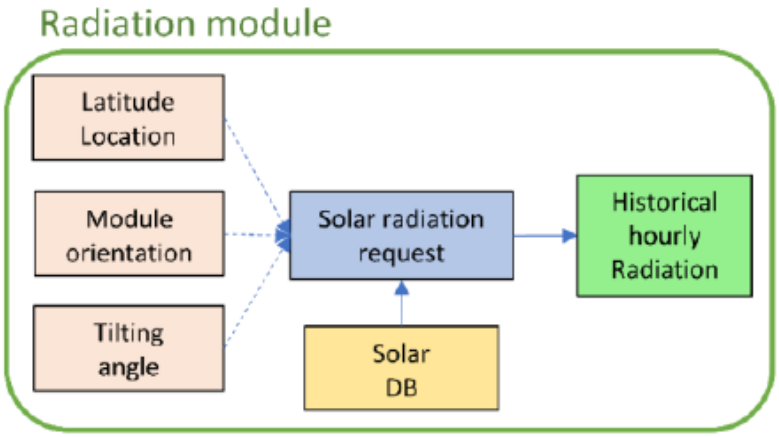
รูปที่ 2.25 แผนภาพกระบวนการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์
(ที่มา (http://www.meteonorm.com/)

- **NREL NOAA**

National Renewable Energy Laboratory (NREL) แห่ง University of Wisconsin และ National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) ทำการคำนวณหาความเข้มรังสีอาทิตย์ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ (Sengupta et al., 2014) โดยใช้แบบจำลอง Satellite Algorithm for Shortwave Radiation Budget (SASRAB) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากแบบจำลองของ Bird (Bird and Hulstrom, 1981) ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 4 × 4 km^2 และบรรจุลงในฐานข้อมูล National Solar Radiation Database (NSRDB) ในการคำนวณจะใช้ข้อมูลเมฆจากข้อมูลดาวเทียม GOES ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS และปริมาณไอน้ำในบรรยากาศซึ่งคำนวณได้จากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศ (Gueymard, 1994) จาก Global Solar Insolation Project (GSIP) สำหรับสมรรถนะของแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินพบว่ามีความแตกต่างในรูปของ RMSD เท่ากับ 36.68 W/m^2

- **Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)**

European Commission, Joint Research Centre Energy Efficiency and Renewables Unit ได้สร้างและพัฒนาฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยการรวบรวมฐานข้อมูลและแสดงผลจากฐานข้อมูล SARAH SARAH2 (CM SAF) NSRDB (NREL) รวมถึง ERA5 (ECMWF) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลหลายรูปแบบ เช่น จากดาวเทียม จากข้อมูลภาคพื้นดิน รวมถึงจากการคำนวณ ดังนั้นจะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงกว่าการวัดจริง



รูปที่ 2.26 แผนภาพการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ของ PVGIS
(ที่มา http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านการคำนวณรังสีอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมเริ่มต้นตั้งแต่ทศวรรษ 1960 ซึ่งมีการเริ่มใช้ดาวเทียมเพื่องานด้านอุตุนิยมวิทยา ถึงแม้ว่าดาวเทียมเหล่านี้มิได้มีวัตถุประสงค์เพื่อการวัดค่ารังสีอาทิตย์โดยตรง แต่นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามนำข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในงานพยากรณ์อากาศแล้วมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์โดยอาศัยทฤษฎีทางฟิสิกส์และสถิติเข้าช่วย โดยงานต่าง ๆ ที่สำคัญพอสรุปได้ดังนี้

Fritz et al. (1964) แห่ง National Weather Satellite Centre ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นคณะนักวิจัยในยุคแรก ๆ ที่นำข้อมูลดาวเทียมมาใช้ในการศึกษาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากโลก โดยได้นำข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา TIROS III ไปใช้หาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากโลกกับค่ารังสีอาทิตย์ซึ่งวัดได้จากสถานีภาคพื้นดิน 13 แห่ง ในประเทศสหรัฐอเมริกา จากการศึกษาพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดได้จากดาวเทียมมีความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จากภาคพื้นดิน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) สูงถึง 0.9 นอกจากนี้ยังพบว่าบรรยากาศของโลกดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้มากกว่า 35% ของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบรรยากาศโลก

หลังจากนั้น Tarpley (1979) แห่ง National Environmental Satellite Service ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GOES และข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินบริเวณ Great Plain ประเทศสหรัฐอเมริกา ระหว่างฤดูร้อนปี ค.ศ. 1977 และได้พัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติสำหรับคำนวณค่ารังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม จากผลการทดลองพบว่า ค่าที่คำนวณได้จากข้อมูลดาวเทียมมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 10% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากสถานีภาคพื้นดิน

Frulla et al. (1988) ได้นำแบบจำลองของ Tarpley ไปใช้คำนวณรังสีอาทิตย์ในประเทศอาร์เจนตินาโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GOES-EAST ระหว่างเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1982 ถึงเดือน

มิถุนายน ค.ศ. 1984 ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยรังสีรวมรายวันที่ได้จากการคำนวณแตกต่างจากค่าที่วัดจากสถานีภาคพื้นดิน 15 - 20% นอกจากนี้ Frulla et al. (1990) ยังได้ใช้แบบจำลองเดียวกันนี้ร่วมกับข้อมูลดาวเทียม GOES-EAST ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์บริเวณพื้นที่ตอนใต้ของประเทศบราซิล และพบว่าผลการคำนวณมีความคลาดเคลื่อน 15 - 30%

เนื่องจากแบบจำลองของ Tarpley เป็นแบบจำลองทางสถิติซึ่งสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ดังนั้น Czeplak et al. (1991) จึงได้ทดลองนำแบบจำลองนี้ไปใช้กับข้อมูลดาวเทียม METEOSAT ในบริเวณพื้นที่ประเทศเยอรมัน โดยใช้ข้อมูลเดือนธันวาคม ค.ศ. 1986 เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าที่วัดได้จากสถานีภาคพื้นดิน 26 แห่ง พบว่าค่ารังสีอาทิตย์รายวันที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อน 22% และความคลาดเคลื่อนนี้จะลดลงเหลือ 11% ในกรณีของการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน

ในด้านของการพัฒนาแบบจำลองทางฟิสิกส์เพื่อใช้คำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม Gautier et al. (1980) จากประเทศแคนาดา ได้เสนอแบบจำลองที่คำนึงถึงการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศ การดูดกลืนของโมเลกุลน้ำ รวมถึงการดูดกลืนและการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของเมฆด้วย และได้ใช้แบบจำลองดังกล่าวในการคำนวณรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม GOES ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของแคนาดาในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน ในปี ค.ศ. 1978 เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการวัดที่สถานีวัด ณ เมืองโทรอนโท มอนทริออล และออตตาวา พบว่าค่าจากการคำนวณแตกต่างจากการวัดภาคพื้นดินประมาณ 9%

สำหรับงานวิจัยในยุโรปได้มีการพัฒนาวิธีการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วยข้อมูลดาวเทียมอย่างกว้างขวางในช่วงทศวรรษ 1980 ทั้งในประเทศเยอรมันและฝรั่งเศส งานที่สำคัญ ได้แก่ การพัฒนาแบบจำลองเชิงฟิสิกส์ของ Dedieu et al. (1987) แห่งห้องปฏิบัติการศึกษาและวิจัยข้อมูลระยะไกลของศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ประเทศฝรั่งเศส แบบจำลองดังกล่าวจะพิจารณาการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและฝุ่นละออง และการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำและโอโซน คณะผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้คำนวณค่ารังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม METEOSAT ในเดือนมีนาคม เมษายน และกรกฎาคม ค.ศ. 1979 ในพื้นที่ครอบคลุมประเทศฝรั่งเศส ผลการวิจัยพบว่าค่ารังสีรวมรายชั่วโมงที่คำนวณได้โดยเฉลี่ยแตกต่างจากการวัดภาคพื้นดินประมาณ 20% นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้สร้างแผนที่รังสีอาทิตย์ของประเทศฝรั่งเศสในช่วงเวลา 12:00 – 13:00 น. ตามเวลามาตรฐานสากลของเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1979 ด้วย

การวิจัยที่สำคัญอีกโครงการหนึ่งในยุโรป ได้แก่ งานของ Moser และ Raschke (1984) แห่งมหาวิทยาลัยโคโลญ ประเทศเยอรมัน ซึ่งได้พัฒนาวิธีการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม METEOSAT ทั้งในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่างและรังสีอินฟราเรด แบบจำลองนี้ใช้ทฤษฎีการแผ่รังสี (radiative transfer theory) สำหรับคำนวณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีของเมฆและบรรยากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ จากนั้นได้ใช้วิธีดังกล่าวคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ ระหว่างวันที่ 1 - 30 มิถุนายน ค.ศ. 1979 และ 1 - 30 เมษายน ค.ศ. 1982 ครอบคลุมทวีปยุโรปและแอฟริกาเหนือ ผลการ

คำนวณพบว่าค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่คำนวณได้แตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัด ณ สถานีวัดภาคพื้นดิน คิดเป็นค่า RMSD เท่ากับ 0.25 - 0.28 kWh/m^2

นอกจากแบบจำลองทางฟิสิกส์ที่กล่าวไปแล้ว Cano et al. (1986) แห่ง Ecole Nationale Superieure des Mines ประเทศฝรั่งเศส ยังได้พัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติขึ้นอีกแบบจำลองหนึ่ง โดยการใช้แบบจำลองดังกล่าวนี้ต้องทำการสร้างแผนที่การสะท้อนของพื้นผิวโลก (ground albedo) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ จากนั้นใช้แผนที่ดังกล่าวเป็นแผนที่อ้างอิงสำหรับหาปริมาณเมฆในรูปของดัชนีเมฆ (cloud index) และสร้างสมการเอมไพริคัล (empirical equation) ของความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีเมฆกับค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดตามสถานีวัดภาคพื้นดิน จากการใช้แบบจำลองดังกล่าวคำนวณค่ารังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม METEOSAT ครอบคลุมพื้นที่ประเทศฝรั่งเศส ระหว่างวันที่ 1 - 23 เมษายน ค.ศ. 1982 และ 24 - 30 เมษายน ค.ศ. 1982 พบว่าค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่คำนวณได้มีความแตกต่างจากค่าที่วัดในรูปของ RMSD อยู่ในช่วง 50 - 67 Wh/m^2

สำหรับงานวิจัยในออสเตรเลีย บุคคลสำคัญที่พัฒนาการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ คือ Dr. Manuel Nunez แห่งมหาวิทยาลัย Tasmania ซึ่งมีผลงานวิจัยตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษ 1970 ต่อเนื่องกันมาจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างของงานที่สำคัญได้แก่ การพัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติเพื่อคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ในพื้นที่บริเวณรัฐ Tasmania ประเทศออสเตรเลีย พร้อมทั้งได้จัดทำแผนที่รังสีอาทิตย์ของรัฐ Tasmania จากค่ารังสีอาทิตย์ที่คำนวณได้ด้วย (Nunez, 1990) นอกจากนี้ ในช่วงปี ค.ศ. 1982 - 1983 Dr. Manuel Nunez ได้ทำการศึกษาค่ารังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม GMS ครอบคลุมพื้นที่เขตร้อนทางตอนเหนือของประเทศออสเตรเลีย โดยอาศัยแบบจำลองทางฟิสิกส์ที่พัฒนาขึ้นและได้สร้างแผนที่รังสีอาทิตย์ของบริเวณดังกล่าวขึ้นด้วย (Nunez et al., 1984)

งานวิจัยที่สำคัญอีกด้านหนึ่งของ Dr. Manuel Nunez คือการศึกษารังสีอาทิตย์ในบริเวณเขตร้อนทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย ตามโครงการ Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) ในโครงการดังกล่าว Dr. Manuel Nunez ได้พัฒนาแบบจำลองเชิงฟิสิกส์ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ในเขตร้อนได้ผลดี นอกจากนี้ Dr. Manuel Nunez ยังพบว่าฝุ่นละอองในบรรยากาศมีผลในการดูดกลืนและกระเจิงรังสีอาทิตย์ที่กรุงเทพฯ สูงถึง 19% (Nunez et al., 1984)

นอกจากการใช้ข้อมูลดิจิตอลจากดาวเทียมในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์แล้ว ในยุคต้น ๆ ของการวิจัยนักวิทยาศาสตร์บางท่านได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในรูปของภาพถ่ายเมฆเพื่อนำมาหาปริมาณเมฆและนำไปคำนวณค่ารังสีอาทิตย์โดยอาศัยสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆกับค่ารังสีอาทิตย์ที่วัดจากสถานีภาคพื้นดิน ตัวอย่างเช่น Mosalam และ Hassen (1990) แห่ง National Research of Astronomy and Geophysics ประเทศอียิปต์ ได้ใช้วิธีการดังกล่าวหาค่ารังสีอาทิตย์ของประเทศอียิปต์จากข้อมูลดาวเทียม METEOSAT

ในทวีปเอเชีย ได้มีการใช้ข้อมูลดาวเทียมหาค่ารังสีอาทิตย์ในประเทศปากีสถาน ญี่ปุ่น และไทย ในกรณีของประเทศปากีสถาน Malik and Mufti (1991) แห่ง National Institute of Silicon

Technology ได้ร่วมกับ College of Engineering, University of Miami ประเทศสหรัฐอเมริกา ทำการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ในประเทศปากีสถานจากข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา INSAT โดยอาศัยแบบจำลองของ Dedieu et al. (1987) งานวิจัยดังกล่าวใช้ข้อมูลเพียง 3 เดือน ได้แก่ เดือนสิงหาคมและตุลาคม ค.ศ. 1985 และเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1986 และได้สร้างแผนที่รังสีอาทิตย์โดยอาศัยวิธีดังกล่าวโดยมิได้มีการทดสอบหาความคลาดเคลื่อนของการคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับค่าจากสถานีวัดภาคพื้นดิน

ในประเทศญี่ปุ่น Otani et al. (1995) แห่ง Electrotechnical Laboratory ได้พัฒนาแบบจำลองกึ่งฟิสิกส์ (semi - physical model) สำหรับใช้คำนวณค่ารังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม แบบจำลองดังกล่าวใช้การสร้างความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่สถานีวัดภาคพื้นดินกับรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากบรรยากาศโลกซึ่งดาวเทียมวัดได้ และค่าการสะท้อนของพื้นผิวโลก โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดภาคพื้นดิน 14 แห่ง ในประเทศญี่ปุ่น เพื่อหาค่าคงที่ในแบบจำลอง คณะผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองดังกล่าวคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่นจากข้อมูลดาวเทียม GMS-4 ระหว่างเดือนมกราคม ค.ศ. 1992 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 1993 ผลการวิจัยพบว่าค่ารังสีอาทิตย์สะสมตลอดทั้งเดือนโดยเฉลี่ยมีความแตกต่างจากค่าที่วัดจากสถานีวัดภาคพื้นดินประมาณ 10% นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังได้ใช้แบบจำลองดังกล่าวสร้างแผนที่รังสีอาทิตย์ของพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกของทวีปเอเชียด้วย

สำหรับกรณีของประเทศไทย Sorapipatana et al. (1988) แห่ง Asian Institute of Technology ได้พัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์ที่ดาวเทียมวัดได้กับรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกโดยได้ใช้ข้อมูลดาวเทียม GMS-3 ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดช่วยในการหาปริมาณเมฆ จากการทดสอบแบบจำลองพบว่าค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงและรายวันที่คำนวณได้มีค่าความคลาดเคลื่อน 12% และ 14% ตามลำดับ จากนั้น Sorapipatana และ Exell (1989) ได้ใช้แบบจำลองดังกล่าวคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ครอบคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และได้สร้างแผนที่รังสีอาทิตย์จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วย แต่ข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในงานดังกล่าวเป็นข้อมูลระยะสั้นเพียง 4 เดือน ได้แก่ เดือนพฤศจิกายน - ธันวาคม ค.ศ. 1986 มกราคม ค.ศ. 1987 และสิงหาคม ค.ศ. 1987 และข้อมูลที่ใช้ในแต่ละเดือนมีเพียง 9 - 11 วัน ทำให้แผนที่ดังกล่าวไม่สามารถใช้เป็นตัวแทนทางสถิติในงานทางพลังงานแสงอาทิตย์ได้ นอกจากนี้ แผนที่ที่สร้างขึ้นนี้มิได้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ แต่ครอบคลุมเพียงพื้นที่ภาคใต้ถึงจังหวัดสุราษฎร์ธานีเท่านั้น

Isalam และ Exell (1996) ได้ทดลองใช้ข้อมูล Analog Weather Facsimile (WEFAX) ของดาวเทียม GMS โดยการตั้งสถานีรับภาพขนาดเล็กขึ้นเองเพื่อนำมาคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ แต่ภาพที่ใช้มีความละเอียดต่ำและผลการคำนวณรังสีอาทิตย์รายวันมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 6 - 19% ของค่าเฉลี่ย

ในปี ค.ศ. 1996 Schulze-kegel และ Heidt แห่งภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย Siegen ประเทศเยอรมัน ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม METEOSAT ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงและรายวันด้วยวิธีการของ Cano et al. (1986) โดยวิธีการนี้จะใช้ดัชนีปริมาณเมฆที่ปกคลุม (cloud cover index, n^t) ในบริเวณที่จะหาค่ารังสีอาทิตย์มาคำนวณด้วยวิธีทางสถิติ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการ

วัดภาคพื้นดิน 4 สถานี ผลที่ได้พบว่าค่ารังสีอาทิตย์รวมรายวันมีความคลาดเคลื่อน 7% ในช่วงเดือนสิงหาคม ค.ศ. 1994 และ 15% ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1995 สำหรับค่ารังสีอาทิตย์รวมเฉลี่ยรายเดือนมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 100 Wh/m^2

Malik และคณะ (1998) ได้จัดทำแผนที่รังสีอาทิตย์ของปากีสถาน ด้วยภาพจากช่องสัญญาณ visible infrared spin scan radiometer (VISSR) ของดาวเทียม INSAT ที่เวลา 11:00 น. ของข้อมูลปี ค.ศ. 1985 - 1986 โดยใช้แบบจำลองการส่งผ่านรังสีของ Dedieu et al. (1987) โดยแบบจำลองนี้ได้คำนึงถึงผลจากการดูดกลืนและการสะท้อนของเมฆ ผลที่ได้พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศปากีสถานมีความแตกต่างกันในแต่ละส่วนของประเทศและในบางส่วนของประเทศปากีสถานมีศักยภาพพอที่จะพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้

Mefti et al. (2008) ได้สร้างแบบจำลอง SICIC โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม METEOSAT ร่วมกับการวัดรังสีอาทิตย์จากพื้นดินในหลาย ๆ จุดของประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1994 – 1995 โดยมีการแบ่งมุมเซนิธของดวงอาทิตย์และลักษณะของเมฆออกเป็นหลาย ๆ แบบ แล้วจึงคำนวณดัชนีความแจ่มใส (clearness index) และใช้สมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อหาแบบจำลองตามลักษณะของเมฆ แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง GISTEL จากผลการวิจัยพบว่าที่มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ 15° - 75° ข้อมูลรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง SICIC มีความผิดพลาดประมาณ 12 - 32% และที่ได้จากแบบจำลอง GISTEL มีความผิดพลาดประมาณ 14 - 44%

Zarzalejo et al. (2009) แห่งแผนกพลังงานของ CIEMAT ประเทศสเปน ได้นำแบบจำลอง Heliosat-2 มาปรับปรุงใหม่ ด้วยการคำนวณหาดัชนีความแจ่มใสและดัชนีเมฆ (cloud index) จากข้อมูลของ HRI-VIS METEOSAT ในเดือนมกราคม ค.ศ. 1994 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2004 และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินที่แบ่งตามดัชนีเมฆ จำนวน 28 สถานี กระจายตามจุดต่าง ๆ ทั่วประเทศสเปน ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถคำนวณรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงได้ผลดี โดยมีความผิดพลาดลดลงจาก 21% เหลือ 17%

สำหรับประเทศไทยมีการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมในปี ค.ศ. 2005 (Janjai et al. 2005) ซึ่งใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS-4 และ GMS-5 จำนวน 6 ปี รวมเป็นข้อมูลประมาณ 1 หมื่นภาพ เพื่อทำการหาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน เมื่อเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณและค่าจากการวัด 4 สถานี พบว่ามีความคลาดเคลื่อนในรูปของ RMSD เท่ากับ 5% จากนั้นได้นำค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองมาจัดแสดงในรูปแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย แผนที่ดังกล่าวช่วยให้ทราบการกระจายพื้นที่ของความเข้มรังสีอาทิตย์ในเดือนต่าง ๆ และค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปี

จากนั้น Janjai et al. (2011) ได้พัฒนากระบวนการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศกัมพูชา โดยใช้การคำนวณจากภาพถ่ายดาวเทียมระยะยาว (ค.ศ. 1995 – ค.ศ. 2008) ร่วมกับค่าตัวแปรทางบรรยากาศ เช่น ไอน้ำ โอโซน และ ฝุ่นละออง และสร้างแบบจำลองที่คำนึงถึงการดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ของชั้นบรรยากาศโลก ซึ่งพบว่าศักยภาพของรังสีอาทิตย์ของประเทศกัมพูชาเฉลี่ยมีค่าสูงถึง 18.3 MJ/m^2-day

ต่อมาในปี ค.ศ. 2013 Janjai et al. (2013) ได้พัฒนาแบบจำลองการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากดาวเทียมเพิ่มเติมโดยใช้กระบวนการสะท้อนกลับของชั้นบรรยากาศ (multiple reflection) ในส่วนของการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศทำให้ได้ความแม่นยำของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่คำนวณได้ดีขึ้น จากนั้นนำข้อมูลดาวเทียมระยะยาว (ค.ศ. 1995 – ค.ศ. 2009) ที่ประกอบด้วยดาวเทียม GMS-4 GMS-5 GOES-9 และ MTSAT-1R มาคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศไทย พบว่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยมีค่าสูงในช่วง 18 - 20 MJ/m^2-day

Alonso-Montesinos et al. (2015) คำนวณความเข้มรังสีรวม รังสีตรง และรังสีกระจาย แบบเรียลไทม์ราย 15 นาที ที่สถานีวัด 1 แห่ง ในประเทศสเปน จากข้อมูลดาวเทียม Heliosat-2 และ Heliosat-8 โดยเริ่มจากการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆจากค่า Linke turbidity ส่วนในกรณีท้องฟ้ามีเมฆจะนำความเข้มรังสีอาทิตย์กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆคูณด้วยค่าการส่งผ่านรังสีของเมฆซึ่งหาได้จากค่าดัชนีเมฆ (cloud index) ผลจากงานวิจัยนี้พบว่าค่าความเข้มรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวมที่คำนวณได้มีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดในรูปของ RMSD และ Mean Bias Different (MBD) เท่ากับ 173.99 และ 108.51 W/m^2 110.82 และ -57.11 W/m^2 และ 90.38 และ 43.63 W/m^2 ตามลำดับ

ในส่วนของรังสีกระจาย Charuchittipan et al. (2018) ทำการพัฒนาแบบจำลองการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กระจายในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดสำหรับประเทศไทย โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Himawari (ค.ศ. 2006 – ค.ศ. 2015) ผลการดำเนินงานพบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กระจายในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดที่คำนวณได้จากดาวเทียมเทียบกับค่าที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินมีค่าความคลาดเคลื่อนในรูป RMSD เท่ากับ 16.7% และ MBD เท่ากับ 1.5%

นอกจากนี้ ในปัจจุบันมีการนำการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) มาใช้ในการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดย Jiang et al. (2019) ได้ทำการพัฒนาการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากดาวเทียมด้วยกระบวนการการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ซึ่งใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ของดาวเทียมแบบ geostationary โดยนำวิธีการดังกล่าวมาคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 90 ตำแหน่ง ในประเทศจีน จากผลที่ได้พบค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนในรูปของ RMSD เท่ากับ 1.08 MJ/m^2 ต่อมา Karaman et al. (2021) ได้เปรียบเทียบผลการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เมือง Karaman ประเทศตุรกี โดยใช้วิธีการ extreme learning machine (ELM) และวิธี Artificial neural network (ANN) จากข้อมูลปี ค.ศ. 2010-2018 ผลการวิจัยพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่คำนวณโดยใช้วิธีการ ELM ให้ผลที่ดีกว่าวิธีการ ANN

Bounoua et al. (2021) ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณความเข้มรังสีรวมรายวันที่ 5 สถานี ได้แก่ Oujda Missour Erfoud Zagora และ Tan-Tan ในประเทศโมร็อกโก โดยใช้แบบจำลองเอมไพริคัล จำนวน 22 แบบจำลอง โดยในแบบจำลองเหล่านี้มีการใช้ตัวแปรต่าง ๆ กัน เช่น ความเข้มรังสี

รวมนอกบรรยากาศโลก อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันอากาศ และวิธีการ machine learning จำนวน 4 แบบจำลอง ได้แก่ ANN Boosting Bagging และ Random Forest (RF) ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าในกรณีการใช้แบบจำลองเอมไพริคัลให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก โดยแบบจำลองที่ใช้ความเข้มรังสีรวมนอกบรรยากาศโลกร่วมกับอุณหภูมิอากาศให้ผลดีที่สุด ส่วนการใช้วิธีการ machine learning พบว่าให้ผลการคำนวณดีกว่าแบบจำลองเอมไพริคัล โดยแบบจำลอง Random Forest ให้ผลดีที่สุด

Chen et al. (2021) พัฒนากระบวนการ RF เพื่อคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากดาวเทียม GOES-16 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 km และความละเอียดเชิงเวลา 0.5 ชั่วโมง ในเขตชายฝั่งของอเมริกา ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดมีค่า RMSD MBD และ R^2 เท่ากับ 0.95 W/m^2 66.92 W/m^2 และ 0.06 ตามลำดับ ต่อมา Chen et al. (2022) ได้พัฒนากระบวนการดังกล่าวร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม และใช้ข้อมูลในช่องสัญญาณรังสีความร้อนมาปรับปรุงความถูกต้อง ซึ่งทำให้ได้ความถูกต้องสูงขึ้น โดยมี R^2 เท่ากับ 0.88 RMSD เท่ากับ 37.81 W/m^2 และ MBD เท่ากับ 0.01 W/m^2

กรณีประเทศไทย กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานได้คัดเลือกให้มหาวิทยาลัยศิลปากรดำเนินการจัดทำแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2540 (Janjai et al., 2005) โดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS-4 และ GMS-5 และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ในงานนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองทางฟิสิกส์สำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงเหมาะสมกับการใช้งานในเขตร้อนชื้นที่มีฝุ่นละอองมาก โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1993 – 1998 (ระยะเวลารวม 6 ปี) แบบจำลองดังกล่าวพิจารณากระบวนการดูดกลืนและการสะท้อนรังสีอาทิตย์เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ ได้แก่ ไอน้ำ เมฆ ฝุ่นละออง และพื้นผิวโลก สำหรับตัวแปรอินพุทที่สำคัญที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากโอโซน ฝุ่นละออง และไอน้ำ และสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง พื้นผิวโลก และบรรยากาศ จากผลการทดสอบแบบจำลองพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดในรูปของ RMSD เท่ากับ 6.8%

เนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นในปี พ.ศ. 2560 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับมหาวิทยาลัยศิลปากรจึงได้ดำเนินการปรับปรุงแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน (Janjai et al., 2013) โดยใช้ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 1995 – 2009 (ระยะเวลารวม 15 ปี) ในงานนี้มีการปรับปรุงแบบจำลองจากเดิมโดยพิจารณาการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากก๊าซในบรรยากาศและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทั้งขาลงและขาขึ้นเนื่องจากบรรยากาศ ซึ่งทำให้แบบจำลองมีความเสมือนจริงมากขึ้นและได้ผลการทดสอบแบบจำลองที่ดีขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างเมื่อเทียบกับข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินในรูปของ RMSD เท่ากับ 5.3%

ในปัจจุบันสภาวะแวดล้อมทางภูมิศาสตร์และบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและการบริหารจัดการพื้นที่ เพื่อให้แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์มีความทันสมัยจึงควรมีการปรับปรุงข้อมูลทุก ๆ 5 ปี ดังนั้นกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับมหาวิทยาลัยศิลปากรจึงได้

ดำเนินการ ปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยให้ทันสมัยขึ้น ในการดำเนินงานดังกล่าวจำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองทางฟิสิกส์สำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมและทำการ ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่สร้างขึ้นซึ่งในกระบวนการนี้ต้องใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการ วัดภาคพื้นดินที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุง รวมถึงการ สอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินให้มีความพร้อมใช้งานและวัดค่าได้ถูกต้อง ซึ่งค่าความเข้มรังสี อาทิตย์นี้จะใช้เป็นอินพุทในการทดสอบแบบจำลอง สำหรับรายละเอียดของการตรวจสอบ การซ่อมบำรุง และ การสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ พร้อมทั้งรายละเอียดของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง และฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย แสดงไว้ในบทถัดไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัยและผล

ในงานพัฒนาและปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำไปใช้ในการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และปรับปรุงข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยเพื่อนำไปเก็บในฐานข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน มีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

3.1 งานจัดหาข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดินที่จำเป็นต้องใช้ในการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.1)

3.1.1 การจัดหาข้อมูลการสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 10 ปี (ตาม TOR ข้อ 5.1 (1))

ในการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องทราบข้อมูลองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ ได้แก่ เมฆ ไอน้ำ โอโซน ฝุ่นละออง และโมเลกุลอากาศ ซึ่งมีผลต่อการลดทอนรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกผ่านกระบวนการดูดกลืนและการกระเจิง โดยค่าความสามารถในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ขององค์ประกอบต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ ส่วนค่ารังสีอาทิตย์ที่สะท้อนกลับสู่อวกาศซึ่งรวมถึงการสะท้อนจากเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก สามารถวัดได้ด้วยดาวเทียม ดังนั้นในงานนี้ผู้ดำเนินงานจึงเลือกใช้ข้อมูลดาวเทียมในการหาค่าการสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย

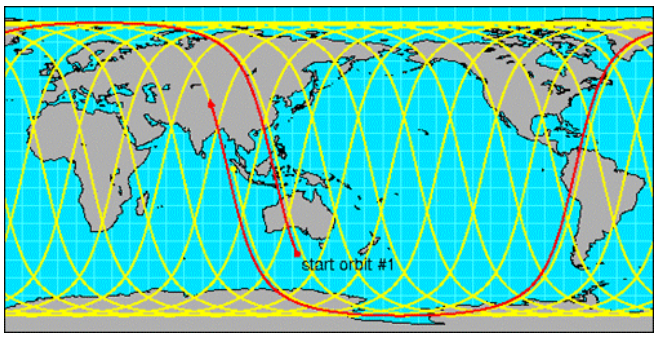
ในปัจจุบันมีดาวเทียมอยู่หลายประเภท เช่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ดาวเทียมสื่อสาร และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น แต่ข้อมูลดาวเทียมที่เหมาะสมในการหาค่าการสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก สำหรับใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์คือข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ทั้งนี้เพราะดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจะบันทึกภาพของโลกและเมฆที่ปกคลุมบริเวณต่าง ๆ ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก โดยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

1) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบโคจรผ่านขั้วโลก (polar orbiting satellite) ดาวเทียมประเภทนี้เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรอยู่ในแนวขั้วโลก (รูปที่ 3.1) เนื่องจากขณะที่ดาวเทียมโคจรจากขั้วโลกเหนือไปขั้วโลกใต้ โลกจะหมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ดังนั้นใน 1 วัน ดาวเทียมจะสามารถบันทึกภาพครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นผิวโลกได้ (รูปที่ 3.2) โดยทั่วไปดาวเทียมดังกล่าวจะมีวงโคจรสูงจากพื้นผิวโลกเพียง 850 km ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (250 m^2) แต่ดาวเทียมเหล่านี้จะโคจรผ่านพื้นที่หนึ่ง ๆ เพียง 1 - 2 ครั้งต่อวันเท่านั้น ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมประเภทนี้จึงไม่

เหมาะสมต่อการนำมาใช้หาค่าการสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก ซึ่งมีการแปรค่าค่อนข้างสูงในรอบวัน

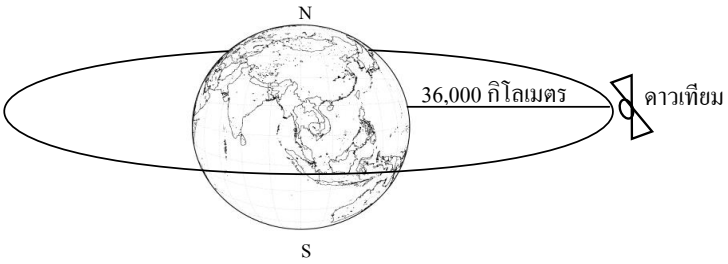


รูปที่ 3.1 วงโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบโคจรผ่านขั้วโลก เมื่อ N และ S เป็นขั้วโลกเหนือและใต้ตามลำดับ

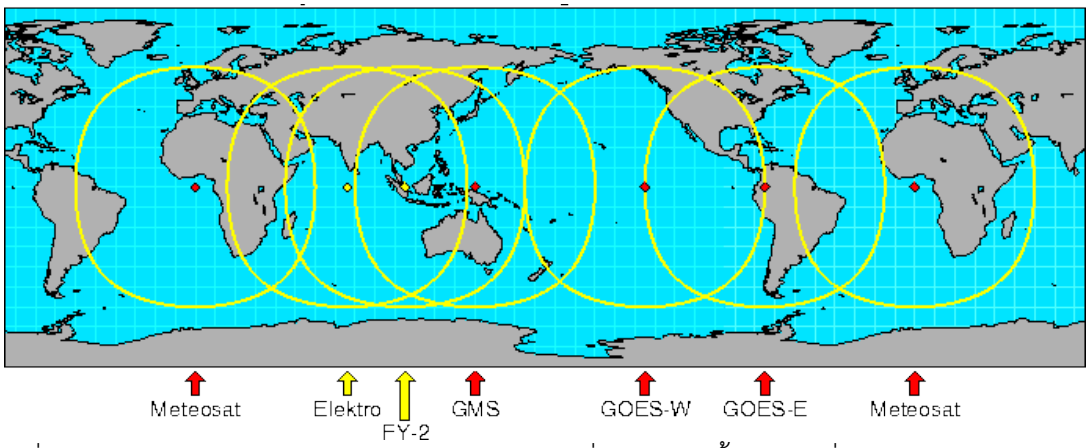


รูปที่ 3.2 ลักษณะเส้นทางการโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบโคจรผ่านขั้วโลกในรอบวัน (https://ral.ucar.edu/~djohnson/satellite/coverage.html#global_coverage)

2) ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับพื้นผิวโลก (geostationary satellite) ดาวเทียมประเภทนี้จะอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรของโลกประมาณ 36,000 km (รูปที่ 3.3) และโคจรในทิศเดียวกับการหมุนรอบตัวเองของโลกด้วยความเร็วเชิงมุมเท่ากับโลก ทำให้ดาวเทียมเสมือนอยู่กับที่เมื่อเทียบกับพื้นผิวโลก ดาวเทียมจึงสามารถบันทึกภาพสภาวะของบรรยากาศของโลก ณ ตำแหน่งเดิมได้ทุกชั่วโมงตลอดวัน เนื่องจากสัญญาณภาพที่ได้จะเป็นภาพของสภาวะของบรรยากาศครอบคลุมพื้นที่เพียงซีกหนึ่งของโลก ดังนั้นองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกจึงได้ประสานงานกับประเทศต่าง ๆ ให้มีดาวเทียมประเภทนี้กระจายกันอยู่รอบโลก (รูปที่ 3.4) เพื่อให้สามารถสังเกตการณ์สภาวะทางอุตุนิยมวิทยาครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก เนื่องจากดาวเทียมเหล่านี้สามารถบันทึกภาพบรรยากาศที่ตำแหน่งเดิมของโลกได้ 1 - 2 ภาพต่อชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของเมฆและบรรยากาศได้



รูปที่ 3.3 วงโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับพื้นผิวโลก



รูปที่ 3.4 ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับพื้นผิวโลกที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของโลก (https://ral.ucar.edu/~djohnson/satellite/geo_coverage2.html)

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับพื้นผิวโลกที่ให้ข้อมูลครอบคลุมประเทศไทยประกอบด้วย ดาวเทียม Elektro ดาวเทียม FY-2 และดาวเทียม GMS โดยดาวเทียม Elektro เป็นดาวเทียมของประเทศรัสเซีย ที่ปล่อยสู่อวกาศตั้งแต่ปี ค.ศ. 1994 แต่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของดาวเทียมหลายครั้ง ดังนั้นจึงไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน ส่วนดาวเทียม FY-2 เป็นดาวเทียมของประเทศจีนซึ่งปล่อยสู่อวกาศเมื่อปี ค.ศ. 1997 และดาวเทียม GMS ซึ่งเป็นดาวเทียมของประเทศญี่ปุ่น ปล่อยสู่อวกาศเมื่อปี ค.ศ. 1977 โดยดาวเทียมของทั้งสองประเทศนี้ยังคงทำงานอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

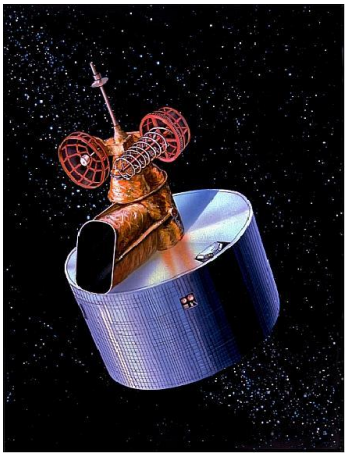
สำหรับประเทศไทย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ สทอภ. (GISTDA) เป็นหน่วยงานซึ่งรับผิดชอบในการใช้ข้อมูลเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ การเกษตร สิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการน้ำ และภัยพิบัติต่าง ๆ ปัจจุบันเป็นหน่วยงานที่ควบคุมดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) หรือดาวเทียมธีออส (Thailand Earth Observation Satellite, THEOS) ซึ่งเป็นดาวเทียมแบบ Low earth orbit ที่โคจรสูงจากพื้นโลกประมาณ 822 km โดยมีวงโคจรรอบโลกซ้ำแนวโคจรเดิมทุก 26 วัน อุปกรณ์วัดที่ติดตั้งบนดาวเทียม THEOS ทำงานในช่วงความยาวคลื่น 0.45 - 0.90 μm อย่างไรก็ตามเนื่องจากดาวเทียม THEOS เป็นดาวเทียมที่มี

วงโคจรอยู่ในระดับต่ำและโคจรผ่านประเทศไทยเพียงวันละ 1 เวลาเท่านั้น ทำให้ข้อมูลภาพดาวเทียมที่ได้จากดาวเทียม THEOS ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการคำนวณหาความเข้มรังสีอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จำเป็นต้องทราบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเมฆและสภาพอากาศตลอดเวลาตั้งแต่เวลาเช้าถึงเย็น จึงทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการคำนวณปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเวลาต่าง ๆ ได้

ในงานนี้ผู้ดำเนินงานเลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับพื้นผิวโลกของประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากผู้ดำเนินงานมีประสบการณ์ในการประมวลผลข้อมูลดังกล่าวมาก่อน สำหรับช่วงเวลาของข้อมูลที่ได้โดยทั่วไปในการศึกษาสภาพภูมิอากาศ (climatology) ซึ่งเป็นการศึกษาการแปรค่าของตัวแปรหนึ่ง ๆ จะนิยมใช้ข้อมูลระยะยาว 30 ปีย้อนหลัง (Matthews et al., 2021; Shepherd et al., 2020) และทำทุก ๆ รอบ 10 ปี เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในแต่ละช่วงเวลา อย่างไรก็ตามในงานนี้ผู้ดำเนินงานเลือกใช้ข้อมูลจำนวน 20 ปี เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านข้อมูลดาวเทียมที่จะใช้ในแบบจำลอง

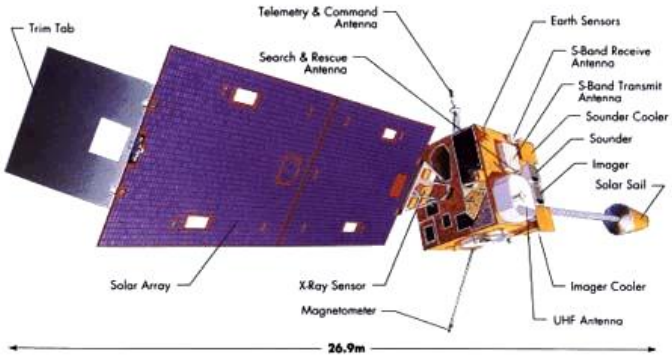
ผู้ดำเนินงานได้จัดหาและรวบรวมข้อมูลจากดาวเทียมของประเทศญี่ปุ่นทั้งหมด 4 ดวง ได้แก่ ดาวเทียม GMS-5 (ระหว่างปี ค.ศ. 2001 - ค.ศ. 2002) GOES-9 (ระหว่างปี ค.ศ. 2003 - 2006) MTSAT (ระหว่างปี ค.ศ. 2007 - 2015) และ Himawari (ระหว่างปี ค.ศ. 2016 - ค.ศ. 2020) รวมระยะเวลา 20 ปี รายละเอียดของดาวเทียมแต่ละดวงมีดังนี้

- ดาวเทียม GMS-5 (รูปที่ 3.5) ทำงานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 - 2005 เป็นดาวเทียมที่อยู่นิ่งเหนือพื้นผิวโลก ณ ตำแหน่งลองจิจูด 140°E มีช่องสัญญาณ 4 ช่อง ได้แก่ ช่องแสงสว่าง (Visible) ความยาวคลื่นในช่วง 0.55 – 0.90 μm ช่องอินฟราเรด IR1 (10.5 – 11.5 μm) IR2 (11.5-12.5 μm) และ IR3 (6.5 – 7.0 μm) โดยข้อมูลในช่องสัญญาณแสงสว่างจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 3 × 3 km^2 และช่องสัญญาณอินฟราเรดมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 × 5 km^2 ในส่วนของความละเอียดเชิงเวลา ดาวเทียมดวงนี้ให้ข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง



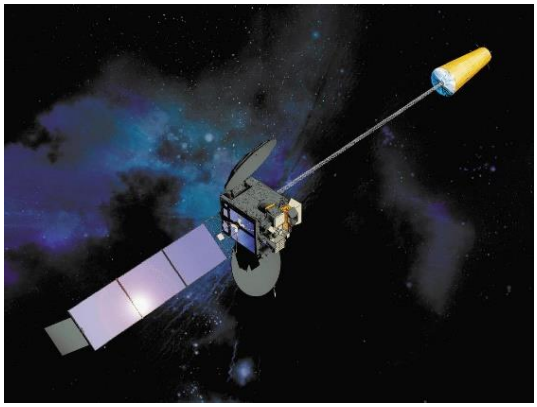
รูปที่ 3.5 ดาวเทียม GMS-5 (https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/introduction/history.html)

- ดาวเทียม GOES-9 (รูปที่ 3.6) เป็นดาวเทียมของสหรัฐอเมริกาที่ย้ายมาเพื่อช่วยบันทึกสภาวะอากาศแทนที่ดาวเทียม GMS-5 โดยประจำตำแหน่งอยู่ที่ลองจิจูด 155°E มีช่วงการใช้งานระหว่างปี ค.ศ. 2003 – 2006 ดาวเทียมนี้มีช่องสัญญาณเหมือนกับดาวเทียม GMS-5 และเพิ่มช่องสัญญาณอินฟราเรดอีกหนึ่งช่อง ได้แก่ IR4 มีความยาวคลื่นในช่วง 3.8 – 4.0 μm ข้อมูลในช่องแสงสว่างและอินฟราเรดมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 3 × 3 km^2 และ 5 × 5 km^2 ตามลำดับ และทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง



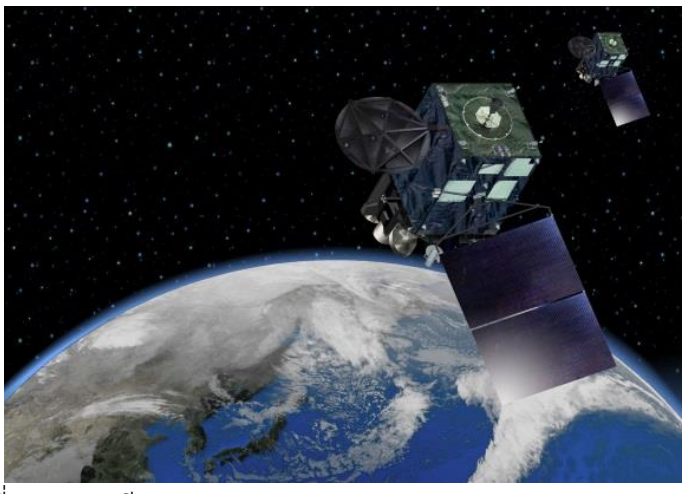
รูปที่ 3.6 ดาวเทียม GOES-9 (https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/introduction/history.html)

- ดาวเทียม MTSAT (รูปที่ 3.7) อยู่ในช่วง ค.ศ. 2007 - 2015 ที่ตำแหน่งลองจิจูด 155°E ประกอบด้วยช่องสัญญาณแสงสว่าง 1 ช่องสัญญาณ (0.55 - 0.90 μm) และช่องสัญญาณอินฟราเรด 4 ช่อง ได้แก่ IR1 (10.3 – 11.3 μm) IR2 (11.5 – 12.5 μm) IR3 (6.5 – 7.0 μm) และ IR4 (3.5 – 4.0 μm) ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 × 1 km^2 สำหรับช่องแสงสว่าง และ 4 × 4 km^2 สำหรับช่องสัญญาณอินฟราเรด ดาวเทียม MTSAT จะทำการบันทึกค่าทุก ๆ 30 นาที ตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง



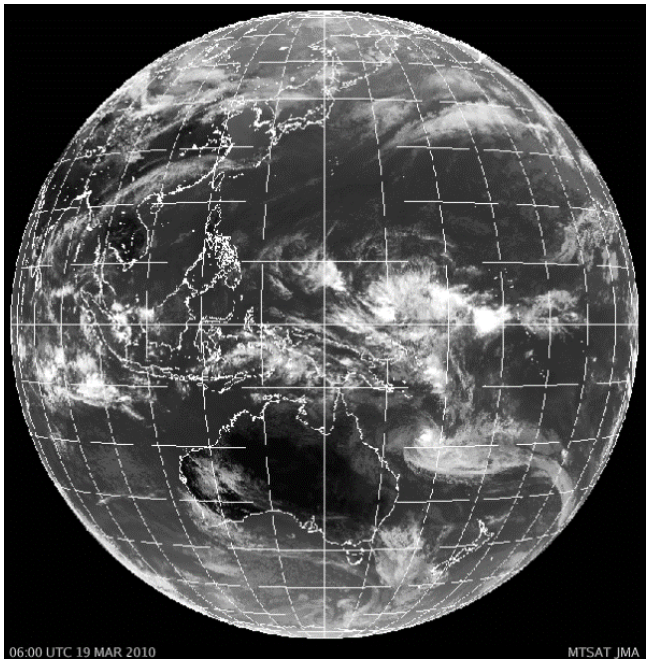
รูปที่ 3.7 ดาวเทียม MTSAT (https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/introduction/history.html)

- ดาวเทียม Himawari เป็นดาวเทียมที่ใช้งานในปัจจุบัน โดยมีข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 2016 โคจรอยู่ ณ ตำแหน่งลองจิจูด 140°E ดาวเทียมนี้มีการวัดที่แตกต่างจากดาวเทียมอื่น ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น นั่นคือจะทำการวัดสัญญาณที่ความยาวคลื่นเฉพาะ โดยช่องสัญญาณแสงสว่างจะวัดที่ 3 ความยาวคลื่น ได้แก่ 0.47 μm 0.51 μm และ 0.64 μm ช่องอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) 3 ความยาวคลื่น ได้แก่ 0.86 μm 1.6 μm และ 2.3 μm ส่วนช่องสัญญาณอินฟราเรดมี 10 ช่องสัญญาณ ได้แก่ 3.9 μm 6.2 μm 6.9 μm 7.3 μm 8.6 μm 9.6 μm 10.4 μm 11.2 μm 12.4 μm และ 13.3 μm ความละเอียดเชิงพื้นที่ของช่องแสงสว่าง ช่องอินฟราเรดใกล้ และช่องอินฟราเรดมีค่า 1×1 km^2 2×2 km^2 และ 2×2 km^2 ตามลำดับ



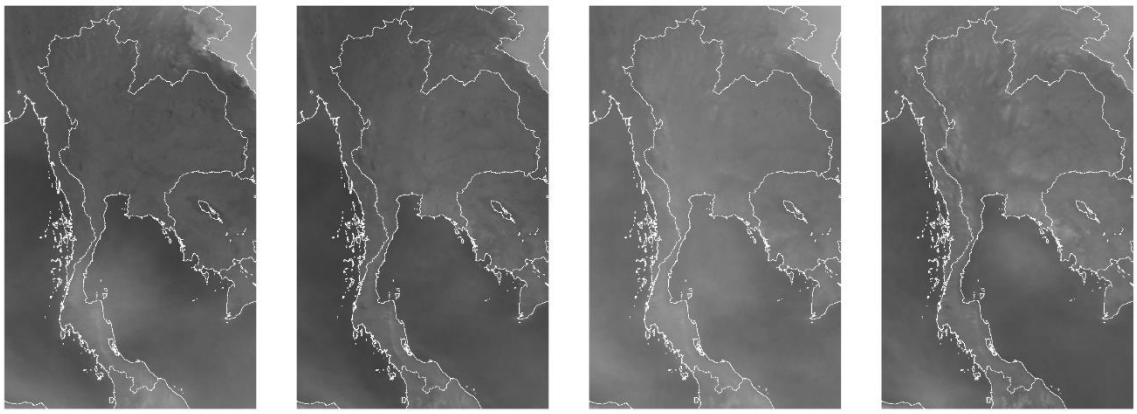
รูปที่ 3.8 ดาวเทียม Himawari (https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/satellite/introduction/history.html)

ในการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้ดำเนินงานได้ทำการรวบรวมข้อมูลในช่องสัญญาณแสงสว่างจากดาวเทียมเหล่านี้ ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณในช่องแสงสว่างเป็นข้อมูลที่มีความสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของรังสีอาทิตย์เนื่องจากเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก โดยจะเลือกข้อมูลระหว่างเวลา 8:00 – 16:00 น. (รวม 8 ภาพต่อวัน) ซึ่งเป็นเวลากลางวันที่ภาพดาวเทียมแสดงให้เห็นสภาวะของเมฆและบรรยากาศทั่วประเทศไทย (รูปที่ 3.9) สำหรับข้อมูลในช่วงเวลากลางคืน ช่วงเช้าตรู่ และช่วงเย็น ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์อยู่ค่อนข้างต่ำหรืออยู่ขอบฟ้า จะไม่นำข้อมูลมาใช้งาน เนื่องจากภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นเงามืดหรือดำสนิททั้งภาพ

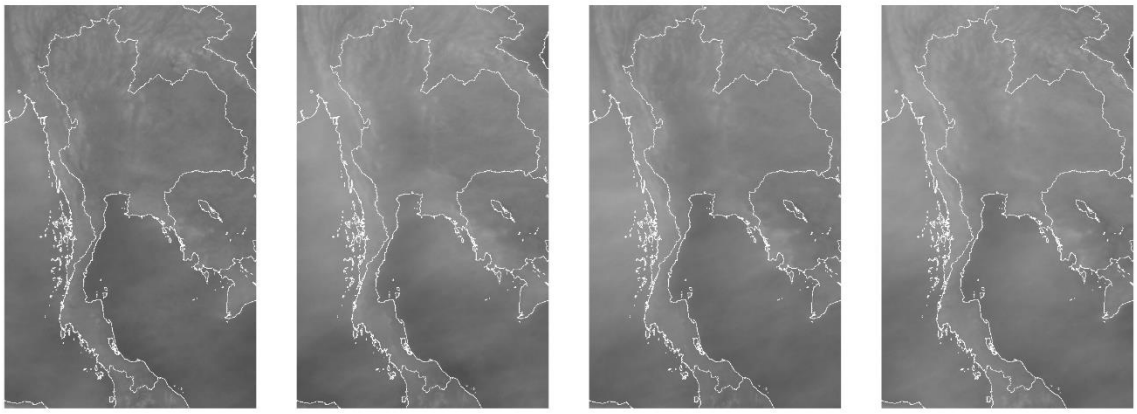


รูปที่ 3.9 ตัวอย่างภาพจากดาวเทียม MTSAT-1R ในช่องสัญญาณแสงสว่าง

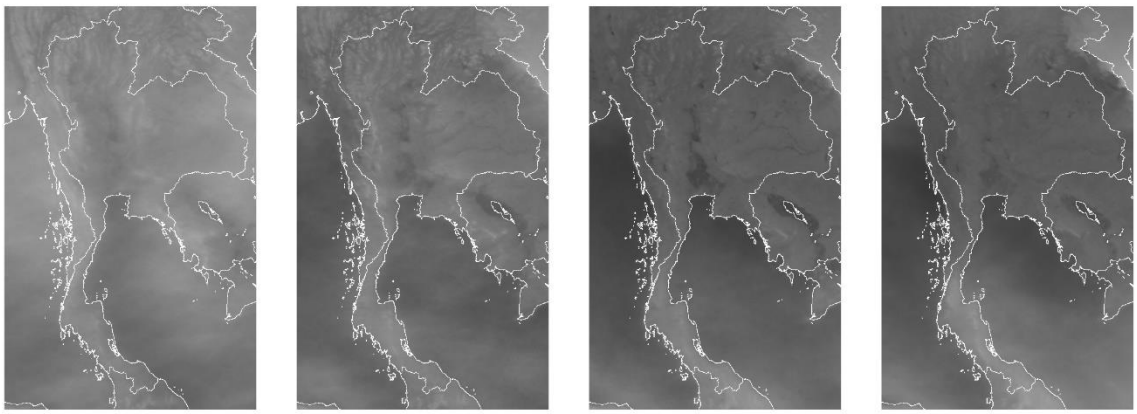
ผู้ดำเนินงานได้นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือนเพื่อใช้ในการหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์สำหรับแบบจำลองการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ ตัวอย่างข้อมูลดาวเทียมที่จัดหามาระหว่างปี ค.ศ. 2011 – ค.ศ. 2020 แสดงดังรูปที่ 3.10 จากรูปจะเห็นแถบสีขาวดำหรือเรียกว่า gray level โดยสีขาวแสดงบริเวณที่มีค่าการสะท้อนของแสงในช่องแสงสว่างสูงซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นบริเวณที่มีเมฆมาก ส่วนสีดำแสดงบริเวณที่มีการสะท้อนต่ำหรือเป็นบริเวณที่ไม่มีเมฆ



January, 2011 February, 2011 March, 2011 April, 2011

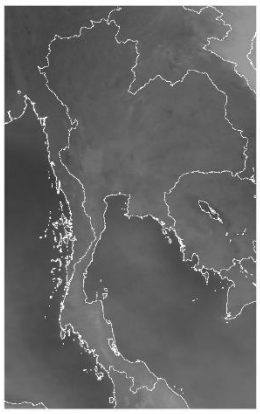


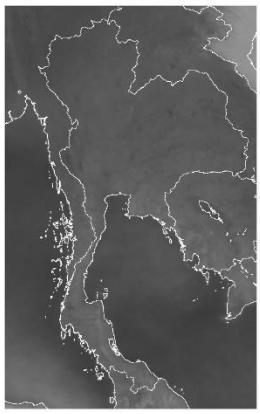
May, 2011 June, 2011 July, 2011 August, 2011

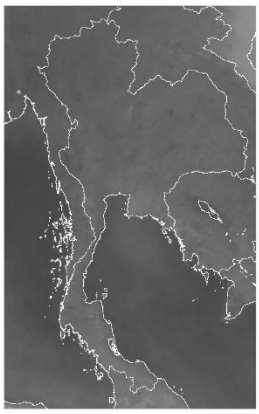


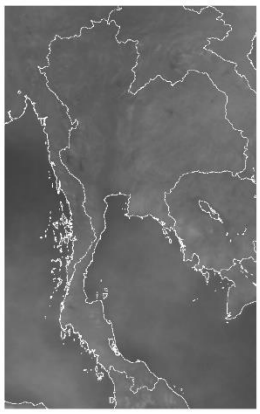
September, 2011 October, 2011 November, 2011 December, 2011

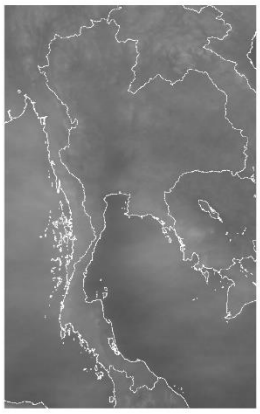
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งผู้ดำเนินงานจะนำมาใช้ในการทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

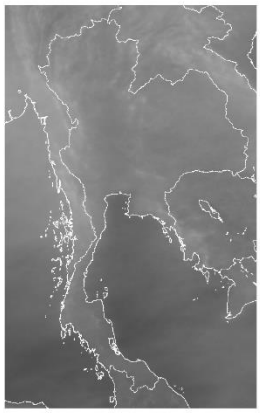

January, 2012

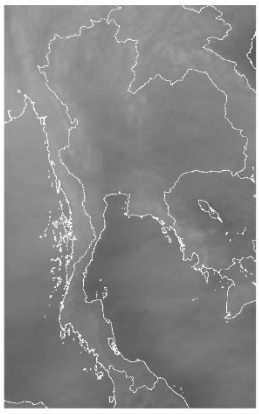

February, 2012

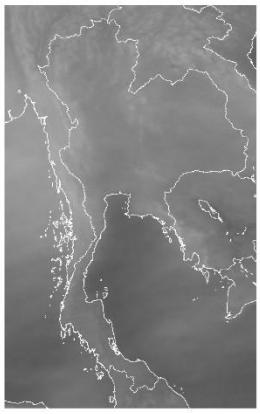

March, 2012

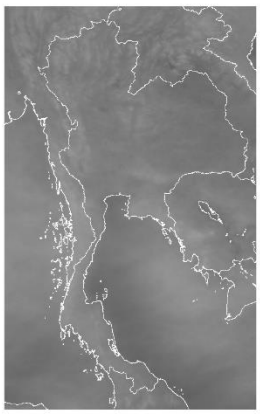

April, 2012

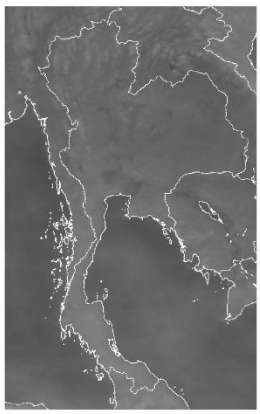

May, 2012

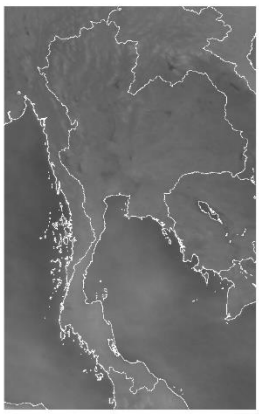

June, 2012

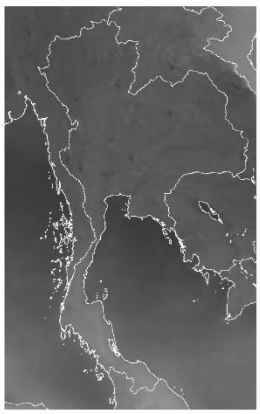

July, 2012


August, 2012

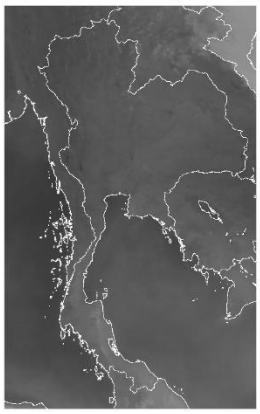

September, 2012


October, 2012

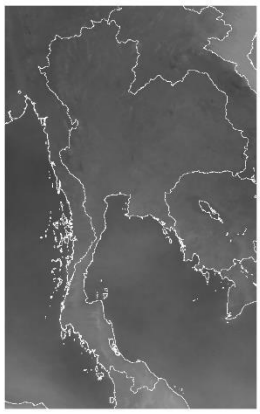

November, 2012


December, 2012

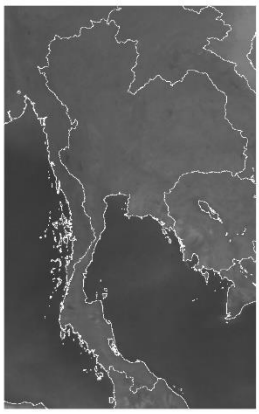
รูปที่ 3.10 (ต่อ)



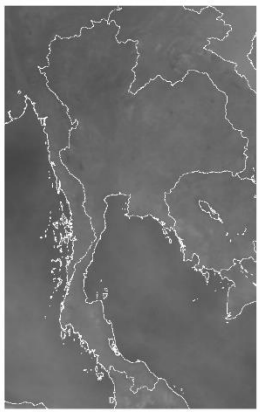
January, 2013



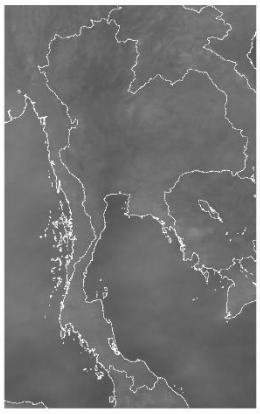
February, 2013



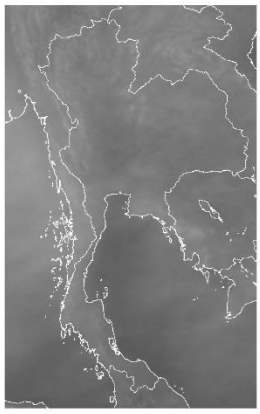
March, 2013



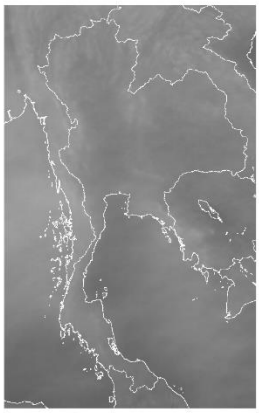
April, 2013



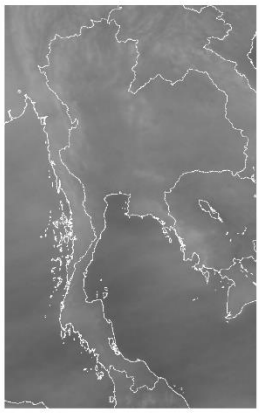
May, 2013



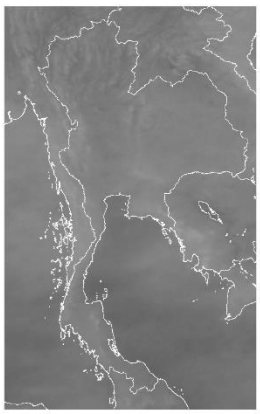
June, 2013



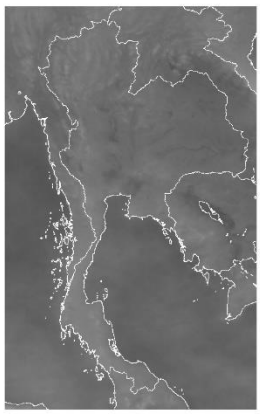
July, 2013



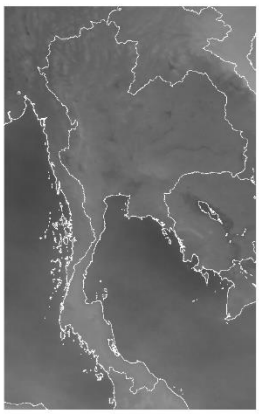
August, 2013



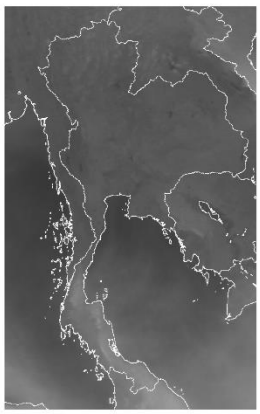
September, 2013



October, 2013

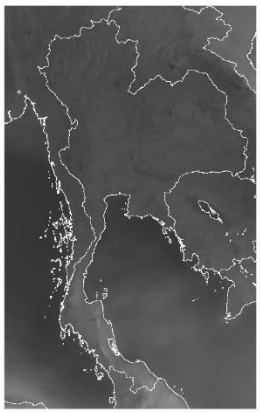


November, 2013

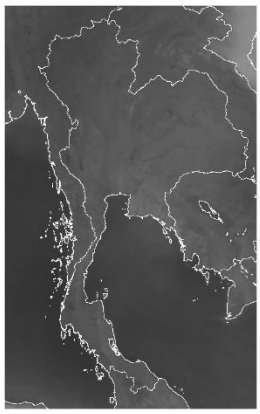


December, 2013

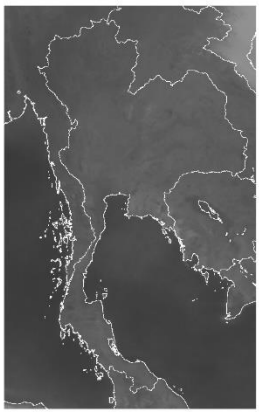
รูปที่ 3.10 (ต่อ)



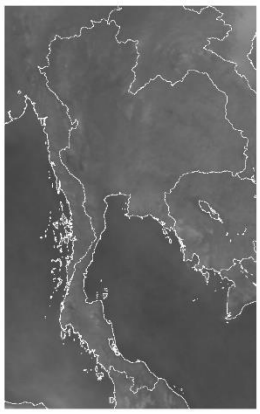
January, 2014



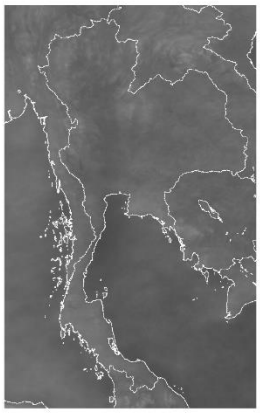
February, 2014



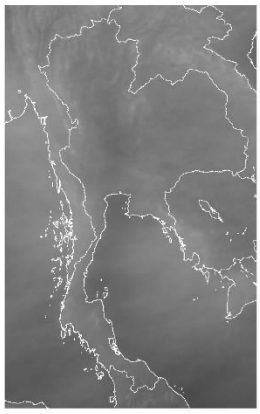
March, 2014



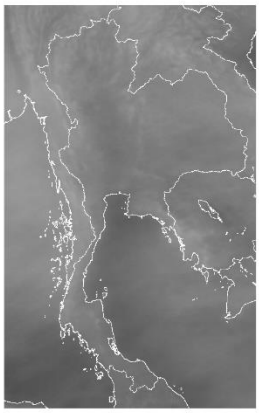
April, 2014



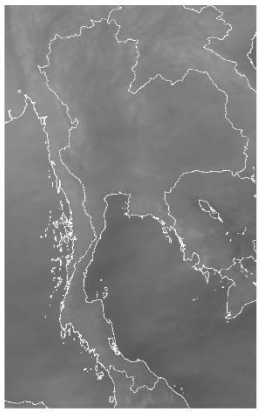
May, 2014



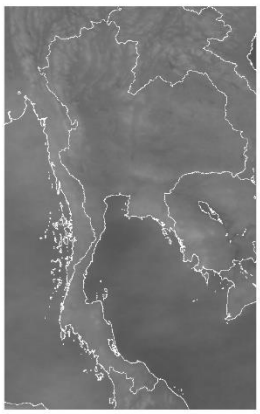
June, 2014



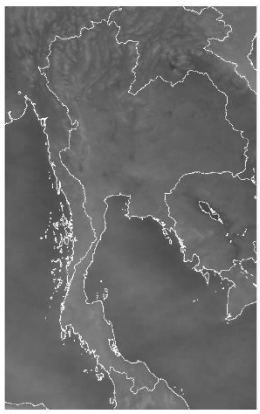
July, 2014



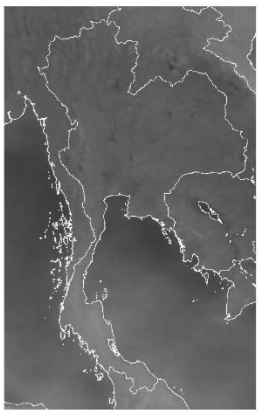
August, 2014



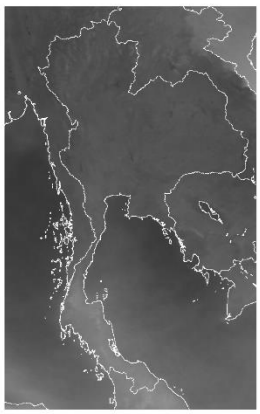
September, 2014



October, 2014

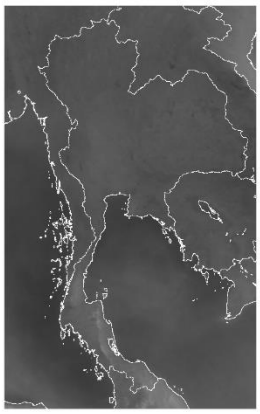


November, 2014

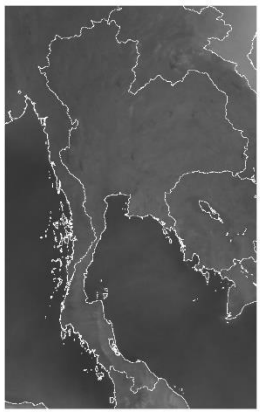


December, 2014

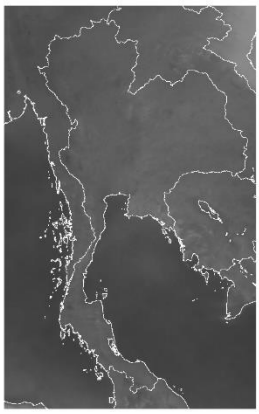
รูปที่ 3.10 (ต่อ)



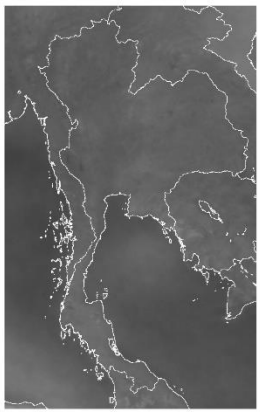
January, 2015



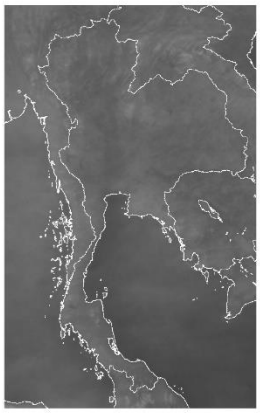
February, 2015



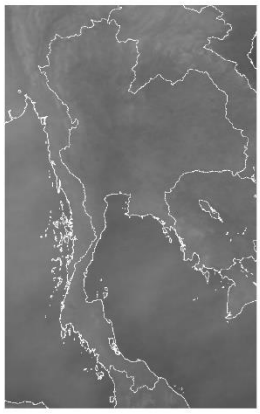
March, 2015



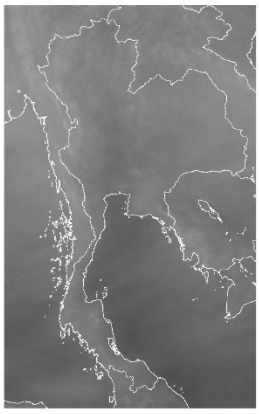
April, 2015



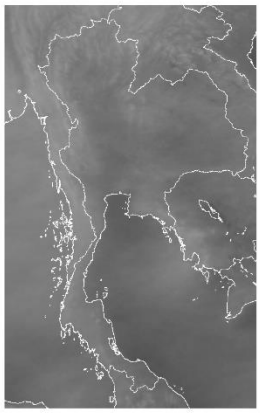
May, 2015



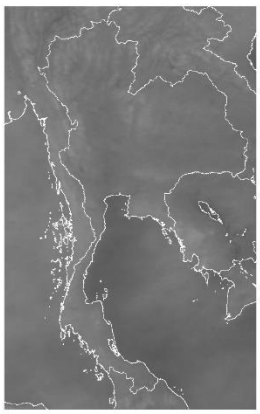
June, 2015



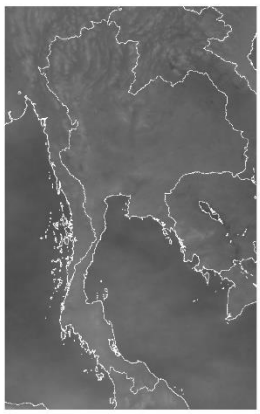
July, 2015



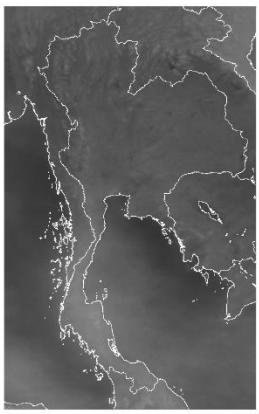
August, 2015



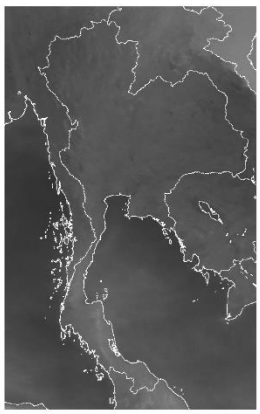
September, 2015



October, 2015

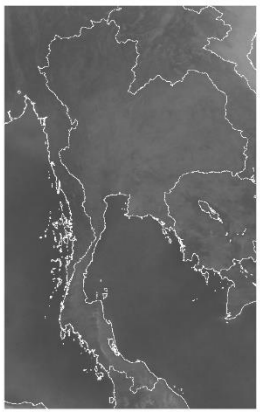


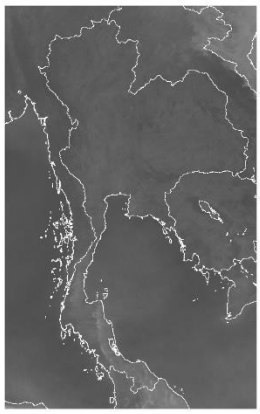
November, 2015

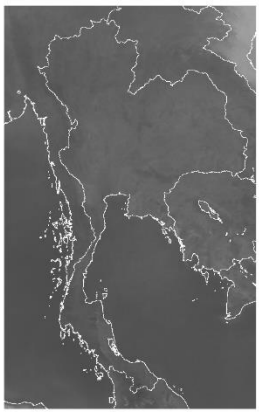


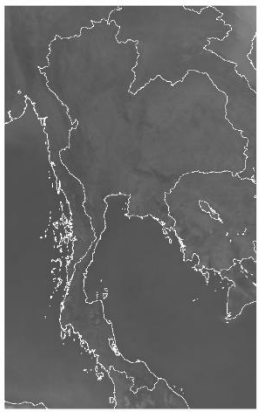
December, 2015

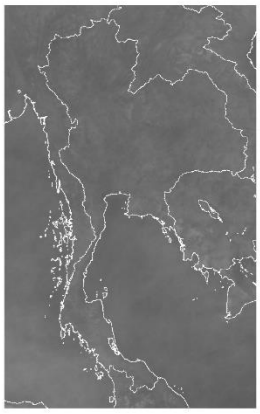
รูปที่ 3.10 (ต่อ)

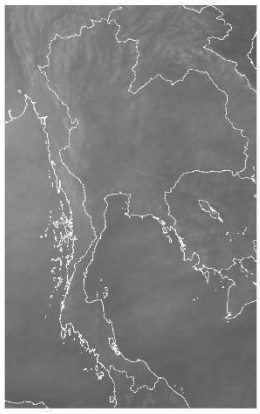

January, 2016

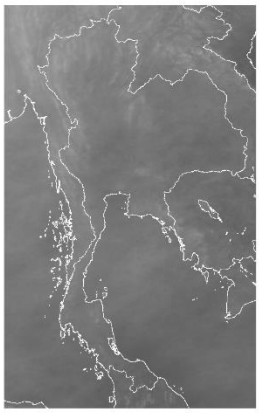

February, 2016

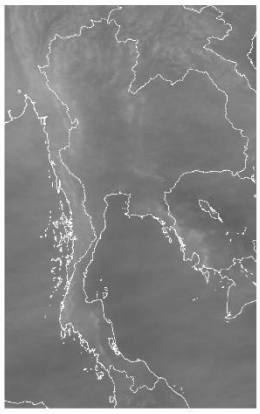

March, 2016

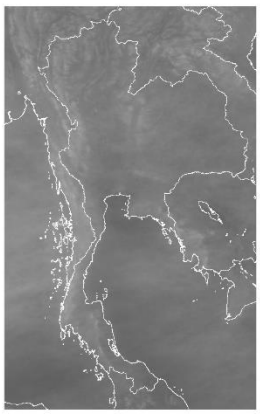

April, 2016

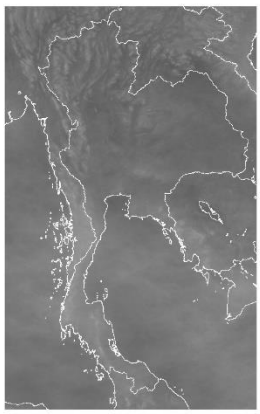

May, 2016

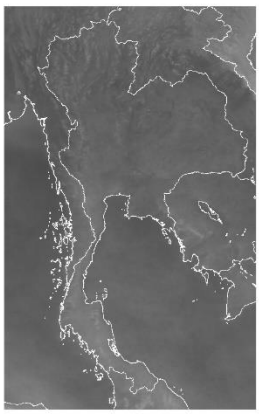

June, 2016

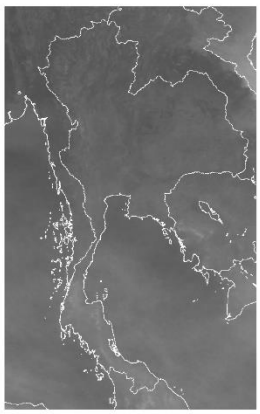

July, 2016


August, 2016

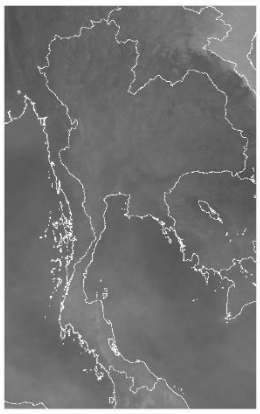

September, 2016


October, 2016

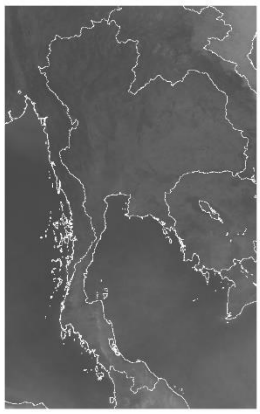

November, 2016


December, 2016

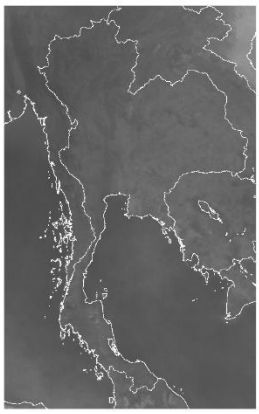
รูปที่ 3.10 (ต่อ)



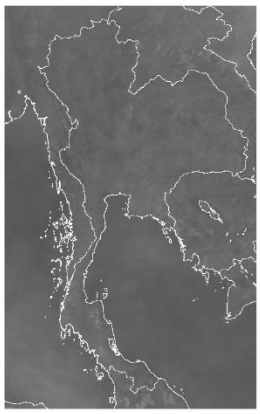
January, 2017



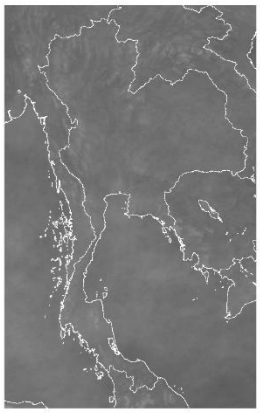
February, 2017



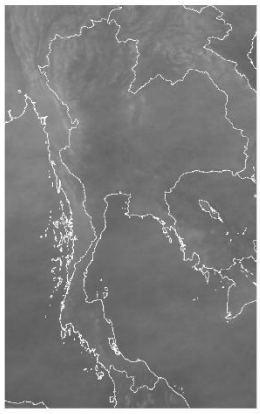
March, 2017



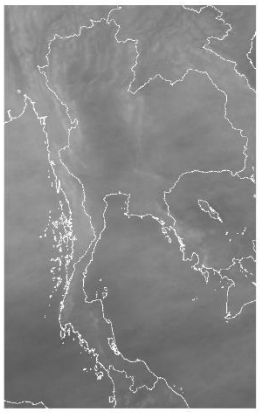
April, 2017



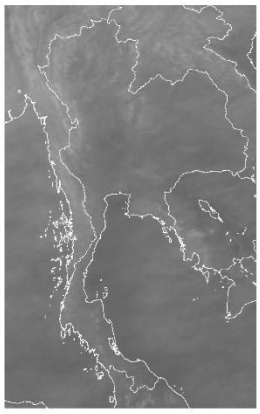
May, 2017



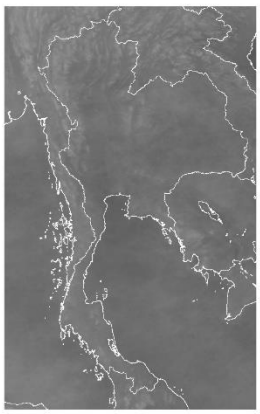
June, 2017



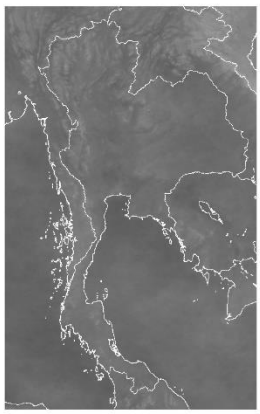
July, 2017



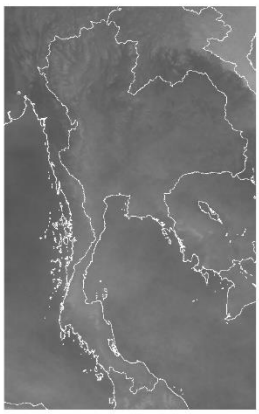
August, 2017



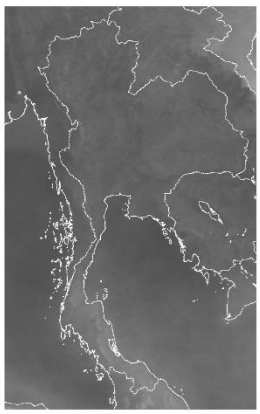
September, 2017



October, 2017

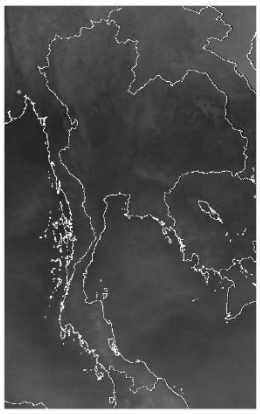


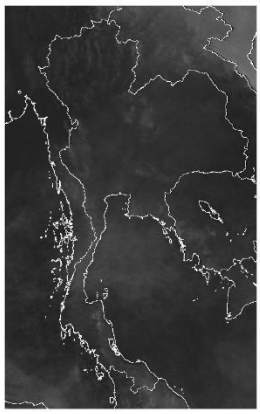
November, 2017

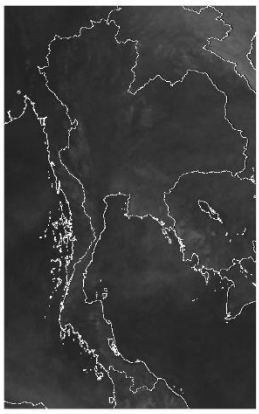


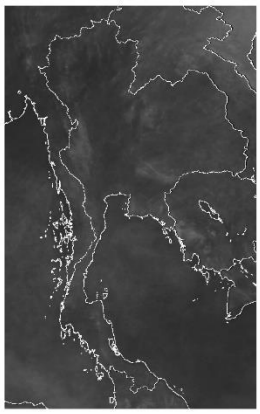
December, 2017

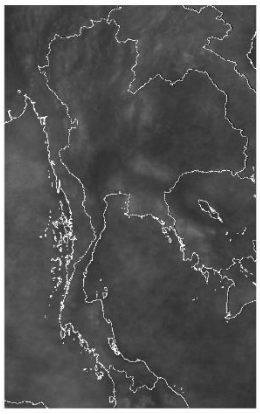
รูปที่ 3.10 (ต่อ)

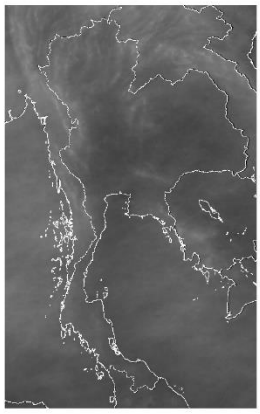

January, 2018

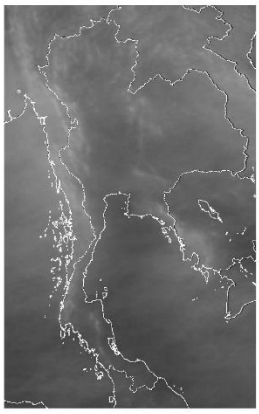

February, 2018

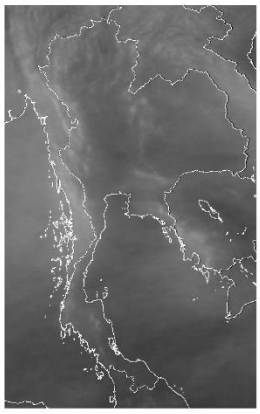

March, 2018

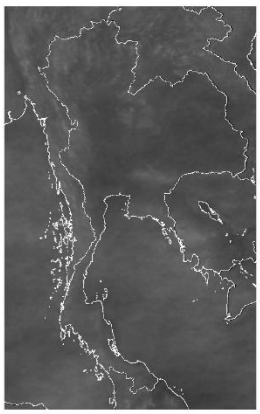

April, 2018

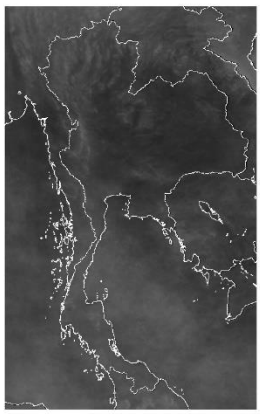

May, 2018

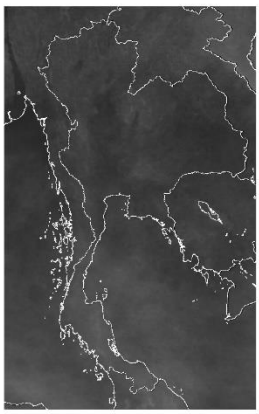

June, 2018

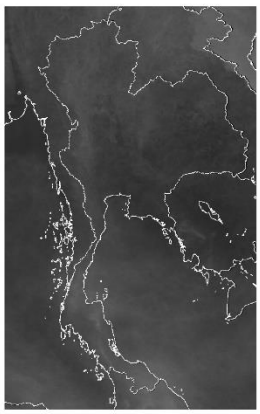

July, 2018


August, 2018

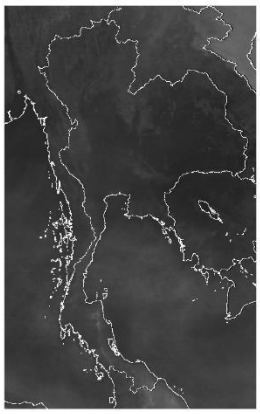

September, 2018


October, 2018

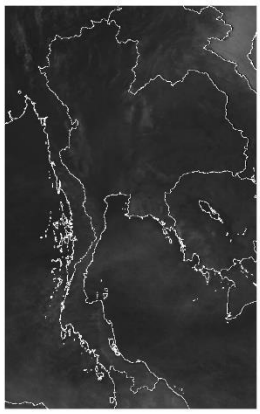

November, 2018


December, 2018

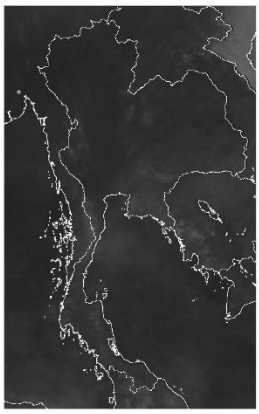
รูปที่ 3.10 (ต่อ)



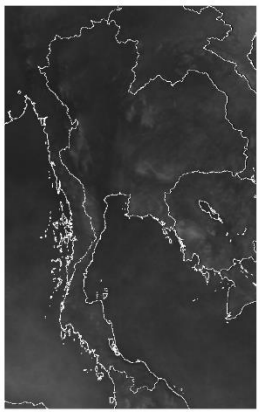
January, 2019



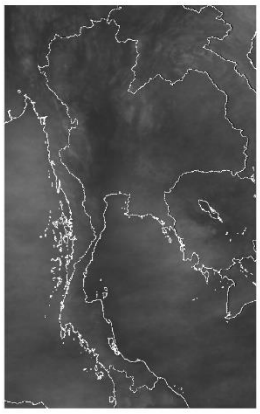
February, 2019



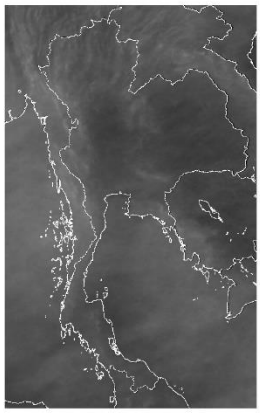
March, 2019



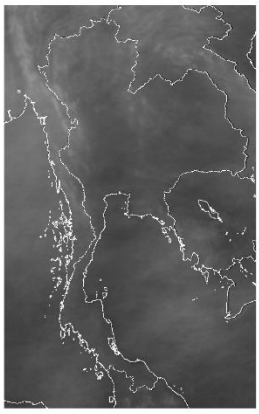
April, 2019



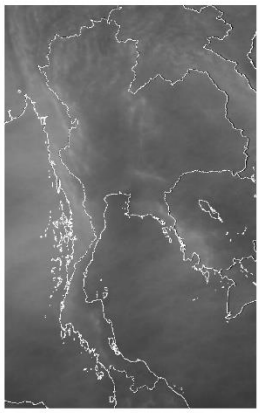
May, 2019



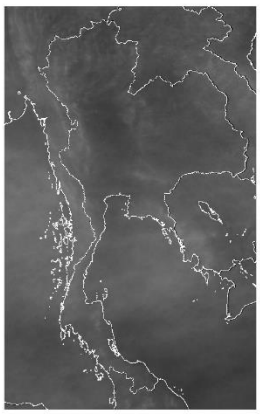
June, 2019



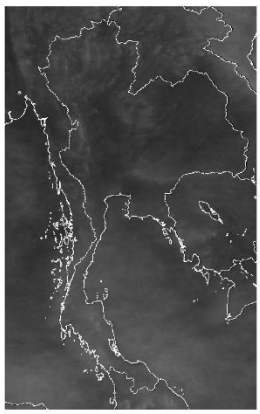
July, 2019



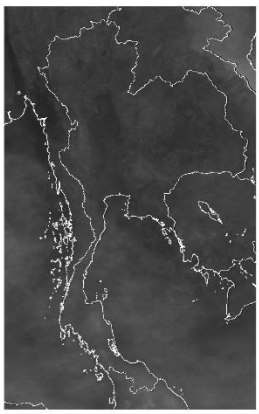
August, 2019



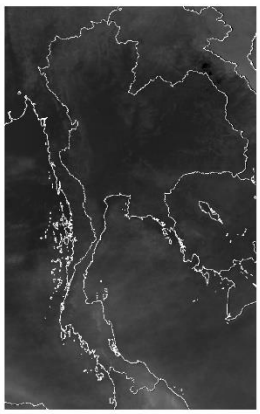
September, 2019



October, 2019

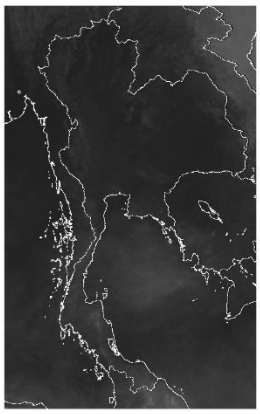


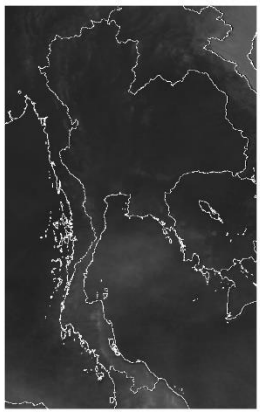
November, 2019

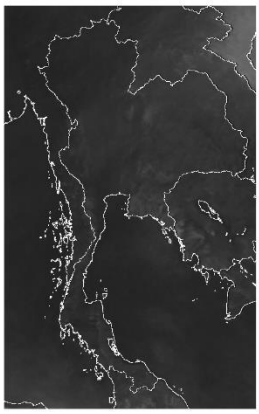


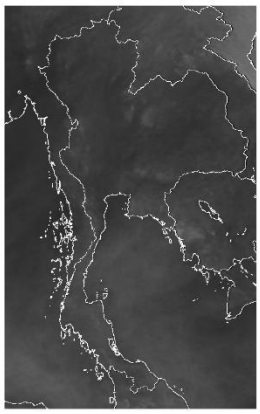
December, 2019

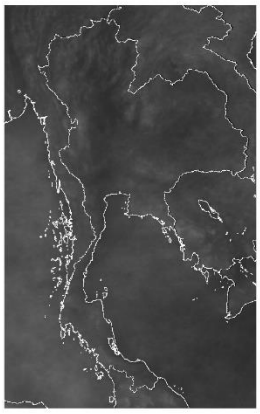
รูปที่ 3.10 (ต่อ)

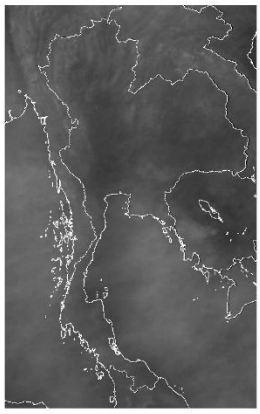

January, 2020

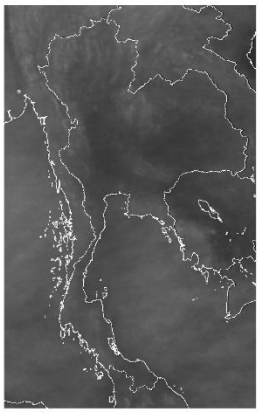

February, 2020

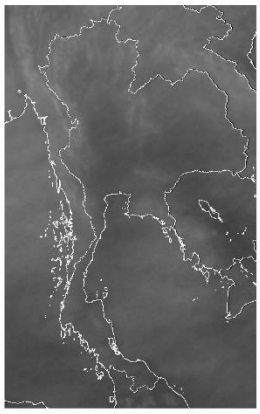

March, 2020

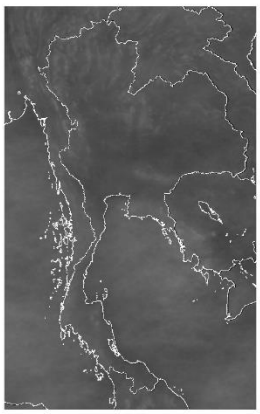

April, 2020

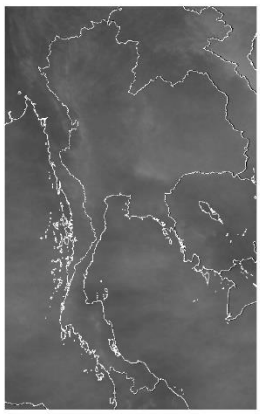

May, 2020

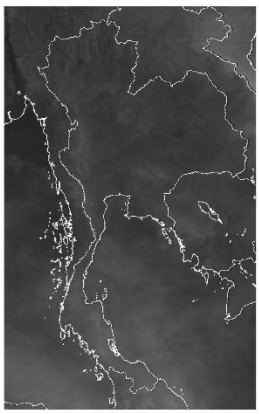

June, 2020

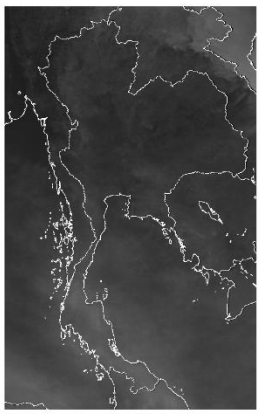

July, 2020


August, 2020


September, 2020


October, 2020

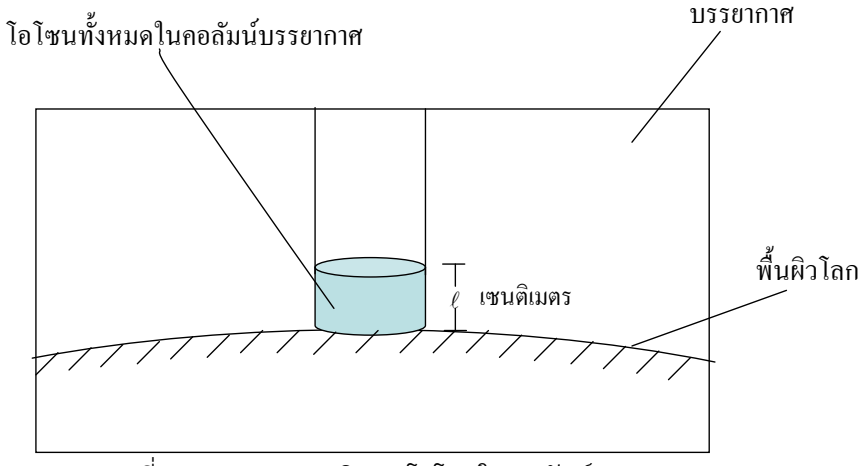

November, 2020


December, 2020

รูปที่ 3.10 (ต่อ)

3.1.2 การจัดหาข้อมูลโอโซนจากดาวเทียมให้ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เพื่อใช้ในการคำนวณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากโอโซนในบรรยากาศจำนวนอย่างน้อย 10 ปี (ตาม TOR ข้อ 5.1(2))

โอโซนในบรรยากาศสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตและแสงสว่าง (Andrews, 2010) ส่วนใหญ่โอโซนจะอยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์และมีปริมาณเพียงเล็กน้อยในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ โดยทั่วไปนิยมบอกปริมาณโอโซนในคอลัมน์ของบรรยากาศซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 1 หน่วย เป็นความสูงในหน่วยเซนติเมตร ตัวอย่างเช่น สมมติว่านำก๊าซโอโซนทั้งหมดในคอลัมน์อากาศดังกล่าวลงมาอยู่ที่พื้นผิวโลกที่ความดัน (101.325 kPa) และอุณหภูมิมาตรฐาน (288 K) แล้ววัดความสูงของปริมาณโอโซนในคอลัมน์อากาศนั้นในหน่วยเซนติเมตร (รูปที่ 3.11) นอกจากนี้ นักอุตุนิยมวิทยาจะบอกปริมาณโอโซนในคอลัมน์ของอากาศในหน่วยดอบสัน (Dobson Unit, DU) โดย 1,000 DU จะมีค่าเท่ากับความสูงของโอโซนในคอลัมน์อากาศ 1 เซนติเมตร



รูปที่ 3.11 การบอกปริมาณโอโซนในคอลัมน์ของบรรยากาศ

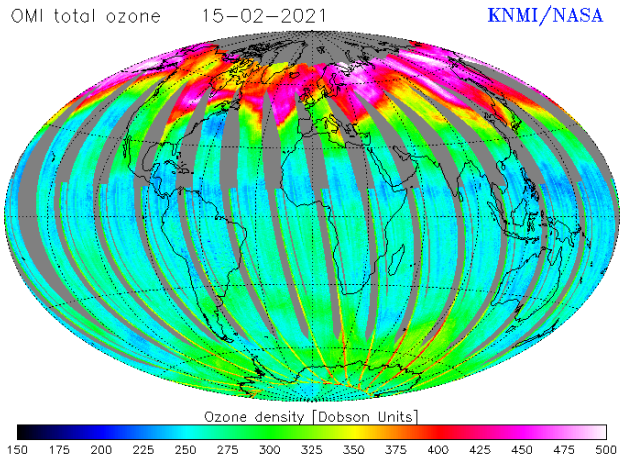
การวัดปริมาณโอโซนภาคพื้นดินจะทำการวัดด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Dobson spectrometer และ Brewer spectrophotometer แต่อุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพง สำหรับประเทศไทยมีการวัดปริมาณโอโซนด้วยอุปกรณ์ดังกล่าว ได้แก่ เครื่อง Dobson spectrometer ติดตั้งที่กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ (รูปที่ 3.12) และเครื่อง Brewer spectrophotometer ติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก (รูปที่ 3.13) แต่ปัจจุบันเครื่อง Brewer spectrophotometer ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลโอโซนจากเครื่องวัดภาคพื้นดินจะไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการหาปริมาณโอโซนในบรรยากาศซึ่งให้ข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก (รูปที่ 3.14) และจากการเปรียบเทียบข้อมูลโอโซนที่ได้จากดาวเทียมและข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินพบว่ามีความสอดคล้องกันดี



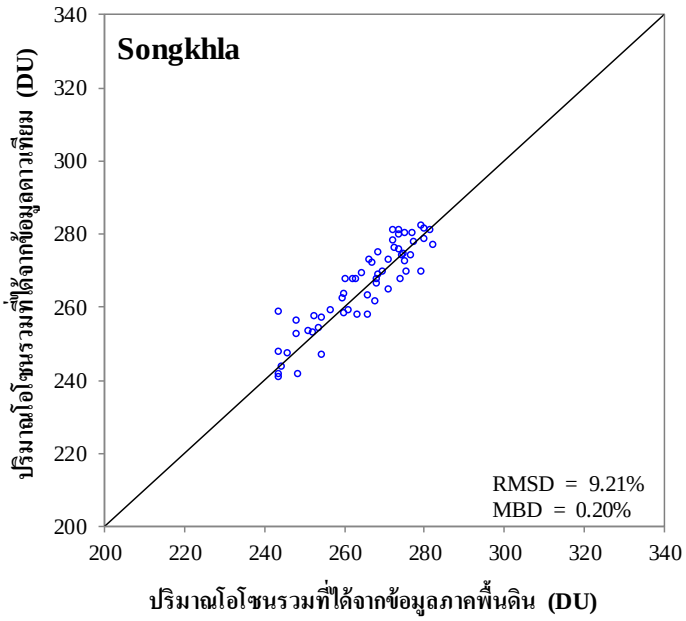
รูปที่ 3.12 Dobson spectrometer ติดตั้งที่กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพฯ



รูปที่ 3.13 Brewer spectrophotometer ติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา

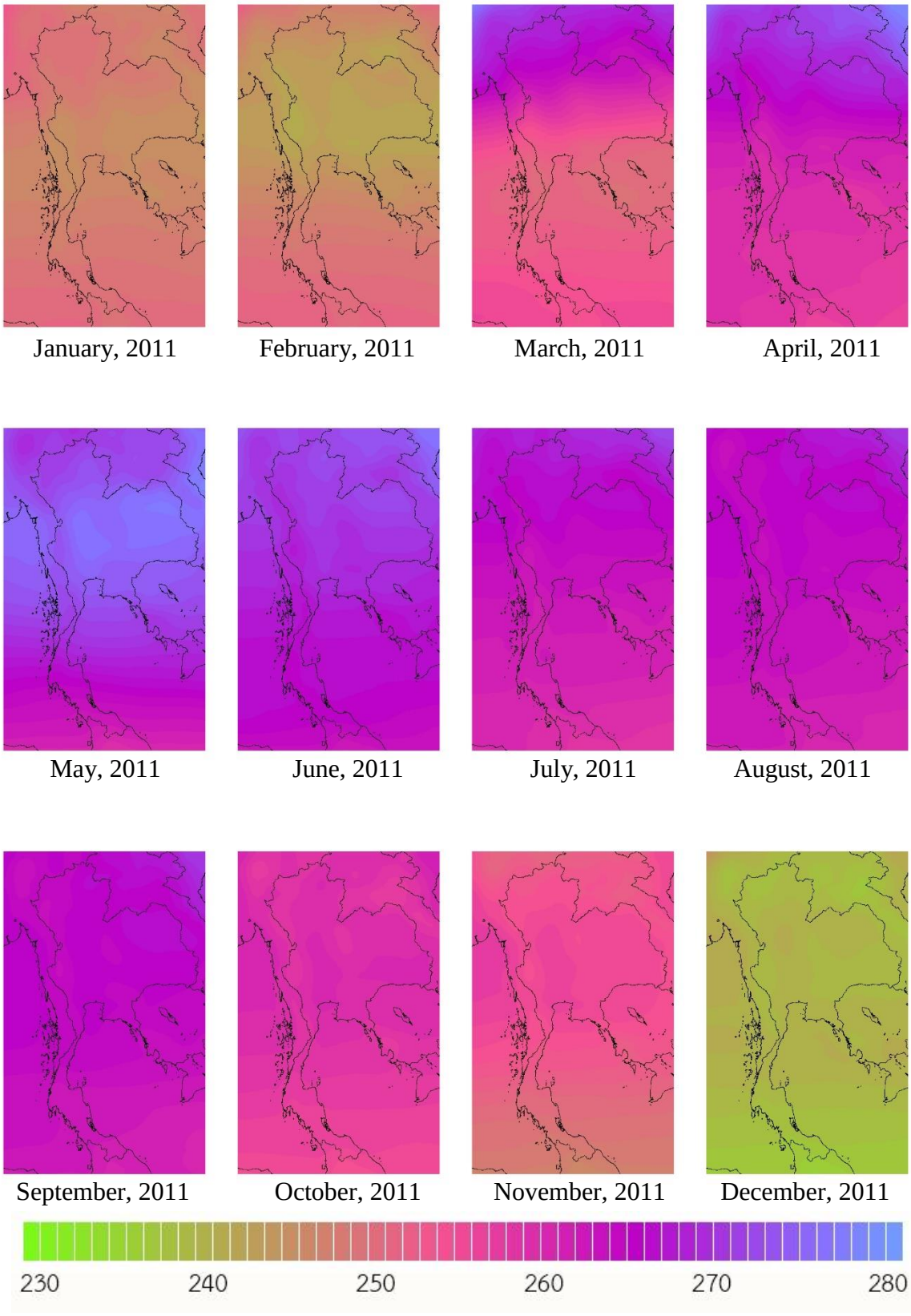


รูปที่ 3.14 ตัวอย่างโอโซนในคอลัมน์ของบรรยากาศ (https://www.temis.nl)

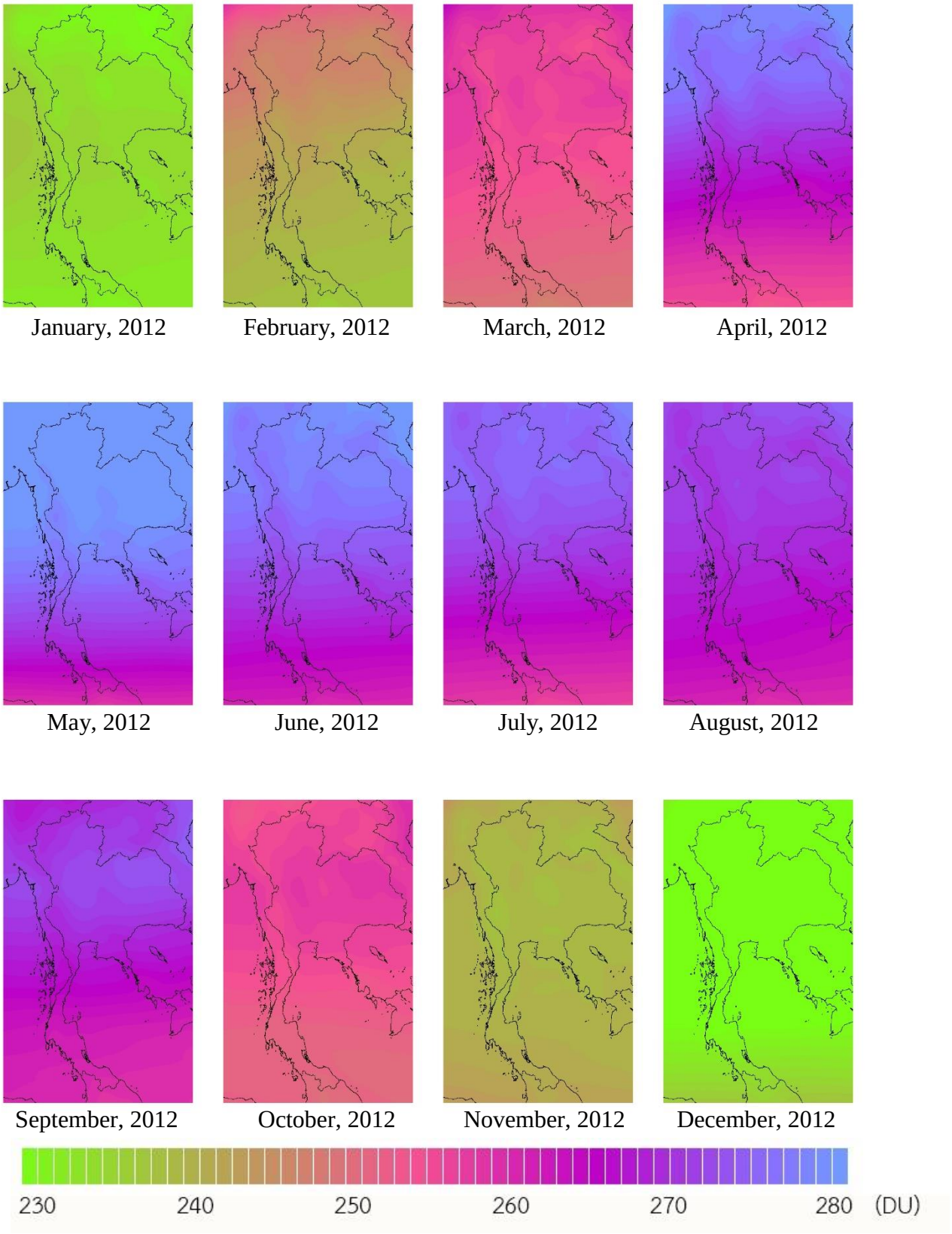


รูปที่ 3.15 การเปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลภาคพื้นดิน

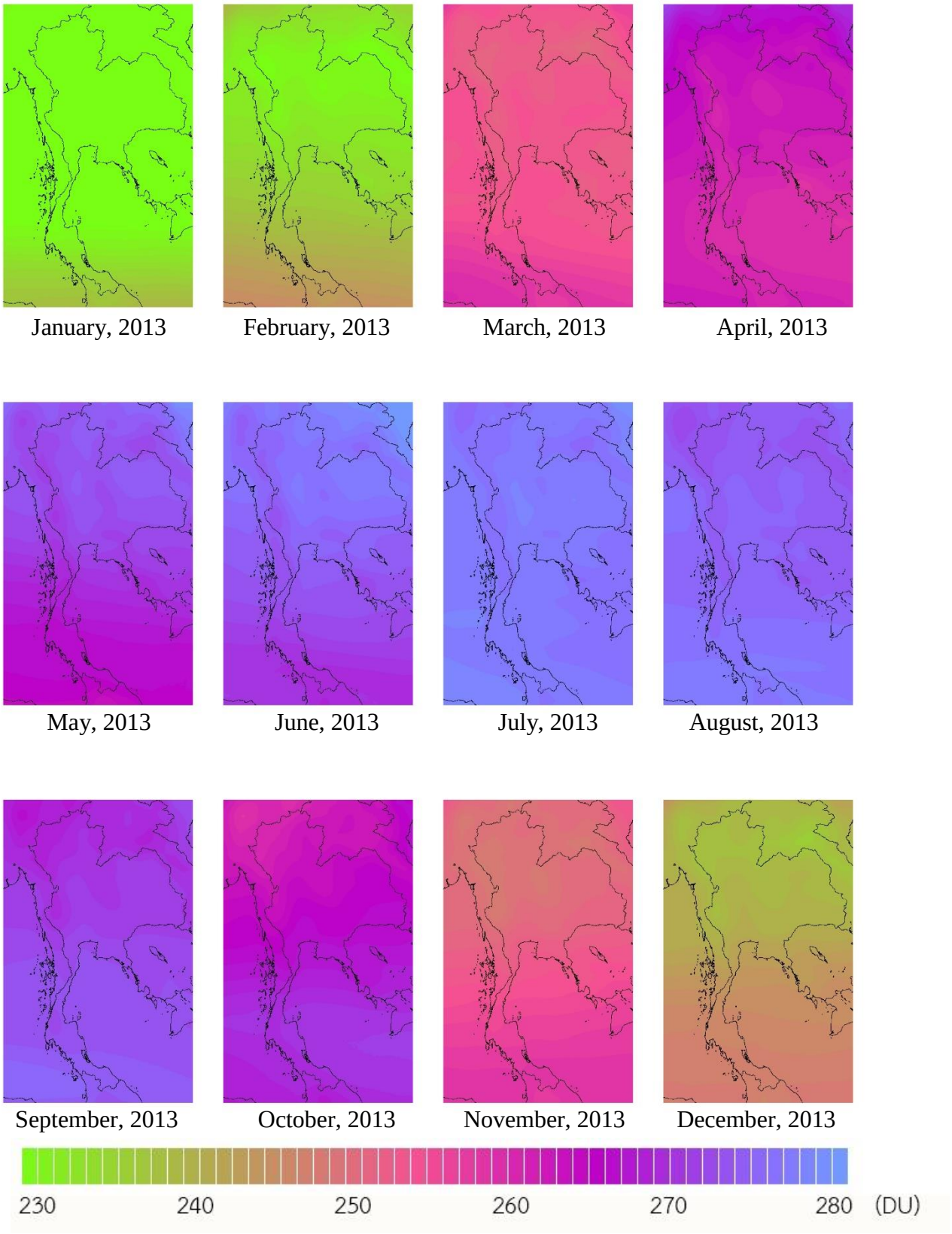
ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงได้จัดหาและรวบรวมข้อมูลปริมาณโอโซนในบรรยากาศจากดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในงานนี้เป็นข้อมูลจากเครื่องมือที่เรียกว่า Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Earth Probe (ระหว่างปี ค.ศ. 2001 – ค.ศ. 2005) และเครื่องมือ Ozone Monitoring Instrument (OMI) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aura (ระหว่างปี ค.ศ. 2006 – ค.ศ. 2020) โดยดาวเทียมดังกล่าวเป็นดาวเทียมแบบโคจรผ่านขั้วโลกซึ่งจะตรวจวัดโอโซนในคอลัมน์ของบรรยากาศในหน่วยดอบสัน วันละ 1 ครั้ง ที่เวลาประมาณ 11:30 น. ตามเวลาท้องถิ่นของประเทศไทย ผู้ดำเนินงานได้ทำการประมวลผลข้อมูลโอโซนที่ได้จากดาวเทียมซึ่งเป็นข้อมูลรายวันระหว่างวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2001 – 31 ธันวาคม ค.ศ. 2020 (รวมระยะเวลา 20 ปี) ให้เป็นข้อมูลโอโซนเฉลี่ยรายเดือนครอบคลุมประเทศไทย และได้ทำการแปลงข้อมูลให้มีขนาดเดียวกันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในงานจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีการ interporation ตัวอย่างข้อมูลโอโซนที่จัดหามาระหว่างปี ค.ศ. 2011 – 2020 แสดงดังรูปที่ 3.16 จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณโอโซนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากเดือนมกราคม (~230 DU) ไปจนถึงเดือนเมษายน (~280 DU) จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่และค่อย ๆ ลดลงในเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (~230 DU) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงกลางปีประเทศไทยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเกิดโอโซนจึงทำให้ประเทศไทยมีปริมาณโอโซนสูงในช่วงดังกล่าว



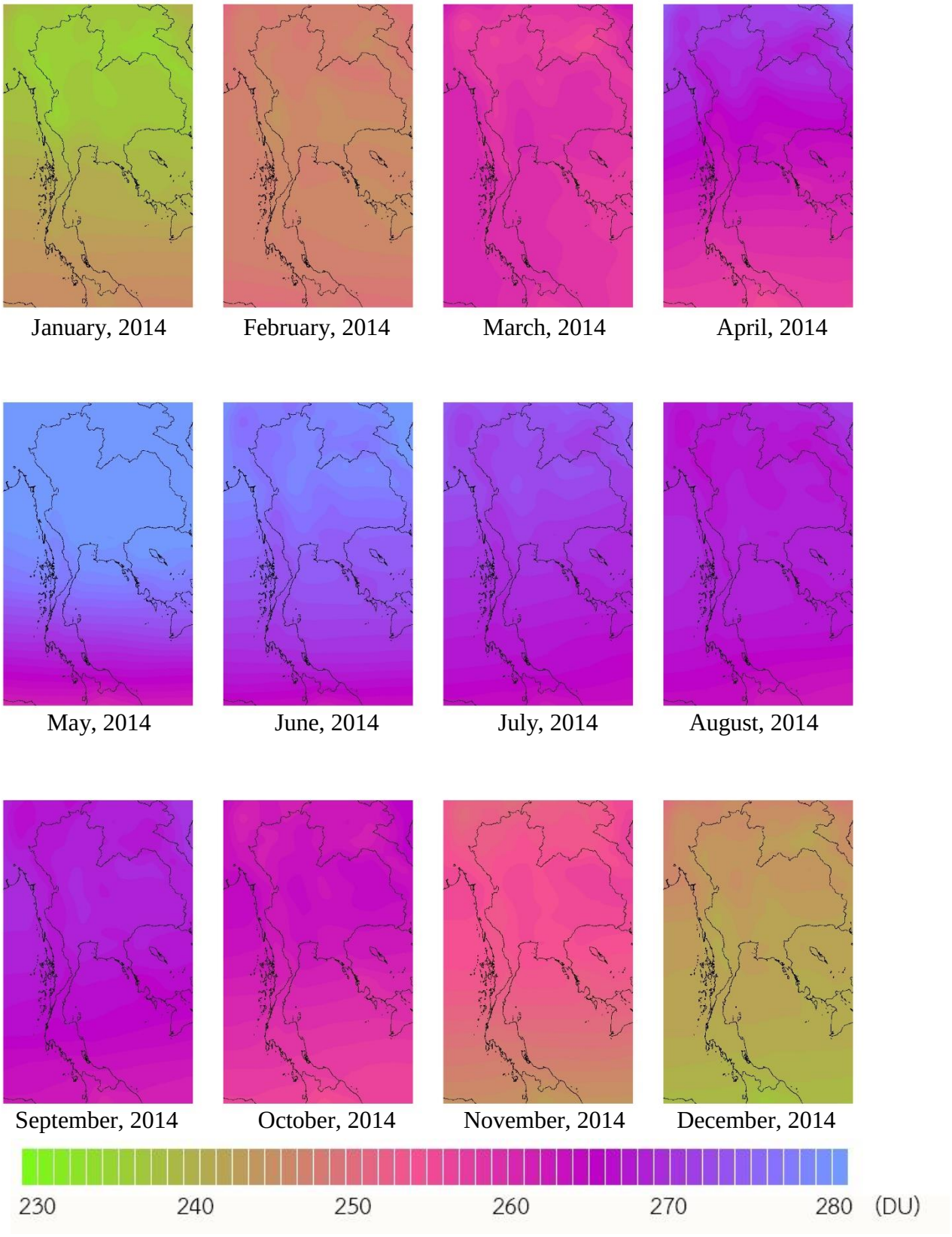
รูปที่ 3.16 ข้อมูลปริมาณโอโซนจากดาวเทียม


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
230
240
250
260
270
280
(DU)

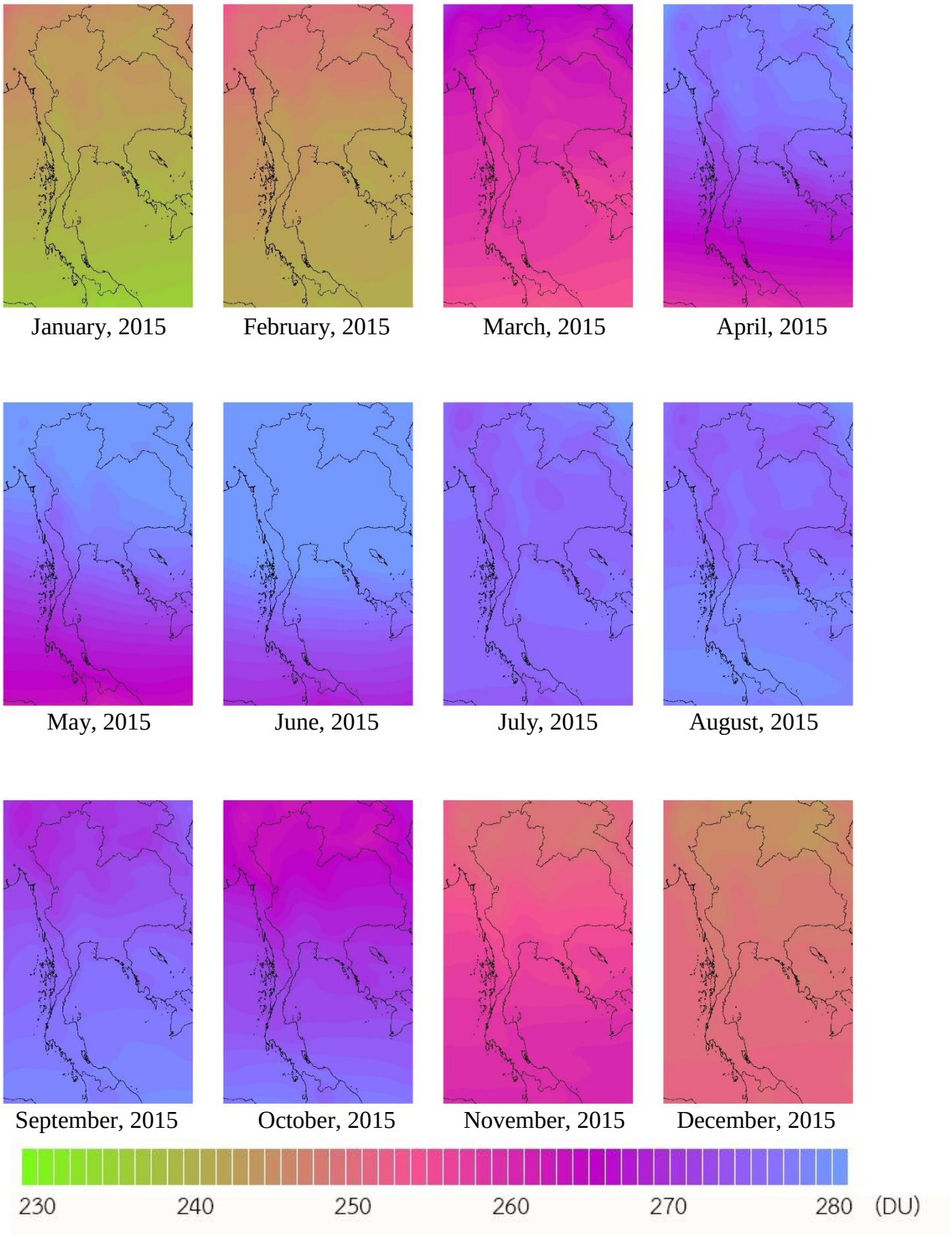
รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
230
240
250
260
270
280
(DU)

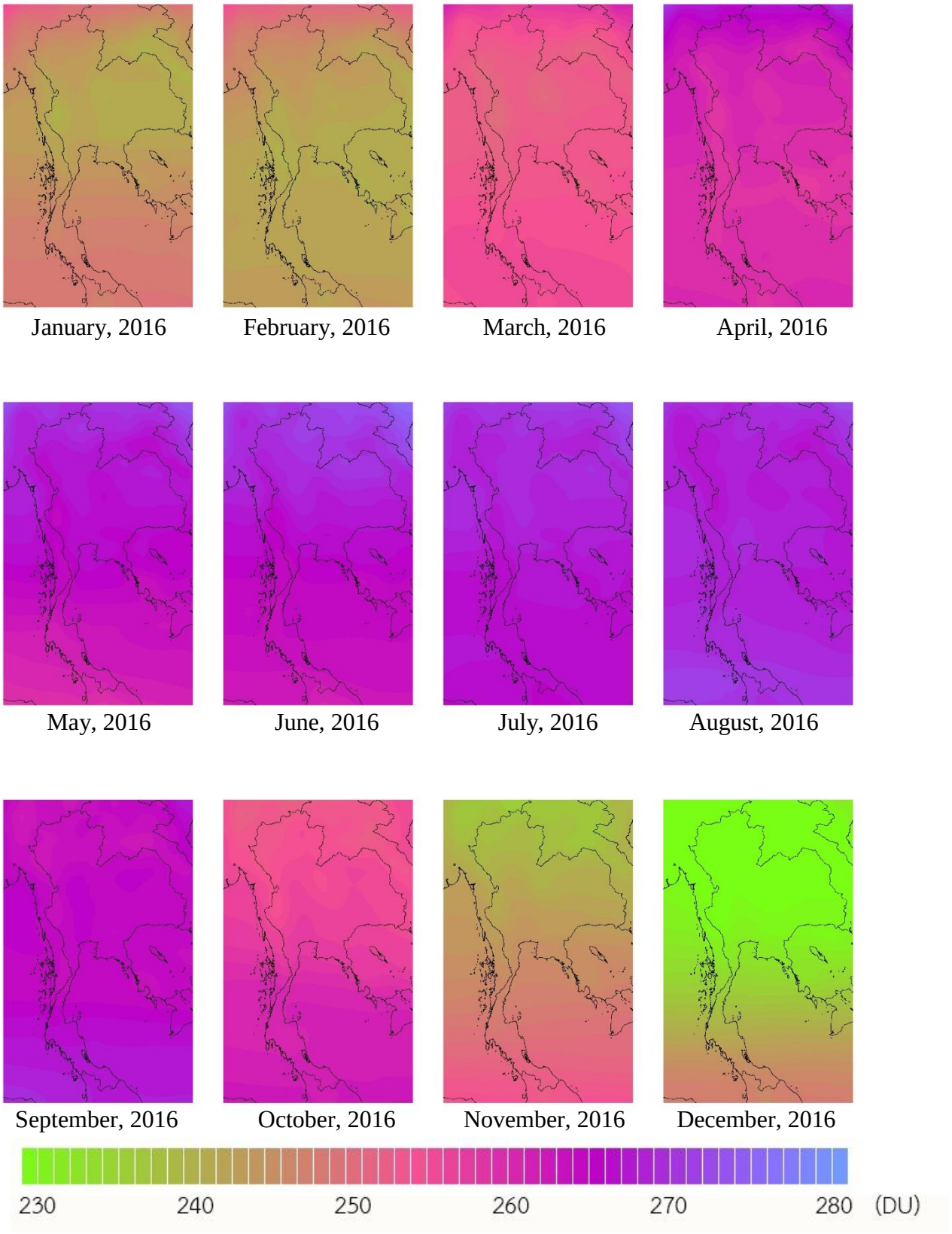
รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
230
240
250
260
270
280
(DU)

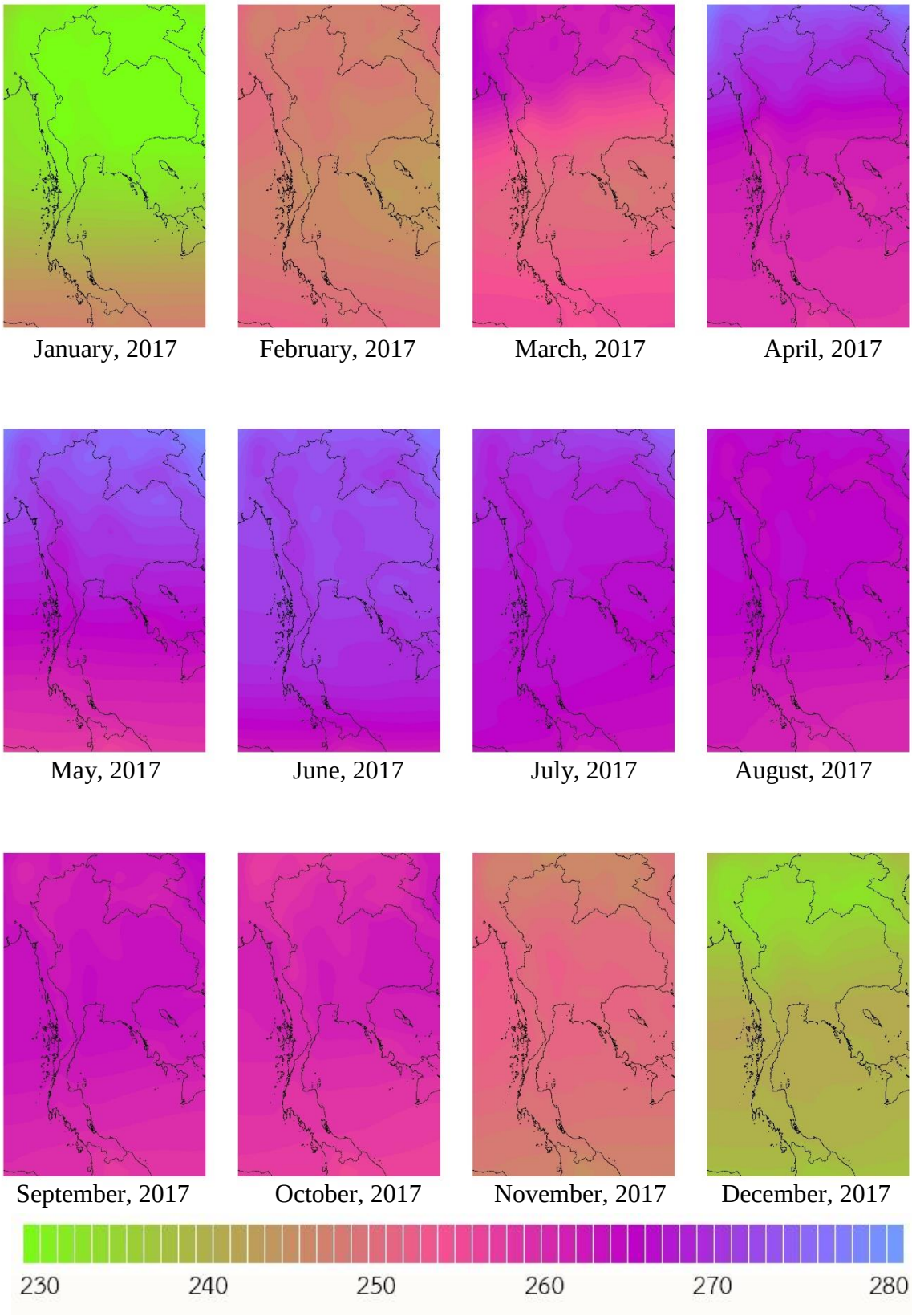
รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
230
240
250
260
270
280
(DU)

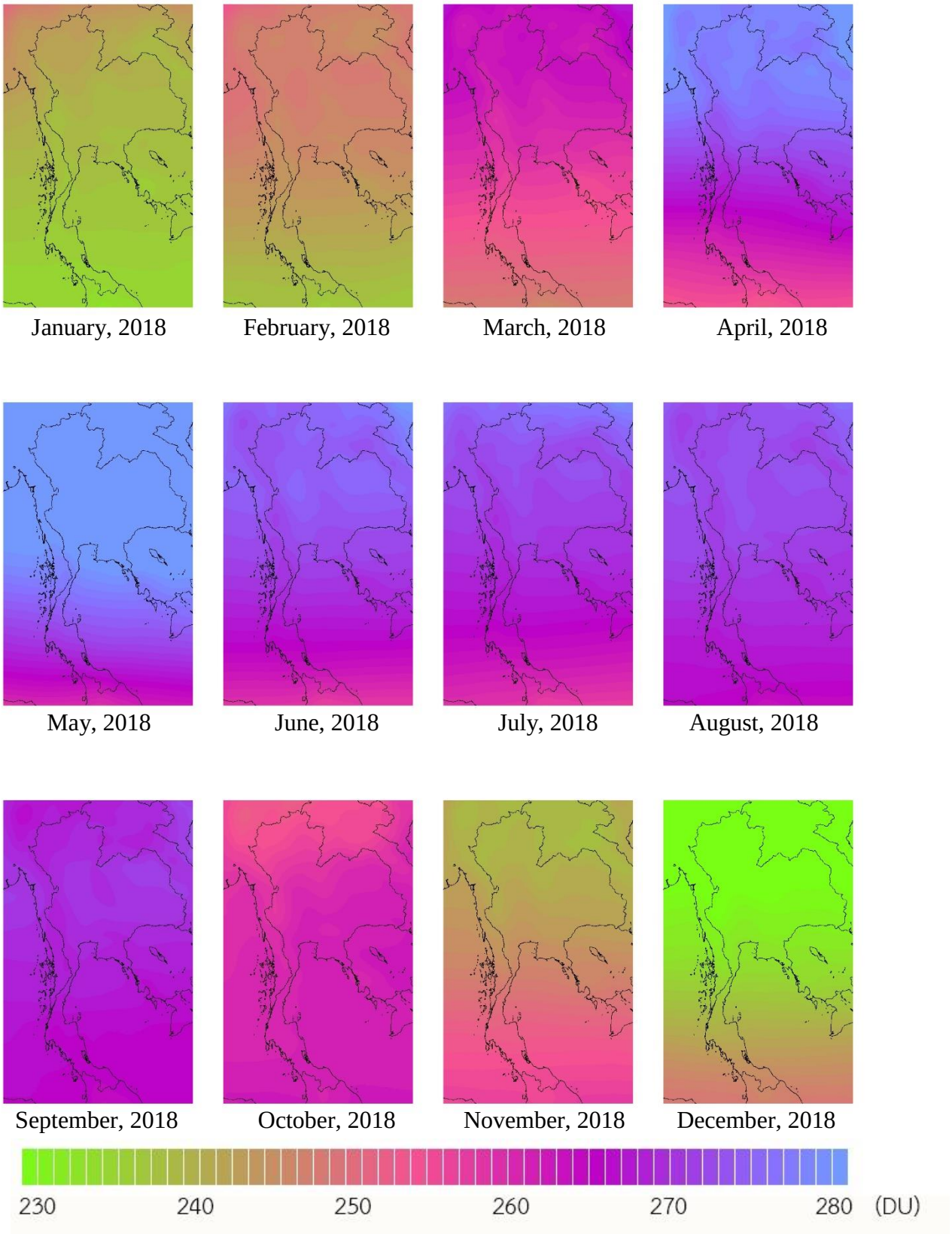
รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
230
240
250
260
270
280
(DU)

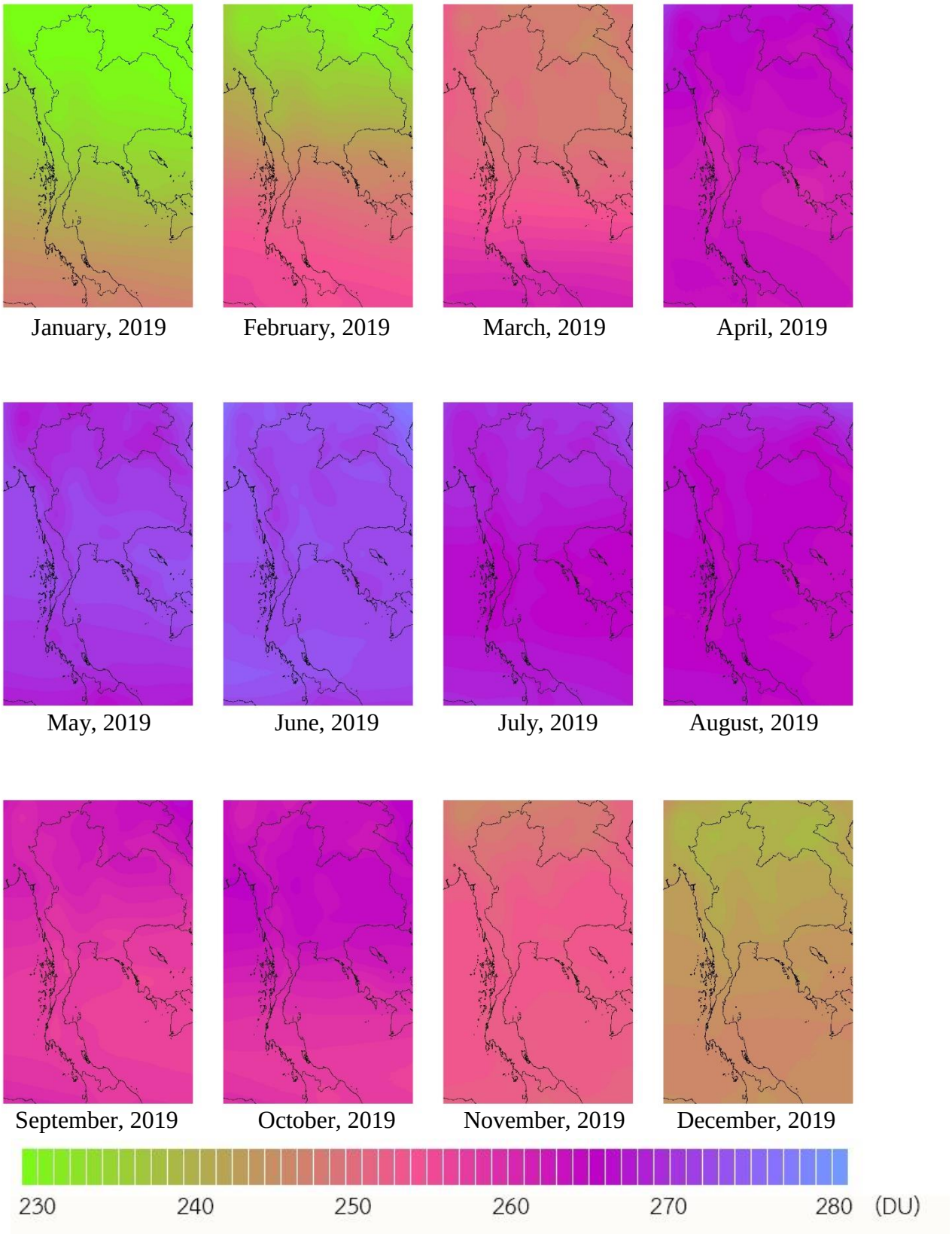
รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
230
240
250
260
270
280
(DU)

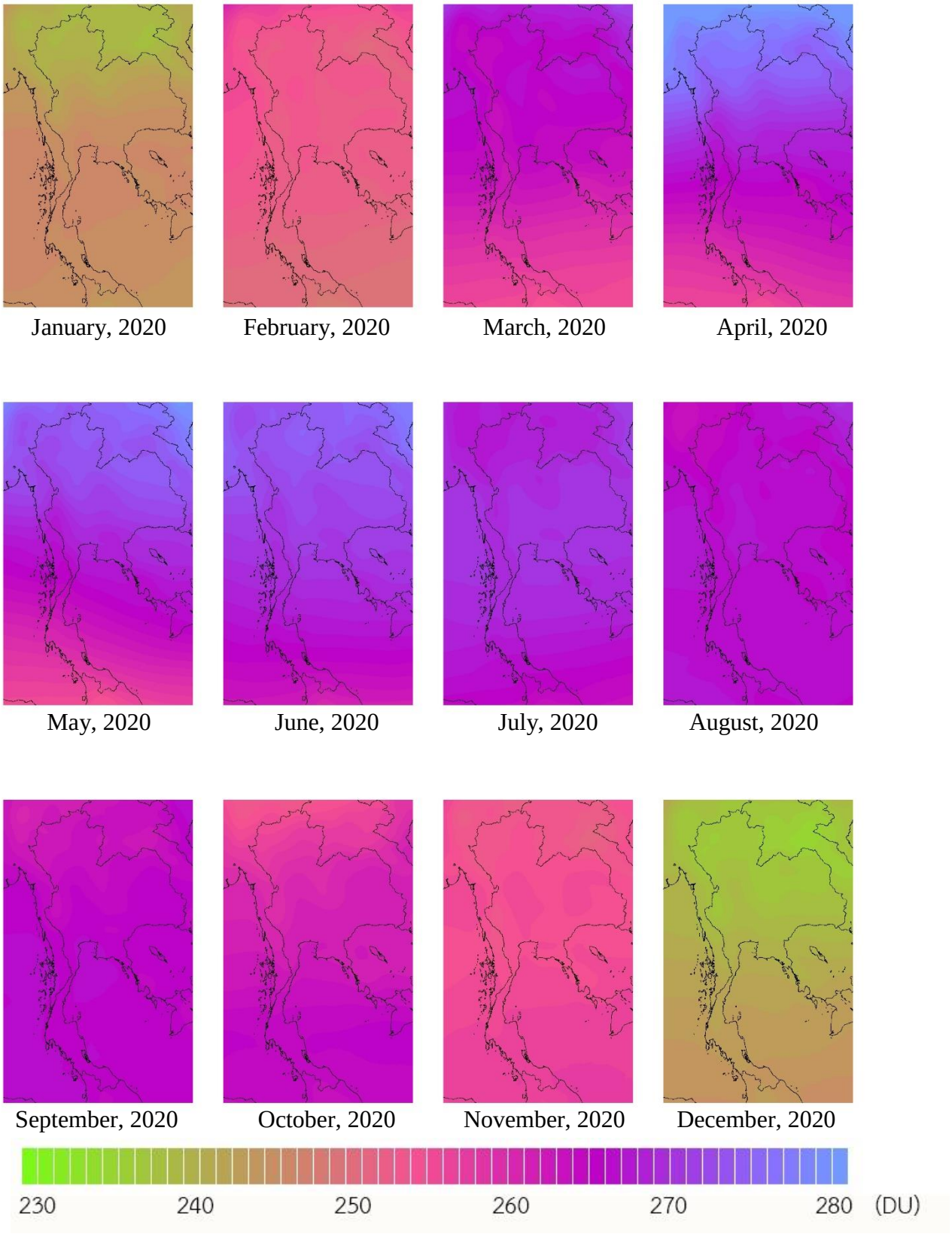
รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
230
240
250
260
270
280
(DU)

รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
230
240
250
260
270
280
(DU)

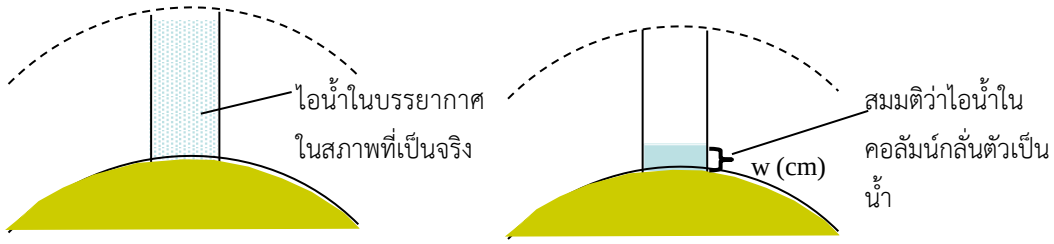
รูปที่ 3.16 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
230
240
250
260
270
280
(DU)

รูปที่ 3.16 (ต่อ)

3.1.3 การจัดหาข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยจำนวนอย่างน้อย 10 ปี เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศสำหรับใช้ในแบบจำลองการดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยไอน้ำ (ตาม TOR ข้อ 5.1 (3))

รังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกจะถูกไอน้ำในบรรยากาศดูดกลืน ในการคำนวณการดูดกลืนดังกล่าวจำเป็นต้องทราบปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ โดยทั่วไปสามารถบอกปริมาณไอน้ำในอากาศในรูปของน้ำกลั่นตัว (precipitable water, w) ซึ่งจะเป็นค่าความสูงของน้ำในหน่วยเซนติเมตร ถ้าสมมติว่าทำให้ไอน้ำทั้งหมดในคอลัมน์ของบรรยากาศ ซึ่งมีพื้นที่ตัดขวาง 1 cm^2 กลั่นตัวเป็นน้ำ (รูปที่ 3.17)



รูปที่ 3.17 การบอกปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในรูปของน้ำกลั่นตัว (Pierrehumbert, 1972) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$w = \frac{1}{g}\int_0^{\infty} M\,dp \qquad (3.1)$$

เมื่อ w คือ ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศในรูปของน้ำกลั่นตัว (cm)

M คือ อัตราส่วนผสม (mixing ratio) ของไอน้ำ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศที่ปราศจากไอน้ำในหน่วยปริมาตรของอากาศ (-)

g คือ ความเร่งโน้มถ่วง (gravitational acceleration) (980 cm/s^2)

p คือ ความดันบรรยากาศ (hPa)

ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศสามารถคำนวณหาได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน สำหรับประเทศไทยมีการตรวจอากาศชั้นบนที่สถานีอุตุนิยมวิทยา 5 แห่ง ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันตก จังหวัดภูเก็ต และการตรวจอากาศชั้นบนของกรมฝนหลวง จำนวน 5 สถานี โดยแต่ละสถานีจะทำการตรวจวัดวันละ 1 ครั้ง ที่เวลา 7:00 น. อย่างไรก็ตามข้อมูลจากการตรวจอากาศชั้นบนดังกล่าวยังไม่

เพียงพอต่อการใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศ ดังนั้นนักวิจัยต่าง ๆ จึงได้พยายามหาวิธีคำนวณปริมาณไอน้ำจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นซึ่งมีจุดตรวจวัดมากกว่าการตรวจอากาศชั้นบน โดยข้อมูลที่นิยมใช้คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม โดยมีการเสนอสูตรเอมไพริคัลสำหรับคำนวณปริมาณไอน้ำจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นในบริเวณต่าง ๆ ของโลกหลายสูตร (Cole, 1976; Smith, 1966; Janjai et al., 2005)

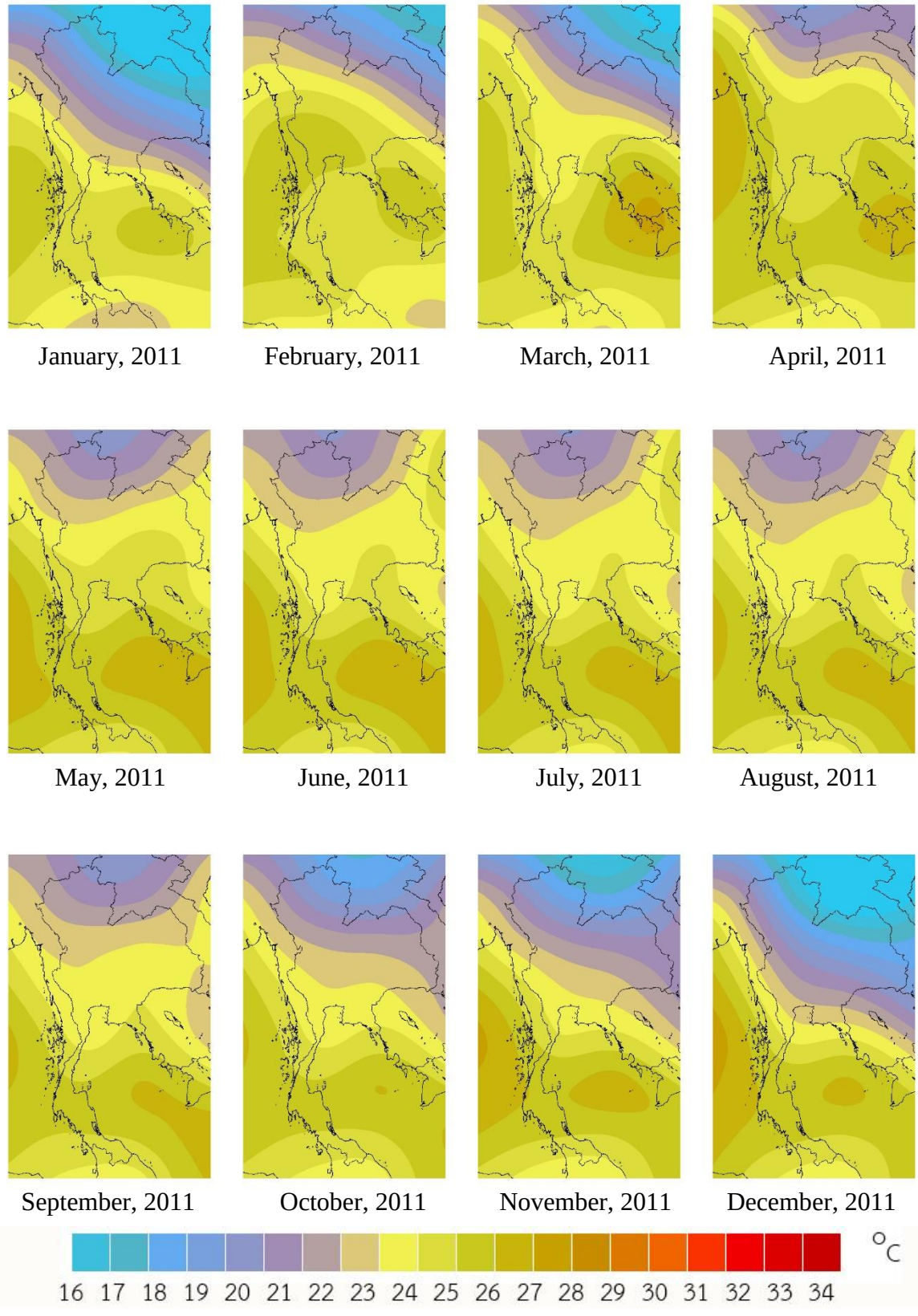
นอกจากนี้ปริมาณไอน้ำสามารถวัดได้จากเครื่องมือที่เรียกว่า ซันโฟโตมิเตอร์ (sunphotometer) ดังรูปที่ 3.18 โดยเป็นการวัดการลดทอนแสงจากดวงอาทิตย์ที่เกิดจากปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตามประเทศไทยมีเครื่องวัดดังกล่าวเพียง 7 แห่งเท่านั้น จึงไม่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์



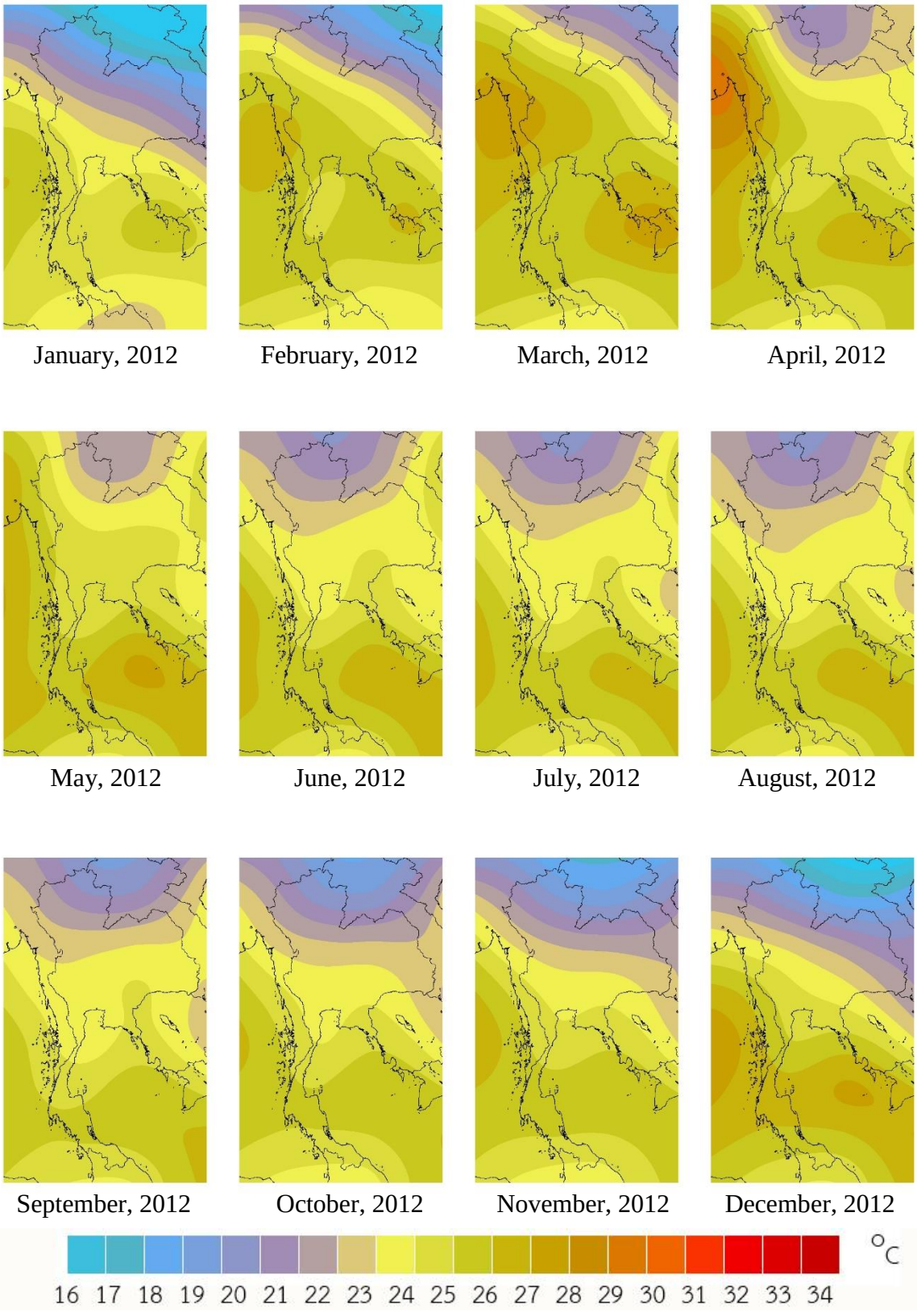
รูปที่ 3.18 เครื่องซันโฟโตมิเตอร์ที่ติดตั้งที่สถานีเชียงใหม่

สำหรับการวัดปริมาณไอน้ำด้วยดาวเทียมมีการวัดด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม EOS ซึ่งเป็นดาวเทียมแบบโคจรผ่านขั้วโลก ดาวเทียมนี้ทำการตรวจวัดไอน้ำโดยอาศัยการสะท้อนของแสงจากบรรยากาศไปยังเซนเซอร์ของดาวเทียม โดยดาวเทียมจะผ่านประเทศไทยเพียงวันละ 1 ครั้ง ที่เวลาประมาณ 10:00 น. ตามเวลาท้องถิ่น เมื่อพิจารณาในด้านความถี่ของข้อมูลการวัดซึ่งดาวเทียมสามารถวัดได้เพียงวันละ 1 ค่า ทำให้ไม่เหมาะสมและไม่เพียงพอต่อการนำไปคำนวณรังสีอาทิตย์สำหรับประเทศไทยเนื่องจากปริมาณไอน้ำมีการแปรค่าค่อนข้างสูงในรอบวัน

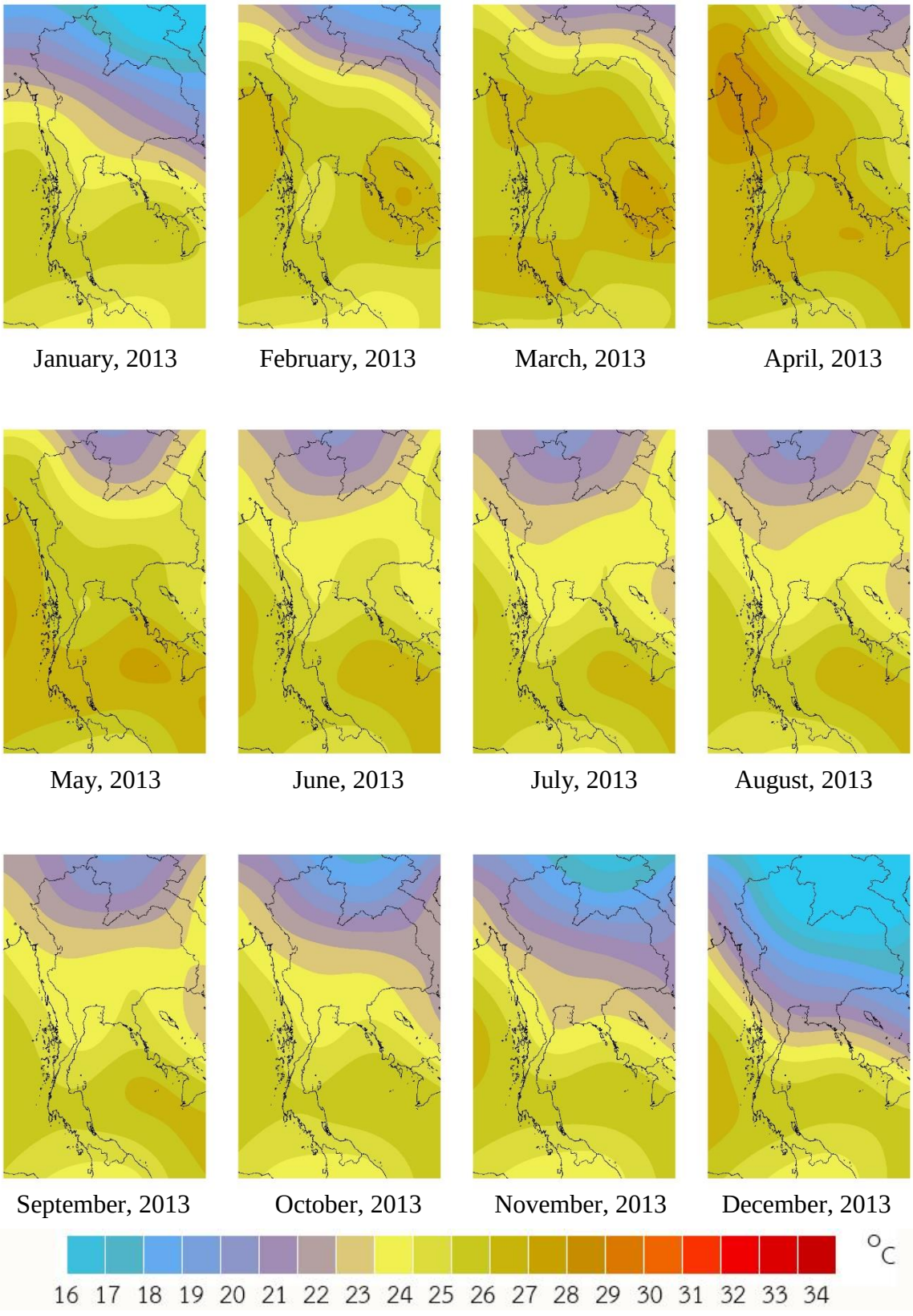
ดังนั้นในงานนี้ผู้ดำเนินงานจะใช้ข้อมูลปริมาณไอน้ำที่คำนวณได้จากความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศตามวิธีการของ Janjai et al. (2005) ผู้ดำเนินงานจึงได้จัดหาข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือนและจัดทำเป็นแผนที่โดยใช้วิธีการ interpolation ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.19 - 3.20 จากรูปที่ 3.19 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนมีการแปรค่าตามละติจูด โดยจะมีค่าสูงที่ละติจูดต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์สูงกว่า สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ (รูปที่ 3.20) มีการแปรค่าตามฤดูกาลอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงฤดูแล้ง (เดือนธันวาคมและเดือนมกราคม) และมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม)



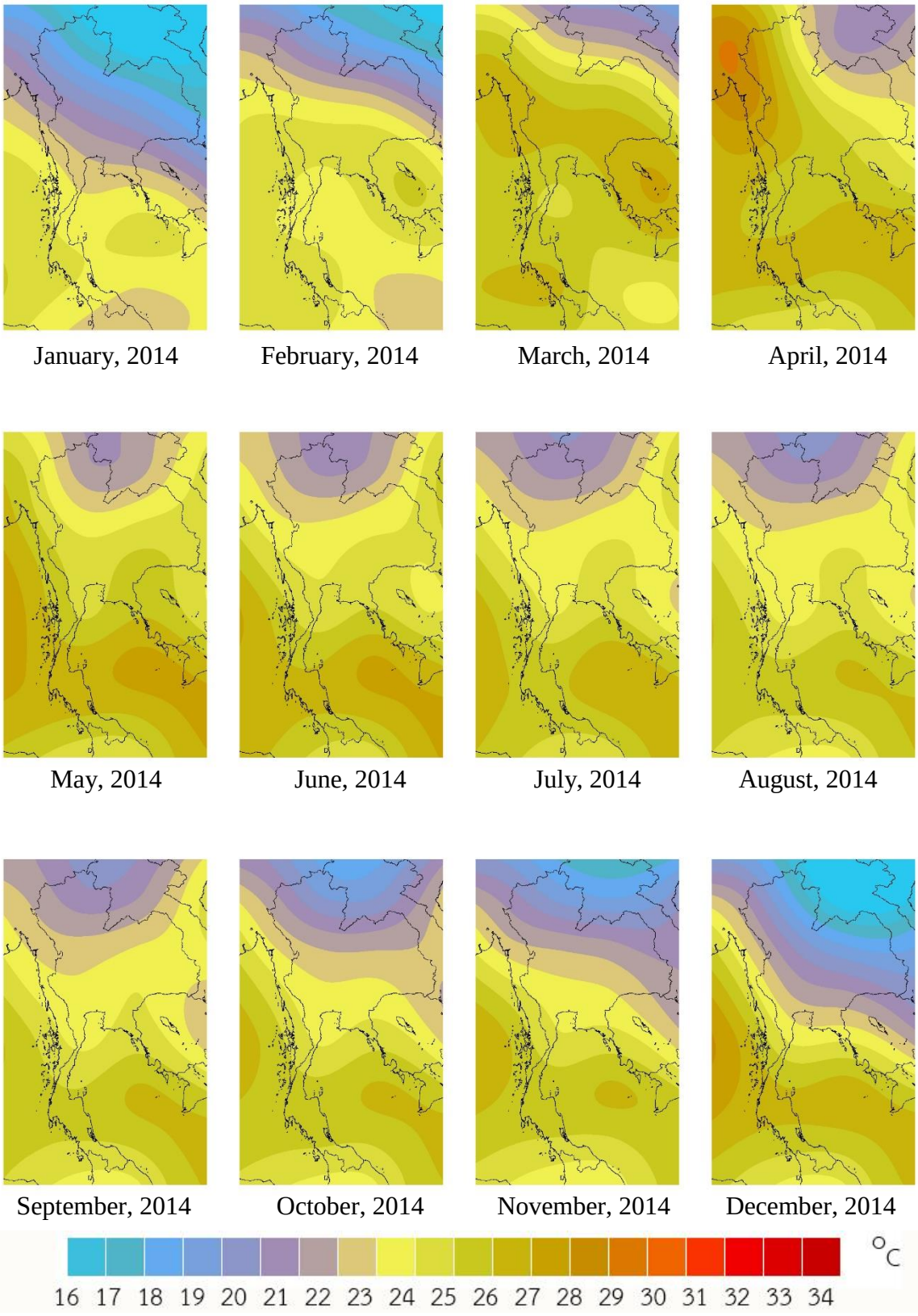
รูปที่ 3.19 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
°C
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

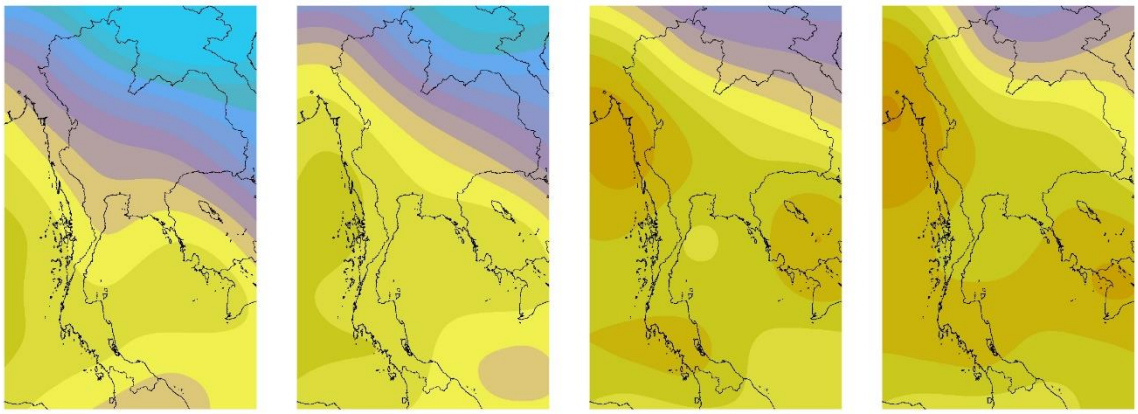
รูปที่ 3.19 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
°C
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

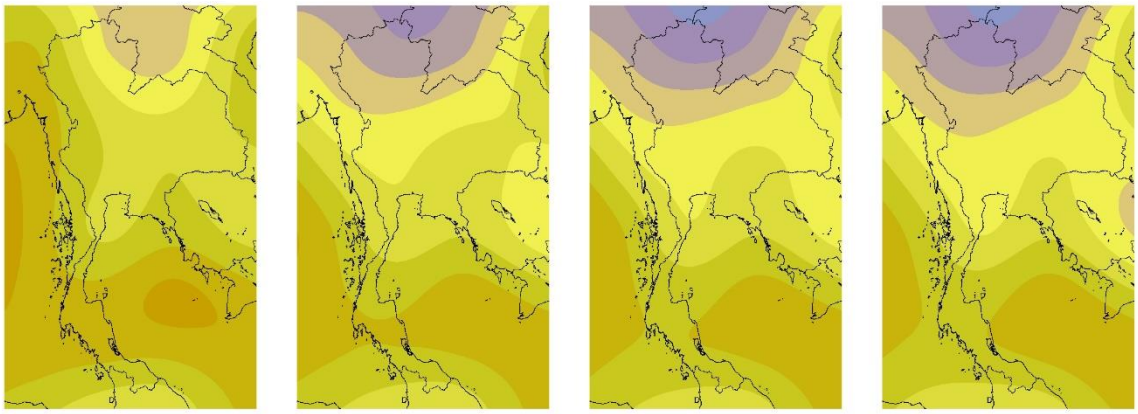
รูปที่ 3.19 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
°C
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

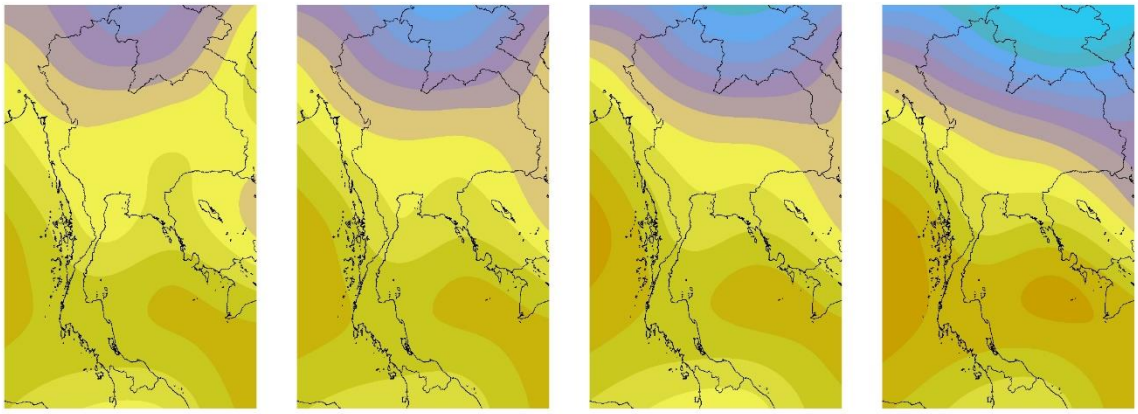
รูปที่ 3.19 (ต่อ)



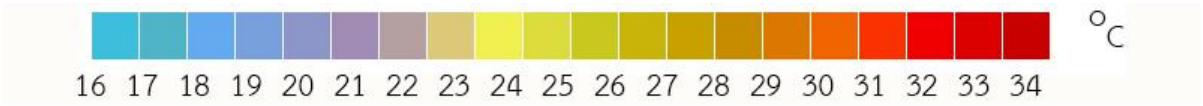
January, 2015 February, 2015 March, 2015 April, 2015



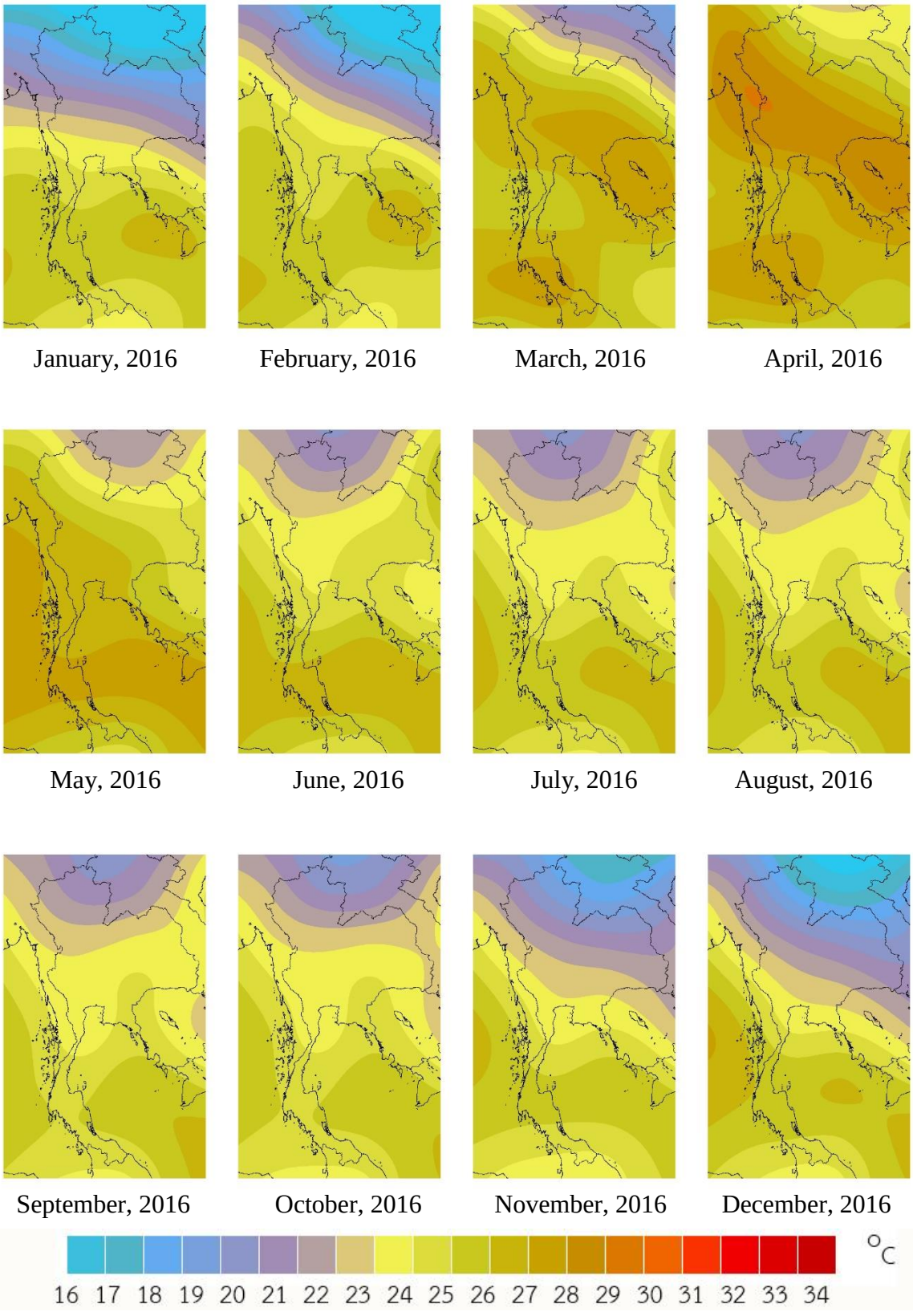
May, 2015 June, 2015 July, 2015 August, 2015



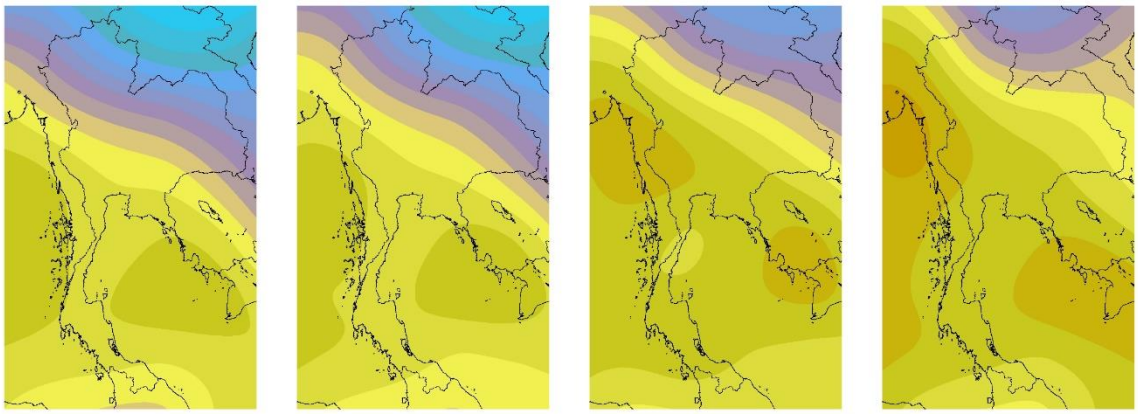
September, 2015 October, 2015 November, 2015 December, 2015



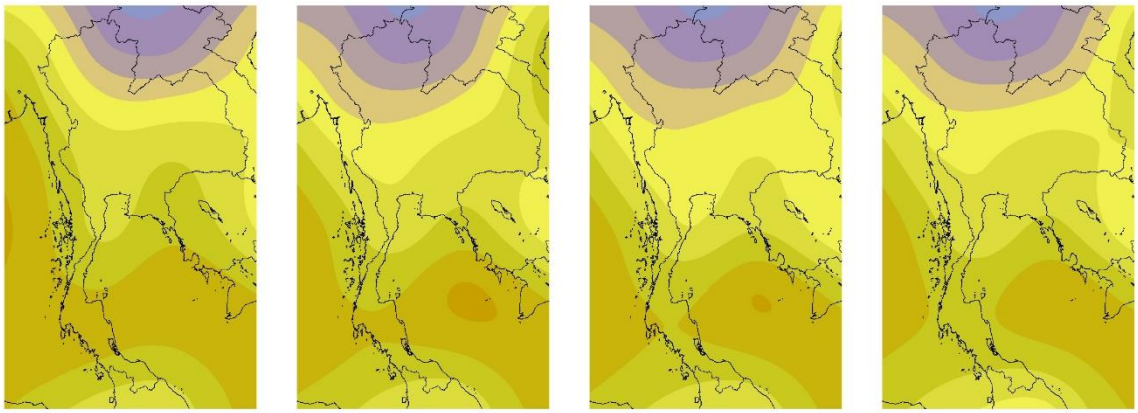
รูปที่ 3.19 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
°C
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

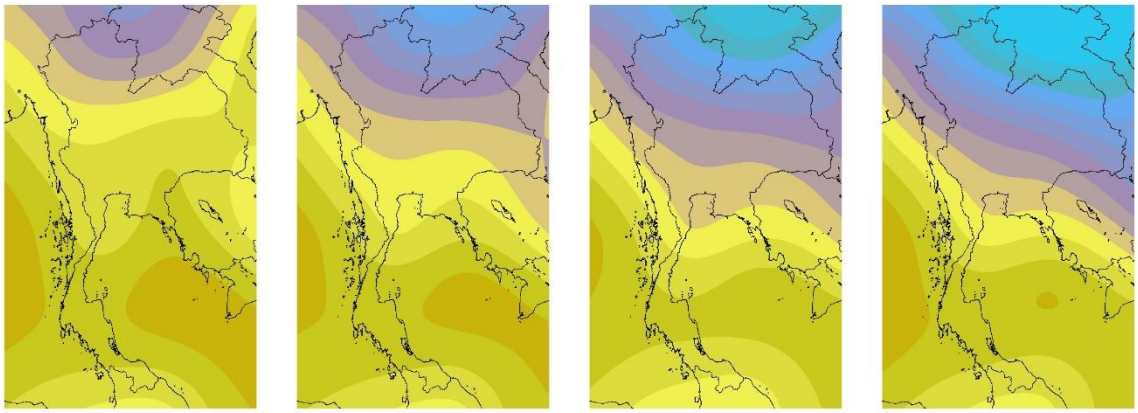
รูปที่ 3.19 (ต่อ)



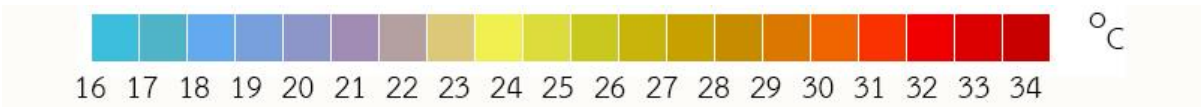
January, 2017 February, 2017 March, 2017 April, 2017



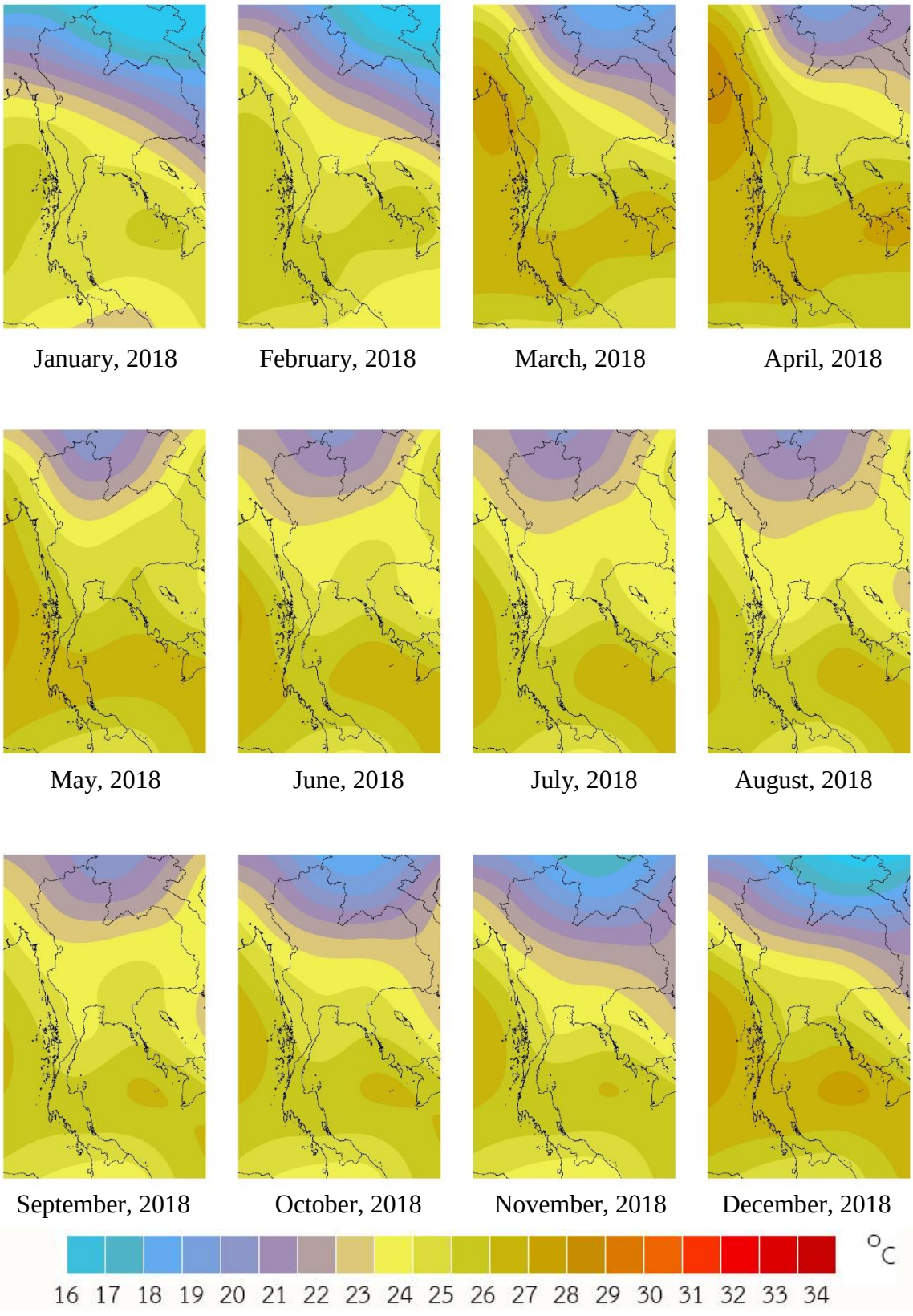
May, 2017 June, 2017 July, 2017 August, 2017



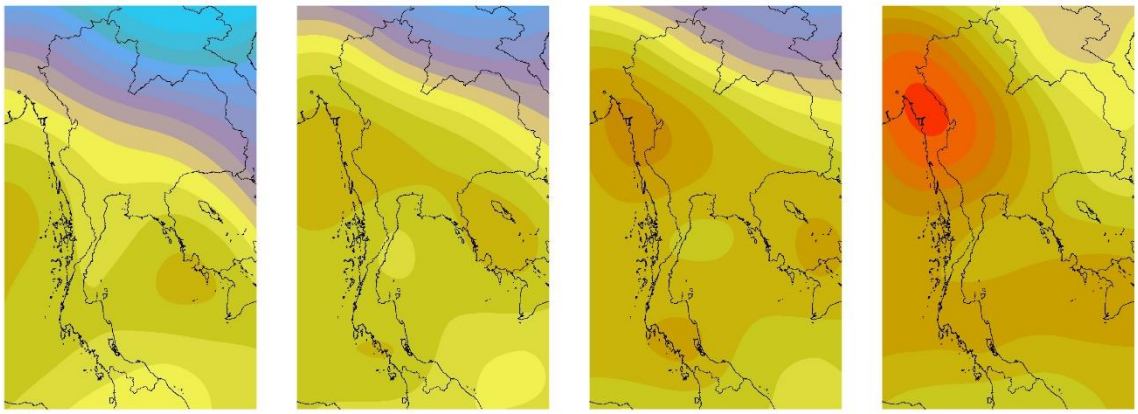
September, 2017 October, 2017 November, 2017 December, 2017



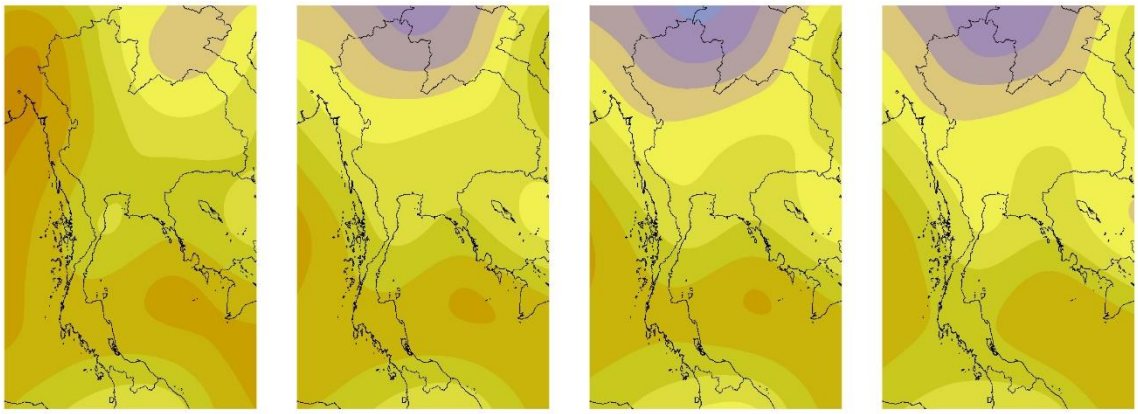
รูปที่ 3.19 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
°C
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

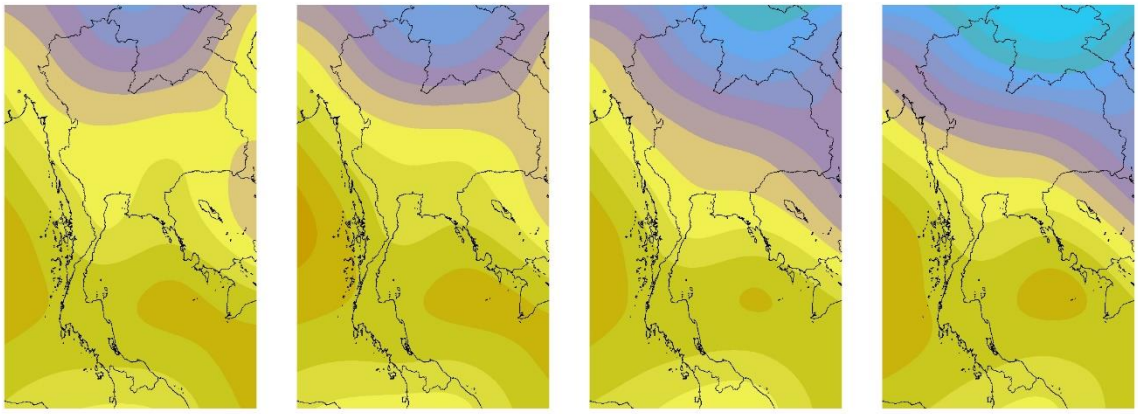
รูปที่ 3.19 (ต่อ)



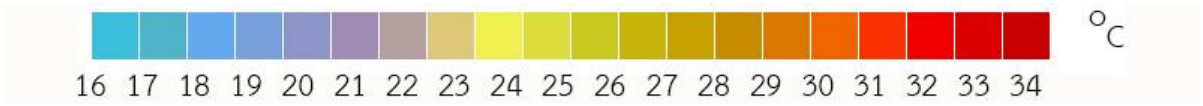
January, 2019 February, 2019 March, 2019 April, 2019



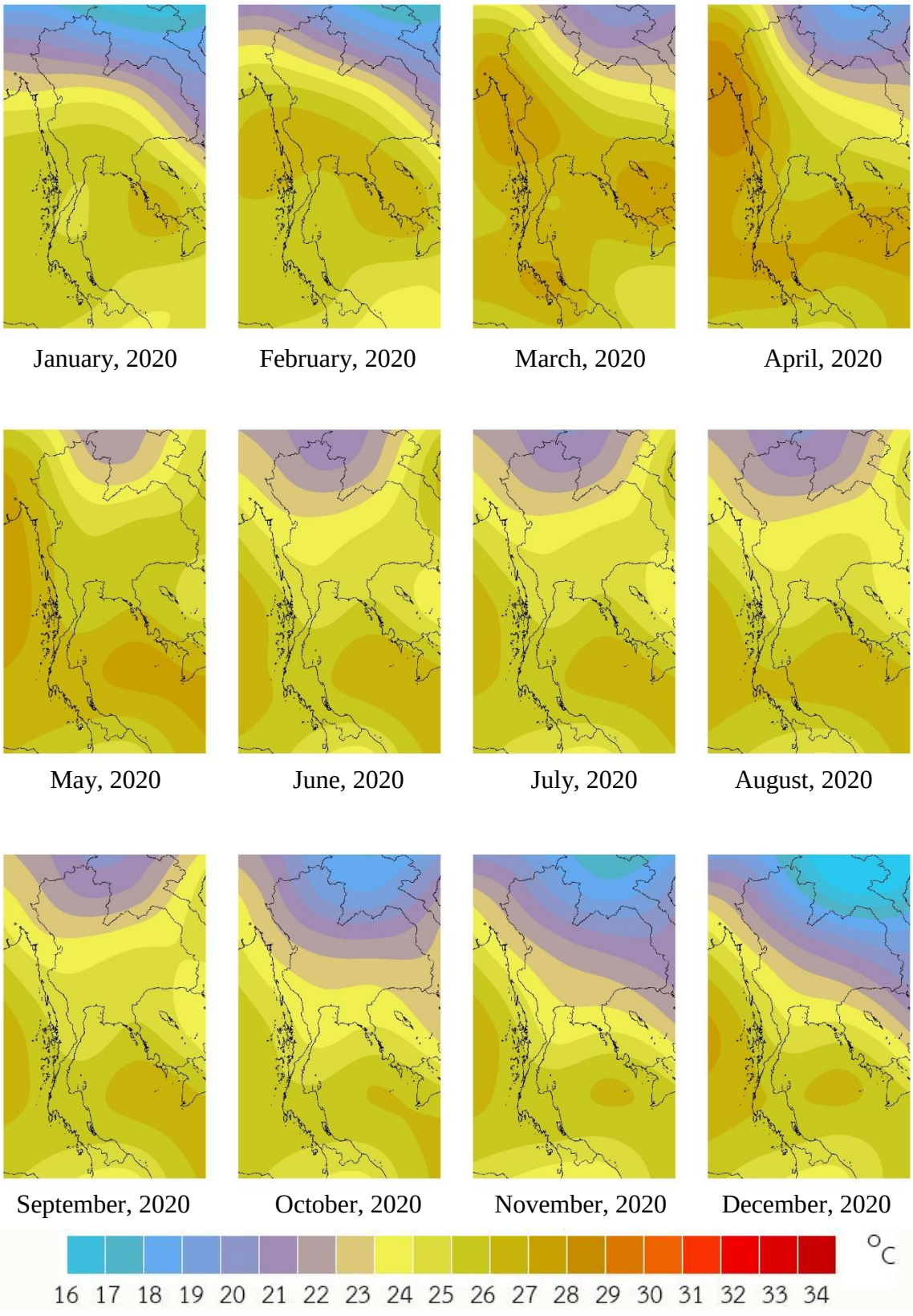
May, 2019 June, 2019 July, 2019 August, 2019



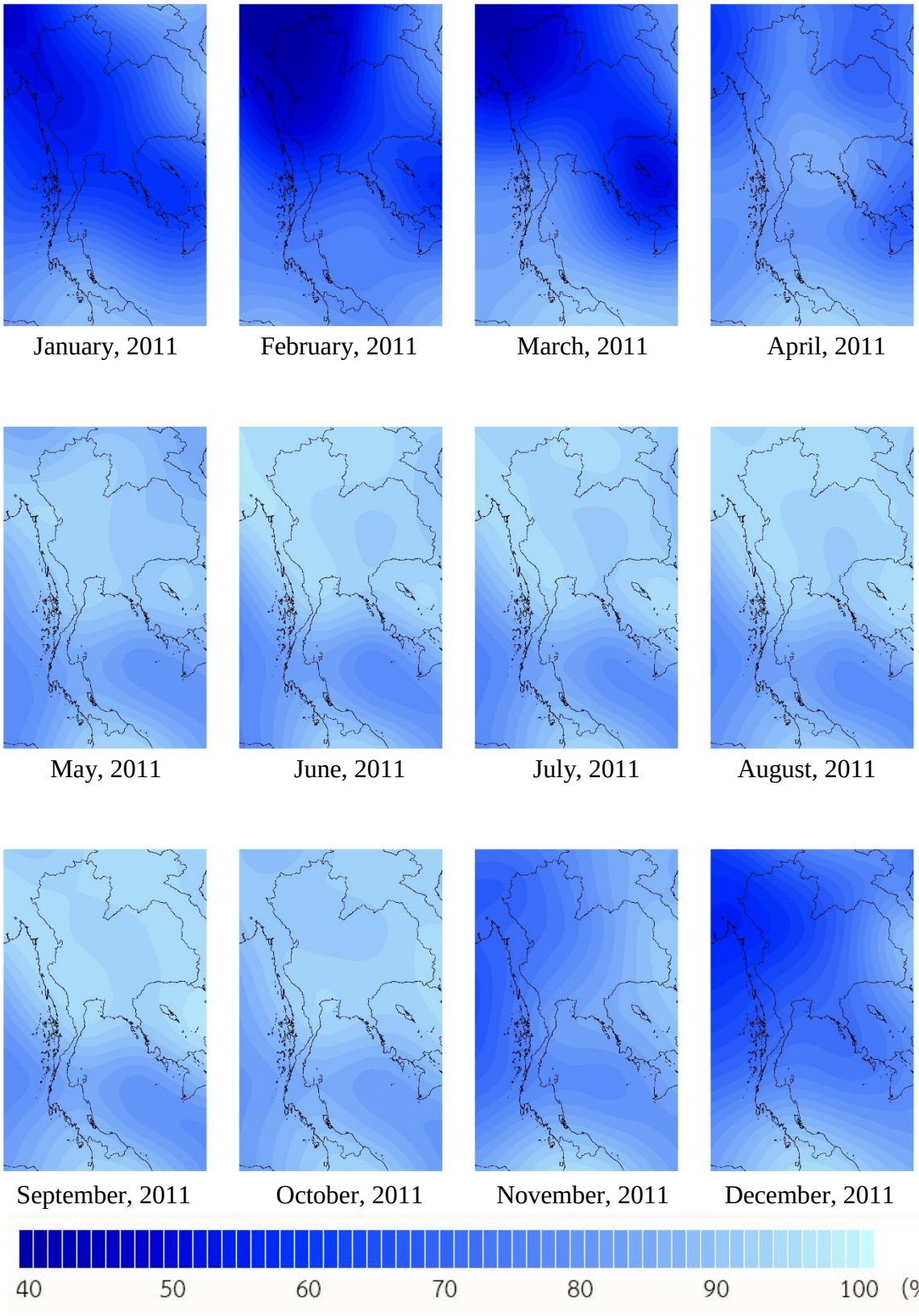
September, 2019 October, 2019 November, 2019 December, 2019



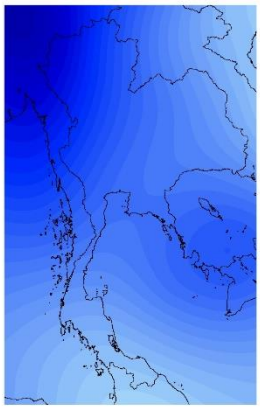
รูปที่ 3.19 (ต่อ)

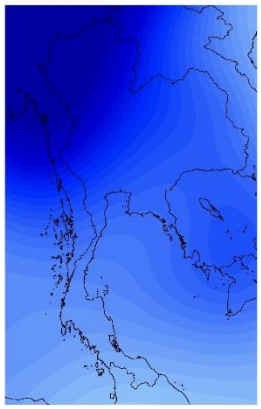

January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
°C
16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

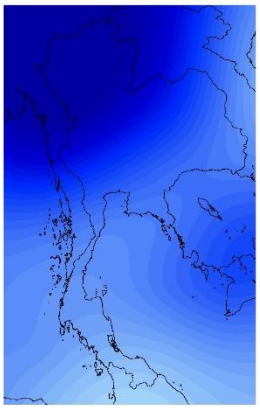
รูปที่ 3.19 (ต่อ)

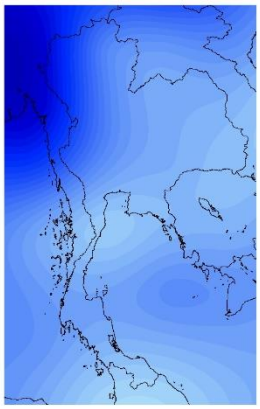


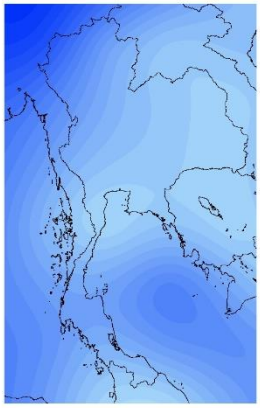
รูปที่ 3.20 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยรายเดือน

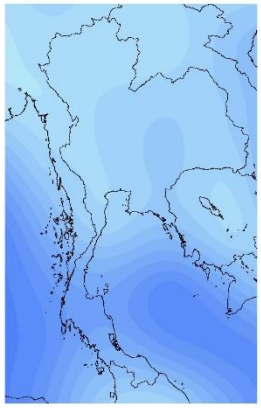

January, 2012

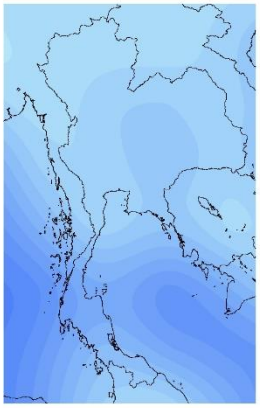

February, 2012

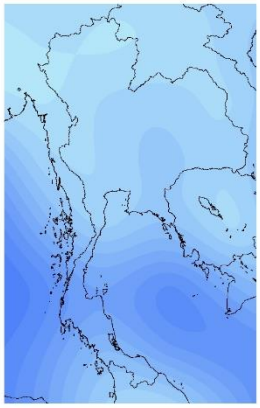

March, 2012

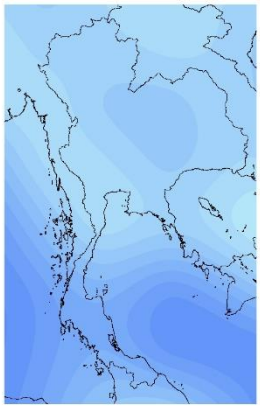

April, 2012

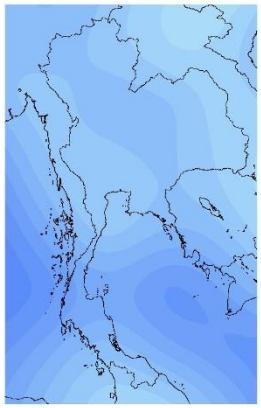

May, 2012

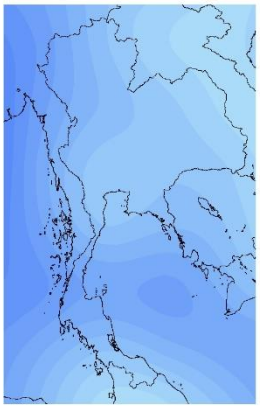

June, 2012

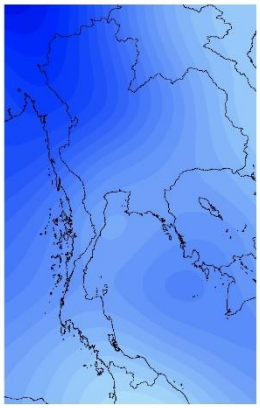

July, 2012


August, 2012


September, 2012

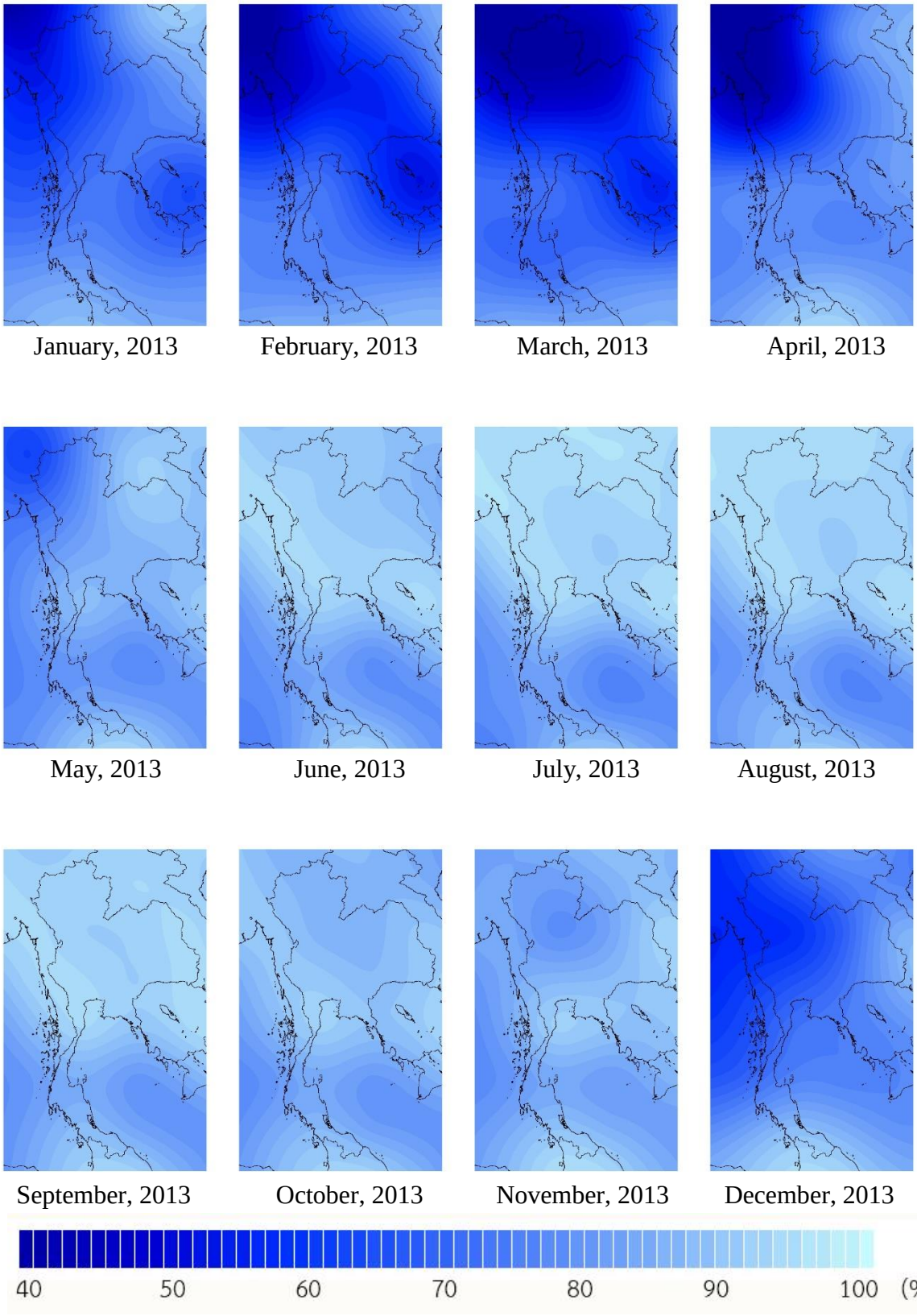

October, 2012


November, 2012

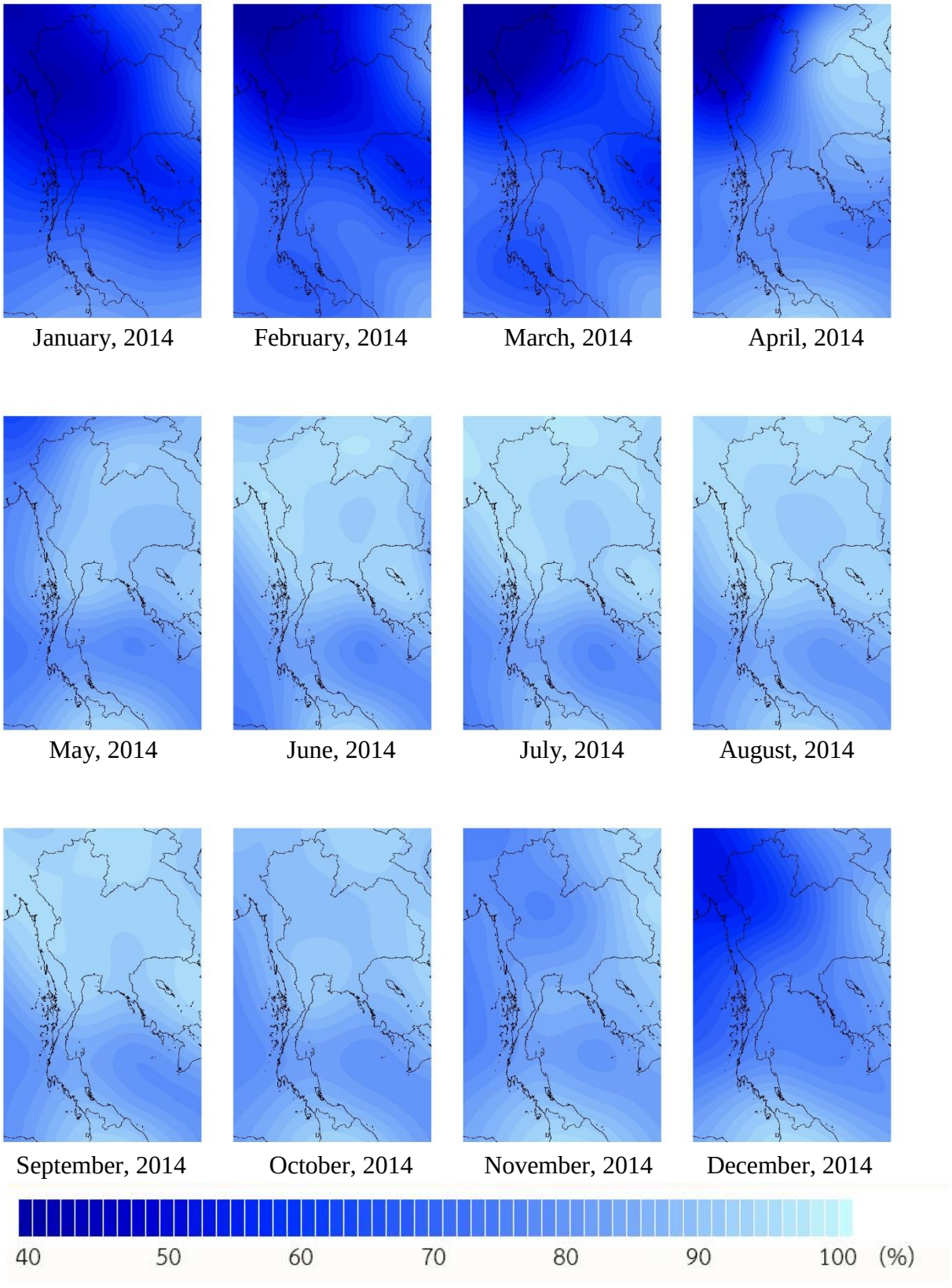

December, 2012



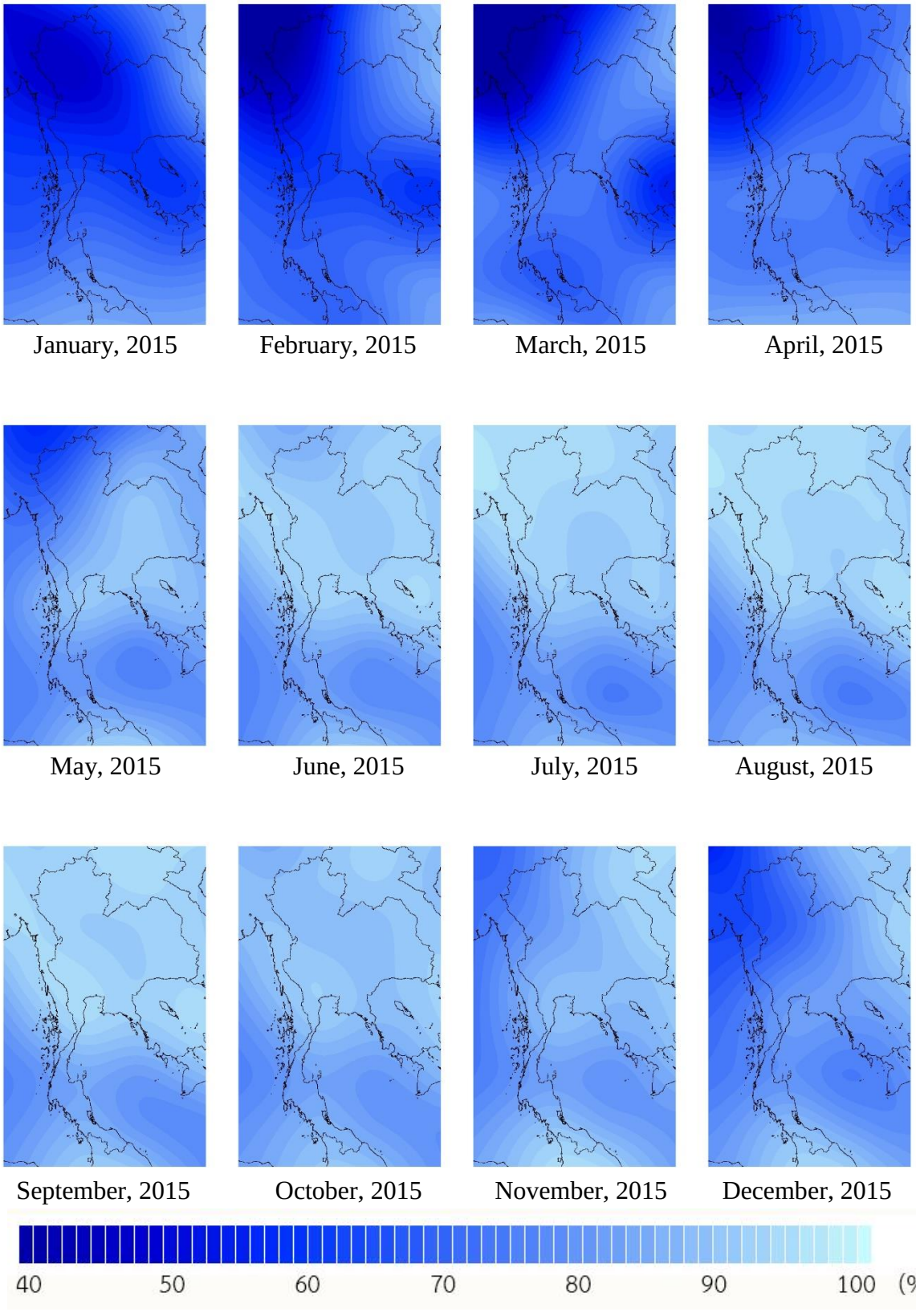
รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
40
50
60
70
80
90
100
(%)

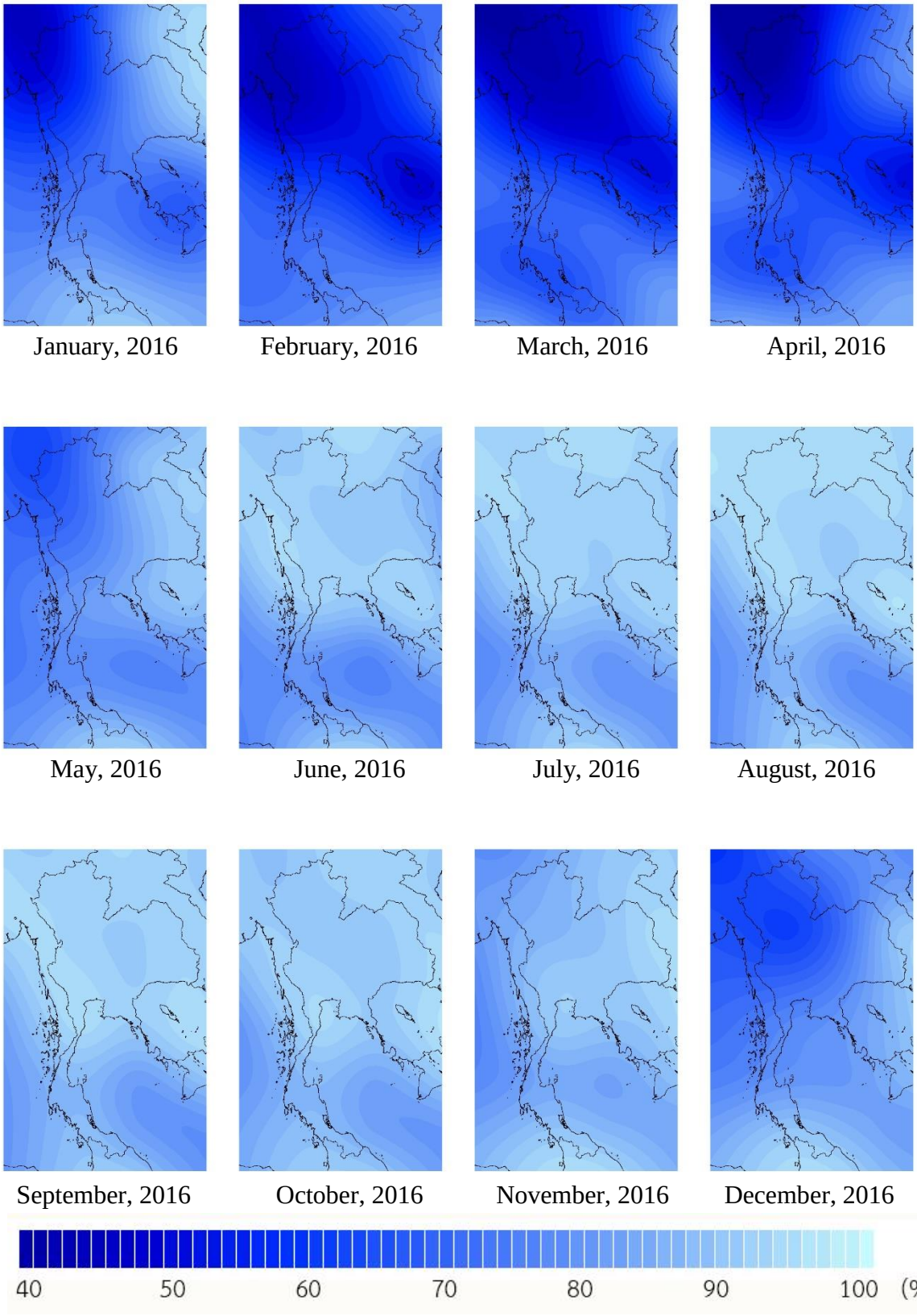
รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
40
50
60
70
80
90
100
(%)

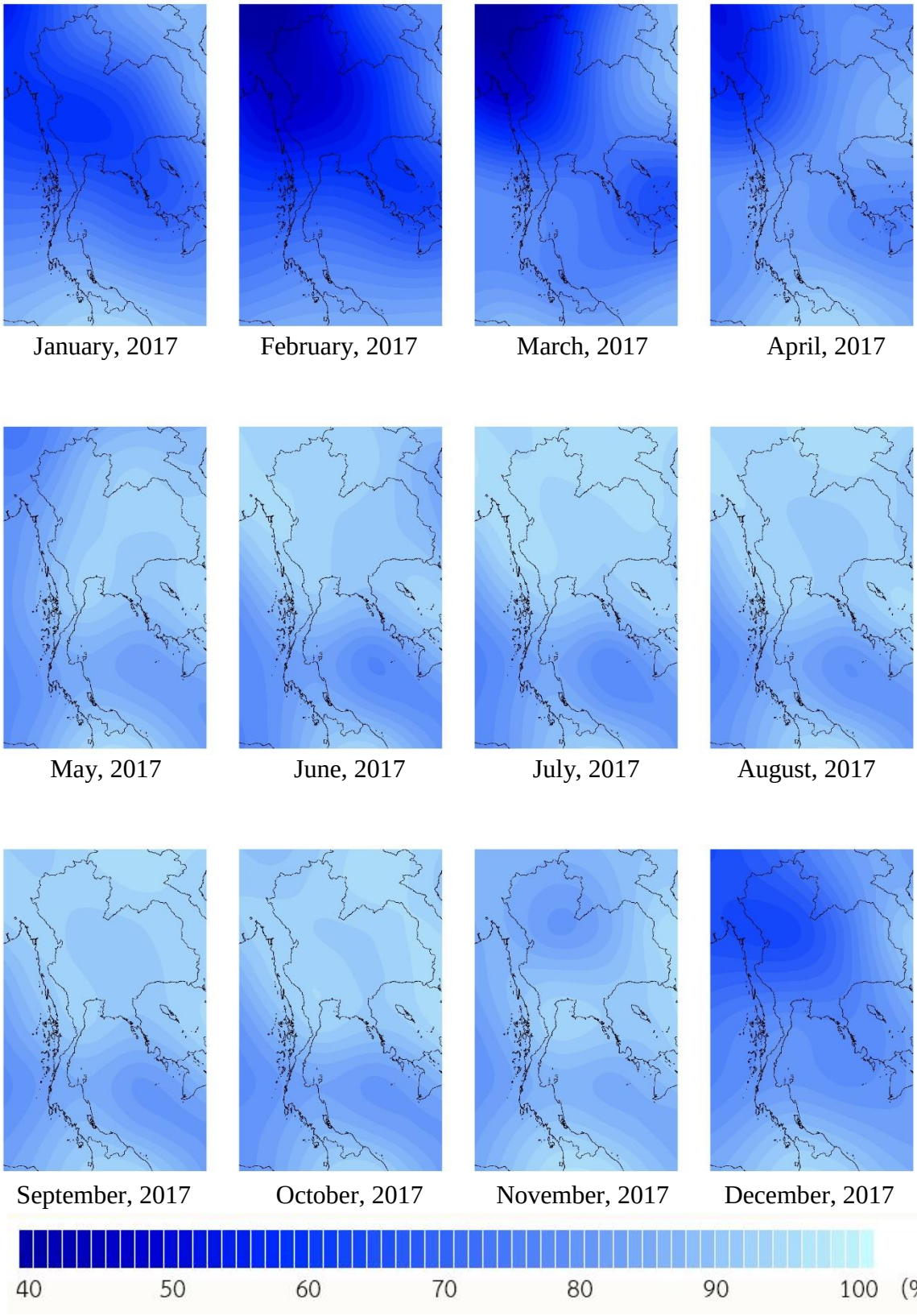
รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
40
50
60
70
80
90
100
(%)

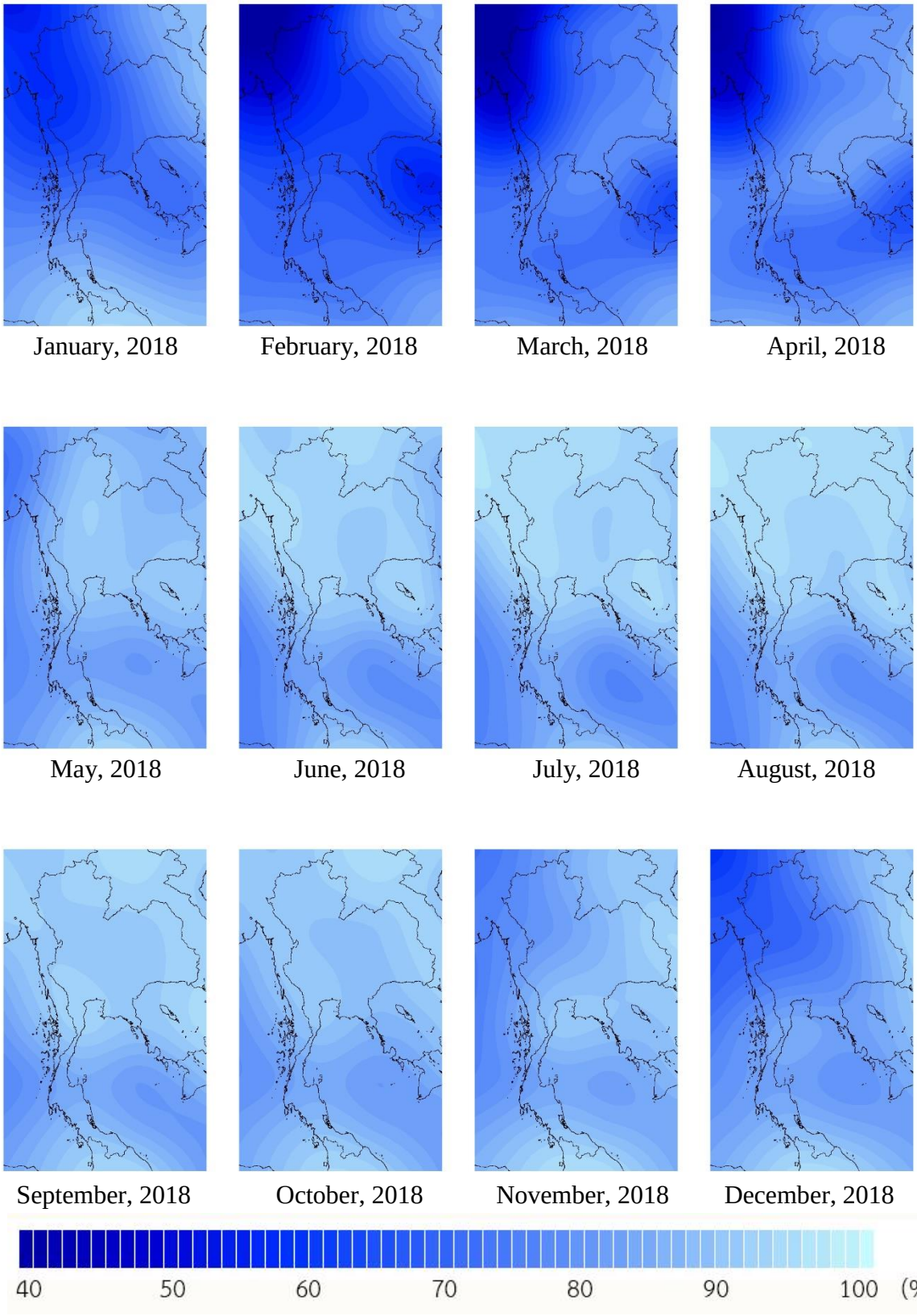
รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
40
50
60
70
80
90
100
(%)

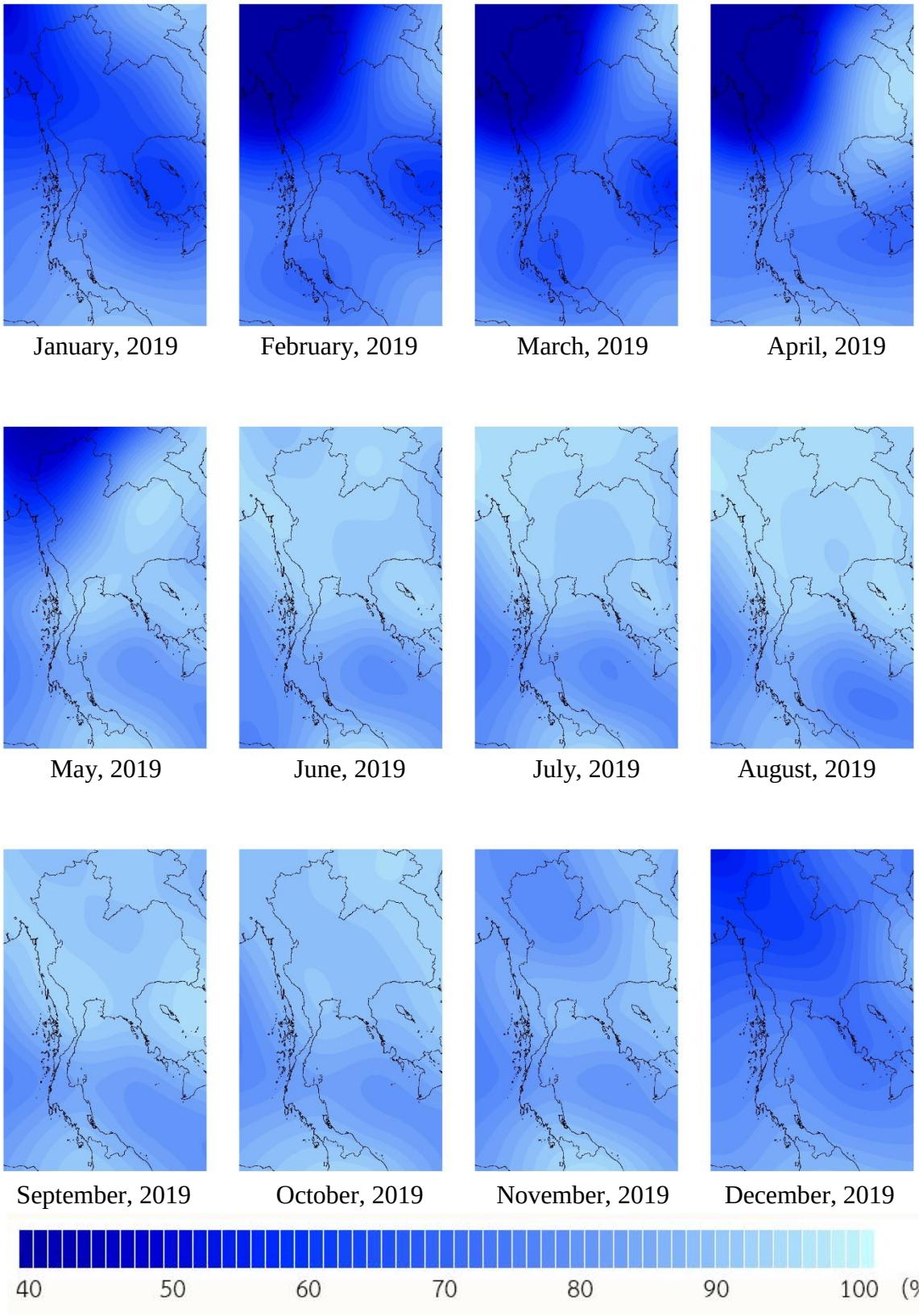
รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
40
50
60
70
80
90
100
(%)

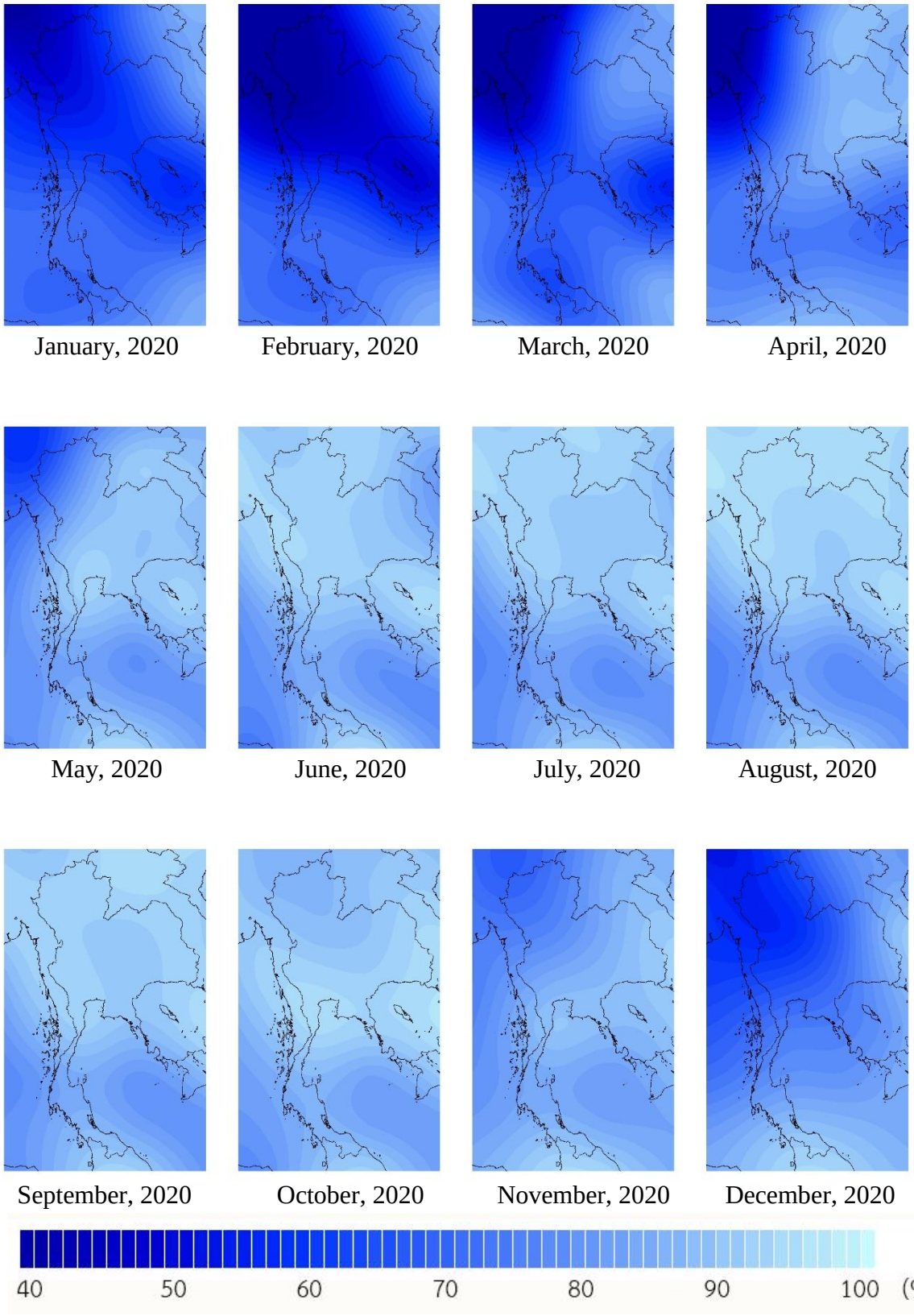
รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
40
50
60
70
80
90
100
(%)

รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
40
50
60
70
80
90
100
(%)

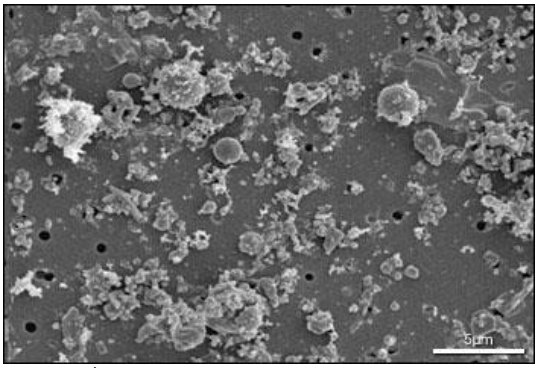
รูปที่ 3.20 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
40
50
60
70
80
90
100
(%)

รูปที่ 3.20 (ต่อ)

3.1.4 การจัดหาข้อมูลทัศนวิสัย (visibility) ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย จำนวนอย่างน้อย 10 ปี เพื่อใช้ในการคำนวณการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์จากฝุ่นละออง (ตาม TOR ข้อ 5.1 (4))

ฝุ่นละอองหมายถึงอนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ ทั้งนี้รวมถึงควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายจากพื้นดินหรือจากทะเลทราย ละอองเกลือจากน้ำทะเล ละอองเกสรดอกไม้ และละอองของเหลวของสารเคมีต่าง ๆ แต่จะไม่รวมถึงเมฆและหมอก โดยทั่วไปฝุ่นละอองในบรรยากาศมีขนาดตั้งแต่ 0.1 – 1,000 μm โดยมีรูปทรงและองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง (Iqbal, 1983) ตัวอย่างของฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.21



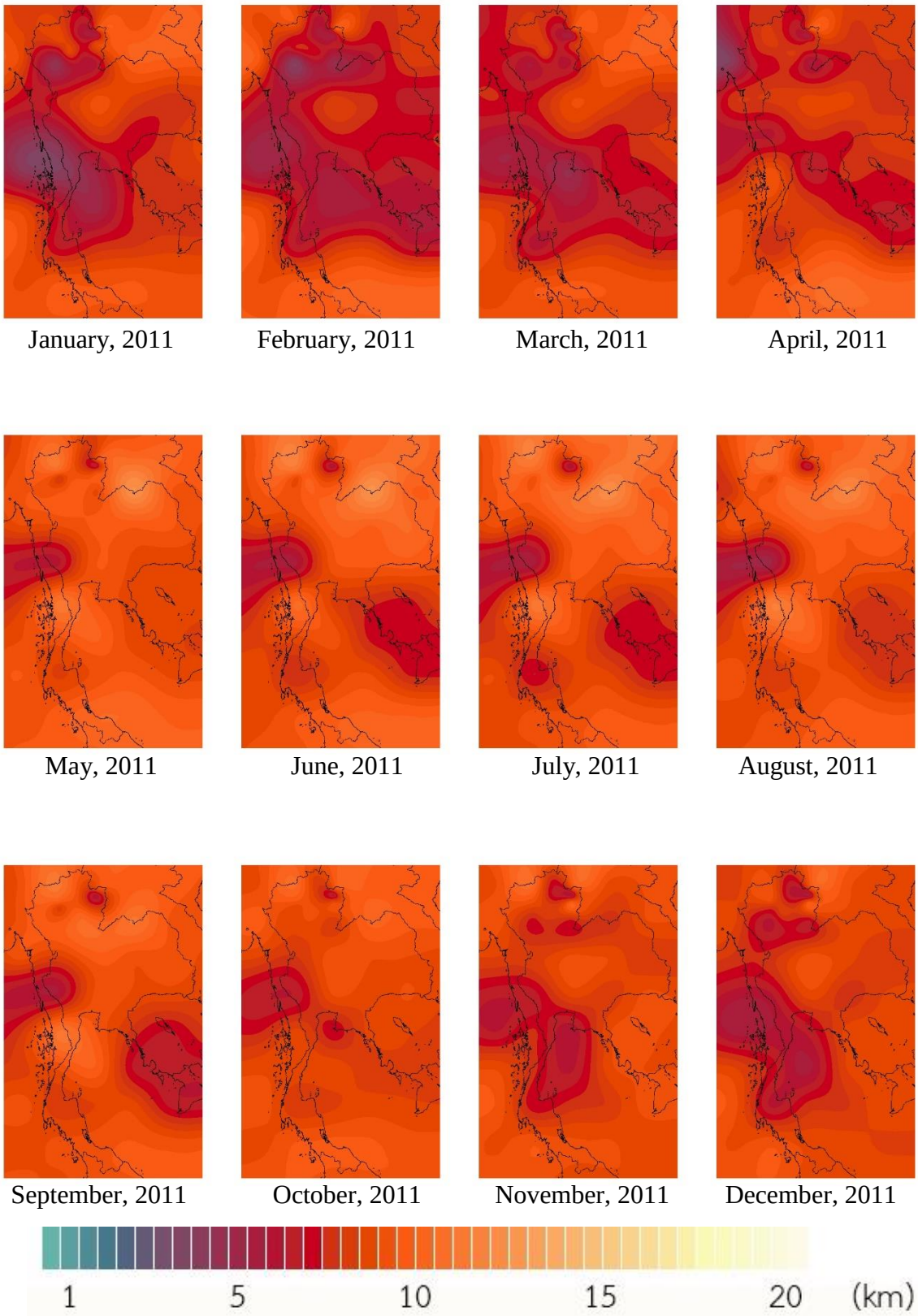
รูปที่ 3.21 ลักษณะของฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล (ภาพจาก Dr. Brent Holben องค์การ NASA)

ฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะอยู่ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ที่ช่วงความสูงตั้งแต่พื้นผิวโลกจนถึงที่ระดับความสูง 2 km และจะลอยไปตามกระแสลม โดยทั่วไปฝุ่นละอองในบรรยากาศชั้นนี้จะอยู่ในบรรยากาศประมาณ 1 - 2 สัปดาห์ จากนั้นจะร่วงหล่นลงสู่พื้นผิวโลกด้วยแรงโน้มถ่วงหรือการชะล้างของฝน เราสามารถพบฝุ่นละอองได้เล็กน้อยในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ โดยส่วนใหญ่เกิดจากเถ้าที่พ่นจากภูเขาไฟ และสามารถฟุ้งกระจายไปได้ทั่วโลก ฝุ่นละอองนี้อาจอยู่ในบรรยากาศได้นานหลายปี เนื่องจากในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ไม่มีฝนช่วยชะล้างและอยู่ในระดับสูง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงน้อย

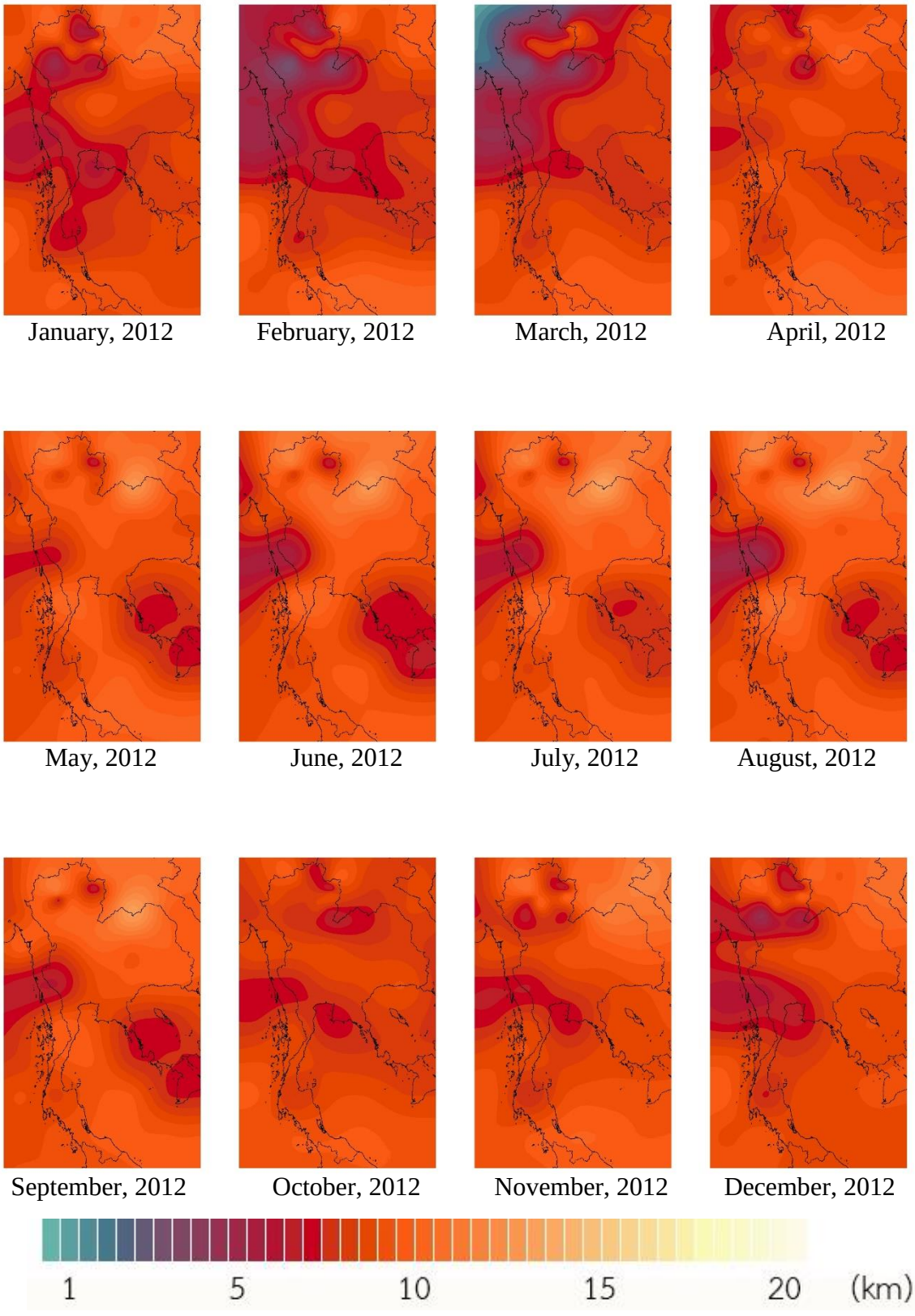
ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และฝุ่นละอองธรรมชาติ ตัวอย่างของฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ ฝุ่นละอองจากการสันดาปของเชื้อเพลิงฟอสซิลต่าง ๆ และการเผาชีวมวล เป็นต้น สำหรับฝุ่นละอองธรรมชาติจะเกิดขึ้นตามกระบวนการต่าง ๆ ในธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากทะเลทราย ฝุ่นละอองจากพื้นดิน ละอองเกลือจากน้ำทะเล และละอองเกสรดอกไม้ เป็นต้น โดยทั่วไปฝุ่นละอองจะทำให้บรรยากาศขุ่นมัวซึ่งจะมีผลต่อค่าทัศนวิสัย กล่าวคือถ้าบรรยากาศขุ่นมัวมากทัศนวิสัยจะมีค่าต่ำ และในทางกลับกันถ้าบรรยากาศบริสุทธิ์

หรือมีฝุ่นละอองน้อยทัศนวิสัยจะมีค่ามากหรือสามารถมองเห็นวัตถุที่อยู่ไกล ๆ ได้ นอกจากนี้ฝุ่นละออง สามารถดูดกลืนหรือกระเจิงรังสีอาทิตย์ได้ขึ้นกับชนิดของฝุ่นละออง เช่น ฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวลจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่าฝุ่นละอองเกลือจากน้ำทะเล

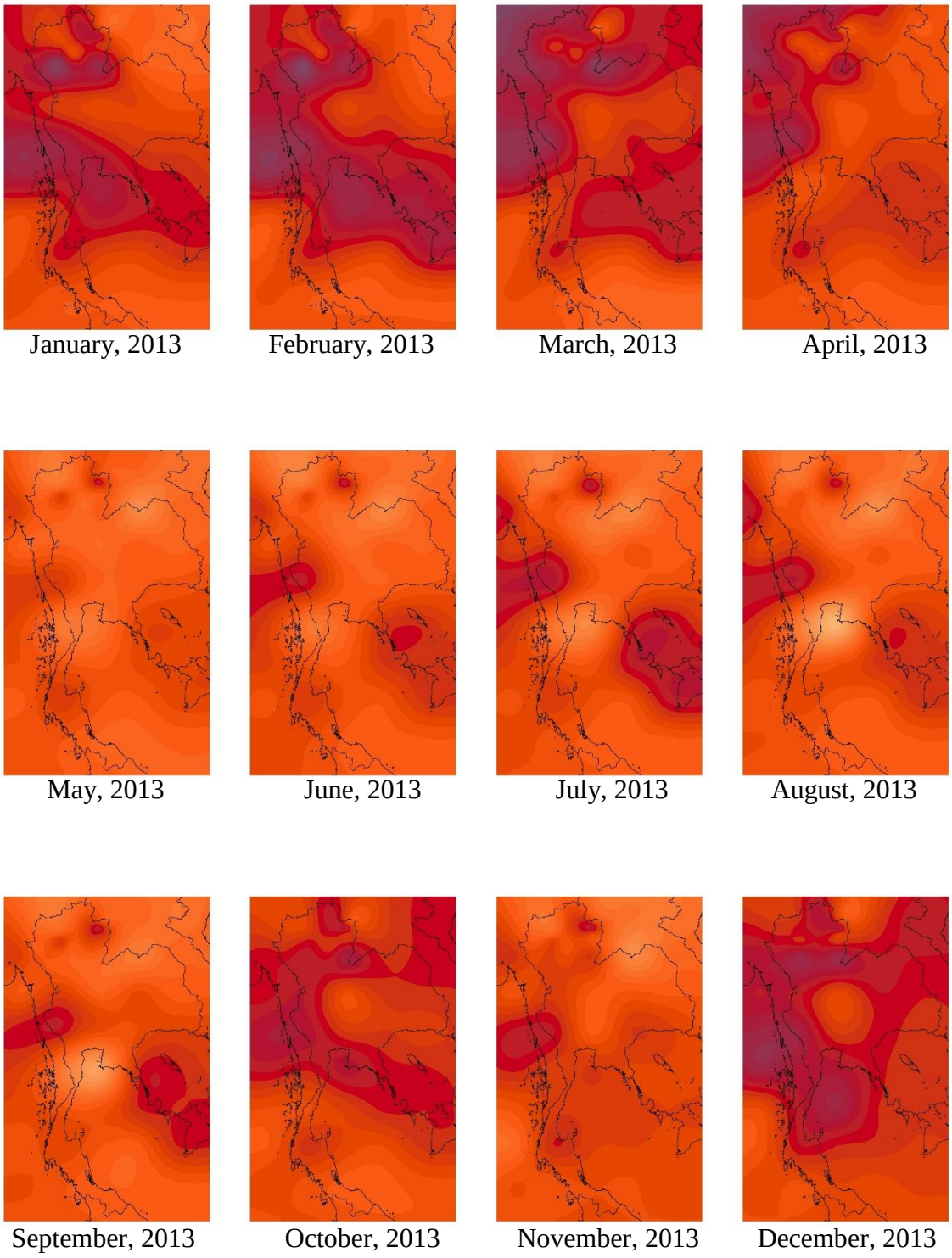
สำหรับประเทศไทยมีการตรวจวัดฝุ่นละอองในคอลัมน์ของบรรยากาศด้วยเครื่องซันโฟโตมิเตอร์ จำนวน 7 แห่ง ซึ่งไม่เพียงพอต่อการจัดทำแผนที่ครอบคลุมทั่วประเทศ อย่างไรก็ตาม มีการบันทึกข้อมูลทัศนวิสัยที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงนำข้อมูลทัศนวิสัยมาใช้ในงานนี้ โดยได้จัดหาและรวบรวมข้อมูลทัศนวิสัยจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2001 – ค.ศ. 2020 (รวมระยะเวลา 20 ปี) โดยนำข้อมูลทัศนวิสัยราย 3 ชั่วโมง มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนและจัดทำเป็นแผนที่โดยใช้วิธีการ interpolation เพื่อให้มีขนาดเท่ากับข้อมูลดาวเทียมที่จะใช้ในแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมต่อไป ตัวอย่างข้อมูลทัศนวิสัยที่ได้จัดหามาระหว่างปี ค.ศ. 2011 – ค.ศ. 2020 แสดงดังรูปที่ 3.22 จากรูปพบว่าค่าทัศนวิสัยเฉลี่ยรายเดือนสำหรับประเทศไทยจะอยู่ในช่วง 1 – 20 km ทั้งนี้ขึ้นกับพื้นที่และฤดูกาล แต่จะเห็นได้ชัดเจนว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ทางภาคเหนือของประเทศไทยจะมีค่าทัศนวิสัยค่อนข้างต่ำเนื่องจากมีการเผาไหม้ชีวมวลในช่วงเวลาดังกล่าว



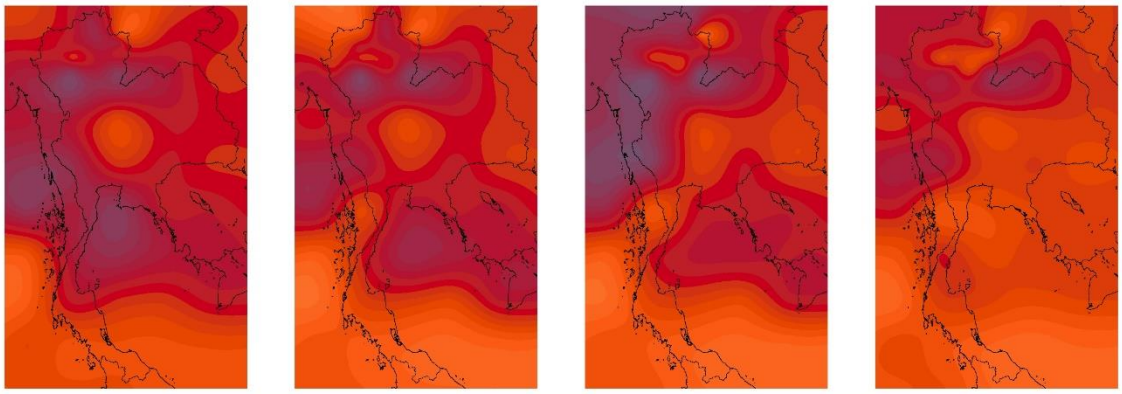
รูปที่ 3.22 ข้อมูลทัศนวิสัยเฉลี่ยรายเดือน


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
1
5
10
15
20
(km)

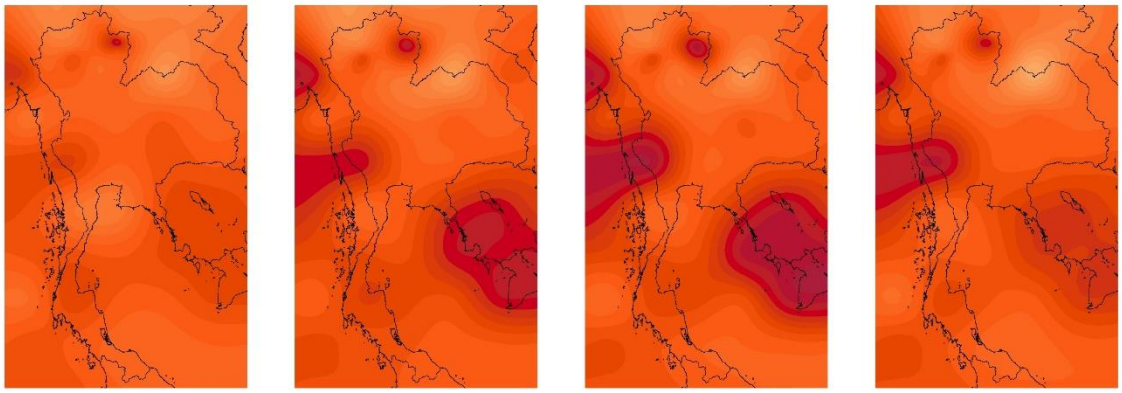
รูปที่ 3.22 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
1
5
10
15
20
(km)

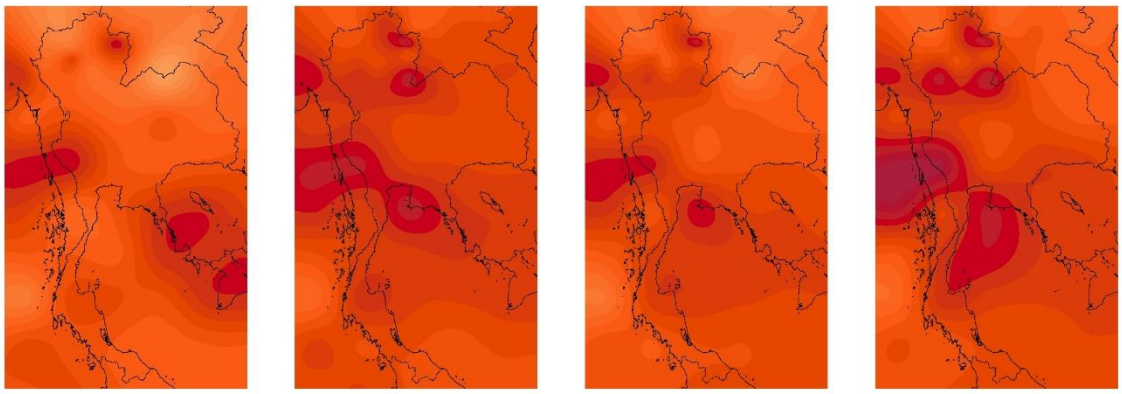
รูปที่ 3.22 (ต่อ)



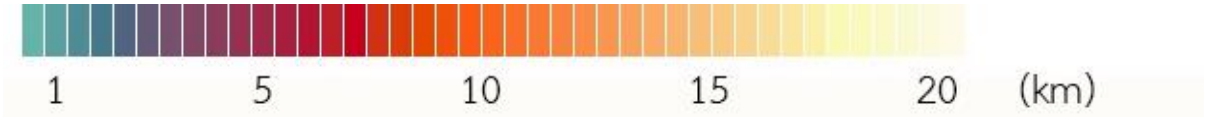
January, 2014 February, 2014 March, 2014 April, 2014



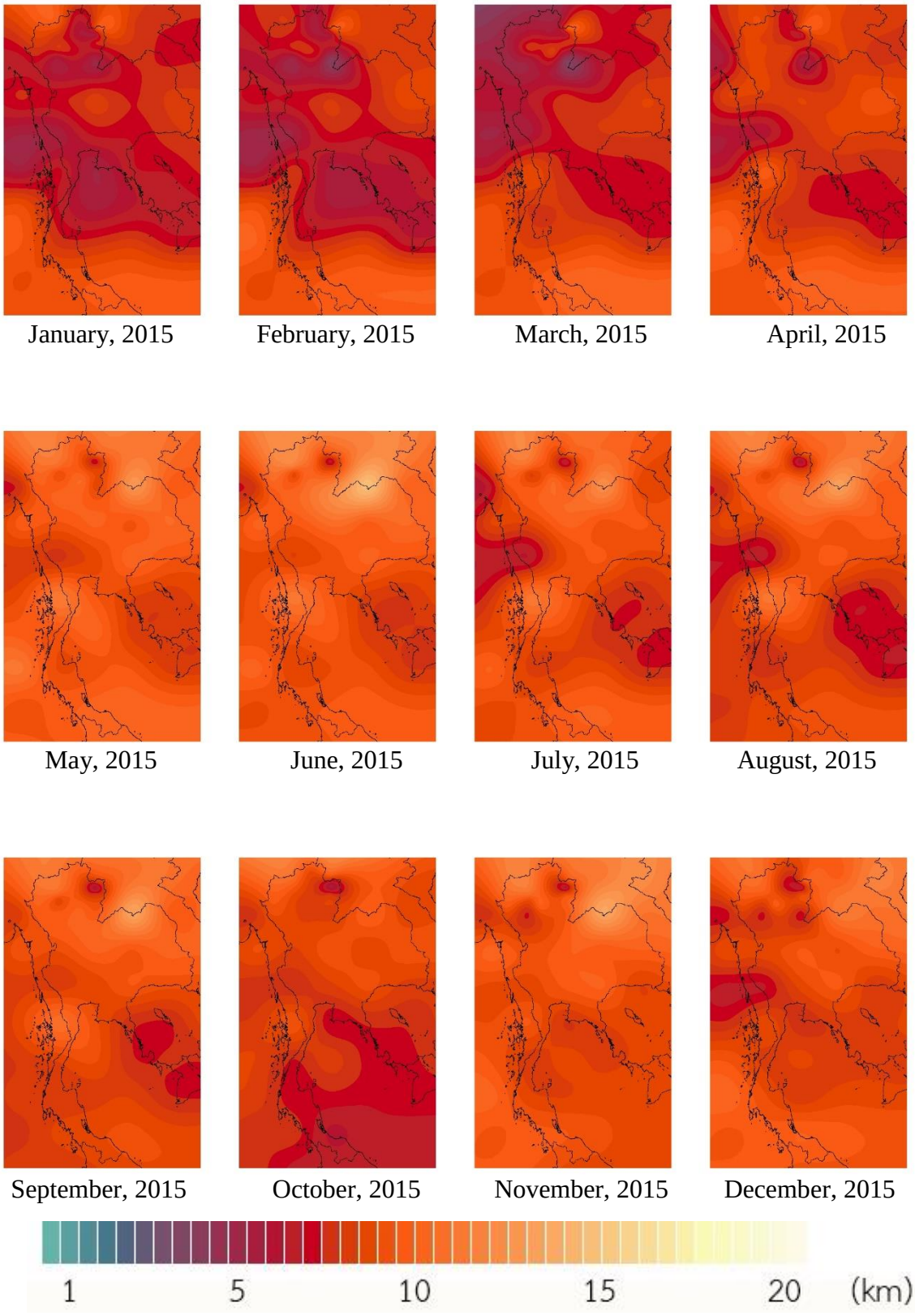
May, 2014 June, 2014 July, 2014 August, 2014



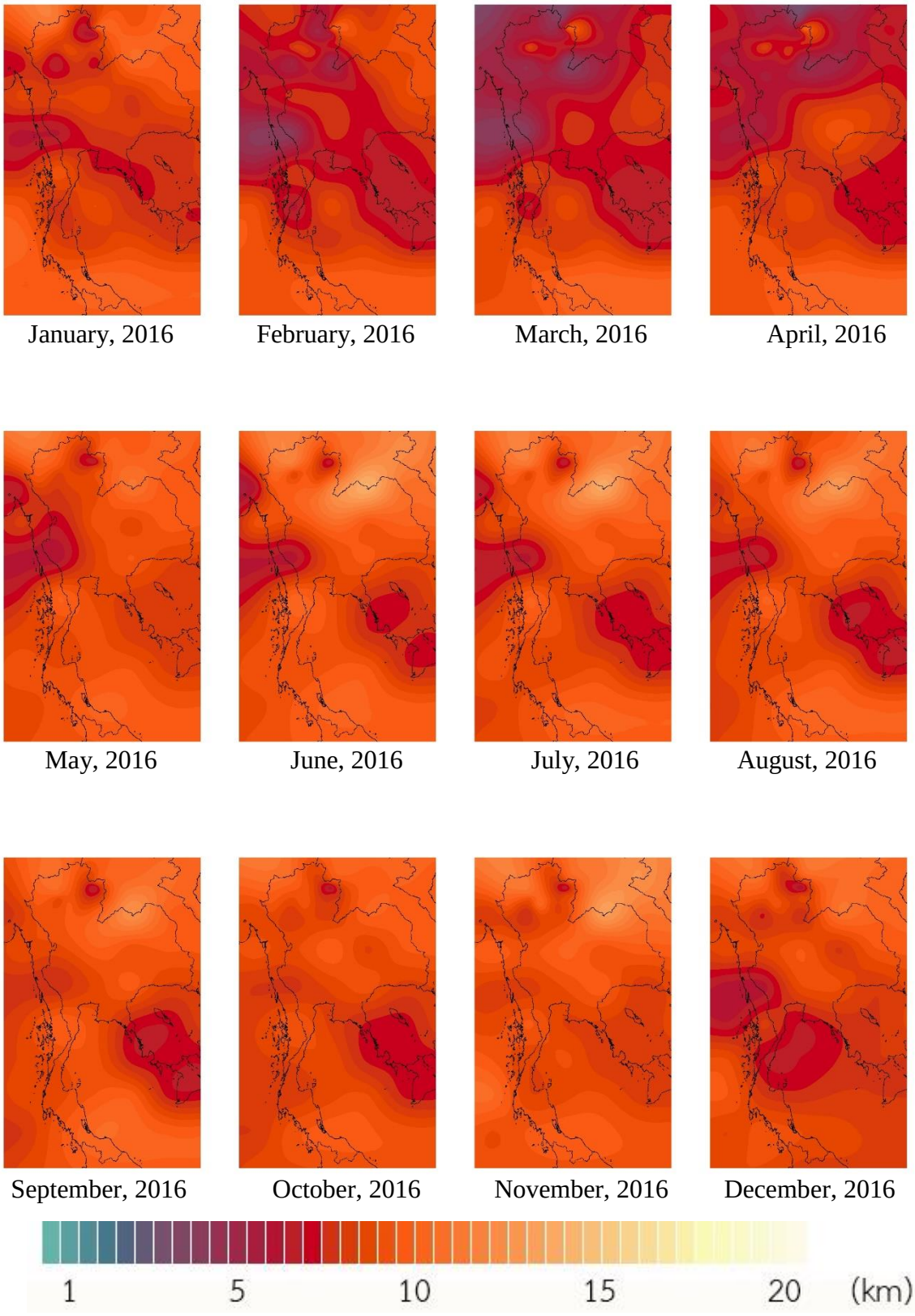
September, 2014 October, 2014 November, 2014 December, 2014



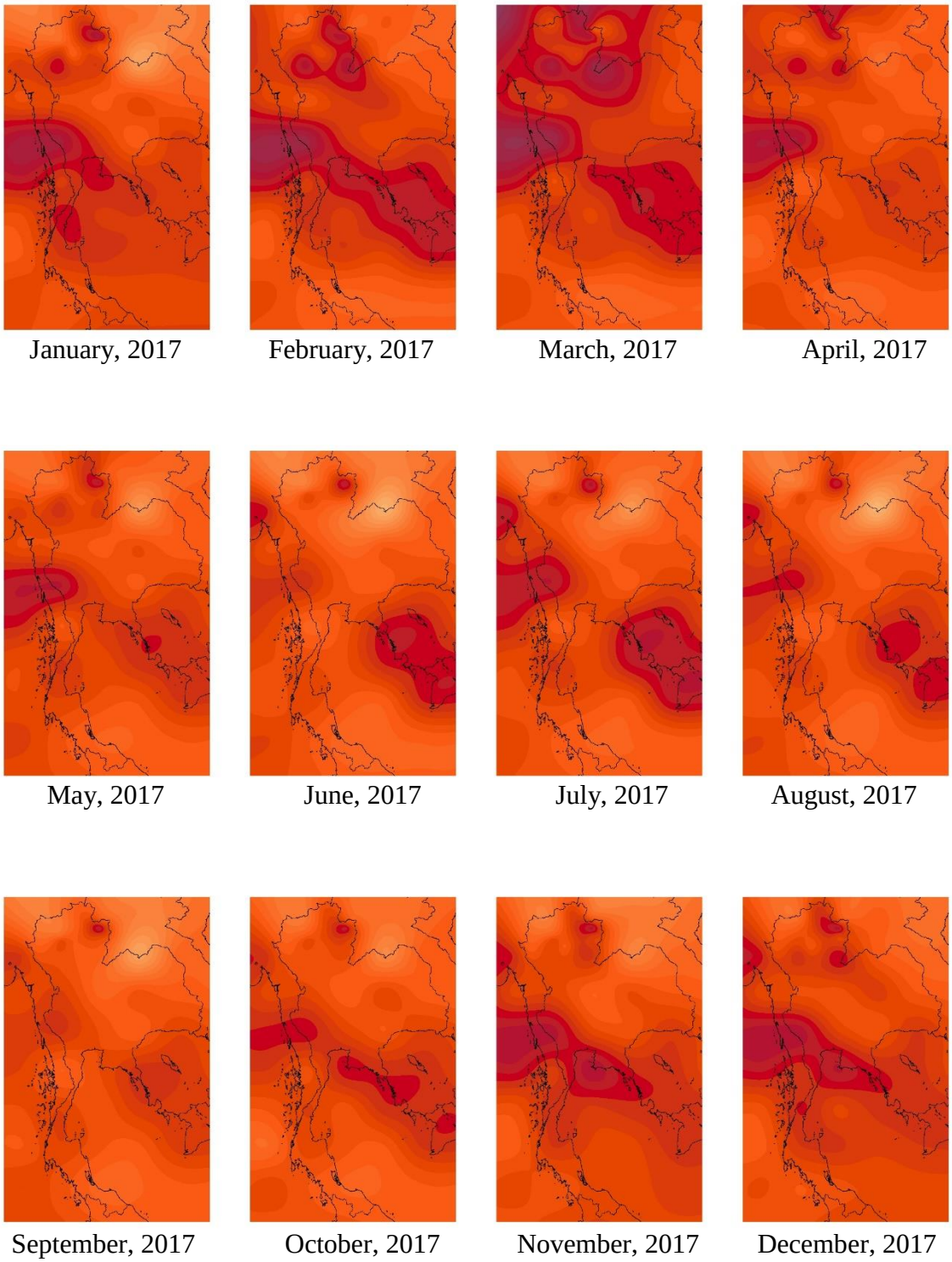
รูปที่ 3.22 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
1
5
10
15
20
(km)

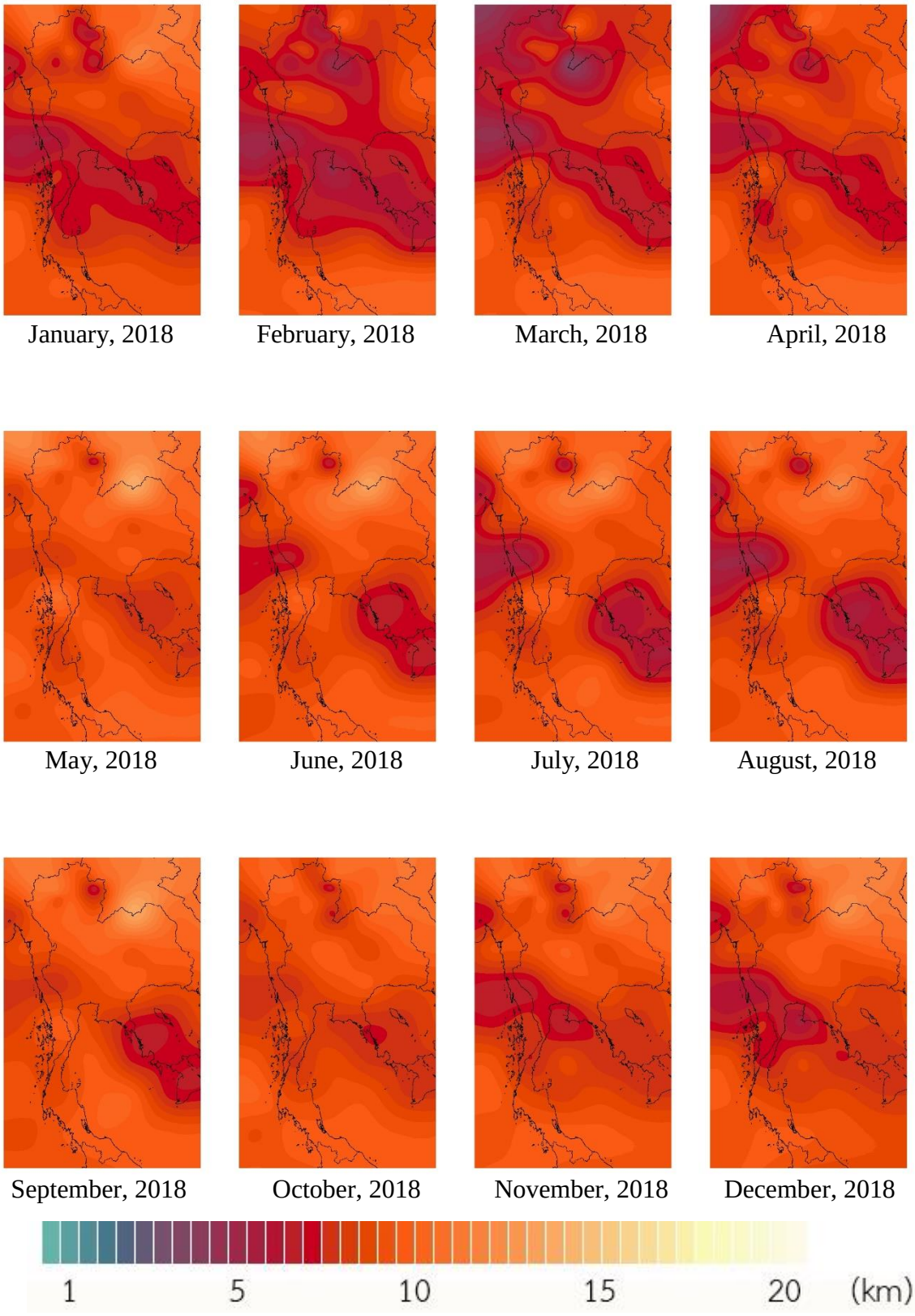
รูปที่ 3.22 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
1
5
10
15
20
(km)

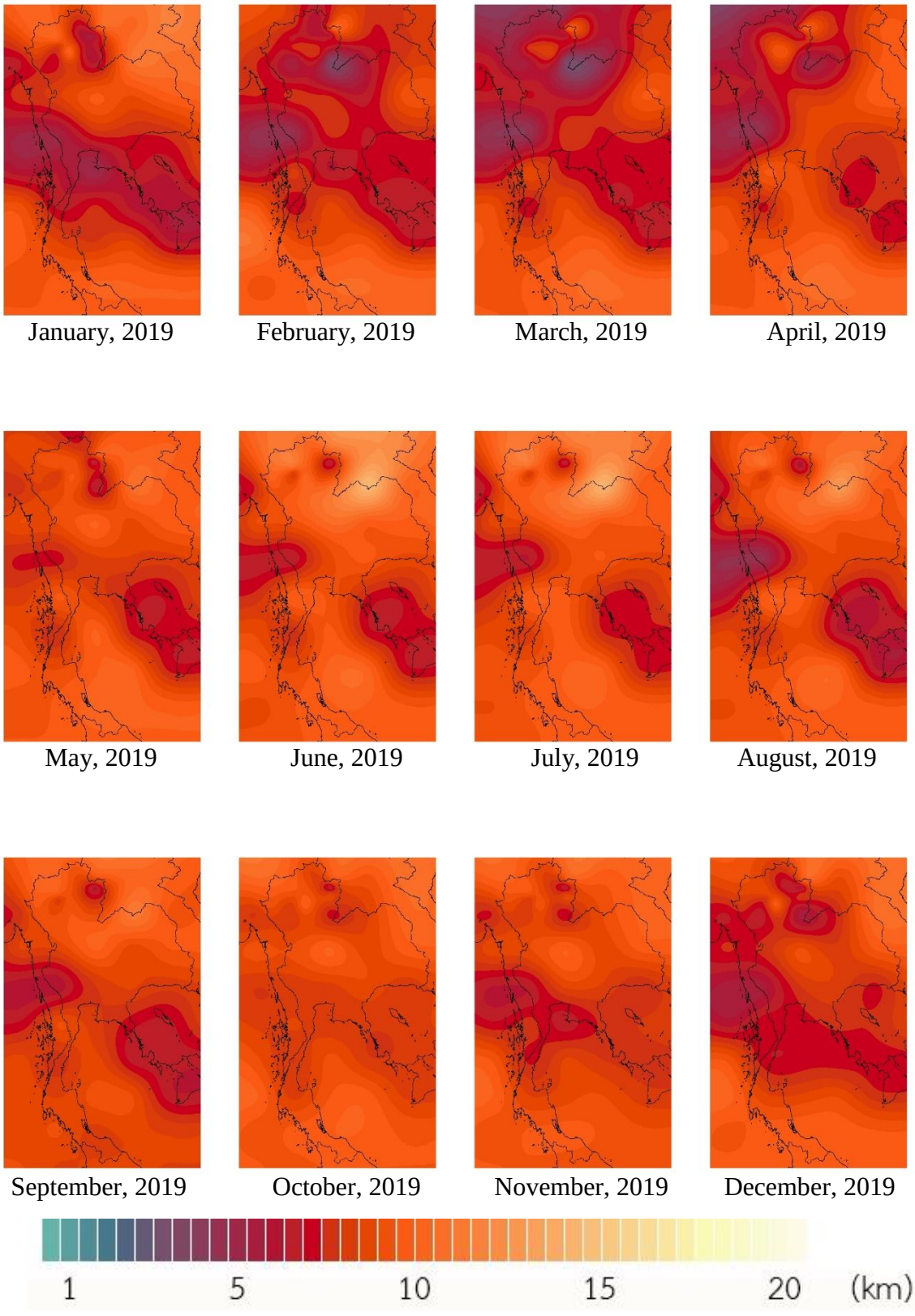
รูปที่ 3.22 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
1
5
10
15
20
(km)

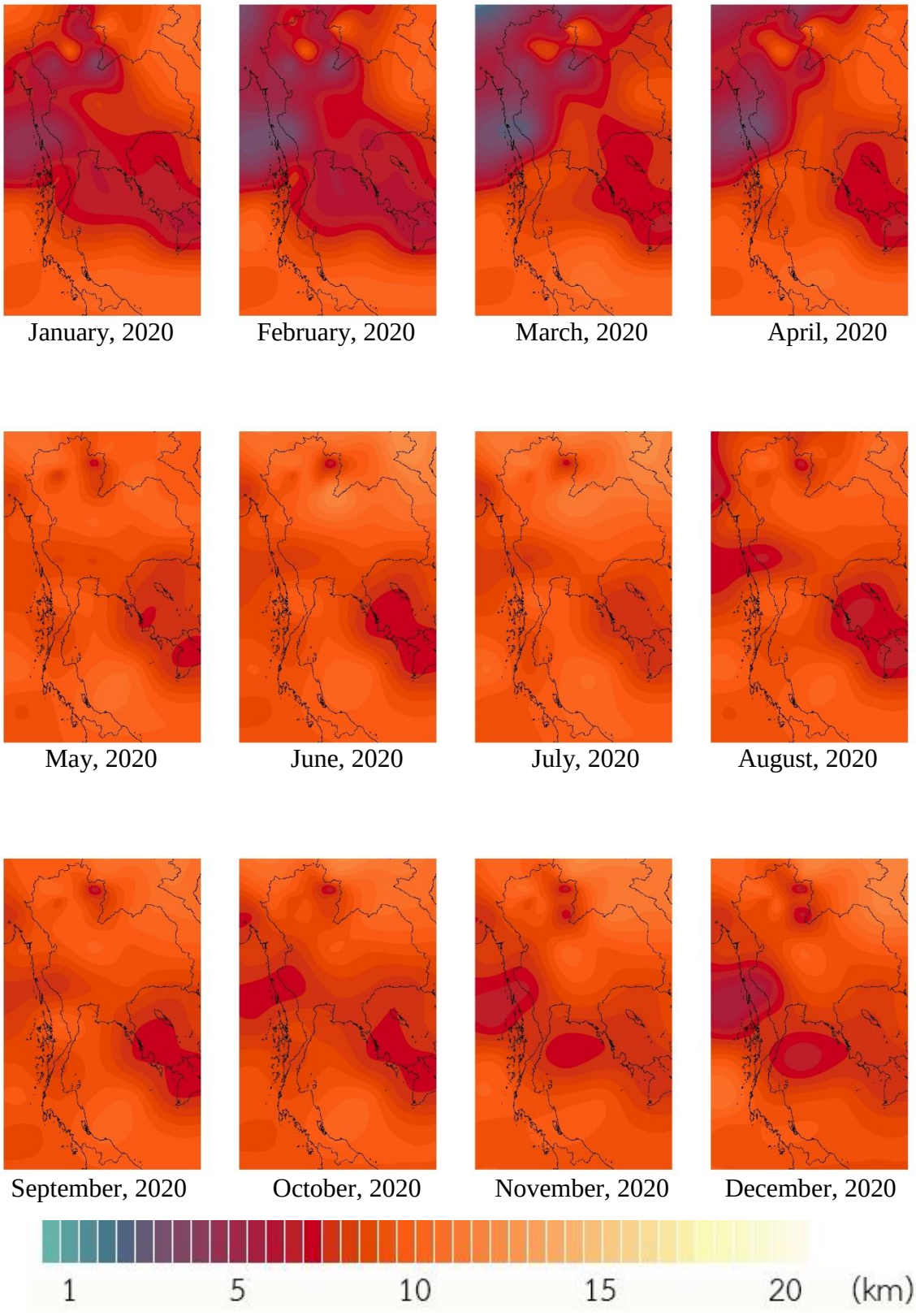
รูปที่ 3.22 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
1
5
10
15
20
(km)

รูปที่ 3.22 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
1
5
10
15
20
(km)

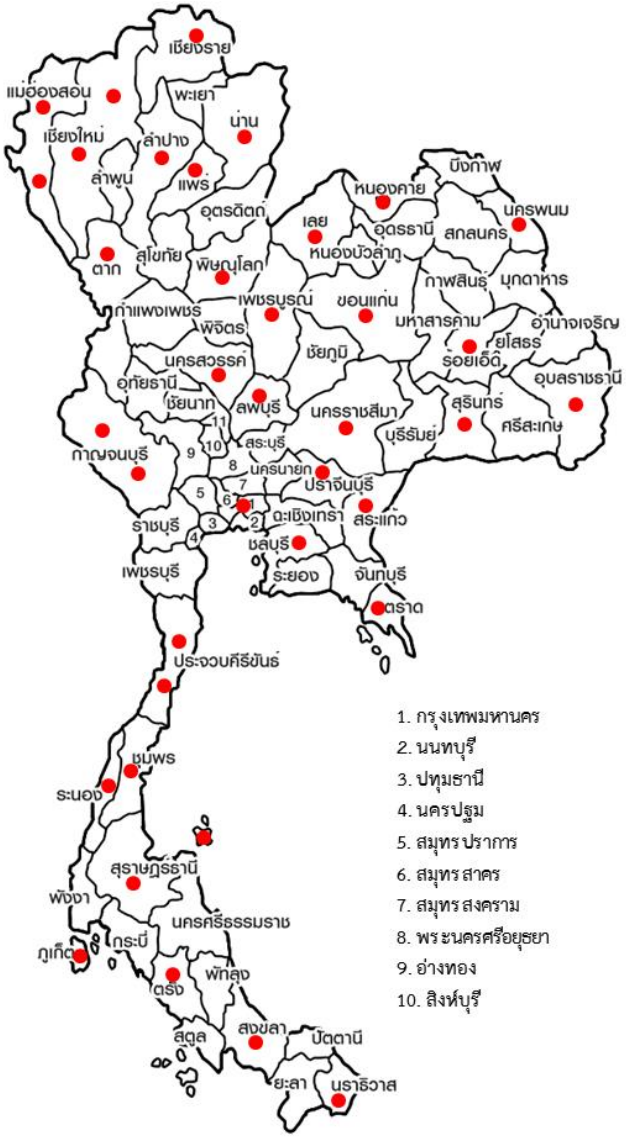
รูปที่ 3.22 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
1
5
10
15
20
(km)

รูปที่ 3.22 (ต่อ)

3.1.5 การจัดหาข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากสถานีวัดภาคพื้นดินทั่วประเทศไทย เพื่อนำมาใช้ประกอบการสร้างและทดสอบแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีจากภาพถ่ายดาวเทียม (ตาม TOR ข้อ 5.1(5))

ถึงแม้ว่าแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมจะพิจารณาผลการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศอย่างละเอียดแล้ว แต่ก็ยังมีความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องของการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลรังสีอาทิตย์จากสถานีวัดภาคพื้นดิน ทั้งนี้ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้จัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์ทั้งหมด 38 สถานี โดยมีตำแหน่งของสถานีวัดกระจายอยู่ในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินที่จะนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างและทดสอบแบบจำลอง

ผู้ดำเนินงานได้รวบรวมรายชื่อและรายละเอียดของสถานีวัดซึ่งประกอบด้วยตำแหน่งที่ตั้งและช่วงเวลาของข้อมูลวัดแล้วนำมาสรุปดังตารางที่ 3.1 โดยลักษณะของเครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของสถานีวัดทั้ง 38 แห่ง แสดงดังรูปที่ 3.24 - 3.61

ตารางที่ 3.1 รายชื่อสถานีวัดรังสีรวมของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ลำดับที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	ละติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	ช่วงเวลาข้อมูล
1	สถานีเชียงราย	ส่วนอุทกวิทยาที่ 2 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย	20.08	99.88	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
2	สถานีเชียงใหม่	ศูนย์บริการวิชาการที่ 7 อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	18.83	98.88	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
3	สถานีดอยอินทนนท์	สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่	18.54	98.52	เดือนมีนาคม 2548 จนถึงปัจจุบัน
4	สถานีแม่ฮ่องสอน	โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงา อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	19.43	97.96	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
5	สถานีแม่สะเรียง	สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	18.17	97.93	เดือนมกราคม 2548 จนถึงปัจจุบัน
6	สถานีลำปาง	สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง	17.00	100.00	เดือนกรกฎาคม 2560 จนถึงปัจจุบัน
7	สถานีแพร่	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่	18.06	100.06	เดือนมกราคม 2548 จนถึงปัจจุบัน
8	สถานีน่าน	สถานีอุตุนิยมวิทยาน่าน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน	18.72	100.75	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
9	สถานีตาก	สถานีอากาศเกษตรดอยมูเซอ อำเภอเมือง จังหวัดตาก	16.80	98.90	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
10	สถานีเพชรบูรณ์	สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์	16.43	101.15	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน

ลำดับที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	ละติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	ช่วงเวลาข้อมูล
11	สถานีพิษณุโลก	ศูนย์บริการวิชาการที่ 10 อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก	16.78	100.27	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
12	สถานีนครสวรรค์	สถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์	15.67	100.12	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
13	สถานีกรุงเทพ	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปทุมวัน กรุงเทพฯ	13.75	100.52	เดือนเมษายน 2545 จนถึงปัจจุบัน
14	สถานีลพบุรี	สถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกบัวชุม อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี	14.83	100.62	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
15	สถานีชลบุรี	สถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี	13.37	100.97	เดือนมีนาคม 2548 จนถึงปัจจุบัน
16	สถานีตราด	สถานีอุตุนิยมวิทยาตราด อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด	11.77	102.88	เดือนมีนาคม 2549 จนถึงปัจจุบัน
17	สถานีปราจีนบุรี	เดิมติดตั้งที่ศูนย์บริการโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าปราจีนบุรี ต่อมาตั้งแต่ 1 มีนาคม 2548 ได้ย้ายมาที่ สถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี	14.05	101.37	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
18	สถานีสระแก้ว	สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว อำเภออรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว	13.70	102.00	เดือนมกราคม 2550 จนถึงปัจจุบัน
19	สถานีกาญจนบุรี	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี	14.02	99.53	เดือนมกราคม 2548 จนถึงปัจจุบัน
20	สถานีทองผาภูมิ	สถานีอุตุนิยมวิทยาทองผาภูมิ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	14.73	98.63	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
21	สถานีนครราชสีมา	สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา	14.97	102.08	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน

ลำดับที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	ละติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	ช่วงเวลาข้อมูล
22	สถานีร้อยเอ็ด	สถานีตรวจอากาศเกษตรร้อยเอ็ด อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด	16.07	103.00	เดือนมีนาคม 2549 จนถึงปัจจุบัน
23	สถานีสุรินทร์	สถานีอากาศเกษตรสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์	14.88	103.50	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
24	สถานีอุบลราชธานี	เดิมติดตั้งที่สถานีอุทกวิทยาอุบลราชธานี ต่อมาในวันที่ 13 มกราคม 2552 ได้ย้ายมาที่สถานีอุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี อำเภอสว่างวีระวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี	15.28	105.14	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
25	สถานีนครพนม	เดิมติดตั้งที่ศูนย์บริการโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้านครพนม ต่อมาวันที่ 29 พฤศจิกายน 2549 ได้ย้ายมาที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครพนม อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม	16.97	104.73	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
26	สถานีหนองคาย	ส่วนอุทกวิทยาที่ 1 อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย	17.87	102.72	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
27	สถานีขอนแก่น	เดิมติดตั้งที่ศูนย์บริการโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าขอนแก่น ต่อมาวันที่ 17 สิงหาคม 2549 ได้ย้ายมาที่สถานีตรวจอากาศเรดาร์ขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น	16.45	102.78	เดือนกุมภาพันธ์ 2545 จนถึงปัจจุบัน
28	สถานีเลย	สถานีอุตุนิยมวิทยาเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย	17.40	101.00	เดือนมีนาคม 2548 จนถึงปัจจุบัน
29	สถานีหนองพลับ	สถานีอุตุนิยมวิทยาหนองพลับ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	12.59	99.73	เดือนมกราคม 2558 จนถึงปัจจุบัน

ลำดับที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	ละติจูด (องศาเหนือ)	ลองจิจูด (องศาตะวันออก)	ช่วงเวลาข้อมูล
30	สถานี ประจวบคีรีขันธ์	สถานีอุตุนิยมวิทยา ประจวบคีรีขันธ์ อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	11.83	99.83	เดือนกุมภาพันธ์ 2545 จนถึงปัจจุบัน
31	สถานีชุมพร	สถานีอุตุนิยมวิทยาชุมพร อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร	10.40	99.18	เดือนกุมภาพันธ์ 2548 จนถึงปัจจุบัน
32	สถานีสุราษฎร์ธานี	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี	9.13	99.15	เดือนเมษายน 2548 จนถึงปัจจุบัน
33	สถานีเกาะสมุย	สถานีตรวจอากาศเกาะสมุย อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี	9.47	100.05	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
34	สถานีหาดใหญ่	ศูนย์บริการวิชาการที่ 8 อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา	6.92	100.43	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
35	สถานีภูเก็ต	ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันตก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต	8.13	98.30	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
36	สถานีระนอง	สถานีอุตุนิยมวิทยาระนอง อำเภอเมือง จังหวัดระนอง	9.98	98.62	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน
37	สถานีตรัง	สถานีอุตุนิยมวิทยาตรัง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง	7.52	99.62	เดือนมีนาคม 2548 จนถึงปัจจุบัน
38	สถานีนราธิวาส	สถานีอุตุนิยมวิทยานราธิวาส อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส	6.40	101.82	เดือนมกราคม 2545 จนถึงปัจจุบัน



รูปที่ 3.24 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีเชียงราย



รูปที่ 3.25 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีเชียงใหม่



รูปที่ 3.26 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีดอยอินทนนท์



รูปที่ 3.27 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 3.28 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีแม่สะเรียง



รูปที่ 3.29 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีลำปาง



รูปที่ 3.30 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีแพร่



รูปที่ 3.31 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีน่าน



รูปที่ 3.32 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีตาก



รูปที่ 3.33 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีเพชรบูรณ์



รูปที่ 3.34 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีพิษณุโลก



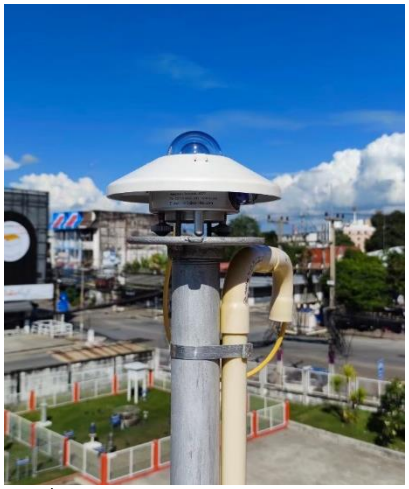
รูปที่ 3.35 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีนครสวรรค์



รูปที่ 3.36 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีกรุงเทพฯ



รูปที่ 3.37 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีลพบุรี



รูปที่ 3.38 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีชลบุรี



รูปที่ 3.39 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีตราด



รูปที่ 3.40 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีปราจีนบุรี



รูปที่ 3.41 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีสระแก้ว



รูปที่ 3.42 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีกาญจนบุรี



รูปที่ 3.43 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีทองผาภูมิ



รูปที่ 3.44 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีนครราชสีมา



รูปที่ 3.45 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีร้อยเอ็ด



รูปที่ 3.46 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีสุรินทร์



รูปที่ 3.47 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีอุบลราชธานี



รูปที่ 3.48 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีนครพนม



รูปที่ 3.49 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีหนองคาย



รูปที่ 3.50 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีขอนแก่น



รูปที่ 3.51 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีเลย



รูปที่ 3.52 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีหนองพลับ



รูปที่ 3.53 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 3.54 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีชุมพร



รูปที่ 3.55 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 3.56 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีเกาะสมุย



รูปที่ 3.57 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีหาดใหญ่



รูปที่ 3.58 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีภูเก็ต



รูปที่ 3.59 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีระนอง



รูปที่ 3.60 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีตรัง



รูปที่ 3.61 เครื่องมือวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สถานีนราธิวาส

ผู้ดำเนินงานได้ทำการจัดหาและรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รวมรายวันจากสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทั้ง 38 แห่งทั่วประเทศไทย ครอบคลุมช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มทำการวัดจนถึงปี ค.ศ. 2020 ข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้ในการสร้างและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียม โดยตัวอย่างของข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของทั้ง 38 สถานี แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 – 3.38

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีเชียงราย ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	16.13	15.32	17.38	21.13	23.12	24.43	21.68	15.72	11.92	19.62	18.21	14.17
2	16.32	15.90	17.65	19.97	24.44	21.14	24.64	5.11	13.84	18.35	16.77	16.60
3	15.68	15.86	17.99	19.36	24.02	19.22	23.95	4.80	13.57	20.76	4.05	15.85
4	15.54	17.24	15.05	20.70	21.70	19.18	24.06	7.16	4.68	19.30	12.74	5.95
5	15.23	17.93	18.14	17.90	23.81	22.14	22.61	14.30	13.83	21.80	18.49	16.43
6	14.82	13.71	18.23	17.06	23.46	26.05	15.85	10.48	12.34	17.67	18.31	17.01
7	15.22	15.82	14.69	18.60	23.07	23.55	14.07	20.47	15.33	18.70	19.19	15.71
8	8.26	16.22	16.77	17.25	21.67	17.35	16.45	20.08	15.40	12.17	19.11	11.60
9	1.65	15.21	13.47	16.30	23.94	13.33	20.27	17.55	20.58	13.73	18.54	15.44
10	5.22	15.87	0.00	20.40	24.94	14.62	24.60	19.69	12.85	12.22	7.49	15.44
11	12.71	14.94	12.26	21.62	15.16	21.18	22.20	16.84	23.22	7.38	12.99	16.40
12	18.59	14.74	14.52	8.08	23.23	22.06	25.10	13.24	16.17	6.66	9.88	16.37
13	18.40	17.44	14.29	23.82	22.53	17.41	20.12	17.38	23.29	4.62	17.24	16.26
14	15.33	18.28	16.01	23.60	20.95	25.07	20.84	14.43	14.25	21.33	17.06	15.78
15	14.22	18.74	11.22	22.57	21.05	18.19	17.23	11.71	21.52	21.99	16.91	15.75
16	13.96	17.28	14.81	20.30	23.55	16.45	13.45	14.40	17.21	21.83	18.76	12.76
17	11.15	18.27	12.27	22.74	25.46	20.90	15.93	16.37	18.89	21.54	18.88	2.36
18	16.88	19.39	11.86	23.39	20.62	18.52	17.25	10.61	7.94	17.28	18.35	6.72
19	14.17	19.21	14.33	22.60	18.33	21.80	15.99	17.48	13.38	20.60	15.72	8.52
20	13.27	19.40	14.16	24.71	14.19	25.40	11.80	9.57	19.35	18.31	16.46	15.14
21	15.83	18.61	12.96	23.32	15.08	24.38	10.92	22.18	18.67	20.68	18.22	13.73
22	17.40	17.81	16.82	19.83	12.76	19.61	9.52	15.48	23.40	20.18	18.37	16.35
23	18.47	19.17	16.91	21.58	8.87	20.20	12.01	19.07	5.75	18.87	18.20	15.23
24	18.30	19.15	8.47	23.94	20.46	15.07	8.18	18.99	16.73	15.98	17.87	14.52
25	18.64	18.77	12.45	17.90	17.50	7.33	18.12	18.46	19.42	11.85	16.93	9.93
26	18.69	20.15	16.86	11.82	23.73	7.94	11.55	15.39	22.35	17.80	14.67	14.74
27	18.68	20.68	15.46	23.35	25.11	12.67	11.09	17.46	15.51	18.22	8.94	14.01
28	18.15	19.05	18.76	19.18	18.70	19.17	10.29	15.95	18.69	15.07	11.29	11.89
29	18.18		18.47	18.59	26.29	0.00	10.56	15.97	22.48	14.24	15.26	12.14
30	17.53		21.62	25.69	21.53	0.00	14.85	14.63	15.30	17.31	16.83	11.29
31	15.19		20.79		22.66		12.98	9.32		14.85		14.98
Average	15.09	17.51	15.49	20.24	21.03	19.32	16.72	14.85	16.26	16.80	15.72	13.52

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีแม่ฮ่องสอน ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	16.92	17.08	18.68	17.89	22.26	14.82	13.98	10.40	17.89	16.94	15.17	15.63
2	17.03	15.22	16.83	18.82	21.38	19.26	10.61	5.38	13.38	20.25	17.22	16.18
3	16.50	17.91	17.37	19.41	23.82	19.04	11.00	5.12	15.43	21.44	5.40	16.73
4	16.23	17.82	18.10	19.30	22.29	16.04	16.33	11.33	11.89	21.20	16.39	5.94
5	15.04	18.86	18.52	17.13	20.00	10.94	15.20	14.81	11.30	20.31	19.30	17.42
6	16.82	17.69	16.05	18.22	19.10	19.95	12.78		10.82	18.69	16.78	17.04
7	17.68	16.00	18.44	17.49	23.08	17.65	11.13	15.83	10.13	19.19	17.22	15.12
8	8.08	18.36	18.77	15.61	24.01	18.34	8.49	24.31	11.98	18.53	18.90	14.73
9	1.86	16.45	13.79	18.86	19.68	12.53	5.08	22.17	21.16	6.80	18.67	13.01
10	16.34	13.10	11.98	18.29		15.64	12.78	22.19	13.19	8.93	13.53	14.88
11	17.45	13.93	14.84	20.63		16.21	18.26	22.08	17.58	5.77	15.63	14.86
12	18.05	12.92	14.12	18.24		22.67	14.15	12.48	16.77	5.43	12.14	15.51
13	18.63	19.19	14.57	22.18		12.06	12.81	14.04	15.81	5.51	19.18	16.06
14	16.25	19.82	15.62	22.04	23.49	23.77	19.50	11.46	22.66	19.05	16.38	15.25
15	14.10	19.65	13.05	20.37	21.96	26.18	12.09	4.77	22.16	22.19	12.64	15.32
16	17.08	0.00	12.86	20.10	17.45	25.01	12.68	7.56	14.52	21.07	16.69	15.17
17	13.25	19.21	12.13	19.33	15.60	20.34	7.82	9.15	17.10	19.44	17.62	15.70
18	15.58	18.90	14.44	19.91	11.52	24.93	7.92	5.78	2.83	19.11	17.71	15.95
19	11.28	19.68	15.63	18.76	14.78	23.98	6.31	10.50	15.79	21.12	15.30	12.55
20	13.79	20.46	14.66	21.87	7.40	18.31	10.98	14.39	18.16	21.70	14.72	15.57
21	13.58	19.20	13.53	17.89	14.51	16.11	16.85	19.21	13.13	21.20	16.77	14.69
22	17.81	15.81	16.93	16.59	8.79	13.01	7.54	22.43	17.52	20.97	16.94	15.03
23	18.56	19.00	19.52	19.38	9.69	9.23	7.45	16.27		20.28	18.17	17.02
24	18.47	20.18	17.72	18.61	17.57	9.68	8.22	16.97	12.99	15.59	17.86	16.82
25	18.14	20.81	17.69	20.03	19.72	4.06	9.91	17.73	16.64	10.03	17.63	9.27
26	18.06	20.72	21.65	19.25	20.50	4.18	8.74	16.78	20.95	15.11	17.74	16.18
27	18.64	21.19	20.91	24.21	17.96	6.95	7.92	13.57	21.88	19.64	16.04	16.75
28	18.71	21.80	20.32	21.21	20.58	12.61	4.51	13.17	22.40	13.99	13.50	16.01
29	19.14		19.13	20.08	20.29		8.33	12.09	21.12	17.25	17.00	15.48
30	18.69		18.88	21.37	20.90		3.83	16.92	18.89	18.60	16.43	15.16
31	19.20		20.56		18.29		5.11	13.02		16.39		15.03
Average	16.03	18.25	16.69	19.44	17.74	15.90	10.59	14.25	15.87	16.83	16.15	15.03

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีเชียงใหม่ (สันทราย) ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	11.97	15.24	13.85	24.04	23.00	21.43	21.84	13.20	15.09	10.91	16.59	16.48
2	16.03	16.44	14.32	20.52	23.32	19.65	20.66	6.08	13.22	17.42	16.99	17.06
3	15.55	13.57	16.58	19.62	22.64	15.22	21.65	7.59	14.90	18.49	10.16	16.82
4	15.15	17.19	17.48	21.86	20.87	18.69	24.60	11.52	7.42	15.10	14.86	8.95
5	15.58	16.90	18.61	16.81	20.76	22.42	18.38	20.98	13.77	17.92	17.23	14.03
6	16.53	16.61	17.86	18.29	19.83	22.24	14.68	14.55	16.79	14.04	17.21	16.81
7	15.63	15.96	17.80	17.53	22.80	21.91	19.07	21.77	17.20	18.02	16.58	14.57
8	4.62	16.07	18.13	16.23	23.44	16.87	17.29	20.70	16.68	16.33	16.40	14.23
9	2.13	15.60	13.74	17.79	19.95	14.03	9.93	22.64	22.09	8.67	15.35	14.83
10	11.00	13.93	12.24	22.52	20.74	19.07	19.07	23.33	11.64	6.81	7.70	16.87
11	12.45	14.23	14.26	16.87	19.65	18.76	22.95	19.54	12.65	3.93	11.29	16.80
12	17.63	14.54	14.66	16.80	23.40	22.02	19.13	14.23	11.57	4.16	13.97	16.64
13	18.73	18.77	16.83	20.66	23.96	15.80	20.82	16.39	12.93	3.26	10.43	16.41
14	15.08	18.69	18.43	23.83	23.00	23.72	17.23	16.49	16.40	19.75	16.32	15.86
15	12.41	17.85	13.12	22.68	21.20	20.67	22.39	15.97	14.71	18.18	17.05	15.59
16	15.44	16.98	12.63	20.28	17.90	17.82	15.44	13.68	16.24	18.90	17.49	14.24
17	10.84	18.00	13.11	21.73	18.28	22.10	16.72	13.98	8.91	18.37	18.10	12.52
18	15.93	17.87	15.02	22.94	18.53	19.06	13.66	11.50	4.62	16.40	17.14	10.57
19	15.01	18.71	16.30	22.48	17.35	24.12	10.93	10.37	18.25	18.21	14.76	12.61
20	15.27	19.60	14.31	22.97	14.00	24.50	12.08	8.75	17.36	18.29	15.96	12.98
21	16.78	18.49	14.92	22.31	17.07	14.86	19.34	21.03	16.90	18.57	18.14	14.14
22	16.85	16.88	18.38	14.10	6.08	15.02	20.49	17.27	20.64	17.25	18.24	15.15
23	18.37	17.97	18.81	21.70	10.97	14.45	21.29	19.10	7.96	16.71	17.92	15.22
24	18.17	19.30	14.74	20.81	20.37	9.86	23.74	18.78	19.26	14.36	17.40	13.76
25	18.28	19.51	15.34	22.35	21.99	7.99	20.57	19.90	13.54	9.46	16.66	10.91
26	18.30	20.09	14.99	10.73	22.27	8.92	20.49	12.75	17.35	15.77	16.46	13.98
27	18.44	19.67	18.72	25.10	22.15	10.29	10.40	18.51	19.24	16.78	8.16	14.73
28	18.27	18.00	20.70	21.89	22.01	18.28	17.95	14.33	17.05	15.99	16.04	12.76
29	18.03		15.90	22.30	20.81	15.77	19.77	15.81	17.49	16.07	17.12	13.96
30	17.62		21.77	24.28	21.97	18.07	14.04	21.87	14.45	17.45	17.05	13.68
31	16.10		22.87		20.87		13.22	14.14		13.51		12.49
Average	15.10	17.24	16.34	20.40	20.04	17.79	18.06	16.03	14.88	14.68	15.49	14.38

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีน่าน ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	16.38	17.59	16.46	23.84	25.52	20.02	23.81	13.03	14.39	9.17	16.52	16.75
2	16.68	17.94	13.87	17.77	24.68	18.21	20.38	4.50	10.58	18.88	19.01	16.55
3	16.40	18.67	18.66	18.93	22.04	16.20	23.59	5.42	8.25	18.00	18.06	15.55
4	16.13	18.34	17.97	18.49	21.06		22.45	12.22	8.47	18.65	19.32	2.09
5	15.00	16.89	18.80	19.54	18.00	16.62	21.05	21.52	17.17	19.24	19.11	15.05
6	15.24	16.77	16.27	19.78	21.73	24.23	18.64	17.62	20.76	21.07	19.56	12.99
7	14.28	15.89	20.16	15.49	3.07	25.30	15.94	20.22	16.20	11.74	18.46	4.69
8	7.44	16.23	16.72	11.84	23.82	18.94	9.52	21.88	17.83	15.41	12.96	12.88
9	1.30	17.70	16.42	18.86	24.14	12.69	18.13	25.15	16.45	15.09	18.45	16.32
10	2.81	14.77	15.96	20.98	23.05	14.54	21.52	24.24	17.56	18.51	15.19	15.61
11	10.77	15.37	14.41	19.94	21.98	22.63	21.90	19.43	21.74	7.83	18.82	15.76
12	18.99	14.90	17.17	2.95	23.69	20.58	24.49	15.62	18.76	5.89	16.65	14.95
13	19.30	11.22	17.14	25.03	21.34	19.65	11.52	12.63	20.10	15.87	14.83	16.55
14	16.21	17.47	19.03	24.81	4.99	24.64	13.37	18.83	22.94	22.54	18.22	16.19
15	18.62	18.86	17.10	24.00	21.38	15.28	21.37	17.01	22.28	20.00	13.77	15.34
16	16.75	18.33	11.89	22.09	16.17	23.73	13.19	13.37	16.20	21.94	15.93	14.94
17	13.99	17.33		20.68	21.77	23.93	16.05	19.36	15.07	20.97	17.53	6.43
18	17.66	16.37	14.10	22.96	24.96	20.44	14.33	16.52	9.11	20.16	10.92	10.38
19	18.20	17.83	16.42	23.40	23.00	24.72	16.35	19.80	19.56	17.36	14.14	15.26
20	17.08	17.22	16.45	22.87	17.11	22.73	12.66	11.63	20.26	20.41	17.12	15.15
21	15.66	18.52	15.45	20.72	0.00	22.41	15.85	18.16	15.47	16.37	18.32	13.79
22	16.90	18.31	15.74	16.98	15.41	21.03	14.52	24.89	17.97	20.13	18.41	15.25
23	16.66	19.67	17.60	23.88	11.82	14.72	14.09	20.90	12.41	20.11	18.37	15.39
24	15.58	19.77	7.41	22.77	19.98	10.63	8.38	19.95	19.68	19.79	18.24	10.30
25	17.95	19.69	9.98	21.51	20.67		17.10	24.62	22.76	15.78	17.61	7.50
26	18.15	17.29	4.74	20.15	20.39	12.28	12.13	14.71	18.60	20.21	17.44	6.50
27	17.85	19.73	13.71	19.53	20.34	14.79	11.57	16.11	16.99	19.82	17.09	13.23
28	18.40	19.81	22.52	22.48	1.12	19.16	11.35	19.93	18.49	14.97	17.52	15.24
29	18.59		18.17	18.14	24.56		12.55	16.56	20.59	18.92	17.67	12.58
30	16.52		22.20	19.54	24.46		15.75	14.94	14.15	19.48	17.71	15.18
31	14.14				17.25		15.64	9.11		16.52		17.04
Average	15.34	17.45	15.42	20.00	19.32	19.32	16.43	17.09	17.03	17.45	17.10	13.27

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีดอยอินทนนท์ (แม่กลาง) ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	12.00	11.85	17.92	25.78	22.25		13.34	6.21	17.99	13.86	12.20	16.28
2	18.74		20.26	22.65	17.10		16.79	3.39	10.48	13.90	9.11	19.42
3	18.04	11.03	21.74	22.03	17.21		11.99	7.67	13.75	13.87	6.72	18.17
4	17.14	13.77	21.72	24.62	12.36		19.81	8.73	9.27	18.21	10.07	6.49
5	17.50	16.90	23.50	15.30	17.26	13.40	16.07	11.02	14.05	10.41	14.41	10.23
6	19.67	12.95	23.62	20.90	16.84	16.74	9.33	9.71	15.46	15.52	18.08	13.46
7	18.63	18.61	22.74	15.49	16.55	19.59	11.90	9.76	8.36	20.33	17.68	6.49
8	1.74	16.15	24.10	15.79	24.77	19.21	6.82	13.30	14.33	18.56	18.06	10.75
9	1.24	14.26	21.85	21.67	19.33	12.32	7.66	13.53	16.12	9.62	8.41	13.50
10	13.59	14.31	17.68	24.50	21.57	15.28	13.30	13.93	8.89	5.54	5.18	20.33
11	6.23	14.90	19.67	14.43	11.70	17.66	3.12	17.32	11.38	6.29	8.20	19.75
12		17.52	21.06	12.46	22.23	18.99	4.93	9.59	11.02	5.74	6.89	20.09
13		21.39	23.26	12.98	26.25	16.35	10.90	13.31	8.55	4.00		19.72
14	17.86	22.62	25.31	22.96	21.05	19.39	10.04	17.78	14.83	9.00		19.36
15	14.30	21.12	20.15	21.98	15.89	14.21	18.06	20.17	14.93	19.63		18.84
16	16.52	20.93	18.31	13.57	16.95	12.93	11.30	16.15	15.34	19.72		16.17
17	9.58	23.02	21.00	24.14	20.80	12.60	5.43	9.37	4.20	17.74		8.96
18	13.92	22.08		25.77	17.56	13.31	4.53	10.54	3.51	10.75	12.15	9.88
19	8.19	22.14		24.96	10.17	9.79	9.95	7.62	16.73	14.48	16.81	9.55
20	15.19	22.17		23.35	12.59	17.76	14.71	10.32	25.44	18.36	9.73	9.66
21	10.71	22.91		24.77	14.44	13.96	11.47	11.54	17.62	14.88	15.69	15.34
22	19.60	17.79	21.24	11.57	8.14	13.98	10.53	10.21	15.20	12.77	18.72	19.26
23	20.04	22.50	18.78	16.26	10.73	8.98	4.50	21.07	11.83	14.40	20.43	18.40
24	18.94	22.86	13.83	10.18	16.97	13.06	9.21	12.85	19.47	11.14	14.04	15.00
25	20.53	23.33	8.35	15.98	17.92	6.72	12.32	14.00	16.61	11.19	10.48	11.55
26	20.64	23.51	10.44	8.40		5.04	5.71	16.94	12.78	17.90	10.85	14.05
27	20.56	24.08	14.99	19.16		9.84	4.54	15.41	16.48	17.71	11.25	14.88
28	20.60	23.74	17.27	21.26		15.18	3.65	15.11	14.72	7.49	12.14	17.63
29	20.44		19.05	17.25		9.78	6.74	20.78	19.40	8.42	16.90	16.63
30	20.59		23.91	25.08		17.45	6.58	24.62	20.78	18.58	12.77	13.46
31	20.24		26.70				5.15	18.71		10.61		8.89
Average	15.62	19.20	19.94	19.18	17.14	13.98	9.69	13.25	13.98	13.25	12.68	14.59

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีแม่สะเรียง ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	14.14	16.06	17.93	22.88	23.14	15.61	20.35		18.38	13.48	19.87	15.07
2	16.76	16.31	16.41	18.96	20.83	21.84	15.07		14.34	21.34	20.17	15.25
3	15.73	15.64	20.45	21.31	22.04	14.46	15.99	6.37	20.19	17.95	16.34	16.00
4	15.84	18.15	21.81	20.25	21.87	23.14	15.39	12.55	9.25	19.28	19.99	10.42
5	15.02	18.72	21.17	19.59	23.25	22.41	11.23	13.49	14.16	14.65	18.38	9.62
6	14.62	16.53	21.44	19.41	20.34	20.88	16.73	17.40	17.13	15.88	20.01	17.11
7	14.44	17.10	21.84	19.96	25.16	20.39	10.20	18.21	10.36	15.29	18.44	14.59
8	7.57	18.28	21.56	17.75	24.23	14.73	8.27	18.45	12.59	17.87	15.03	14.94
9	1.51	15.82	17.90	18.59	20.32	14.99	8.26	22.86	20.80	10.44	16.78	12.06
10	16.66	15.08	16.41	21.07	21.81	20.12	16.98	20.99	14.85	7.15	10.78	14.10
11	17.86	14.92	19.24	21.10	23.20	14.26	22.26	23.75	10.25	7.97	19.35	13.66
12	17.00	14.85	19.80	19.27	22.97	23.08	22.39	12.81	17.55	11.17	16.17	14.45
13	18.49	19.48	21.27	18.28	23.46	18.67	17.35	15.62	20.38	10.98	15.78	15.57
14	17.72	21.14	21.95	19.20	22.06	23.87	21.29	11.72	23.01	19.16	18.51	15.28
15	13.27	20.73	17.05	22.69	21.24	23.31	16.64	12.79	17.67	20.81	16.58	16.23
16	15.15	21.26	15.25	21.10	21.20	20.69	8.19	16.75	20.67	20.24	13.95	14.61
17	11.44	21.43	17.00	21.08	17.20	20.41	9.34	10.82	16.15	18.25	12.77	13.71
18	16.53	20.20	19.26	22.06	18.23	17.86	10.13	10.20	6.20	19.66	18.27	16.84
19	15.87	19.74	18.56	23.00	14.72	20.98	10.59	13.15	17.52	21.18	18.01	14.29
20	16.29	21.33	18.76	22.86	12.00	15.97	13.74	13.86	19.21	18.61	15.22	15.25
21	16.51	20.62	19.16	20.51	14.67	13.74		19.68	17.44	19.63	17.72	12.70
22	18.68	19.90	18.48	20.04	5.11	12.71		19.36	18.08	20.00	18.72	17.32
23	18.30	20.44	19.39	21.55	13.05	10.77		16.97	13.49	19.82	18.79	17.58
24	18.01	21.09	17.33	19.81	18.01	12.62		11.31	17.55	18.65	18.47	14.09
25	17.97	22.03	12.87	22.15	20.30	7.17		15.54	11.90	15.70	17.72	13.19
26	18.34	22.07	18.29	18.82	19.85	7.81		13.25	18.60	13.78	17.22	16.14
27	18.53	22.75	22.38	22.87	16.54	7.28		13.21	21.48	18.75	16.34	13.88
28	18.32	21.67	20.73	22.46	11.68	16.47		16.87	14.36	15.34	16.00	14.17
29	19.16		21.53	23.12	25.25			19.06	19.89	15.54	16.94	14.60
30	18.43		21.82	23.57	24.63			13.84	22.13	18.01	14.38	13.29
31	18.43		22.57		16.97			8.85		17.78		15.04
Average	15.89	19.05	19.34	20.84	19.53	16.92	14.52	14.18	16.52	16.59	17.09	14.55

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีแพร่ ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	16.40	14.31	15.11	23.77	25.83	24.62	20.71	16.89	15.56	5.42	18.42	16.93
2	16.41	16.98	15.68	20.66	23.01	24.06	17.43	6.94	13.02	15.28	16.47	15.85
3	16.53	17.84	19.33	20.36	22.69	19.54	21.45	12.80	13.15	16.39	19.02	14.29
4	15.73	17.64	19.52	20.74	21.90	24.29	22.33	15.00	14.14	20.79	20.16	5.41
5	15.28	16.24	20.44	21.73	18.88	22.51	24.92	18.84	18.10	21.99	19.85	15.81
6	14.94	16.53	18.65	21.79	22.07	23.78	20.00	24.25	19.86	21.62	19.67	10.95
7	14.48	16.73	21.47	20.01	25.18	23.54	21.13	15.63	19.14	17.49	18.87	3.29
8	7.51	14.92	18.80	14.74	24.58	24.78	12.69	21.99	18.79	20.11	14.25	12.78
9	1.41	16.00	17.54	20.22	23.38	22.41	5.70	25.78	24.58	21.59	18.27	15.36
10	2.46	14.89	18.66	21.55	23.18	25.20	24.84	25.03	16.65	16.01	14.38	16.33
11	11.52	15.95	18.14	20.33	24.80	23.08	25.79	22.77	19.43	8.24	16.48	17.41
12	19.16	15.31	17.92	13.74	24.47	23.46	18.51	13.26	17.36	5.17	18.80	17.09
13	18.95	15.81	19.50	24.12	23.04	22.05	17.02	19.04	18.43	8.91	17.62	17.18
14	15.73	19.23	21.26	22.46	25.18	24.62	19.65	17.06	21.29	21.00	18.87	16.76
15	18.17	19.09	19.71	22.67	21.94	19.62	17.61	17.49	19.97	20.03	17.62	16.37
16	16.27	18.05	12.92	22.50	20.85	21.59	13.07	16.24	18.41	18.79	18.05	15.07
17	14.45	17.17	16.84	22.04	26.59	23.26	16.73	22.61	14.17	21.20	18.07	7.72
18	17.46	17.89	16.48	22.67	23.48	25.67	13.84	21.39	10.93	19.12	13.06	13.92
19	17.01	19.21	17.05	24.09	21.52	26.18	16.77	18.93	21.31	17.60	9.87	15.18
20	16.41	17.67	17.53	21.58	19.76	26.49	10.72	13.04	19.72	18.25	17.72	15.86
21	14.75	20.59	16.65	21.09	16.28	20.61	14.88	21.48	15.53	19.34	18.28	12.83
22	16.16	20.77	17.95	19.98	16.88	20.76	12.96	22.69	18.37	20.33	18.13	15.81
23	16.51	19.67	17.95	23.82	14.85	14.99	11.33	23.38	16.53	18.32	18.62	14.22
24	16.20	20.21	9.33	10.65	23.33	10.45	10.57	18.92	23.48	14.38	18.31	13.06
25	17.95	19.48	6.82	23.14	23.37	17.55	15.13	21.75	23.48	17.02	16.47	8.78
26	17.98	19.71	5.56	14.48	19.35	11.99	10.67	15.05	22.15	19.65	16.25	9.80
27	17.80	19.13	22.98	21.67	20.59	17.84	13.43	20.77	18.24	19.39	16.60	13.82
28	16.71	17.99	22.94	26.14	19.60	21.73	15.31	19.18	21.80	16.18	17.16	15.53
29	17.54		21.73	26.35	23.60		13.93	16.08	21.29	18.49	17.76	13.52
30	15.82		22.83	24.78	22.06		16.10	19.17	16.43	18.74	17.75	16.62
31	11.88		24.16		24.32		19.27	11.01		17.64		16.64
Average	15.02	17.68	17.79	21.13	22.15	21.78	16.60	18.53	18.38	17.24	17.36	13.88

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีตาก (ดอยมูเซอ) ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.34	20.42	19.94	26.38	25.07	18.45	11.98	13.08	13.62	7.91	16.68	16.23
2	19.22	21.33	18.22	26.44	26.13	18.83	12.67	8.71	12.80	16.59	14.51	13.00
3	19.49	20.41	22.86	25.56	21.20	16.34	11.26	6.54	13.76	6.64	10.59	17.02
4	18.92	21.03	23.99	24.67	23.77	14.83	11.91	8.22	13.00	20.09	16.85	5.86
5	19.30	21.25	24.67	20.10	26.21	24.69	13.25	14.04	13.67	12.10	18.89	12.35
6	19.78	19.09	24.51	24.45	25.38	26.23	9.23	14.79	9.75	16.83	20.24	16.14
7	14.14	19.64	23.73	23.64	26.84	23.22	11.73	13.91	6.91	20.13	20.47	3.53
8	4.80	16.77	22.06	21.47	26.08	24.76	6.30	14.48	12.77	15.31	14.42	17.42
9	4.48	20.29	20.60		26.40	14.45	3.60	19.58	16.65		17.95	19.71
10	2.52	14.82	18.57	23.31	24.26	23.81	13.52	15.17		7.35	12.95	20.40
11	5.56	20.68	21.93	20.94	25.69	23.80	23.03	23.49		7.82	11.08	20.70
12	11.21	18.74	20.76	25.24	25.39	21.81	21.05	17.26		5.68	19.77	20.49
13	15.16	21.03	22.71	16.25	26.23	24.65	18.00	14.27		8.45	19.64	20.05
14	20.28	16.36	24.16	23.29	25.00	22.73	9.39	13.36		21.58	15.09	20.13
15	14.87	19.68	24.66	26.10	21.55	16.16	13.95	18.83		13.96	18.50	20.28
16	20.01	21.78	20.64	24.53	19.45	9.50	9.22	20.39		21.83	20.83	12.77
17	16.26	17.70	20.11	24.77	17.99	13.38	9.57	7.67		24.10	20.52	18.21
18	20.04	18.54	23.34	26.74	18.64	16.21	6.33	12.57		14.48	17.85	18.85
19	20.47	20.48	21.26	26.82		23.29	7.47	8.69		11.09	15.68	19.14
20	19.32	19.51	21.78	25.75	8.25	11.54	17.23	14.99		14.54	18.89	18.37
21	18.03	22.70	20.23	24.42	11.09	16.85	11.22	14.99		12.79	17.22	18.25
22	18.57	22.93	23.08	18.75	6.63	1.67	11.33	9.69		12.43	20.83	15.69
23	20.68	22.17	10.50		11.16	7.43	8.11	8.37		22.49	21.41	18.13
24	20.87	22.85	17.33		18.41	4.32	7.74	10.83		14.59	20.69	7.79
25	19.57	23.30	7.74		18.44	3.47	8.48	10.51		22.13	18.66	10.35
26	20.42	23.49	12.96		20.05	6.20	6.73	15.43		22.16	17.23	11.09
27	21.46	23.16	24.30	25.94	22.03	14.70	8.76	10.56		15.78	19.04	16.86
28	21.06	21.70	14.35	23.65	17.23	15.73	10.96	10.95		18.87	19.72	14.31
29	21.44		20.85	22.58	11.72		9.46	8.79		22.73	20.55	16.10
30	18.53		25.95	24.95	23.24		11.12	12.49		15.38	19.83	14.75
31	16.47		26.19		24.11		12.25	6.09		16.46		16.47
Average	16.85	20.42	20.77	23.87	20.79	16.39	11.19	12.86	12.55	15.41	17.89	15.82

ตารางที่ 3.10 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีพิษณุโลก ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	16.37	15.44	17.57	23.83	24.98	25.03	25.28	12.09	12.30	11.01	17.33	16.45
2	16.15	17.06	15.80	23.21	23.59	22.83	25.07	13.41	12.86	11.62	17.08	15.80
3	16.20	17.39	18.48	22.64	24.94	14.28	21.36	12.83	15.08	13.25	18.33	12.13
4	15.45	16.36	18.88	20.31	22.76	21.60	23.81	13.98	15.21	18.31	18.95	6.74
5	15.41	15.91	21.12	22.20	23.18	23.87	23.04	22.86	21.60	14.70	18.85	12.02
6	14.37	16.39	20.44	21.08	22.84	23.74	19.08	21.71	19.33	13.03	18.01	4.54
7	14.27	16.52	13.25	21.18	24.26	24.86	21.26	12.92	20.55	20.41	15.44	11.13
8	6.99	14.80	17.05	16.24	23.06	21.12	13.37	15.67	17.57	12.49	16.23	16.66
9	4.13	15.68	18.48	19.24	21.79	16.41	7.51	24.27	20.20	19.57	18.68	16.56
10	1.78	16.14	19.05	20.91	20.61	25.22	23.98	21.52	15.68	13.51	14.80	16.55
11	4.39	16.68	18.93	15.75	23.13	25.20	25.14	24.25	10.64	9.31	18.41	16.38
12	15.81	14.90	18.56	15.85	23.67	25.05	24.43	13.79	19.57	6.85	16.13	16.22
13	17.50	13.95	18.21	18.48	23.09	18.86	16.76	13.40	8.61	14.32	16.50	15.68
14	16.89	18.80	19.53	25.04	22.86	22.83	18.09	18.76	20.22	21.84	17.69	15.81
15	17.13	15.08	22.00	22.92	23.65	19.72	19.82	19.69	14.41	18.05	15.82	15.59
16	16.51	15.07	17.01	22.25	24.98	18.16	13.73	17.18	10.86	19.46	16.78	14.71
17	15.89	13.88	15.35	21.62	23.86	20.64	15.42	21.20	13.25	19.19	17.41	11.52
18	16.70	14.95	17.70	21.85	21.61	21.34	15.88	22.91	10.61	17.61	14.77	15.75
19	16.99	14.92	17.32	22.87	24.19	25.90	13.87	22.39	20.84	18.78	14.40	15.48
20	16.26	14.76	17.52	22.59	20.61	23.38	9.75	17.87	23.52	19.17	17.24	13.98
21	16.01	17.11	13.61	21.81	21.70	23.65	12.78	18.45	18.20	18.87	16.23	16.88
22	15.60	17.48	16.98	21.52	19.10	17.77	12.34	20.36	13.53	20.52	17.54	10.42
23	15.56	16.98	15.71	21.26	13.77	17.71	9.30	20.70	19.33	15.68	17.33	15.81
24	14.88	20.17	4.27	22.51	20.67	11.98	11.23	21.18	21.35	17.14	17.44	14.14
25	16.92	18.80	18.59	16.00	23.52	11.36	16.06	21.32	20.31	19.46	17.38	12.13
26	16.85	19.46	12.20	8.41	21.72	13.11	12.07	13.51	22.58	19.45	16.94	10.24
27	17.08	20.75	23.09	23.95	21.01	17.92	13.94	11.11	19.30	18.58	16.51	13.26
28	17.05	19.30	21.27	23.20	20.63	22.69	16.25	20.91	22.07	18.94	17.21	13.14
29	16.68		22.23	23.57	24.15		13.60	20.85	21.84	14.96	16.97	14.02
30	14.59		22.79	23.24	21.34		19.56	16.51	20.41	16.45	16.73	14.65
31	13.26		22.38		24.44		17.79	12.14		18.91		14.30
Average	14.51	16.60	17.91	20.85	22.44	20.76	17.15	18.06	17.39	16.50	16.97	13.83

ตารางที่ 3.11 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีหนองคาย ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.04	18.32	26.65	20.18	26.37	25.18	27.55	11.66	9.14	16.65	19.34	18.07
2	17.97	17.77	26.59	22.87		22.52	26.44	7.69	8.79	19.58	13.43	17.21
3	17.00	20.16	26.26	23.81		23.65	26.66	14.43	14.21	15.41	20.40	13.03
4	17.06	20.19	25.84	20.13		26.76	26.20	16.73	11.13	20.45	20.44	10.36
5	16.01	19.40	19.95	17.66	22.33	23.66	24.98	11.98	23.10	17.53	20.37	4.05
6	15.85	19.18	19.44	19.30	11.87	25.01	23.68	11.26	22.86	20.43	17.73	10.52
7	15.14	16.91	17.60	19.61	22.41	18.60	16.69	14.13	21.77	6.23	9.28	17.47
8	9.45	16.62	18.89		22.78	12.87	6.86	17.66	20.50	13.63	19.92	16.29
9	5.67	19.47	17.27	20.28	20.23	24.56	25.60	24.17	16.76	20.45	19.81	18.19
10	2.34	18.13	17.02	19.36	25.19	24.83	19.75	24.11	20.56	12.79	18.46	17.10
11	2.61	16.61	17.02	5.90	22.81	26.84	24.87	25.79	21.14	5.73	16.49	17.80
12	15.50	16.90	15.24	23.77	21.26	24.72	16.58	24.44	21.53	18.97	20.07	17.36
13	19.83	8.30	17.83	25.77	14.71	14.42	15.31	19.03	21.79	18.32	18.73	17.23
14	18.51	15.28	19.54	21.05	22.09	25.14	18.41	25.09	22.24	23.02	9.69	17.31
15	19.19	20.42	21.20	20.83	23.95	15.13	10.05	21.79	11.36	22.36	15.14	16.16
16	18.98	13.29	17.19	21.58	22.11	24.72	11.59	22.81	14.14	22.86	18.73	13.55
17	18.29	14.04	16.54	20.57	22.48	23.08	17.65	23.67	15.74	19.46	19.23	9.94
18	18.49	15.52	16.56	22.18	26.32	19.87	16.08	26.24	11.17	20.03	17.76	17.57
19	19.18	12.87	17.53	23.82	24.76	25.61	11.61	24.82	22.30	19.84	17.75	17.16
20	15.11	16.23	16.85	23.39	24.67	25.50	7.42	23.64	24.40	18.47	18.74	15.40
21	16.57	19.47	11.03	20.90		21.33	10.92	25.33	14.81	18.28	19.71	17.15
22	16.85	14.67	15.29		20.83	23.54	13.17	22.14	6.69	13.37	19.36	12.84
23	17.65	18.83	14.58		20.80	9.89	11.60	21.81	13.31	18.17	19.46	12.14
24	14.91	21.31	6.94	19.97	20.18	9.43	5.58	25.37	21.87	20.38	17.67	16.53
25	18.34	21.50	19.10	22.93	21.03	13.54	12.70	26.56	20.00	21.24	16.27	11.36
26	18.09	21.12	15.96	15.69	18.00	15.88	19.86	17.20	18.97	20.59	18.86	11.50
27	18.31	23.97	21.73	5.40	19.50	18.77	13.20	17.65	18.25	19.88	18.96	10.56
28	17.74	27.37	24.04	25.19	23.77	23.50	12.36	18.07	21.28	20.98	18.25	12.51
29	17.63		20.64		27.02		12.00	18.52	22.19	17.85	17.47	17.60
30	16.91		20.89	19.61	24.42		15.63	8.92	21.56	21.80	18.01	18.06
31	16.52		22.45		22.64		10.85	4.54		19.21		18.18
Average	15.80	17.99	18.83	20.07	22.02	21.46	16.51	19.27	17.79	18.19	17.85	14.85

ตารางที่ 3.12 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีเลย ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.27	17.66	19.09	21.25	24.44	23.67	26.36	10.64	10.79	13.52	16.19	18.22
2	17.76	19.95	17.11	22.31	23.77	22.06	26.29	8.75	11.42	15.20	17.91	18.06
3	17.59	19.16	18.00	23.62	23.68	20.57	26.40	11.26	11.30	8.95	13.92	12.16
4	17.55	19.13	19.10	20.25	23.08	26.26	24.90	14.03	11.91	15.91	18.63	12.58
5	16.74	18.78	18.46	19.22	17.37	21.09	20.72	13.33	19.10	19.04	18.04	4.99
6	16.64	18.28	19.80	20.11	20.55	22.23	20.34	2.87	20.71	18.01	14.94	7.91
7	14.75	17.84	18.85	16.75	16.80	19.36	19.95	12.63	19.81	9.76	7.28	15.19
8	6.86	15.84	18.25	17.77	21.58	7.70	5.78	16.69	19.79	10.72	13.61	18.07
9	5.53	18.59	14.31	10.94	16.13	18.76	13.72	23.87	18.22	10.45	18.03	13.61
10	1.14	16.97	16.02	18.64	24.11	25.85	20.16	22.29	21.36	17.71	16.65	17.23
11	3.01	16.48	19.03	16.22	21.72	23.60	22.28	22.17	13.33	5.83	19.94	17.55
12	12.68	15.38	15.35	8.49	19.28	23.57	14.13	22.31	12.93	12.85	18.00	17.60
13	18.59	5.99	18.08	21.62	15.96	19.94	14.16	16.37	13.35	16.90	17.33	17.58
14	18.98	17.47	18.78	26.18	21.13	24.96	13.59	19.25	22.44	22.05	11.36	17.29
15	18.93	19.18	21.44	22.80	19.82	12.21	12.60	16.77	9.33	16.08	16.75	15.22
16	17.45	17.77	18.01	22.05	20.02	20.86	2.81	20.52	11.83	19.61	14.66	13.86
17	18.76	12.52	15.27	20.31	16.45	20.87	2.19	21.68	9.42	18.81	18.51	10.49
18	18.08	14.50	17.47	21.67	23.97	23.66	14.39	23.36	12.28	19.59	15.26	17.19
19	18.92	14.15	18.42	23.48	24.46	23.39	11.16	24.85	21.57	19.45	17.65	14.77
20	17.81	14.61	14.36	21.41	18.72	23.86	8.21	15.08	23.11	17.65	17.20	15.81
21	17.16	17.83	7.13	19.93	20.47	25.18	11.22	17.77	14.65	18.12	16.89	17.31
22	15.96	15.67	6.23	7.39	19.84	18.96	11.37	19.08	4.53	19.22	17.25	8.59
23	17.32	17.50	15.21	20.31	17.41	14.33	10.25	21.97	13.70	15.51	16.84	11.01
24	16.65	17.20	9.49	21.26	22.17	9.70	7.11	22.15	20.70	17.52	14.85	13.23
25	17.01	19.93	12.01	13.28	21.48	8.63	12.01	17.99	21.58	19.00	15.21	13.01
26	17.19	20.30	10.90	8.48	18.59	14.35	13.53	11.38	22.33	19.67	17.16	10.32
27	17.81	21.85	20.29	16.87	14.47	21.12	10.53	12.01	15.71	18.24	19.25	6.83
28	17.69	21.22	17.31	19.42	20.30	25.44	13.44	14.41	19.76	18.43	17.38	11.66
29	17.26		19.25	22.38	23.62		8.67	20.99	21.80	20.35	17.41	17.68
30	15.21		17.91	17.04	18.62		15.70	12.74	15.80	18.31	14.65	15.97
31	15.63		21.34		21.87		15.28	7.15		19.41		16.35
Average	15.51	17.21	16.53	18.72	20.38	20.43	14.49	16.66	16.15	16.51	16.29	14.11

ตารางที่ 3.13 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีนครพนม ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	17.51	16.28	21.10		18.76	24.37	24.90	4.93	5.88	21.58	18.16	17.57
2	17.51	20.89	19.61		17.26	18.02	23.55	5.51	3.47	20.87	19.90	17.11
3	17.84	20.30	16.70		22.29	21.12	15.94	14.89	9.37	14.86	19.22	18.34
4	17.93	20.24	17.77		24.73	26.50	20.71	12.08	14.74	19.76	18.90	17.91
5		20.35	15.79		13.07	22.42	16.56	14.21	21.57	19.56	17.57	9.60
6	15.95	20.19	18.61		20.31	20.23	17.54	16.43	22.20	13.72	10.44	18.37
7	14.74	18.30	18.44		22.23	13.19	15.49	14.43	22.80	21.07	13.10	17.99
8	8.74	19.91	18.44	18.44	22.03	21.05	12.54	25.64	21.69	16.12	18.80	17.06
9	10.87	20.14	17.53	18.06	4.21	21.63	24.59	24.49	15.94	19.20	18.14	16.71
10	17.14	18.99	14.10	17.57	22.03	22.61	23.45	21.66	18.81	8.35	18.90	17.82
11	5.40	18.30	17.36	15.95	23.69	22.27	13.36	21.32	10.40	12.23	20.44	17.20
12	13.86	16.88	15.02	20.04	13.81	21.79	18.32	15.53	21.26	20.75	17.76	16.26
13	19.95	17.19	15.38	23.93	15.87	22.57	17.89	16.71	14.48	19.50	14.04	15.88
14	19.62	7.58	11.02	23.87	13.00	22.53	16.09	21.38	14.93	15.25	12.94	16.50
15	19.49	11.78	20.32	22.05	20.47	23.77	6.02	15.79	9.28	19.98	17.90	17.33
16	19.52	14.11	18.53	16.82	18.31	21.90	8.25	19.91	9.67	21.57	16.52	17.00
17	18.75	14.67	18.45	21.06	14.71	21.37	12.25	23.47	16.31	18.53	18.05	17.73
18	18.07	9.83	17.69	17.84	18.08	24.22	5.37	22.16	14.78	21.04	18.03	17.69
19	18.50	13.73	16.84	19.87	18.54	25.27	1.95	23.77	20.99	21.12	19.60	17.68
20	17.81	14.98	17.08	20.77	17.37	22.23	4.70	24.73	21.72	21.24	19.46	17.56
21	17.18	14.70	4.92	17.72	23.17	21.66	12.89	23.48	12.88	20.04	16.42	17.12
22	17.47	15.55	17.51	7.26	20.22	7.13	10.77	18.87	10.75	19.95	16.38	12.05
23	18.03	19.74	15.90	22.49	21.76	4.90	15.12	15.26	21.98	20.11	14.02	10.73
24	16.76	18.37	11.01	19.62	20.02	6.55	13.56	21.27	17.94	20.49	17.53	17.41
25	17.41	18.46	15.88	22.16	15.27	13.42	6.99	19.72	12.27	20.02	18.52	15.38
26	16.87	16.37	12.81	23.60	22.00	15.75	5.75	16.96	17.08	20.46	19.20	14.95
27	17.06	16.55	19.33	22.91	14.62	14.18	5.01	12.54	22.76	18.63	18.67	16.96
28	16.73	19.56	23.59	19.01	21.83	17.41	6.85	7.40	18.03	21.23	18.49	17.87
29	16.88		20.07	21.15	22.06		7.78	12.18	21.45	21.00	16.39	18.23
30	18.63			23.02	23.65		8.44	10.01	19.39	21.06	17.84	18.19
31	18.36				23.83		4.03	3.19		19.91		16.81
Average	16.68	16.93	16.79	19.79	19.01	19.40	12.80	16.77	16.16	19.01	17.38	16.61

ตารางที่ 3.14 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีขอนแก่น ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.23	18.82	18.36	23.03	21.93	24.76	27.56	8.45	8.40	19.48	17.23	17.97
2	18.73	20.24	19.53	20.63	23.31	17.39	27.40	9.95	12.37	11.88	16.13	19.27
3	17.56	20.74	18.41	25.12	25.10	23.40	24.13	20.24	10.41	17.44	21.38	13.98
4	18.72	20.91	20.76	24.67	25.44	27.47	26.38	17.00	20.29	15.34	20.27	17.90
5	16.97	20.19	19.00	22.69	23.78	25.06	20.36	18.77	17.71	14.17	19.94	10.08
6	16.24	20.71	17.75	23.13	21.33	24.55	20.63	16.95	25.98	9.34	13.71	13.05
7	14.25	19.92	19.14	21.63	22.47	16.62	17.48	14.48	23.91	7.21	8.99	18.40
8	10.73	17.41	18.61	16.08	20.88	21.60	7.11	12.63	25.71	7.95	19.43	16.80
9	11.81	20.58	20.16	20.32	18.06	23.53	13.06	20.65	16.56	7.50	19.05	18.88
10	4.98	19.34	19.15	18.72	22.37	26.88	24.85	16.71	17.67	14.10	19.51	16.72
11	8.64	18.13	18.01	16.31	17.47	26.94	23.73	15.17	15.57	4.52	21.14	18.29
12	8.49	18.44	16.92	21.32	17.03	24.95	10.13	17.39	11.52	19.56	16.60	17.57
13	20.28	12.94	17.32	25.62	17.94	18.80	21.28	19.41	17.80	23.27	18.24	18.35
14	20.29	11.46	15.56	26.62	22.78	22.51	17.53	26.81	19.33	22.69	11.22	17.59
15	20.05	19.27	21.32	25.67	20.87	17.40	17.16	17.70	5.88	14.16	18.66	17.41
16	19.79	14.72	21.83	24.18	21.06	18.90	15.75	21.97	16.90	20.54	20.28	18.35
17	19.68	13.81	18.92	23.62	15.37	22.61	19.33	20.15	13.83	21.02	19.89	13.12
18	18.95	12.99	18.81	24.95	16.18	23.51	17.32	27.60	14.46	21.47	20.03	18.92
19	19.80	17.45	18.16	24.08	19.41	24.83	9.15	26.57	23.49	20.48	19.72	17.96
20	19.08	11.12	17.58	24.35	25.07	20.55	11.83	22.77	25.27	19.04	19.94	17.84
21	17.38	13.01	10.44	19.32	25.38	25.52	14.42	22.54	19.38	18.16	19.96	19.01
22	18.14	17.24	17.58	19.60	23.64	16.24	14.97	23.91	11.89	21.30	19.74	13.31
23	18.34	16.37	16.38	14.54	24.54	9.67	14.54	23.55	22.10	20.53	18.42	11.66
24	16.91	21.12	9.05	23.89	17.91	12.69	15.78	22.94	17.94	21.79	19.79	16.99
25	16.96	19.61	14.23	15.70	23.56	10.70	13.86	24.18	19.99	21.20	18.85	18.34
26	16.72	21.13	17.26	19.20	20.37	20.30	12.81	14.11	18.76	19.82	19.13	15.10
27	16.37	18.75	22.21	23.04	18.26	20.43	11.37	11.14	13.36	21.03	20.25	16.85
28	16.57	17.41	23.71	22.78	24.96	24.89	16.32	19.78	15.91	21.31	19.15	18.77
29	16.50		13.02	24.90	26.23		15.26	23.12	22.98	20.01	18.13	18.97
30	17.10		9.18	22.35	26.06		15.47	18.15	18.44	22.08	17.93	18.98
31	17.92		21.27		24.10		9.23	5.93		22.21		19.61
Average	16.55	17.64	17.73	21.94	21.71	21.51	16.97	18.73	17.46	17.44	18.42	16.97

ตารางที่ 3.15 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีอุบลราชธานี (เกษตร) ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.24	20.52	18.11	21.92	13.75	21.05	25.42	11.53	11.57	14.34	20.58	18.67
2	18.79	20.73	20.11	21.02	13.52	13.34	25.29	13.46	16.67	8.62	16.81	18.14
3	14.54	19.91	17.08	24.13	23.82	21.66	25.13	20.49	14.83	13.84	14.86	18.42
4	18.29	21.25	19.54	19.71	21.50	21.51	24.98	18.06	21.36	10.19	17.84	18.56
5	18.01	21.08	18.96	22.38	21.49	20.26	20.77	21.19	19.58	13.48	16.54	17.07
6	14.90	20.54	19.76	20.26	18.11	17.57	20.47	20.36	21.19	11.05	9.75	17.92
7	16.90	19.93	16.06	19.95	19.39	18.10	19.77	16.08	20.53	12.16	11.24	17.31
8	15.88	19.99	18.66	22.34	22.18	24.51	12.57	16.22	21.27	7.91	16.64	18.29
9	18.58	20.16	19.04	21.93	21.45	26.35	16.13	15.26	21.91	19.61	18.99	15.94
10	19.27	20.27	18.59	20.89	22.64	24.32	21.35	18.95	10.04	13.81	19.64	18.25
11	12.92	19.09	18.34	15.79	24.33	24.95	18.70	23.88	17.51	12.75	16.73	14.63
12	14.83	18.09	18.25	18.65	21.80	20.23	5.62	12.32	12.78	17.20	18.02	16.53
13	19.65	18.23	17.35	25.32	20.68	22.77	13.61	20.82	20.58	20.18	19.29	16.51
14	19.83	15.29	12.51	25.79	14.29	21.95	13.39	17.05	5.64	19.11	15.23	15.85
15	19.95	9.99	18.66	22.88	23.45	21.40	18.32	24.14	7.39	13.07	17.52	16.93
16	20.27	15.93	17.33	23.11	22.64	22.01	13.81	21.47	17.49	19.32	17.35	17.81
17	19.55	14.85	18.59	22.39	21.91	19.00	10.66	19.14	9.99	21.64	18.63	17.45
18	19.58	15.90	19.04	22.22	19.55	25.02	9.54	22.37	15.08	19.64	18.47	17.46
19	19.05	4.85	17.64	23.96	19.08	21.01	5.96	21.52	23.72	19.60	15.52	16.25
20	19.67	17.29	17.11	23.22	19.99	16.00	12.13	21.10	23.09	21.28	19.12	17.75
21	19.48	8.58	15.35	22.91	21.80	10.40	18.24	20.85	14.84	21.55	18.96	15.39
22	18.93	17.94	18.86	16.00	21.56	13.01	21.14	20.95	21.24	20.64	18.53	14.04
23	18.78	20.35	19.76	17.51	20.82	5.13	18.85	20.19	20.62	19.16	18.53	15.01
24	17.93	18.77	18.41	20.17	22.12	9.67	23.31	22.15	18.75	17.63	18.86	17.81
25	17.40	20.11	20.73	18.81	18.50	19.87	11.19	9.23	15.36	18.78	18.79	16.70
26	17.83	17.22	20.87	22.18	21.61	19.15	7.35	5.70	18.48	20.02	18.70	17.94
27	18.21	18.56	20.31	21.97	20.21	15.47	7.09	12.41	19.29	19.09	18.57	17.28
28	18.05	18.96	23.27	17.55	20.20	22.11	10.50	15.39	16.92	19.56	17.72	18.08
29	17.74		19.99	22.75	20.57	21.90	7.32	18.38	19.35	17.09	18.67	18.03
30	18.31		20.98	21.56	23.44	23.32	10.43	16.43	21.51	21.00	18.67	16.81
31	19.71		22.03		22.52		9.69	9.19		21.64		18.39
Average	18.10	17.66	18.75	21.31	20.61	19.44	15.44	17.62	17.29	16.93	17.49	17.14

ตารางที่ 3.16 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีร้อยเอ็ด ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1		19.70	19.24	23.90	21.75	22.83	26.28	6.51	14.63	14.63	17.93	14.63
2		20.20	18.41	23.00	23.06	18.43	25.20	13.89	13.45	13.45	17.46	13.45
3		21.33	18.52	25.48	24.98	22.82	24.74	18.53	12.86	12.86	20.64	12.86
4		21.17	19.61	24.22	25.06	26.37	22.84	19.87	18.42	18.42	20.17	18.42
5		21.25	20.61	22.76	23.28	24.94	21.41	19.65	12.76	12.76	21.20	12.76
6	16.93	21.33	19.72	22.57	23.28	22.25	19.74	24.43	6.48	6.48	11.68	6.48
7	14.48	20.34	18.76	19.64	23.96	18.69	17.90	13.86	15.24	15.24	12.49	15.24
8	13.05	20.05	18.51	17.22	24.15	21.25	7.50	18.47	7.71	7.71	19.82	7.71
9	17.21	20.43	19.86	20.70	12.08	23.85	16.65	22.71	11.72	11.72	18.93	11.72
10	14.21	19.81	18.06	20.80	23.81	27.17	24.22	13.77	16.65	16.65	19.47	16.65
11	7.48	18.96	18.67	7.89	24.93	25.88	19.45	22.96	15.35	15.35	21.17	15.35
12	14.80	18.28	17.67	20.46	16.29	24.12	9.95	25.02	18.61	18.61	17.72	18.61
13	17.24	16.56	10.50	25.34	20.56	22.50	19.58	20.65	22.33	22.33	14.13	22.33
14	20.46	9.60	7.27	26.04	20.01	19.97	16.47	25.54	18.68	18.68	14.43	18.68
15	20.30	16.80	20.75	25.09	22.67	18.05	19.54	22.15	17.25	17.25	15.47	17.25
16	20.49	17.26	21.61	22.84	23.94	16.49	14.37	23.97	21.87	21.87	19.83	21.87
17	19.78	13.49	19.59	22.81	22.52	23.42	15.00	25.65	21.99	21.99	19.13	21.99
18	19.13	14.22	19.08	23.71	20.62	21.52	13.13	25.61	21.01	21.01	18.65	21.01
19	19.63	13.06	18.48	25.19	18.54	21.53	4.69	24.77	20.51	20.51	19.44	20.51
20	19.52	12.20	18.35	24.84	23.22	20.38	13.53	25.85	21.39	21.39	19.50	21.39
21	18.75	14.25	4.78	20.49	21.79	20.75	13.53	23.26	21.75	21.75	19.03	21.75
22	18.83	20.45	18.42	17.27	23.97	10.95	19.99	21.12	20.90	20.90	19.00	20.90
23	18.52	20.50	17.99	13.69	20.08	7.08	21.24	23.26	20.61	20.61	19.38	20.61
24	17.28	20.97	13.61	23.38	19.15	8.12	19.92	22.69	21.10	21.10	19.23	21.10
25	16.69	20.45	19.29	22.73	21.53	16.25	10.19	25.64	16.54	16.54	18.59	16.54
26	16.31	20.91	16.60	24.94	19.30	15.38	9.47	14.80	20.80	20.80	17.37	20.80
27	17.02	20.76	21.35	25.11	19.72	21.01	12.33	6.85	21.29	21.29	18.17	21.29
28	16.82	20.42	22.70	21.63	23.62	19.72	11.16	18.94	20.78	20.78	18.65	20.78
29	16.71		18.33	21.33	24.07		16.73	18.61	20.98	20.98	16.09	20.98
30	18.75		11.80	20.42	23.87		13.52	16.76	21.79	21.79	18.97	21.79
31	18.67		20.92		22.56		8.01	9.26		21.63		21.63
Average	17.27	18.39	17.71	21.85	21.88	20.35	16.40	19.84	17.85	17.97	18.12	17.97

ตารางที่ 3.17 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีนครราชสีมา ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.06	18.54	19.59	21.45	20.26	24.41	25.24	12.51	18.59	12.12	19.82	18.78
2	17.94	18.61	16.36	21.20	20.88	18.02	24.47	13.95	17.13	16.21	15.27	17.97
3	17.86	19.68	18.81	25.55	18.62	18.44	24.51	21.46	17.79	15.51	15.66	15.93
4	17.81	20.13	20.21	25.08	24.50	21.83	25.17	22.56	20.28	17.22	17.56	16.84
5	17.48	19.95	20.19	24.66	23.87	23.63	22.85	22.72	16.30	14.35	19.51	14.67
6	16.72	19.64	18.70	23.73	17.59	23.22	17.52	18.83	25.72	14.69	12.45	16.51
7	13.78	19.08	18.75	19.81	22.89	20.40	21.43	14.28	24.80	19.56	10.75	16.39
8	4.72	18.68	18.87	16.45	19.30	16.90	17.27	8.34	23.32	8.56	16.87	18.68
9	14.90	18.82	20.22	20.37	18.25	23.66	9.82	23.22	20.78	10.51	16.99	18.61
10	15.26	18.57	20.61	20.79	20.40	18.75	23.65	18.94	15.91	15.98	17.36	17.19
11	14.48	18.08	17.15	14.05	21.57	25.81	21.00	10.05	13.37	11.25	16.51	16.72
12	11.72	16.54	16.59	18.30	22.40	19.27	17.04	18.39	17.42	10.84	17.80	16.64
13	18.36	10.94	15.69	22.36	20.43	14.23	18.21	17.68	10.36	18.65	17.57	16.19
14	19.48	11.29	16.24	25.67	17.33	16.48	12.48	21.62	19.84	17.35	19.49	15.24
15	19.37	18.60	20.61	24.15	21.25	13.84	18.46	16.26	2.17	9.38	14.37	15.80
16	19.24	17.17	22.24	24.18	25.94	19.53	15.56	22.94	13.02	21.45	17.04	17.90
17	18.73	15.09	19.46	23.31	25.11	18.17	16.47	24.28	9.00	21.24	18.83	18.09
18	18.37	12.66	19.11	23.24	26.32	22.19	14.92	26.52	15.04	19.52	17.27	17.31
19	18.48	8.62	18.52	25.49	25.12	24.46	7.76	26.19	22.39	13.98	15.33	16.29
20	19.15	13.61	18.82	22.56	25.20	24.05	12.31	25.08	24.36	16.56	16.35	14.90
21	18.27	14.70	11.33	22.64	24.87	23.59	17.79	18.00	22.07	12.30	18.84	17.88
22	18.39	19.96	13.29	19.30	22.44	14.48	19.30	23.81	8.41	20.07	18.57	11.05
23	17.59	20.43	15.61	18.32	21.12	10.54	12.82	19.73	19.34	21.15	17.89	9.52
24	16.60	21.40	9.09	17.41	22.15	14.17	18.61	22.91	18.45	21.17	18.25	14.34
25	16.79	21.87	19.08	13.12	23.67	17.38	14.29	22.65	22.74	17.44	17.95	16.11
26	16.18	19.18	15.59	18.79	21.07	16.32	13.67	10.62	23.61	18.73	17.89	17.41
27	17.04	21.20	22.04	19.09	18.96	18.06	17.00	9.04	18.82	18.86	18.01	16.82
28	16.71	20.60	22.57	13.23	20.65	22.35	13.13	20.87	16.89	17.59	15.14	17.46
29	15.98		10.39	21.71	20.06		13.22	21.16	13.75	21.20	17.61	17.78
30	15.76		17.28	19.65	21.84		19.10	20.57	13.25	20.52	18.18	17.92
31	16.17		18.15		26.55		12.87	10.59		20.33		17.10
Average	16.69	17.63	17.78	20.86	21.96	19.69	17.35	18.90	17.50	16.59	17.04	16.45

ตารางที่ 3.18 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีสุรินทร์ ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.24	19.03	18.81	18.14	20.77	22.03	23.62	8.84	17.05	14.62	19.11	18.72
2	17.55	18.81	16.32	21.36	22.03	17.18	25.19	16.90	20.22	13.82	16.09	18.50
3	15.16	18.85	16.61	22.96	23.59	16.91	23.11	20.55	16.61	17.27	20.08	16.88
4	16.58	20.37	20.07	24.24	24.69	19.47	15.64	20.38	19.53	9.96	18.56	18.24
5	16.56	20.19	20.99	23.07	26.25	22.61	17.26	21.64	17.66	17.53	19.25	16.53
6	16.78	20.39	19.66	22.55	19.80	23.36	17.18	23.20	23.55	13.82	11.63	18.08
7	14.72	19.60	18.37	12.16	22.80	18.12	22.68	17.99	22.76	15.78	15.78	17.99
8	10.81	18.59	17.95	13.41	21.29	19.63	15.10	17.76	22.22	5.05	18.31	18.04
9	18.16	19.34	19.62	19.17	17.71	26.90	5.04	23.67	18.46	12.96	16.93	18.12
10	18.32	19.34	18.12	18.96	24.68	26.75	18.29	17.63	19.57	15.42	19.01	18.42
11	14.10	19.03	18.25	12.13	26.33	24.65	23.99	10.92	19.06	8.84	19.15	17.45
12	10.73	17.41	17.33	20.04	24.10	21.49	14.33	21.60	13.93	18.82	17.14	15.02
13	18.82	16.58	14.14	23.47	17.83	21.28	18.60	17.23	16.21		19.24	16.79
14	19.57	6.06	10.08	23.58	24.71	18.95	15.47	21.36	11.97		15.82	16.21
15	19.50	15.06	20.41	22.72	21.94	14.78	16.09	24.65	1.94	13.03	13.21	16.53
16	20.10	17.66	20.00	22.87	26.06	18.33	18.80	23.93	15.01	21.30	19.26	17.59
17	18.80	17.67	19.27	22.35	23.28	19.85	14.16	23.39	7.53	22.30	15.90	16.93
18	17.97	13.54	19.30	21.28	24.43	24.74	14.38	26.39	16.31	21.46	15.89	18.03
19	18.37	11.83	17.43	23.43	22.16	21.39	8.26	25.62	21.55	21.44	16.96	15.32
20	18.82	13.26	16.72	24.86	22.17	21.36	12.79	23.02	24.82	21.85	19.03	16.79
21	18.69	13.50	6.29	21.78	24.90	20.80	12.97	20.82	22.38	22.14	20.10	18.20
22	18.89	16.02	17.49	18.18	24.92	9.88	18.72	19.74	15.45	20.35	18.91	13.51
23	17.67	19.65	18.25	18.71	22.81	8.02	17.91	21.98	24.39	21.18	17.43	11.46
24	16.56	20.20	14.96	15.24	21.42	9.97	21.67	21.11	19.23	19.67		14.91
25	16.59	20.94	18.43	19.31	23.06	16.28	12.38	20.60	24.64	15.74		16.47
26	15.57	17.58	18.98	24.54	23.37	15.61	8.85	13.51	22.99	19.84		18.11
27	16.26	19.11	20.54	24.62	22.60	19.53	8.39	12.72	17.49	20.36		17.71
28	16.03	17.89	22.18	19.99	25.20	24.26	12.48	20.16	19.96	18.66		18.22
29	16.59		15.75	23.79	17.40		12.79	16.59	19.14	15.55		18.26
30	16.87		20.77	22.44	21.48		12.44	18.39	14.57	20.62		17.10
31	17.46		19.47		26.52		10.36	13.35		19.93		18.73
Average	16.99	17.41	17.82	20.71	22.91	19.74	15.77	19.54	18.21	17.22	17.51	17.06

ตารางที่ 3.19 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีเพชรบูรณ์ ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.22	18.14	17.34	22.74	25.78	23.51	26.61	8.19	11.30	14.28	20.06	18.51
2	17.75	19.85	16.98	24.87	24.49	23.58	23.98	6.23	16.73	14.53	19.53	18.00
3	17.81	19.40	19.49	23.85	19.64	20.15	23.60		10.88	13.60	20.31	8.35
4	17.46	19.86	20.70	22.30	22.77	25.98	24.43		12.49	17.14	20.10	14.17
5	17.09	18.89	17.89	23.32	18.89	25.27	22.29		17.38	18.15	20.34	10.80
6	16.58	18.69	20.84	22.20	18.69	24.30	15.44	5.73	18.04	9.30	18.56	10.81
7	15.53	18.51	20.79	22.07	18.37	16.78	16.79	8.99	17.71	14.38	11.35	15.90
8	6.80	15.69	19.97	12.33	20.65	15.25	10.84	16.56	18.00	12.04	19.04	18.27
9	8.43	18.03	20.93	17.02	22.54	19.90	5.68	17.96	19.95	17.21	19.42	17.52
10	2.41	17.33	19.25	20.25	24.41	22.96	24.87	19.69	18.34	12.86	18.23	18.51
11	3.78	16.99	18.50	13.70	21.23	22.96	24.10	20.35	12.60	6.94	19.38	16.72
12	12.23	16.15	19.29	15.02	20.23	22.96	17.93	12.28	16.03	13.03	20.05	17.51
13	18.66	8.29	19.83	24.04	16.31	17.60	12.70	19.69	8.41	16.95	18.55	15.89
14	18.12	20.27	18.82	25.99	17.12	20.43	16.04	20.55	18.38	21.03	11.63	17.14
15	18.77	20.07	21.22	25.42	20.71	14.01	19.03	23.39	8.24	17.03	18.63	16.32
16	15.93	18.58	20.10	23.05	22.14	25.10	16.01	19.32	8.87	21.31	16.49	16.04
17	18.54	14.07	17.15	23.60	24.25	19.36	18.51	19.75	11.21	21.00	19.32	14.82
18	17.83	16.28	17.65	23.40	23.84	20.94	19.82	24.11	12.78	21.22	18.51	17.90
19	19.24	14.27	19.39	23.45	22.37	19.64	14.80	23.78	23.75	21.21	18.93	18.42
20	18.34	18.24	18.29	24.81	24.43	19.98	9.11	16.56	23.44	17.49	17.03	17.23
21	16.86	17.24	14.49	18.66	21.48	19.86	12.28	18.89	21.64	17.69	18.52	18.49
22	15.60	18.17	16.05	19.13	14.96	16.49	15.30	16.36	13.23	17.15	18.85	10.73
23	16.84	20.74	19.15	9.87	19.16	9.64	9.81	19.97	18.36	17.86	18.55	13.09
24	15.90	20.86	7.19	22.24	19.00	8.61	9.05	18.48	21.23	19.56	18.97	16.64
25	16.86	21.39	18.67	14.33	24.76	11.22	18.86	22.17	21.61	20.68	18.09	16.59
26	17.27	21.65	17.96	13.09	15.72	11.60	14.45	1.59	20.68	19.54	19.17	13.22
27	17.62	22.02	21.44	13.91	18.03	13.38	16.16		17.83	18.30	17.71	9.69
28	17.82	21.38	20.80	18.59	22.74	22.58	17.76	4.20	19.38	20.23	18.74	16.82
29	17.79		17.30	22.35	26.62		1.81	18.84	19.53	20.68	18.70	17.98
30	14.90		21.39	17.62	22.83		1.80	18.66	20.07	20.13	18.70	18.79
31	14.77		23.67		18.83		12.86	5.68		21.72		18.92
Average	15.54	18.25	18.79	20.11	21.06	19.30	15.89	13.81	16.60	17.23	18.38	15.80

ตารางที่ 3.20 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีนครสวรรค์ ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	17.68	16.90	19.40	23.54	25.39	25.31	22.11	19.41	14.54	15.51	17.76	17.71
2	16.73	17.68	10.36	25.63	23.92	25.28	22.71	21.64	14.63	17.27	17.40	15.04
3	16.73	18.31	19.97	23.41	22.65	23.75	16.96	18.51	18.14	14.92	19.63	13.67
4	16.36	18.35	19.97	22.16	24.69	26.80	19.62	14.78	15.37	16.01	18.80	8.90
5	15.61	17.87	21.54	23.59	23.98	26.53	16.67	24.23	22.50	14.19	18.76	12.02
6	15.64	16.70	19.10	22.98	21.85	26.00	16.21	16.15		17.85	16.09	6.06
7	13.54	17.61	17.74	21.78	23.43	25.62	17.35	18.75	23.04	11.42	10.45	13.72
8	2.68	16.43	20.17	14.73	24.95	16.81	13.38	14.76	20.31	14.92	12.37	17.35
9	7.93	17.86	21.38	20.28	24.61	24.26	7.13	17.67	22.07	16.85	18.74	17.43
10	2.31	17.75	20.43	21.59	19.78	26.19	23.01	22.69	9.12	16.94	13.17	16.34
11	2.01	17.20	19.81	17.26	18.48	23.01	24.03	18.33	12.90	10.69	13.21	17.16
12	8.08	16.09	20.74	16.20	25.54	25.92	21.44	13.41	15.61	7.71	15.85	
13	12.06	15.25	19.93	19.91	15.00	19.84	17.76	17.71	12.69	12.69	12.30	15.70
14	17.48	19.62	20.51	24.99	23.28	16.62	14.79	24.37	14.86	18.49	10.92	16.32
15	17.23	19.16	22.34	24.43	18.17	14.95	21.14	17.99	11.19	17.93	15.66	15.99
16	13.94	18.30	19.30	23.49	26.37	13.91	17.92	20.95	15.67	19.54	14.32	15.33
17	16.89	16.55	16.50	23.47	22.94	23.17	19.09	22.48	15.64	21.75	16.81	14.47
18	16.18	17.56	17.59	22.96	23.99	17.93	19.99	25.42	15.80	18.85	15.15	17.26
19	17.44	9.08	18.89	23.61	25.85	23.88	16.02	23.57	22.27	18.49	16.05	16.70
20	16.97	16.90	16.80	24.52	19.79	22.61	17.74	20.37	19.54	15.11		14.60
21	15.24	16.13	11.60	23.87	22.56	20.49	13.14	17.03	21.41	8.70	17.78	15.94
22	15.71	17.86	16.69	19.91	16.55	14.66	15.98		14.14	10.97	17.92	12.45
23	15.84	19.50	16.82	19.53	21.04	12.92	14.07	19.09	14.87	19.02	16.83	11.72
24	15.46	16.97	3.96	18.76	21.44	12.23	11.32	18.73	21.97	20.18	17.87	13.02
25	16.19	21.69	15.30	21.72	17.34	10.38	19.82	19.37	21.90	20.76	17.36	13.71
26	15.72	21.62	14.32	12.59	24.76	19.14	12.67	13.25	21.84	18.37	17.95	6.42
27	16.50	22.32	22.44	22.22	21.79	20.07	16.08	10.69	18.37	17.88	17.74	15.13
28	16.27	21.57	21.47	23.85	23.07	22.37	16.48	18.69	11.81	17.21	16.98	16.28
29	16.45		19.20	22.49	25.35		13.75	19.18	15.38	17.37	17.28	15.74
30	14.25		22.96	24.18	26.96		14.49	20.78	18.37	17.31	17.02	17.07
31	11.37		22.41		24.61		23.43	10.97		19.40		16.91
Average	13.95	17.81	18.37	21.65	22.58	20.82	17.30	18.70	17.10	16.27	16.14	14.54

ตารางที่ 3.21 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีลพบุรี ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.58	18.93	19.96	20.57	17.76	24.98	24.25	13.72	10.74	16.72	17.34	17.64
2	19.00	19.37	16.93	25.08	16.19	20.55	23.30	15.28	16.88	19.35	18.83	18.09
3	18.99	20.73	19.25	24.29	20.33	16.18	20.06	18.42	19.72	15.97	17.64	9.19
4	18.65	20.77	20.43	24.87	19.01	25.07	22.49	16.41	19.19	17.61	19.81	17.31
5	17.40	20.49	18.40	24.71	16.45	19.63	20.71	15.55	24.71	12.79	18.18	12.13
6	18.09	20.24	21.25	23.32	18.81	22.08	14.70	16.25	20.75	17.73	15.75	15.80
7	15.72	19.73	21.53	23.74	16.42	15.81	21.08	22.31	24.63	15.05	12.17	16.44
8	3.65	19.05	20.60	14.98	16.33	18.56	13.06	11.11	14.45	10.57	18.15	19.14
9	14.78	19.56	21.78	18.82	17.50	25.12	8.23	15.81	23.35	15.62	16.44	19.34
10	11.03	19.55	20.96	20.10	19.75	25.89	19.51	18.07	16.23	19.97	16.29	19.44
11	6.39	18.07	20.16	14.68	22.65	26.02	23.41	18.41	12.19	10.83	18.70	17.95
12	10.24	16.39	18.82	22.31	15.07	18.70	19.83	14.12	15.25	13.79	17.97	17.77
13	18.34	16.02	18.43	23.90		10.73	17.87	20.39	10.03	14.57	18.54	17.78
14	20.32	17.59	19.43	25.70		23.90	18.89	25.19	15.32	17.31	17.50	17.94
15	19.90	19.67	20.32	23.91		13.89	17.74	16.16	4.58	13.66	17.73	17.24
16	20.64	15.38	19.81	23.05		18.45	14.60	20.74	12.55	20.96	19.66	18.89
17	19.75	16.82	17.52	24.25		19.19	17.49	18.93	13.41	21.16	19.36	16.97
18	19.05	11.97	17.85	24.24		18.99	14.10	25.71	9.87	20.88	20.22	18.31
19	20.11	12.51	18.57	23.30		24.91	9.53	25.11	22.64	18.93	18.09	18.22
20	20.20	13.49	18.89	20.33		24.58	12.15	20.82	21.21	19.77	19.38	17.75
21	18.39	15.55	12.61	22.81		22.19	12.05	23.90	22.08	14.79	20.55	19.39
22	18.29	22.32	15.14	20.13		18.30	16.15	14.56	8.14	15.04	18.44	7.74
23	17.74	20.30	16.84	8.63		12.71	15.34	16.16	15.81	20.62	19.26	10.10
24	17.24	19.46	6.82	21.50		14.62	13.38	20.18	22.83	21.16	18.94	15.20
25	15.86	22.92	16.69	17.45		16.79	17.90	18.27	21.03	19.64	18.77	16.77
26	17.17	23.29	19.65	20.68		16.99	12.93	13.92	21.68	18.59	19.53	17.65
27	17.44	21.99	22.99	20.98		15.90	16.13	11.85	21.20	16.82	19.83	16.18
28	16.29	19.07	23.61	14.57		19.44	14.70	18.97	21.21	18.11	17.03	17.95
29	16.23		19.55	19.41			9.88	21.33	17.34	21.01	18.83	18.84
30	14.05		21.85	14.27			16.88	19.52	21.36	21.41	19.05	18.93
31	16.22		22.69				15.26	9.25		20.45		19.52
Average	16.67	18.62	19.01	20.89	18.02	19.79	16.57	17.95	17.35	17.45	18.27	16.83

ตารางที่ 3.22 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีกาญจนบุรี (เมือง) ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.22	16.92	19.52	23.79	26.65	27.50	25.21	16.00	15.30	16.65	21.95	19.73
2	19.40	17.74	11.71	26.59	26.15	24.81	24.33	18.57	21.84	13.27	15.20	19.31
3	18.48	19.34	20.79	25.65	24.88	19.34	24.52	16.02	16.80	10.24	13.64	14.83
4	18.58	19.77	22.48	25.87	23.52	25.97	24.43	12.81	22.15	10.64	17.37	17.57
5	19.99	19.07	22.70	24.02	23.27	26.73	12.15	16.36	20.07	13.95	18.28	14.49
6	19.73	19.03	20.54	25.45	22.68	25.14	16.09	19.10	21.79	13.81	18.09	10.16
7	13.94	19.57	21.14	24.11	21.66	26.27	22.34	19.40	25.21	21.17	6.91	18.66
8	2.28	16.33	21.04	15.28	25.20	19.20	21.19	18.13	20.97	20.13	10.42	19.40
9	13.84	17.46	22.50	23.74	23.66	25.83	12.47	22.91	19.67	13.12	15.70	19.64
10	8.06	18.37	21.83	23.45	25.30	26.82	20.72	20.80	8.95	22.43	15.09	19.69
11	4.11	18.63	22.68	20.81	25.00	25.06	23.68	19.52	16.00	18.75	19.13	20.24
12	5.17	17.07	20.52	16.13	24.41	26.73	18.61	20.65	16.89	5.72	17.29	20.07
13	16.73	13.62	20.45	17.13	21.07	22.00	23.29	13.77	16.01	10.87	18.40	19.43
14	18.45	20.77	20.73	25.29	15.50	18.43	22.38	21.70	15.17	13.12	19.34	17.78
15	19.57	20.97	21.03	24.62	25.18	14.88	15.65	22.96	9.30	17.54	20.35	17.75
16	18.93	18.82	23.17	24.38	24.26	20.75	15.94	24.27	11.10	22.01	19.66	16.17
17	19.67	17.75	20.50	24.20	23.25	23.44	15.22	26.30	12.02	22.44	20.35	15.16
18	18.74	16.25	19.85	23.19	22.54	19.36	14.48	24.41	15.26	16.60	18.19	18.83
19	19.57	10.08	19.27	24.18	22.94	20.28	17.67	20.83	15.09	19.00	20.16	17.74
20	19.19	16.56	17.72	24.66	16.70	23.02	16.92	26.03	24.23	19.76	18.31	16.40
21	18.51	16.80	17.80	26.61	18.36	21.55	16.37	20.13	24.32	18.07	19.83	15.93
22	17.21	20.91	19.58	25.36	17.15	13.64	17.62	17.93	17.96	16.19	20.47	12.83
23	17.48	22.99	18.45	14.89	13.92	13.17	20.51	17.54	16.53	20.85	19.43	10.94
24	18.42	23.92	13.58	23.18	19.64	8.34	13.33	16.60	20.11	16.53	19.13	13.43
25	18.38	23.06	13.62	14.38	21.81	13.23	17.20	18.16	17.73	21.09	19.36	17.55
26	17.66	23.57	17.53	18.78	23.15	7.95	21.99	14.42	25.27	21.02	16.66	19.04
27	16.83	21.92	19.33	20.69	23.25	10.62	16.64	16.09	25.29	17.34	14.00	16.48
28	18.63	20.93	17.13	25.66	21.50	17.93	19.80	13.60	16.98	19.69	15.62	17.84
29	16.77		12.56	27.15	21.82		19.09	20.33	23.61	20.01	19.67	17.25
30	15.76		24.73	24.48	22.68		17.27	18.65	22.28	20.06	18.00	16.52
31	14.44				26.35		13.28	13.28		17.48		15.87
Average	16.25	18.86	19.48	22.79	22.37	20.33	18.72	18.94	18.46	17.08	17.53	16.99

ตารางที่ 3.23 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีกาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.49	17.50	18.62	24.73	26.81	23.18	23.44	18.00	16.87	17.70	19.36	19.22
2	19.58	20.64	18.62	25.49	25.29	23.00	16.34	13.69	20.25	13.80	17.95	18.05
3	18.56	19.27	21.25	25.71	25.07	22.25	17.24	15.19	17.39	13.73	16.82	17.98
4	18.99	20.63	23.65	23.37	25.25	27.47	18.38	7.67	16.81	16.08	18.83	18.41
5	19.37	20.03	24.02		25.10	24.77	9.70	10.89	13.78	15.44	18.84	12.42
6	19.05	20.24	22.98		25.22	26.52	11.97	15.21	15.12	22.07	17.31	14.65
7	18.35	19.81	21.11		26.24	26.93	18.24	10.92	21.84	20.42	14.07	12.02
8	3.50	18.64	18.23		24.46	19.33	13.08	17.95	15.05	21.27	18.36	19.64
9	10.57	18.25	22.08		25.36	20.94	15.28	14.09	16.48	11.89	16.69	19.73
10	6.37	19.28	21.41	23.13	23.43	26.41	23.13	17.42	14.75	10.33	18.13	20.14
11	4.35	20.14	23.44	23.84	25.06	25.43	19.75	26.75	16.11	10.61	21.51	19.94
12	12.87	19.45	22.20	23.79	26.06	23.04	14.45	8.16	11.15	16.62	19.92	19.91
13	10.56	18.87	22.17	15.38	25.46	23.52	21.17	11.42	18.79	10.81	18.98	19.05
14	20.24	22.58	22.66	24.57	16.62	18.12	13.41	16.25	15.97	15.27	20.47	18.91
15	19.26	22.27	24.44	25.79	21.95	15.67	10.75	16.90	10.50	17.91	19.80	18.76
16	16.82	19.38	24.67	24.30	24.17	23.15	9.60	21.47	13.13	20.56	20.69	16.33
17	18.99	20.85	20.29	23.98	17.69	16.61	11.02		17.91	18.53	20.27	18.89
18	19.07	20.77	21.11	23.93	19.83	13.42	14.34	20.97	9.23	22.60	20.69	19.15
19	19.76	12.78	21.48	25.55	16.88	18.31	12.86	16.46	21.11	20.17	19.74	18.74
20	20.10	16.28	17.98	26.16	7.44	22.64	12.64	15.49	24.77	22.55	15.85	17.61
21	18.49	16.26	17.42	25.95	6.85	17.90	9.15	13.44	22.61	22.51	19.39	17.39
22	18.11	18.10		22.56	9.21	10.92	13.74	7.76	13.77	23.55	17.12	11.30
23	18.04	23.20		23.88	10.94	9.27	17.96	13.52	21.64	20.87	17.84	16.80
24	20.18	23.78		21.09	17.70	4.13	9.78	13.93	14.34	18.33	21.00	14.10
25	19.93	23.02		17.08	18.39	9.66	15.70	10.02	9.67	21.71	20.37	18.63
26	19.07	23.81		21.69	21.73	6.93	11.49	11.82	23.99	21.16	19.95	16.80
27	19.50	23.24		21.09	18.50	7.68	15.63	12.49	26.16	15.75	2	18.16
28	20.31	21.44		22.48	18.18	8.07	12.91	15.03	19.40	20.60	18.34	18.30
29	19.08			25.69	20.91		13.65	21.71	23.59	18.20	19.06	18.19
30	17.41			23.21	22.70		12.15	21.25	22.46	18.53	19.33	17.13
31	16.29		23.81		26.58		16.96	12.18		19.75		16.50
Average	16.85	20.02	21.53	23.38	20.81	18.33	14.71	14.94	17.49	18.04	18.89	17.51

ตารางที่ 3.24 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีกรุงเทพฯ ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.12	18.53	21.24	23.64	25.86	25.01	21.81	15.99	13.15	9.62	18.51	14.05
2	19.30	18.60	5.91	24.70	21.70	23.97	20.63	13.38	20.19	5.09	17.58	14.84
3	18.08	19.21	17.79	24.04	18.70	10.10	21.61	16.93	20.49	4.60	10.99	12.69
4	18.14	19.40	20.01	25.19	12.82	18.67	24.57	16.53	15.36	8.41	13.93	14.49
5	15.41	20.45	19.88	22.57	7.97	25.12	18.36	16.48	20.61	11.04	12.46	10.47
6	18.68	20.28	18.42	23.29	25.63	24.23	14.66	15.66	22.44	10.07	12.12	12.84
7	16.29	19.72	20.65	23.54	21.09	21.96	19.05	17.55	25.25	13.11	10.14	15.49
8	7.10	18.21	22.08	7.76	14.98	18.00	17.26	15.50	20.19	14.80	13.45	17.80
9	17.34	19.38	21.81	19.85	22.19	25.61	9.91	19.01	23.20	6.06	13.01	17.52
10	6.74	19.45	18.66	22.31	23.30	24.15	19.04	19.58	6.40	15.96	14.44	13.21
11	13.22	15.91	19.78	23.50	16.87	25.76	22.92	13.01	9.72	11.20	16.15	14.61
12	11.08	14.72	19.28	18.74	18.99	16.64	19.10	19.42	18.09	11.66	15.03	15.55
13	17.58	17.07	21.19	20.58	9.39	18.92	20.79	11.75	20.53	14.20	7.59	11.98
14	18.76	18.85	21.39	24.44	13.95	18.43	17.21	22.82	16.85	13.91	7.86	12.42
15	19.10	15.97	21.69	22.56	21.53	15.00	22.36	14.63	6.94	12.65	7.33	10.21
16	19.83	15.71	18.89	23.64	16.75	10.35	15.42	22.05	10.38	14.07	7.85	16.20
17	19.06	16.81	19.50	24.31	24.00	18.68	16.69	23.87	5.11	11.75	16.95	15.39
18	17.56	18.35	19.43	25.14	21.93	13.90	13.64	24.65	19.01	11.97	14.70	15.91
19	19.53	16.00	17.85	26.50	24.56	22.58	10.91	23.78	20.44	10.30	13.80	15.44
20	19.41	16.33	15.83	23.66	16.33	25.03	12.07	23.22	21.98	11.46	8.88	15.78
21	19.00	15.50	13.18	25.54	22.82	22.01	19.31	15.11	21.30	14.91	15.25	17.17
22	18.80	20.62	16.82	23.95	22.78	19.48	20.46	19.65	11.85	6.75	15.49	10.62
23	15.38	23.10	16.19	12.52	20.40	16.02	21.26	18.52	12.68	15.43	13.55	8.95
24	19.26	23.40	8.35	16.46	23.92	15.31	23.71	20.56	16.12	18.59	14.93	13.51
25	14.93	22.80	17.41	9.68	20.05	16.12	20.54	18.85	20.51	19.64	16.02	12.05
26	16.36	23.22	18.16	16.94	23.07	14.47	20.46	12.91	22.15	16.24	15.53	16.99
27	15.65	22.70	19.02	17.97	21.49	13.62	10.39	15.59	16.81	10.76	18.06	14.72
28	16.67	20.10	17.63	23.30	25.25	23.05	17.92	15.09	13.99	11.72	11.97	17.38
29	14.18		20.01	20.99	25.49	18.44	19.74	20.58	16.27	10.23	17.60	17.50
30	14.45		22.63	17.37	22.65	21.77	14.02	20.93	12.84	18.93	11.10	16.97
31	8.66		25.57		25.57		13.20	13.37		19.56		17.42
Average	16.28	18.94	18.59	21.16	20.39	19.41	18.03	17.97	16.70	12.41	13.41	14.52

ตารางที่ 3.25 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีประจวบคีรีขันธ์ (เมือง) ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	20.04	11.22	23.45	23.48		23.88	18.60	18.78	12.50	17.04	21.29	7.81
2	19.94	19.89	23.31	24.53		22.23	21.62	19.37	13.62	13.13	8.89	6.25
3	19.79	20.79	22.22	22.54		23.10	18.82	19.79	16.71	11.89	7.80	21.17
4	19.37	20.84	22.84	26.12		26.79	19.68	17.81	17.96	14.56	11.97	14.48
5	19.23	21.32	23.30	24.63		24.91	6.88	15.75	13.30	22.06	12.60	13.76
6	20.94	19.23	22.34	24.07		25.76	13.79	16.85	22.51	15.97	7.99	20.20
7	17.11	20.32	22.91	25.00		26.15	20.73	13.96	22.48	19.54	9.71	20.56
8	16.65	20.53	21.43	23.26		9.45	16.69	13.17	21.96	16.04	9.63	20.85
9	14.70	16.83	23.78	25.41		24.46	17.25	11.98	15.89	16.78	18.81	20.20
10	17.89	20.56	24.48	23.91	20.32	26.51	19.50	14.56	11.08	13.80	17.34	20.54
11	13.86	21.04	19.98	23.18	25.76	26.57	22.18	23.12	16.39	17.03	18.84	21.08
12	18.23	20.33	23.45	18.70	24.92	25.90	11.48	23.00	22.90	21.61	8.46	21.12
13	20.03	20.90	18.46		23.55	16.66	20.85	21.12	16.89	17.28	8.07	20.78
14	20.63	19.96	22.98		11.45	23.21	21.53	26.30	13.78	19.83	19.53	19.89
15	20.64	14.00	23.93		26.94	9.11	16.96	25.17	12.34	12.38	21.79	17.47
16	21.44	22.51	23.31		21.81	23.82	15.30	25.75	4.85	21.30	22.01	15.50
17	20.84	19.75	23.35		25.91	17.60	12.91	17.46	7.29	22.00	18.50	7.65
18	19.51	19.51	22.06		25.88	18.09	12.82	22.36	17.51	21.95	18.41	16.25
19	20.35	14.99	20.67		25.15	16.24	10.79	22.73	22.78	24.05	17.73	17.91
20	20.51	20.28	21.29		23.50	20.96	17.39	21.23	23.76	22.29	17.83	17.35
21	21.02	23.47	18.28		21.44	12.16	10.69	21.22	24.52	17.89	21.74	18.54
22	19.90	24.95	20.11		20.28	15.31	19.59	9.40	16.75	21.58	21.27	12.22
23	19.65	25.18	21.05		17.13	8.52	22.84	10.93	9.36	22.31	10.06	8.49
24	21.39	24.62	22.01		19.55	8.31	23.44	11.24	21.74	13.06	17.57	8.39
25	20.43	25.05	5.81		22.99	7.89	26.99	8.28	21.75	22.28	19.82	19.87
26	19.50	25.29	15.65		20.20	7.32	23.00	9.28	26.10	17.58	12.61	17.84
27	16.04	23.79	13.40		23.80	10.71	11.01	12.15	19.16	16.07	8.82	19.40
28	17.85	21.91	20.28		25.50	16.38	15.82	13.94	21.97	21.75	18.71	18.89
29	19.86		17.82		24.85		20.69	14.31	21.27	21.47	16.81	20.23
30	19.07		26.03		23.61		20.84	19.22	13.38	22.86	15.11	20.44
31	19.36		24.86		20.52		14.94	14.64		14.96		16.56
Average	19.22	20.68	21.12	23.73	22.50	18.79	17.60	17.25	17.42	18.46	15.32	16.83

ตารางที่ 3.26 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีหนองพลับ ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1		14.60	22.73	18.68	21.72	20.48	22.82	17.57	14.86	14.19	18.32	13.32
2		19.94	18.84	21.81	19.06	18.14	22.09	18.86	17.55	15.20	10.44	16.27
3		20.54	17.13	27.13	17.49	18.15	22.83	16.06	12.69	9.57	9.11	18.79
4		19.18	19.71	26.44	21.01	22.88	15.24	13.20	16.54	14.54	16.54	13.94
5		21.73	23.38	22.50	14.43	23.48	5.12	13.26	18.62	15.62	13.13	11.37
6		19.25	22.46	23.55	19.14	25.63	16.36	18.80	17.70	14.79	10.06	11.03
7		19.22	20.80	23.15	20.11	25.13	22.30	14.95	24.51	17.81	7.62	18.51
8		19.54	21.98	15.60	19.54	14.78	18.34	18.27	23.25	16.77	8.81	19.68
9		18.16	22.50	24.93	15.98	21.61	17.08	14.80	16.57	10.75	17.02	18.72
10		20.41	20.97	24.19	18.56	23.07	22.81	15.85	12.49	20.68	11.00	16.98
11		20.87	23.24	23.26	26.61	26.47	22.81	13.50	16.53	15.61	14.51	18.45
12		18.28	21.78	20.37	25.52	22.98	17.23	15.29	15.88	11.17	14.00	18.79
13		13.92	20.78	10.62	17.50	16.45	22.72	14.65	18.42	13.28	14.79	18.19
14		19.94	20.22	23.99	8.00	16.70	22.40	22.11	15.56	19.92	17.22	16.63
15		16.10	21.92	23.05	26.90	13.91	15.83	22.18	9.68	15.77	20.38	14.44
16		20.33	23.33	22.77	19.55	20.49	14.46	17.68	6.72	9.89	20.18	15.57
17		18.17	23.76	24.34	25.22	19.45	13.83	20.67	8.04	16.77	18.50	7.63
18		17.13	22.76	26.37	21.48	15.32	12.74	15.01	13.04	19.85	19.25	16.42
19		15.99	20.80	24.91	25.37	16.44	13.39	20.14	20.14	19.85	17.54	17.56
20		18.57	20.03	25.87	20.62	22.25	14.04	17.68	24.58	19.64	18.64	17.89
21		20.95	20.12	24.18	20.61	14.95	18.49	21.02	23.92	16.22	17.61	18.83
22		22.40	16.41	21.04	19.69	16.62	20.60	13.18	16.96	22.45	18.77	14.24
23		24.91	12.98	8.52	13.53	7.70	21.81	9.67	13.14	17.17	13.16	5.11
24		23.51	18.42	24.83	20.24	7.53	21.97	11.47	16.96	14.11	15.64	11.51
25		23.66	10.67	14.04	16.90	10.77	26.15	15.42	19.39	18.60	15.45	15.36
26		24.52	13.27	26.19	20.69	9.66	24.10	10.76	21.40	14.06	16.05	17.72
27		23.95	14.90	23.30	24.35	12.65	16.58	17.00	22.73	16.38	12.94	17.97
28	16.08	19.71	18.50	17.33	26.20	17.28	15.49	14.84	17.07	14.73	14.45	17.97
29	18.29		17.39	22.34	26.65		20.64	15.69	20.80	20.10	17.07	17.37
30	17.37		21.14	18.98	23.23		15.74	20.90	17.37	19.37	13.48	17.39
31	16.54		21.52		17.19		13.24	18.01		17.98		14.67
Average		19.84	19.82	21.81	20.42	18.25	18.36	16.40	17.10	16.22	15.06	15.75

ตารางที่ 3.27 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีปราจีนบุรี ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.14	18.24	18.63	19.57	17.06	25.22	26.00	14.21	14.16			
2	18.80	18.57	13.25	20.53	14.37	21.77	22.82	10.16	20.57			
3	18.55	19.93	12.75	24.14	18.98	9.93	24.00	16.42	22.44			
4	17.91	19.42	17.56	24.33	19.47	19.82	22.51	16.47	21.16			
5	17.34	20.23	18.78	22.45	21.14	19.79	18.33	15.69	16.82			
6	17.92	19.33	19.06	22.55	20.57	21.83	16.35	19.66	24.10	16.86		17.03
7	16.09	18.64	19.18	23.38	20.30	18.87	22.86	19.18	24.78	18.63		19.00
8	12.87	18.66	19.26	7.22	17.12	14.93	16.30	16.02	23.89	15.30		18.45
9	17.99	19.17	20.35	20.85	16.71	26.02	7.86	21.38	22.18	4.83		18.42
10	15.86	19.09	21.65	20.51	21.61	23.82	22.16	20.47	9.19	12.67		18.00
11	13.06	18.50	18.18	10.03	18.95	23.42	24.79	17.53	20.91	19.07		15.64
12	15.31	14.07	13.79	16.00	20.67	14.35	14.16	14.17	17.86	21.53		15.16
13	16.74	14.36	16.67	23.03	11.48	16.88	18.64	19.31	23.22	14.58		11.45
14	18.65	12.27	19.44	25.00	11.74	14.86	12.36	22.20	10.72	19.40		16.28
15	19.35	16.96	19.36	24.34	19.92	15.85	15.19	18.02	4.63	20.60		16.02
16	19.52	16.49	18.58	23.30	20.30	15.58	11.27	23.89	14.67	21.43		18.47
17	18.30	11.87	18.12	22.97	21.86	16.18	9.82	24.19	6.37	21.49		16.50
18	17.92	15.46	15.90	24.26	24.99	10.59	9.83	25.90	8.96	21.41		18.73
19	19.35	13.64	15.94	25.60	25.90	19.73	7.99	24.15	24.93	18.02		16.86
20	18.29	17.43	18.79	22.94	21.20	24.07	7.73	24.32	23.74	19.56		17.05
21	18.47	17.81	10.82	22.47	23.20	21.44	18.11	19.07	16.84	17.94		19.18
22	18.77	18.78	12.70	17.84	23.45	19.40	18.45	19.23	6.70	19.83		9.47
23	17.15	21.09	14.38	9.49	18.45	15.62	15.85	21.24	14.55	20.37		10.56
24	16.53	20.28	8.92	23.43	21.85	14.12	21.66	23.15	13.60	20.12		14.01
25	16.92	20.44	18.71	13.78	22.88	13.67	17.75	10.98	21.94	20.33		16.06
26	15.52	20.10	18.72	15.50	17.50	12.64	15.15	11.96	24.22	19.20		17.65
27	15.26	20.54	20.14	21.26	19.62	9.81	8.55	12.25	22.97			17.90
28	15.15	19.75	21.90	19.74	21.83	19.91	18.47	11.98	5.79	19.18		18.43
29	15.21		15.21	22.73	19.06		16.15	21.85				18.45
30	12.06		23.89	17.71	21.04		16.44	20.91				18.30
31	14.54		20.33		24.52		16.88	11.52				17.54
Average	16.89	17.90	17.45	20.23	19.93	18.34	16.60	18.31	16.06	18.29		16.56

ตารางที่ 3.28 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีสระแก้ว ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.05	17.93	19.98	24.13	23.12	25.07	24.38	12.45	15.38	20.57	19.20	16.23
2	18.34	16.51	13.97	23.86	15.61	16.83	23.45	18.28	16.45	12.63	16.25	17.58
3	16.05	17.39	16.80	25.19	17.20	19.63	21.72	10.23	21.17	12.96	17.05	16.18
4	18.13	17.64	19.90	23.61	21.59	23.03	24.06	19.16	18.03	8.25	19.61	14.88
5	18.28	18.64	19.88	24.16	22.25	24.22	19.37	22.22	14.85	11.89	17.83	14.58
6	17.06	18.31	18.14	24.06	20.51	22.35	18.03	20.76	24.84	17.47	10.75	16.67
7	12.43	17.96	18.81	18.56	19.11	21.10	20.82	21.79	25.54	19.16	14.35	17.84
8	8.99	15.82	15.17	5.79	18.61	11.47	18.34	17.33	20.20	10.99	11.48	18.60
9	18.00	18.17	19.71	18.55	12.30	25.97	8.38	20.71	18.45	9.48	16.26	15.55
10	18.40	18.77	21.61	23.08	20.13	22.10	24.17	19.76	7.19	17.35	14.73	17.94
11	17.58	18.43	19.27	14.09	23.99	26.30	23.34	16.51	17.17	16.82	18.39	16.92
12	16.60	17.08	18.46	18.28	23.63	20.48	13.20	20.30	16.98	16.31	16.16	15.10
13	18.22	16.22	15.52	23.33	18.86	21.16	19.18	21.58	13.47	14.20	16.63	15.99
14	18.49	7.57	17.60	21.96	10.29	16.96	9.92	23.57	17.26	17.51	20.38	15.47
15	18.74	17.59	20.97	23.11	23.18	17.14	14.05	16.80	5.10	19.55	11.01	16.33
16	19.30	18.99	17.25	24.09	22.63	18.66	13.71	23.15	13.95	18.16	18.47	15.66
17	16.55	16.37	18.98	23.07	24.09	13.71	8.96	24.27	10.75	21.75	18.30	15.35
18	16.92	14.23	19.57	20.76	24.73	13.17	10.78	26.16	8.81	12.63	16.23	17.15
19	17.17	6.36	18.77	24.62	25.61	21.33	9.92	26.19	20.99	21.51	16.93	15.80
20	17.81	17.48	18.82	26.10	23.34	21.82	13.69	25.19	24.32	19.57	18.14	17.03
21	18.48	17.68	15.33	23.97	24.27	21.41	14.68	22.04	20.46	17.64	17.47	17.39
22	18.13	16.95	15.01	20.15	22.89	13.33	21.36	22.54	8.24	19.34	18.18	10.12
23	17.24	21.16	17.34	21.66	16.32	8.30	22.29	17.07	17.48	19.15	16.75	13.23
24	16.48	22.24	6.21	19.38	21.44	6.83	19.57	19.34	18.73	18.25	19.00	17.65
25	16.68	21.26	17.04	14.24	21.09	11.75	20.82	22.68	22.00	19.24	16.47	15.92
26	15.54	18.53	14.67	18.66	18.73	11.52	11.16	9.69	23.89	16.28	17.97	17.98
27	15.97	19.63	18.60	22.07	18.36	8.41	10.80	13.22	24.19	13.99	18.43	17.27
28	15.89	21.18	18.69	16.37	20.49	22.74	11.31	15.79	14.93	17.68	13.86	17.26
29	15.25		13.16	21.64	22.25		14.54	18.32	19.65	17.01	17.05	17.02
30	15.07		19.92	23.07	24.53		12.22	17.73	20.84	18.93	16.23	16.35
31	16.20		22.23		24.63		12.12	14.22		19.08		16.34
Average	16.84	17.36	17.66	21.05	20.83	18.52	16.46	19.32	17.38	16.63	16.65	16.24

ตารางที่ 3.29 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีชลบุรี ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.28	17.98	19.81	24.40	23.68	25.27	25.64	17.02	18.33	8.84	21.22	17.19
2	19.16	16.92	8.42	24.28	15.38	19.62	25.70	17.65	23.63	7.87	10.79	15.55
3	18.67	17.26	19.79	25.35	10.78	8.25	22.91	0.47	18.72	3.39	11.73	14.66
4	18.90	18.54	21.21	24.51	9.61	19.05	25.24	18.99	18.61	9.18	20.22	13.08
5		20.39	21.12	24.38	11.92	17.06	16.76	22.04	12.40	11.32	12.84	12.79
6		19.63	20.70	23.81	19.04	19.50	18.33	19.20	24.18	11.45	14.91	
7		18.95	19.36	20.28	17.17	22.35	23.61	19.86	25.51	22.36	9.40	
8		17.40	19.62	9.38	7.79	9.30	16.43	20.16	21.64	20.33	16.99	
9	16.27	17.75	21.17	20.12	13.28	26.82	13.17	20.86	22.94	5.56	15.74	19.23
10		18.52	20.87	19.82	13.65	26.00	19.45	22.43	9.13	13.42	16.28	18.11
11	8.94	17.34	21.50	13.31	21.79	25.24	24.77	16.49	13.45	11.25	20.31	14.85
12	15.78	12.80	17.40	14.99	20.66	15.10	19.03	21.43	18.67	18.31	16.34	16.99
13	15.59	16.11	15.94	20.36	14.07	18.71	20.92	15.90	18.47	18.88	9.25	17.37
14	19.45	16.20	19.55	23.75	15.80	18.85	20.84	21.93	16.56	19.19	13.90	14.21
15	19.60	13.42	22.18	22.44	17.88	18.56	21.36	19.11	5.91	18.01	17.69	14.74
16	20.36	14.36	21.78	21.72	17.70	11.32	19.78	16.34	10.05	17.48	17.56	18.11
17	19.20	15.04	21.79	22.67	19.32	9.04	16.67	25.43	4.80	20.44	17.36	15.74
18	18.65	13.80	20.44	25.39	25.35	8.24	12.87	22.55	11.88	18.24	19.46	17.71
19	19.50	14.99	17.69	26.08	26.11	22.43	12.49	24.02	22.23	18.93	18.46	17.29
20	19.74	11.87	19.17	25.16	23.31	24.70	11.89	25.53	22.82	14.37	18.17	16.83
21	19.37	17.94	10.58	25.54	25.96	24.82	18.45	22.26	22.90	20.24	18.87	19.07
22	18.97	20.83	13.29	20.41	25.09	19.52	19.36	24.77	7.46	12.74	20.09	10.04
23	16.70	23.50	20.00	9.89	22.12	12.19	17.35	19.58	10.82	19.83	17.75	8.79
24	14.69	22.68	8.76	22.80	22.61	14.67	24.21	21.28	22.50	17.93	17.40	12.75
25	17.52	18.62	17.09	8.77	22.99	16.22	24.01	22.27	23.20	21.62	17.91	15.04
26	16.18	20.28	17.30	19.95	23.64	9.67	19.64	12.00	24.19	19.40	19.71	18.20
27	16.39	19.91	16.98	22.95	23.36	12.56	11.16	14.20	17.99	8.38	19.85	17.54
28	16.78	18.95	20.23	21.80	23.26	24.16	16.76	16.64	11.70	17.89	12.10	18.86
29	15.61		18.27	18.25	23.61		12.10	19.15	17.55	16.72	18.50	18.77
30	14.63		20.80	18.15	24.65		9.39	21.84	16.13	21.38	18.37	18.65
31	14.87		24.36		26.60		18.59	17.35		22.09		18.10
Average	14.91	17.57	18.62	20.69	19.62	18.23	18.67	19.31	17.15	15.71	16.64	16.08

ตารางที่ 3.30 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีตราด ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	21.25	21.16	22.34	26.36	22.25	20.23	25.41	13.48	5.66	19.66	21.12	16.83
2	20.52	18.24	18.94	25.35	19.30	15.22	19.99	16.54	16.93	10.86	20.45	14.66
3	19.88	21.04	15.66	25.51	24.26	22.33	19.77	19.66	16.25	8.27	10.52	16.63
4	20.03	20.95	23.05	27.05	25.52	26.99	15.42	22.14	22.30	11.69	18.47	21.23
5	20.27	20.65	23.19	27.03	26.73	24.33	10.15	9.30	23.20	18.54	12.28	11.26
6	10.43	21.94	20.39	23.93	25.09	22.92	1.08	6.08	24.19	19.73	14.44	20.91
7	14.26	19.84	24.13	23.82	24.80	18.16	16.20	9.13	26.01	22.38	18.37	20.38
8	19.61	20.93	24.24	24.59	13.56	11.77	10.62	12.63	22.80	14.77	14.85	21.13
9	19.85	20.09	24.53	24.18	14.06	26.94	8.63	12.61	15.06	15.21	19.44	21.49
10	20.43	20.61	22.16	23.92	26.68	27.17	22.21	7.37	17.51	11.26	20.88	21.78
11	19.61	20.69	19.49	17.87	26.74	21.45	19.43	2.35	22.91	14.98	20.52	18.55
12	20.47	19.38	17.52	7.77	24.25	20.75	17.23	17.63	9.72	14.51	23.09	15.36
13	20.32	20.32	19.98	14.70	24.10	16.37	8.61	17.72	16.59	17.85	20.30	21.50
14	20.04	21.00	22.12	22.85	22.08	11.87	5.62	20.73	21.19	23.84	21.71	18.43
15	21.10	21.85	20.75	25.04	27.21	21.12	10.21	21.75	10.36	12.79	16.72	19.32
16	22.08	22.14	21.65	24.88	26.91	5.77	7.42	22.03	16.89	16.73	22.74	17.72
17	22.11	20.66	22.35	23.83	25.28	23.12	9.57	19.20	2.64	20.37	22.84	22.01
18	21.23	20.98	23.51	25.77	24.01	4.31	12.89	18.73	13.72	24.97	19.70	20.45
19	19.83	8.77	22.22	26.10	20.69	16.60	8.26	19.70	16.95	25.16	14.68	12.13
20	20.94	13.28	22.18	25.42	6.22	16.36	15.34	23.27	24.93	21.74	22.58	19.74
21	21.42	22.36	19.12	24.86	24.27	21.42	16.57	19.71	18.88	23.46	22.75	17.12
22	21.22	24.89	19.83	20.01	21.79	14.25	23.68	24.19	15.44	22.22	17.15	10.60
23	20.69	23.90	21.26	14.46	7.41	7.56	25.10	19.48	21.19	22.97	22.06	20.58
24	20.95	20.02	16.95	22.36	13.86	0.88	26.87	14.70	17.71	21.12	21.73	21.85
25	20.78	22.99	22.87	12.35	10.90	3.97	17.99	5.69	22.04	24.10	18.93	21.04
26	19.20	23.20	20.04	19.60	6.13	6.72	12.51	10.98	19.34	16.56	22.13	21.45
27	18.88	24.31	16.02	16.13	20.04	9.77	13.34	10.70	12.40	14.99	21.02	21.33
28	19.00	23.80	22.87	22.30	17.30	25.27	14.58	19.99	12.91	1.55	18.70	19.74
29	20.05		23.22	23.53	20.69		12.14	21.23	12.18	23.24	21.78	20.82
30	18.57		25.93	17.74	17.04		12.82	19.26	21.15	24.94	21.72	22.12
31	18.38		23.62		21.24		16.27	12.40		23.36		22.21
Average	19.79	20.71	21.36	21.98	20.34	17.09	14.71	15.82	17.30	18.19	19.46	19.04

ตารางที่ 3.31 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีชุมพร ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1		16.45	23.69	18.72	22.06	19.77	15.63	7.76	7.09	16.77	15.89	9.32
2		20.70	21.65	21.88	22.45	21.95	18.11	16.58	17.99	16.84	6.99	17.41
3		18.00	21.10	26.42	20.14	16.12	18.22	16.64	15.93	9.05	4.07	17.88
4		20.07	21.79	26.01	20.48	20.41	17.72	15.09	17.24	17.18	4.99	14.64
5		18.64	22.18	26.19	19.05	20.66	11.18	12.69	17.31	14.79	16.37	4.22
6		18.44	21.16	24.59	18.45	20.36	10.50	11.64	20.43	12.86	4.28	17.75
7		20.51	21.14	23.50	21.12	19.67	13.00	13.86	24.36	19.54	15.88	9.26
8		19.73	24.10	23.46	20.16	12.24	12.52	10.15	24.83	16.58	19.30	18.37
9		21.02	23.52	25.42	12.42	18.75	17.37	5.90	15.29	22.00	9.87	7.98
10		18.35	24.94	23.70	16.40	18.80	20.33	21.46	10.72	7.88	12.74	20.98
11		20.96	24.45	25.31	20.39	20.53	19.93	18.96	12.43	19.59	16.36	19.12
12		20.68	23.89	18.14	16.94	19.07	15.77	22.36	21.34	21.65	14.12	18.72
13		19.16	19.43	2.83	18.86	15.26	17.71	16.78	17.60	6.72	7.97	16.84
14		16.14	22.70	10.02	15.47	20.35	16.65	17.19	12.16	12.23	18.52	16.35
15		20.25	24.36	8.03	20.69	7.72	8.88	20.99	8.84	17.58	19.80	18.89
16		22.38	22.01	24.21	19.45	18.27	13.95	18.94	8.01	16.62	21.04	14.46
17		20.53	22.28	26.24	21.35	9.64	12.89	22.88	8.44	8.80	19.61	16.39
18		18.10	21.62	26.33	22.45	11.12	13.97	22.36	16.64	17.29	14.91	7.80
19		15.34	21.53	26.37	14.90	6.05	7.96	25.12	15.95	14.26	7.57	13.76
20		22.99	21.30	24.64	20.82	10.31	16.86	21.66	17.82	15.48	20.76	17.79
21	15.89	21.51	19.78	26.55	21.55	11.70	12.01	16.39	24.11	20.28	21.28	20.12
22	19.09	25.62	20.57	24.31	17.66	14.26	21.05	12.01	23.71	14.89	16.17	9.42
23	20.54	25.08	18.56	13.29	15.95	10.32	22.66	10.21	11.95	20.88	8.86	0.47
24	21.79	23.43	22.23	12.28	17.17	6.39	17.74	15.83	21.20	17.45	8.48	7.83
25	21.67	25.49	15.26	12.46	17.71	6.64	20.90	6.08	16.17	20.34	20.59	19.79
26	20.95	25.16	24.33	17.98	13.04	9.52	18.57	11.94	17.48	9.60	14.10	20.29
27	19.84	22.16	17.94	13.36	19.76	13.69	14.07	10.31	19.92	5.89	10.84	19.35
28	18.10	23.33	20.69	26.67	19.32	13.15	13.72	10.81	19.26	20.46	17.49	19.17
29	20.65		24.12	23.56	19.37		12.65	14.30	17.36	14.63	6.14	15.00
30	19.54		26.02	19.40	18.29		11.88	19.94	14.85	18.89	9.52	17.97
31	18.68		24.70		20.71		11.99	19.92		20.34		15.47
Average	19.70	20.72	22.03	20.73	18.86	14.95	15.37	15.70	16.55	15.72	13.48	14.93

ตารางที่ 3.32 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีระนอง ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	20.36	19.28	18.83	18.46	21.09	25.83	17.26	13.64	5.78	21.12	13.42	9.12
2	16.77	16.63	21.50	25.87	25.42	21.04	12.19	16.95	25.33	14.50	10.31	13.98
3	19.74	17.62	19.10	24.28	21.18	19.35	21.99	9.53	14.17	13.19	7.48	19.96
4	16.65	18.35	22.00	25.06	20.62	17.06	15.39	18.81	17.46	11.40	6.77	12.21
5	18.80	18.47	22.27	26.33	20.85	19.81	7.09	7.47	14.68	22.73	11.95	10.64
6	20.62	20.81	19.77	19.69	25.17	25.44	7.58	8.47	23.11	15.66	4.41	17.82
7	16.54	22.18	20.70	20.31	22.91	18.58	7.23	11.90	24.71	10.79	11.81	16.71
8	12.99	22.21	20.02	22.70	23.96	16.67	8.02	6.34	15.27	18.14	16.86	14.47
9	13.47	22.99	18.61	25.76	18.77	17.18	18.57	4.89	8.19	21.86	7.44	14.79
10	17.72	19.42	17.30	21.04	17.53	25.73	19.37	20.67	6.28	9.27	9.81	9.54
11	16.44	21.80	25.99	17.96	12.76	17.62	8.47	12.71	10.00	18.55	13.03	13.41
12	14.85	21.91	21.58	12.60	23.78	17.60	11.61	11.60	14.72	24.45	9.79	18.07
13	19.52	19.61	16.70	9.07	16.85	15.49	11.96	12.13	21.80	10.26	9.63	11.74
14	11.61	18.70	20.81	7.62	11.28	22.19	5.13	24.52	7.88	5.97	17.37	13.81
15	16.83	14.29	22.38	9.61	22.22	6.46	2.94	22.65	7.59	17.81	15.54	13.93
16	18.11	21.88	23.08	25.77	16.19	14.81	16.40	24.10	3.46	14.97	15.54	14.05
17	20.81	20.09	22.45	24.42	22.57	5.04	15.43	17.51	1.92	12.42	17.22	17.72
18	17.70	17.25	15.96	25.76	24.94	9.23	15.84	24.89	13.61	15.88	14.04	6.27
19	16.32	14.35	21.63	24.04	15.92	5.78	3.50	18.69	17.49	17.38	7.83	15.44
20	14.94	23.23	18.96	24.24	16.93	9.97	11.61	11.89	22.64	20.13	20.35	19.27
21	18.93	19.53	19.50	25.37	21.82	9.27	12.37	12.67	23.41	18.86	19.65	17.24
22	20.73	21.88	21.97	25.09	10.27	7.66	18.62	11.78	23.48	18.40	20.10	15.92
23	15.20	24.74	13.55	12.33	10.26	10.22	24.01	8.74	11.38	13.03	6.64	3.14
24	17.54	24.85	21.47	14.61	12.87	6.22	19.19	19.27	20.81	11.39	5.43	9.33
25	16.69	24.95	21.35	17.66	12.10	5.61	22.95	3.88	5.03	19.41	18.70	16.55
26	19.65	23.19	22.14	13.42	11.14	10.31	19.14	15.90	4.80	13.55	19.69	16.76
27	21.21	23.04	22.35	18.31	16.33	15.24	18.51	18.93	20.75	7.72	16.63	19.42
28	16.90	23.74	23.87	19.89	15.27	10.64	17.11	11.99	10.56	18.43	9.52	16.05
29	20.67		20.38	20.86	25.41		19.18	18.41	17.12	14.97	8.34	17.07
30	18.19		25.07	17.31	25.82		12.28	19.57	18.22	21.00	12.45	21.33
31	18.01		15.74		24.68		17.13	21.81		18.38		15.27
Average	17.57	20.61	20.55	19.85	18.93	15.00	14.13	14.91	14.39	15.86	12.59	14.55

ตารางที่ 3.33 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีเกาะสมุย ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.84	19.58	23.70	23.22	26.21	23.32	25.64	8.40	8.79	25.14	5.39	8.60
2	9.75	19.08	23.25	25.53	23.10	19.28	25.18	17.92	26.18	20.94	9.17	14.11
3	20.01	22.80	24.96	22.56	24.83	17.97	25.95	14.85	12.59	17.62	9.06	20.85
4	13.72	20.06	23.09	25.95	24.55	22.17	22.77	25.69	17.10	16.95	4.79	8.86
5	21.06	16.82	21.80	25.58	21.82	25.66	19.66	13.22	22.62	11.44	21.06	4.93
6	21.17	15.16	19.97	24.90	27.05	23.65	14.79	11.30	26.06	16.42	9.21	20.77
7	11.84	21.83	23.17	25.25	26.29	15.62	13.57	12.73	23.53	13.86	17.08	8.21
8	19.86	20.20	24.43	25.56	16.05	9.17	10.62	8.23	22.70	16.51	19.96	8.53
9	8.84	19.77	23.92	23.50	16.58	21.78	20.30	9.53	16.53	15.48	14.47	12.98
10	16.78	19.43	22.72	20.43	22.02	21.00	24.69	24.13	12.36	11.36	10.26	21.71
11	13.94	18.90	25.03	24.47	25.88	22.93	20.95	18.40	22.51	15.99	6.92	15.24
12	9.23	19.64	24.58	21.94	23.65	14.92	19.85	17.75	26.80	16.84	7.73	20.88
13	10.95	20.76	18.94	8.13	24.13	20.50	19.64	21.86	19.35	5.77	8.97	18.90
14	7.86	21.85	22.00	4.97	24.65	18.26	16.92	23.75	8.10	18.81	19.69	18.33
15	13.45	21.28	25.05	7.58	23.98	9.00	12.27	24.36	7.05	16.45	22.57	20.75
16	20.38	21.09	23.43	24.56	23.69	10.46	20.13	23.94	6.48	11.55	19.43	13.47
17	21.07	20.07	23.00	27.36	25.47	9.18	18.25	23.65	3.69	15.31	20.45	18.03
18	18.36	16.17	23.58	27.34	25.71	16.99	17.96	25.76	7.62	14.94	21.54	3.86
19	19.00	20.23	17.89	26.40	23.45	17.96	6.94	23.69	18.38	19.45	5.07	7.37
20	14.13	22.57	19.88	25.08	25.29	7.87	16.27	20.09	23.23	19.76	16.37	17.32
21	19.81	22.75	13.18	26.11	25.37	14.98	12.62	25.60	23.79	14.80	22.39	17.96
22	18.85	25.16	14.23	24.29	19.02	17.30	25.34	12.70	21.55	15.48	16.43	5.53
23	18.83	23.29	20.32	10.71	17.49	14.05	25.81	15.05	11.82	10.03	3.48	2.15
24	20.02	23.15	22.80	19.37	20.04	11.94	25.31	19.68	25.68	15.78	10.38	21.77
25	19.53	21.00	22.61	16.58	21.33	10.10	20.33	14.43	24.19	9.22		20.71
26	21.39	24.68	22.59	12.17	10.94	14.06	20.82	14.50	22.24	6.46		20.48
27	20.58	22.27	23.58	22.46	19.84	10.86	21.24	19.39	21.87	2.81	8.52	19.99
28	17.06	23.77	24.72	22.69	25.70	16.17	17.19	5.93	20.09	17.22	12.76	19.61
29	18.31		23.11	26.16	23.94		15.91	24.67	14.82	19.87	10.34	21.12
30	18.85		23.97	26.67	22.30		17.21	21.07	20.60	22.00	5.19	21.10
31	18.08		18.59		19.49		14.83	22.32		18.60		13.43
Average	16.82	20.83	22.07	21.58	22.58	16.95	19.00	18.21	17.94	15.25	11.96	15.08

ตารางที่ 3.34 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีสุราษฎร์ธานี ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	13.84	16.75	20.41	21.13	17.17	19.96	19.77	12.38	12.21	16.92	6.32	11.95
2	14.32	17.41	22.22	19.45	15.16	18.48	16.65	12.03	21.16	19.24	6.82	12.85
3	16.73	18.81	22.19	22.32	17.52	20.11	17.93	16.05	17.92	19.17	11.31	17.98
4	11.18	18.82	20.68	19.40	18.52	16.41	16.41	11.75	16.47	16.96	7.63	14.94
5	16.09	17.84	20.08	21.21	15.96	21.84	14.54	11.93	19.44	12.95	17.11	12.08
6	14.21	15.85	16.85	19.89	20.46	19.38	12.47	10.27	19.14	15.20	6.33	17.84
7	15.20	19.85	20.62	22.49	16.58	18.45	12.85	17.11	22.24	14.35	14.67	7.94
8	14.15	19.25	20.90	22.01	18.94	15.73	10.86	7.00	14.57	17.05	12.38	8.28
9	13.67	19.44	21.27	21.89	13.79	18.26	17.39	13.58	12.58	18.90	8.36	13.58
10	12.09	18.66	20.90	18.06	17.09	22.30	18.40	20.13	15.88	10.09	8.46	15.65
11	14.46	19.46	22.93	20.86	21.25	17.44	14.25	13.07	18.09	14.08	9.29	16.32
12	16.30	19.58	22.58	15.25	17.90	17.57	14.34	14.70	17.60	20.46	7.89	17.22
13	11.70	19.57	15.41	8.99	19.76	17.50	13.20	16.54	20.26	6.44	11.85	15.98
14	4.90	19.88	21.99	9.24	20.56	14.70	15.37	22.34	11.30	15.10	13.00	13.50
15	16.89	19.43	22.64	10.85	20.25	14.64	12.45	20.97	10.53	16.64	17.98	17.80
16	17.89	20.04	21.94	23.94	20.47	14.43	16.13	15.89	6.14	18.80	14.80	13.83
17	17.67	19.18	20.96	25.08	19.74	9.43	16.29	18.41	2.59	15.61	19.53	17.09
18	16.39	10.92	21.05	23.14	19.03	8.16	14.22	19.98	13.60	17.42	13.19	9.46
19	15.07	19.83	19.94	20.14	20.44	18.11	8.75	19.40	16.45	16.09	14.07	8.12
20	15.98	20.43	18.68	19.49	17.57	9.43	17.08	14.11	21.51	17.72	14.76	14.78
21	18.80	20.51	15.55	24.49	21.47	12.67	14.48	17.95	22.04	16.23	18.98	17.46
22	17.71	21.91	18.07	21.60	20.00	15.54	20.15	12.56	20.32	17.00	15.56	12.74
23	17.85	22.02	15.81	14.92	18.09	18.11	20.59	13.55	14.62	13.23	2.97	4.24
24	19.49	22.33	21.64	9.44	15.05	13.48	16.75	19.23	21.76	15.07	7.68	13.27
25	19.32	22.80	20.33	18.23	18.97	9.58	20.14	10.49	15.20	12.50	12.65	15.59
26	19.66	21.01	22.48	12.42	17.15	18.89	19.31	16.42	14.64	14.73	17.80	17.59
27	19.17	21.57	19.35	19.21	14.99	13.28	16.65	17.94	12.71	7.64	10.34	17.46
28	18.44	21.60	20.77	14.33	17.73	14.59	16.93	8.89	15.77	15.64	5.04	18.42
29	18.66		21.82	14.49	18.45		14.00	13.96	18.97	17.95	5.38	18.62
30	17.10		21.76	18.65	19.54		14.17	17.82	19.10	18.69	9.63	15.91
31	18.54				19.26		16.14	19.56		17.71		14.93
Average	15.92	19.46	20.39	18.42	18.35	16.21	15.76	15.35	16.16	15.66	11.39	14.30

ตารางที่ 3.35 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีภูเก็ต ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	21.25	21.92	24.98	22.29	25.33	20.37	19.73	10.35	15.49	18.60	15.97	13.35
2	21.89	22.43	25.43	23.96	20.14	22.19	21.13	22.28	21.43	23.70	14.25	21.18
3	22.07	24.56	25.66	25.99	22.29	20.36	22.17	6.28	20.78	18.87	15.15	21.89
4	20.65	21.30	24.54	25.73	26.45	15.43	20.52	18.12	14.49	14.24	13.38	20.04
5	16.44	21.98	23.23	24.29	25.98	19.62	15.85	8.11	22.34	15.45	18.39	18.95
6	9.42	19.70	23.24	23.41	24.40	22.87	9.77	13.20	24.00	12.36	15.36	18.98
7	17.29	24.02	23.85	25.30	24.57	22.72	6.46	2.29	25.66	11.24	13.40	21.75
8	15.58	24.95	25.73	26.02	25.94	16.32	16.74	11.23	15.67	20.36	20.42	19.98
9	18.05	24.64	25.11	25.21	21.25	15.29	12.67	13.92	8.27	22.10	12.04	20.80
10	19.55	21.38	24.48	22.09	22.69	24.09	21.00	25.56	12.06	20.93	16.68	22.65
11	22.09	24.10	25.94	19.48	23.12	18.73	18.20	2.81	21.52	24.75	11.72	19.98
12	22.42	22.90	26.34	26.61	25.38	11.65	19.43	4.76	25.59	23.60	17.70	20.17
13	21.64	23.08	14.12	20.88	17.87	17.67	8.34	18.85	25.41	16.42	20.95	21.30
14	21.35	23.23	26.50	17.43	24.99	8.98	4.46	20.56	9.14	19.67	23.98	17.34
15	22.69	23.54	26.35	16.76	17.75	5.64	15.13	19.50	7.66	18.86	22.58	20.96
16	21.57	14.64	25.38	24.39	16.72	6.50	16.18	17.64	2.49	17.02	19.61	16.75
17	20.70	19.21	24.18	26.96	25.28	5.53	19.16	17.46	10.43	21.25	20.58	20.39
18	22.10	13.46	23.42	19.64	17.95	6.86	19.69	25.21	10.81	19.21	17.41	19.24
19	22.25	19.34	22.34	21.92	25.61	20.80	9.66	23.37	21.31	20.40	16.46	17.45
20	22.10	25.20	21.77	25.29	22.10	10.64	13.48	12.32	22.99	13.19	22.72	18.61
21	23.06	24.91	23.10	26.35	23.99	19.11	11.22	20.38	23.90	18.70	22.73	22.25
22	22.94	25.68	21.96	20.00	18.43	19.44	23.68	9.94	21.39	16.93	21.39	20.24
23	22.69	25.45	19.79	14.37	21.39	19.26	22.33	10.20	18.60	19.57	8.25	11.95
24	23.41	26.21	24.71	17.23	15.05	13.28	20.75	15.31	23.36	10.91	8.41	19.25
25	22.94	26.22	25.97	16.35	10.84	16.89	22.66	16.65	15.59	20.70	18.88	21.86
26	21.83	25.37	23.73	20.61	9.62	17.03	19.22	21.77	2.20	21.01	22.88	22.11
27	22.92	25.39	26.00	24.14	5.43	18.06	20.79	17.51	7.16	8.81	19.80	22.25
28	20.22	25.47	25.53	19.19	22.56	8.55	23.49	14.67	8.53	20.33	21.59	22.61
29	21.99		26.22	22.33	25.59		17.16	12.74	14.43	19.68	18.87	22.34
30	20.94		26.05	25.07	23.80		8.82	23.62	23.53	22.61	13.51	23.11
31	21.14		22.30		24.75		18.91	20.25		19.76		22.66
Average	20.81	22.87	24.13	22.31	21.20	16.30	16.73	15.38	16.54	18.43	17.50	20.08

ตารางที่ 3.36 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีตรัง ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	21.60	21.60	21.12	20.00	21.46	21.26	22.50	15.73	13.88	13.80	15.69	7.66
2	17.07	17.07	25.94	23.44	20.23	12.58	17.28	18.26	16.57	22.94	15.72	19.10
3	22.32	22.32	22.39	19.21	18.89	19.03	13.42	6.72	16.60	16.97	14.42	18.78
4	11.90	11.90	23.46	25.69	20.43	20.15	12.92	16.06	14.80	15.85	5.62	18.85
5	13.59	13.59	17.54	20.82	18.07	16.10	18.83	14.68	16.89	7.70	15.93	18.94
6	12.26	12.26	23.15	25.45	22.20	20.10	14.85	13.90	20.81	13.67	13.01	15.16
7	10.33	10.33	23.98	26.33	16.10	18.88	6.93	3.58	17.79	15.82	14.81	19.83
8	15.48	15.48	21.26	26.13	23.64	16.44	15.38	14.96	12.75	15.85	15.35	15.50
9	18.12	18.12	22.51	22.95	15.42	21.48	12.51	14.43	9.74	10.81	12.30	6.78
10	16.61	16.61	27.07	23.90	14.40	18.88	20.06	22.12	14.64	20.24	15.13	15.15
11	20.34	20.34	26.97	19.71	20.49	17.72	18.36	12.52	24.18	18.97	12.45	18.55
12	22.56	22.56	26.55	18.69	17.17	9.61	15.46	8.85	24.97	16.04	17.16	16.29
13	22.86	22.86	15.11	17.27	20.19	16.48	8.94	20.96	22.37	19.50	9.49	16.25
14	16.18	16.18	27.72	12.71	18.18	10.18	13.43	21.92	12.10	19.59	19.72	16.63
15	22.90	22.90	25.95	11.01	18.41	11.47	13.94	17.68	10.63	13.41	14.69	21.09
16	22.76	22.76	24.62	23.58	21.57	5.53	20.64	17.46	6.06	15.55	22.35	16.78
17	20.81	20.81	25.33	22.18	19.02	11.43	19.14	21.11	11.42	15.78	20.77	14.10
18	15.15	15.15	23.77	25.06	25.24	16.56	10.74	23.34	5.67	10.38	4.99	19.42
19	21.92	21.92	23.09	20.47	19.77	21.47	6.00	20.11	18.21	19.46	18.41	12.52
20	22.46	22.46	18.85	22.05	18.43	6.65	20.01	12.26	19.84	14.37	18.54	14.74
21	22.89	22.89	19.65	16.99	22.23	20.89	13.14	21.18	20.07	13.49	21.13	19.09
22	20.58	20.58	21.79	19.86	16.56	19.44	21.59	15.48	17.19	10.19	11.59	16.12
23	22.66	22.66	22.20	18.83	19.59	17.85	21.54	20.95	20.25	13.56	6.37	6.69
24	23.17	23.17	25.36	19.84	12.30	20.36	17.02	21.11	22.12	8.65	3.79	20.56
25	21.27	21.27	26.34	17.18	18.43	15.21	21.74	13.45	17.71	15.32	9.26	19.09
26	22.25	22.25	19.48	21.94	17.43	19.46	19.15	12.84	21.88	17.91	20.98	22.88
27	22.64	22.64	26.35	17.33	9.68	20.43	22.79	13.78	7.87	8.12	18.84	21.10
28	21.32	21.32	25.46	20.80	23.50	18.58	20.89	19.73	15.69	16.92	21.03	21.04
29	22.89		26.69	17.01	21.01		19.00	19.46	14.45	12.51	20.70	23.13
30	19.87		24.33	14.08	15.97		14.35	20.26	19.13	22.88	14.81	23.46
31	22.50		23.15		13.39		15.29	14.76		9.28		17.14
Average	19.65	19.43	23.46	20.35	18.69	16.76	16.38	16.44	16.21	15.02	14.84	17.17

ตารางที่ 3.37 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีหาดใหญ่ ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	17.62	21.35	23.63	23.45	24.05	20.29	24.16	14.20	15.14	14.35	14.42	14.26
2	7.90	22.05	23.57	25.46	23.10	11.28	19.58	16.45	15.03	20.67	13.06	19.83
3	14.46	22.38	25.26	22.14	16.43	18.93	13.97	13.28	13.56	14.85	14.72	18.34
4	8.98	19.87	21.27	24.94	22.96	19.90	21.88	16.59	21.04	14.22	13.03	17.49
5	17.30	18.29	23.15	25.12	24.62	17.41	17.02	14.39	19.46	13.24	12.71	16.25
6	18.71	21.28	23.56	24.70	22.19	20.36	16.35	13.04	17.84	12.09	11.81	18.79
7	10.27	21.70	24.31	24.37	19.31	20.55	4.54	4.37	23.27	20.36	15.83	20.60
8	12.80	18.63	21.13	24.60	21.79	19.95	9.80	11.48	17.58	19.38	16.93	11.74
9	17.44	24.01	24.38	20.34	18.65	18.24	17.39	17.93	13.40	16.27	13.69	12.67
10	11.07	22.73	23.36	18.06	22.79	20.12	14.55	21.88	9.78	17.27	16.39	17.64
11	16.96	21.77	25.43	14.64	18.36	19.63	21.16	15.73	17.38	17.90	10.60	16.15
12	19.95	22.09	24.31	21.52	18.95	10.54	16.90	18.25	16.66	18.52	16.24	18.82
13	21.19	20.61	24.03	24.47	21.45	15.45	13.95	17.55	20.16	23.02	13.78	17.89
14	18.26	21.39	27.72	18.08	22.38	17.13	14.35	19.42	12.12	9.74	17.10	16.93
15	19.69	21.96	25.24	12.84	21.84	17.73	16.96	15.04	10.76	21.48	10.16	17.72
16	18.87	16.26	25.34	24.23	20.64	9.47	18.26	15.90	4.81	18.97	18.83	16.54
17	17.09	18.34	26.84	23.60	23.20	10.48	20.37	22.79	13.33	12.87	19.51	12.28
18	19.94	19.13	24.85	21.38	22.55	20.14	12.93	19.84	16.73	17.74	11.20	10.57
19	14.84	17.02	24.18	21.69	19.41	19.77	12.09	21.76	19.28	19.12	15.79	13.99
20	18.99	23.42	24.10	22.30	17.93	5.80	21.43	20.42	21.59	17.23	11.49	14.16
21	19.04	20.25	20.82	23.55	19.23	19.75	9.16	15.82	24.32	12.13	18.15	15.53
22	16.07	19.28	22.23	14.04	13.77	20.03	22.43	14.16	19.59	12.57	10.39	13.66
23	21.20	21.67	24.18	12.79	16.69	18.44	20.89	20.53	23.22	9.78	13.96	6.15
24	19.43	24.54	24.23	16.52	15.79	19.73	22.74	17.79	18.15	11.64	6.17	18.20
25	18.89	25.40	19.01	18.75	18.96	18.56	22.36	15.18	15.41	19.37	13.29	16.70
26	16.60	25.33	19.10	24.09	12.91	20.68	20.13	11.15	20.44	20.24	18.21	19.85
27	15.98	21.84	20.71	14.04	10.91	20.81	17.74	18.61	16.30	6.76	12.46	13.17
28	19.84	21.48	20.47	23.47	22.24	13.99	17.50	21.74	19.14	19.28	13.79	13.37
29	19.25		20.26	20.54	14.92	16.66	15.74	23.58	16.65	18.46	16.76	20.06
30	19.15		21.11	12.18	15.10	21.72	20.24	18.27	20.02	19.49	10.94	18.30
31	19.87		22.58		13.49		12.66	19.33		13.46		13.06
Average	17.02	21.22	23.24	20.60	19.24	17.45	17.07	16.98	17.07	16.21	14.05	15.83

ตารางที่ 3.38 ข้อมูลความเข้มรังสีรวมรายวัน (MJ/m^2) ของสถานีนราธิวาส ปี ค.ศ. 2015

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	14.62	18.30	22.28	23.85	24.58	24.90	20.15	15.57	14.92	15.12	10.61	17.01
2	12.40	20.62	22.50	25.29	25.54	22.75	22.22	19.79	12.99	24.05	15.49	20.41
3	10.54	16.91	24.71	25.39	23.99	17.77	17.54	16.78	23.07	19.12	17.01	15.98
4	6.89	16.01	22.62	25.76	25.10	24.69	20.59	13.37	21.10	14.41	11.54	18.65
5	17.10	12.55	23.46	25.56	24.89	23.75	20.47	13.23	20.23	11.92	9.94	14.23
6	19.79	18.55	19.28	24.83	23.81	22.84	19.89	13.52	20.86	16.88	11.06	17.78
7	16.21	15.54	24.74	24.53	23.32	23.31	11.44	7.75	24.16	21.69	21.23	17.42
8	6.16	16.80	23.95	24.58	22.04	17.03	12.42	16.21	18.20	22.35	19.65	13.65
9	12.21	13.63	22.66	24.14	19.39	23.05	16.25	14.38	9.64	21.84	14.92	13.71
10	5.60	22.32	21.54	20.27	21.07	23.14	15.15	22.13	13.55	23.40	22.27	19.14
11	16.27	21.31	21.90	21.87	24.03	23.12	17.11	16.58	23.91	22.39	6.30	20.97
12	18.76		18.78	21.78	24.57	17.39	19.26	21.70	22.49	21.55	13.68	19.46
13	17.02	18.49	23.16	22.65	24.18	19.88	15.50	25.47	20.01	22.05	17.65	15.34
14	13.82	22.38	26.37	3.03	23.30	15.47	15.82	23.77	14.71	17.03	20.93	14.31
15	17.42	16.21	25.39	21.12	23.66	12.91	13.39	24.48	10.97	22.51	15.29	21.14
16	19.74	13.57	25.32	24.13	23.48	16.13	19.88	22.31	7.58	21.94	16.63	19.52
17	17.54	17.09	25.87	24.48	22.53	10.04	21.68	23.06	15.44	23.51	19.38	7.56
18	16.98	23.18	24.54	24.65	24.27	20.71	22.16	22.97	10.65	14.09	15.11	8.63
19	5.44	15.82	23.85	23.25	23.51	19.65	11.92	22.67	21.88	13.59	17.82	19.16
20	12.57	19.68	22.78	24.86	24.44	4.98	20.06	16.75	23.45	16.23		10.16
21	19.05	17.66	22.04	24.30	21.97	18.16	6.88	21.19	24.25	15.48	5.90	18.55
22	15.84	22.82	21.89	20.13	22.12	14.87	22.78	19.32	23.84	14.57	7.49	3.47
23	20.71	22.99	24.34	20.26	16.19	14.54	23.42	14.67	18.38	8.64	9.51	19.58
24	17.00	24.41	22.75	18.81	22.43	14.21	24.66	19.28	20.13	12.32	5.66	16.15
25	18.42	24.26	16.93	19.52	20.57	15.48	23.69	15.30	20.93		20.06	15.54
26	17.35	20.01	18.81	17.90	13.39	18.60	19.78	18.39	21.45	11.23	20.30	19.02
27	16.33	24.68	21.09	4.33	19.24	22.44	22.77	22.32	19.56	5.66	1.64	16.08
28	20.65	24.23	22.61	24.59	24.25	9.98	17.05	22.37	20.79	20.95	9.06	14.28
29	20.06		20.61	23.79	25.00		21.20	22.68	22.52	13.33	16.46	17.53
30	7.85		18.91	25.25	18.41		23.81	18.27	22.77	11.94	3.95	18.72
31	19.80		19.55		20.39		15.87	23.24		13.18		6.86
Average	15.17	19.26	22.43	21.83	22.44	18.28	18.54	19.02	18.81	17.10	13.67	15.81

3.1.6 การจัดหาข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่สำหรับใช้ประกอบในการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์จากองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ (ตาม TOR ข้อ 5.1(6))

ระดับความสูงต่ำของพื้นผิวโลกมีผลต่อการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์เนื่องจากระยะทางที่รังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ในบรรยากาศหรือมวลอากาศ (air mass) ขึ้นกับระดับความสูงต่ำของพื้นที่ ซึ่งจะส่งผลต่อการคำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน ไอน้ำ และฝุ่นละออง

สำหรับการคำนวณมวลอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea level) สามารถคำนวณได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

$$m_r = [\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1} \quad (3.2)$$

เมื่อ m_r คือ มวลอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (-)

θ_z คือ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ (degree)

สำหรับมวลอากาศที่ระดับความสูงของพื้นที่จะคำนวณได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

$$m_a = m_r(\frac{p}{101.325}) \quad (3.3)$$

เมื่อ m_a คือ มวลอากาศที่ระดับความสูงของพื้นที่ของพื้นที่นั้น ๆ (-)

p คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)

โดยค่าความดันบรรยากาศของพื้นที่นั้น (p) จะคำนวณได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

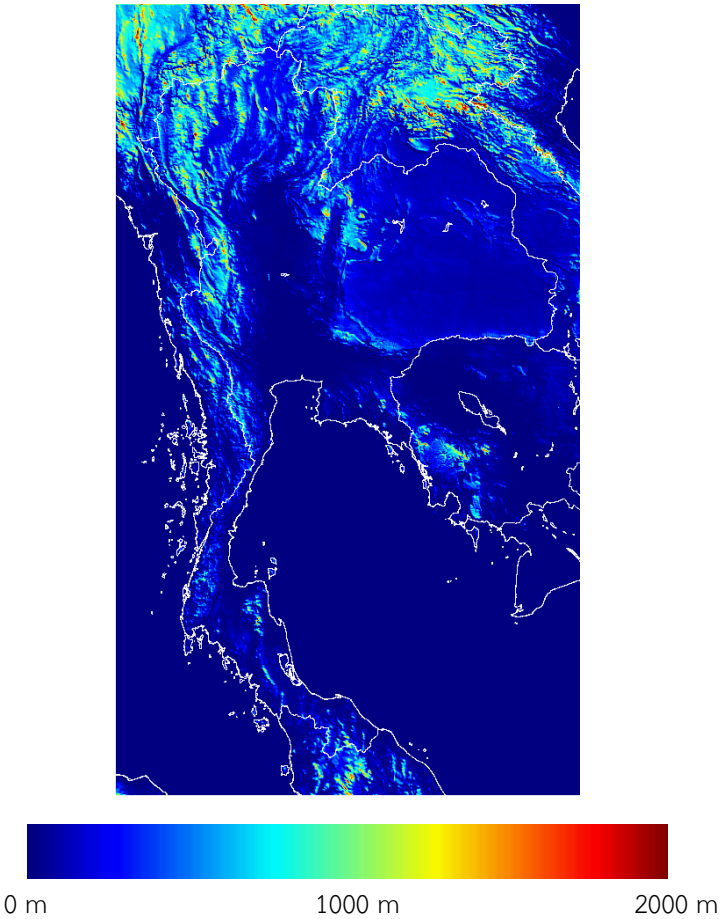
$$p = p_0 \exp(-0.0001184z) \quad (3.4)$$

เมื่อ p_0 คือ ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (kPa)

z คือ ระดับความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเล (m)

จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นว่าระดับความสูงของพื้นที่มีผลต่อความละเอียดถูกต้องของการคำนวณค่ามวลอากาศ และจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศที่จะใช้ในแบบจำลอง

เนื่องจากองค์การ NASA ได้ใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้งกับกระสวยอวกาศเพื่อทำการวัดระดับความสูงของพื้นที่ทั่วโลก สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ขององค์การ NASA ซึ่งเริ่มต้นการสำรวจตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 โดยมีการเผยแพร่ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ทั่วโลกเมื่อปี ค.ศ. 2015 และมีการปรับปรุงข้อมูลการสำรวจและความละเอียดในเชิงพื้นที่เมื่อปี ค.ศ. 2017 อย่างไรก็ตามเนื่องจากระดับความสูงของพื้นที่ประเทศไทยในรอบหลายปีที่ผ่านมามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นในงานนี้ผู้ดำเนินงานจึงได้จัดหาข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ครอบคลุมประเทศไทยจากองค์การ NASA ของสหรัฐอเมริกา โดยใช้ข้อมูล ณ ปี ค.ศ. 2017 ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 1x1 km^2 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลที่จะนำมาคำนวณเป็นแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาจัดแสดงในรูปแผนที่ดังรูปที่ 3.62 จากรูปจะเห็นได้ว่าภาคเหนือและภาคตะวันตกของประเทศไทยมีระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเลสูงกว่าภาคอื่น ๆ โดยพบว่ามีค่าระดับความสูงประมาณ 1,500 – 2,000 km (สังเกตจากแถบสีแดง เหลือง และเขียวอ่อน) ส่วนบริเวณภาคกลางตอนบนจะมีระดับความสูงค่อนข้างน้อย (แถบสีน้ำเงินเข้ม) ซึ่งเป็นบริเวณของพื้นที่ราบลุ่มที่มีระดับความสูงอยู่ประมาณ 100 - 500 m และพื้นที่ในเขตภาคกลางตอนล่างจะมีระดับความสูงที่น้อยมากโดยมีค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 5 - 10 m



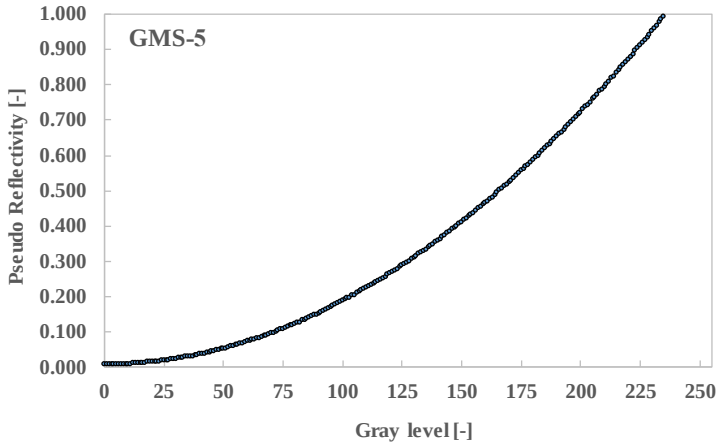
รูปที่ 3.62 ลักษณะความสูงของพื้นที่ของประเทศไทย

3.2 งานจัดเตรียม (process) ข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดินให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งาน (ตาม TOR ข้อ 5.2)

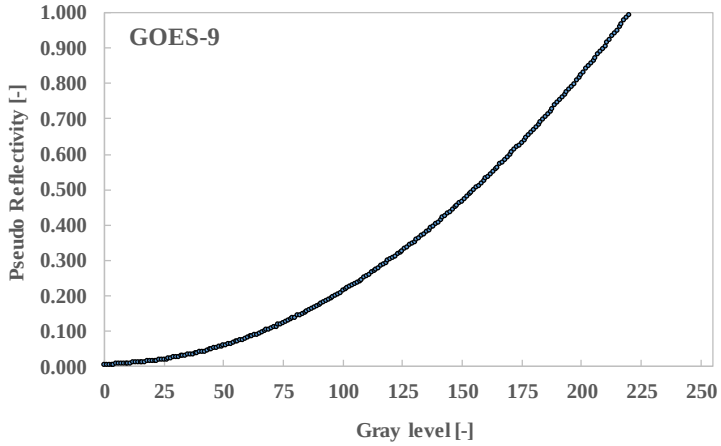
3.2.1 การจัดหาตารางสอบเทียบข้อมูลดาวเทียม เพื่อใช้แปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์สำหรับใช้ในแบบจำลองคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.2 (1))

ในงานนี้ผู้ดำเนินงานเลือกใช้ข้อมูลในช่องสัญญาณแสงสว่างจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับพื้นผิวโลกของประเทศญี่ปุ่นจำนวน 4 ดวง ซึ่งมีข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยย้อนหลัง 20 ปี ได้แก่ ดาวเทียม GMS-5 (ระหว่างปี ค.ศ. 2001 – ค.ศ. 2002) GOES-9 (ระหว่างปี ค.ศ. 2003 – ค.ศ. 2006) MTSAT (ระหว่างปี ค.ศ. 2007 – ค.ศ. 2015) และ Himawari (ระหว่างปี ค.ศ. 2016 – ค.ศ. 2020) ระหว่างเวลา 8:00 – 16:00 น. ตามเวลาท้องถิ่น

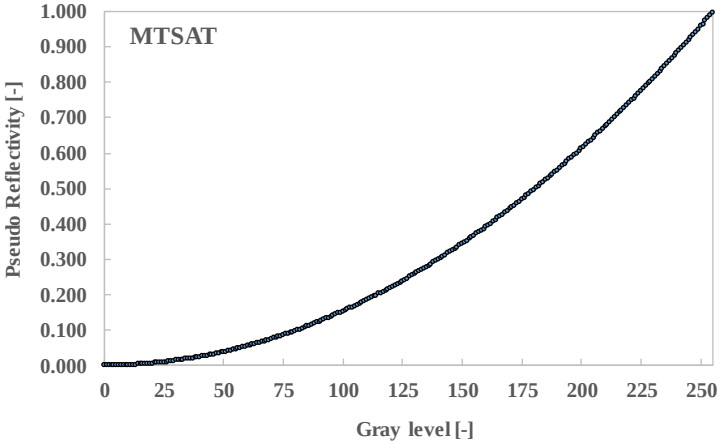
ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในงานนี้เป็นข้อมูลดิจิทัล โดยข้อมูลจากดาวเทียม GMS-5 GOES-9 และ MTSAT เป็นข้อมูล 8 บิต ซึ่งจะมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มแปรค่าอยู่ระหว่าง 0 - 255 และดาวเทียม Himawari เป็นข้อมูล 11 บิต มีเลขจำนวนเต็มระหว่าง 0 - 2,048 เลขจำนวนเต็มนี้เรียกว่า gray level โดยค่า gray level จะมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 ค่า 0 หมายถึงไม่มีการสะท้อนรังสีอาทิตย์ และค่า 1 หมายถึงมีการสะท้อนรังสีอาทิตย์ 100% ในการนำข้อมูลดาวเทียมมาใช้ในแบบจำลองความเข้มรังสีอาทิตย์จำเป็นต้องแปลงค่า gray level ให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกโดยอาศัยตารางสอบเทียบจากผู้ผลิตดาวเทียม ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงได้จัดหาตารางสอบเทียบสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง โดยตารางสอบเทียบของดาวเทียม GMS-5 MTSAT และ Himawari ได้มาจาก Japan Meteorological Agency และของดาวเทียม GOES-9 ได้จากองค์การ NASA ประเทศสหรัฐอเมริกา ตารางสอบเทียบที่จัดหามาได้แสดงในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 3.63 – 3.66



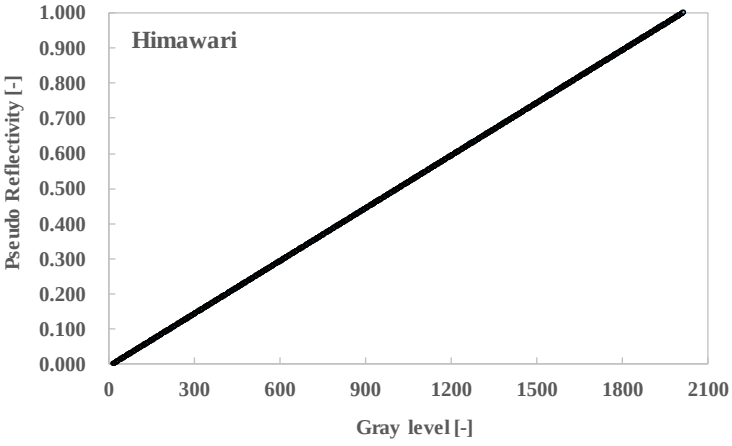
รูปที่ 3.63 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกกับค่า gray level ของดาวเทียม GMS-5



รูปที่ 3.64 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกกับค่า gray level ของดาวเทียม GOES-9



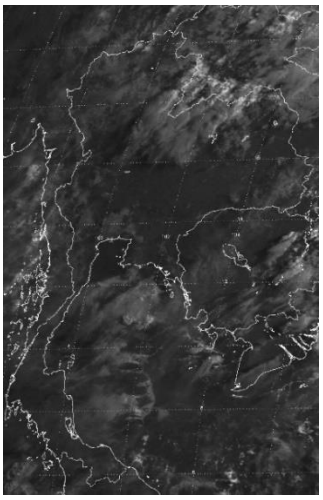
รูปที่ 3.65 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกกับค่า gray level ของดาวเทียม MTSAT



รูปที่ 3.66 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกกับค่า gray level ของดาวเทียม Himawari

3.2.2 การหาพิกัดของข้อมูลดาวเทียมทุกพิกเซลที่สอดคล้องกับตำแหน่งของพื้นที่บนพื้นผิวโลกครอบคลุมทั่วประเทศ โดยต้องแปลงภาพถ่ายดาวเทียมจาก satellite projection ให้อยู่ใน cylindrical projection แล้วนำแผนที่ใน cylindrical projection ไปซ้อนทับเพื่อหาพิกัดของทุกพิกเซล (ตาม TOR ข้อ 5.2(2))

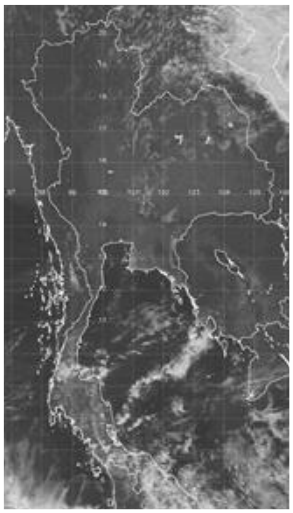
ข้อมูลดาวเทียมที่ได้จัดหามาจะอยู่ในรูปของ satellite projection ที่เห็นส่วนโค้งของโลก (รูปที่ 3.67) ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงทำการแปลงให้อยู่ในรูปของ cylindrical projection (รูปที่ 3.68) ซึ่งระยะทางบนภาพแปรโดยตรงกับระยะทางบนพื้นดิน จากนั้นจะนำแผนที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้มาซ้อนทับ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการดูด้วยสายตาช่วยปรับให้แนวชายฝั่งตรงกัน ซึ่งจะทำให้ทราบพิกัดของภาพ และสามารถนำมาคำนวณหาพิกัดของทุกพิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียมได้ โดยผู้ดำเนินงานได้ทำการหาพิกัดของภาพทั้งหมดจำนวนประมาณ 50,000 ภาพ โดยภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จะมีขนาด 500 x 800 พิกเซล และมีพิกัดอยู่ที่ละติจูด 5° - 21°N ลองจิจูด 97° - 106°E ตัวอย่างของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ทำการหาพิกัดแล้วแสดงดังรูปที่ 3.69



รูปที่ 3.67 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมใน satellite projection



รูปที่ 3.68 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมใน cylindrical projection



รูปที่ 3.69 ภาพถ่ายดาวเทียมใน cylindrical projection ที่ทำการหาพิกัดแล้ว

3.2.3 การแปลงค่า gray level ของข้อมูลดาวเทียมให้อยู่ในรูปสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก โดยใช้ตารางสอบเทียบที่ได้มาตรฐาน เพื่อนำผลไปใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ตาม TOR ข้อ 5.2(3))

ข้อมูลดาวเทียมที่ทำการหาพิกัดแล้วจะอยู่ในรูปพิกเซล ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 500 × 800 พิกเซล ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยระหว่างพิกัดอยู่ที่ละติจูด 5° - 21°N ลองจิจูด 97° - 106°E โดยแต่ละพิกเซลจะเป็นปริมาณดิจิทัลในรูปของค่า gray level ค่าดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 ในการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้งานจำเป็นจะต้องแปลงค่า gray level ดังกล่าวให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก โดยอาศัยตารางสอบเทียบของผู้ผลิตดาวเทียมที่จัดหามาแล้ว

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่ได้จากตารางสอบเทียบเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่รังสีอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นผิวโลก แต่ในความเป็นจริงรังสีอาทิตย์จะตกกระทบที่พิกเซลต่าง ๆ เป็นมุมไม่เท่ากัน และมุมดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่บันทึกภาพนั้น ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการคำนวณแก้โดยอาศัยสมการต่อไปนี้

$$\rho_{EA} = \frac{\rho_{psn}}{\cos\theta_z} \tag{3.5}$$

เมื่อ ρ_{EA} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่แก้ไขผลจากมุมตกกระทบแล้ว (-)

ρ_{psn} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกในกรณีที่รังสีอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นที่ (-)

θ_z คือ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ (degree)

ค่ามุมเซนิธของดวงอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega \quad (3.6)$$

เมื่อ δ คือ มุมเดคลิเนชัน (declination) ของดวงอาทิตย์ (degree)

$\emptyset$ คือ ละติจูดของสถานีวัด (degree)

ω คือ มุมชั่วโมง (hour angle) ของดวงอาทิตย์ โดยช่วงเช้าจะมีค่าเป็นบวก (degree)

สำหรับค่าของมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์หาได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

$$\delta = (0.06918 - 0.399912\cos\Gamma + 0.070257\sin\Gamma - 0.006758\cos 2\Gamma + 0.000907\sin 2\Gamma - 0.002697\cos 3\Gamma + 0.00148\sin 3\Gamma)(180/\pi) \quad (3.7)$$

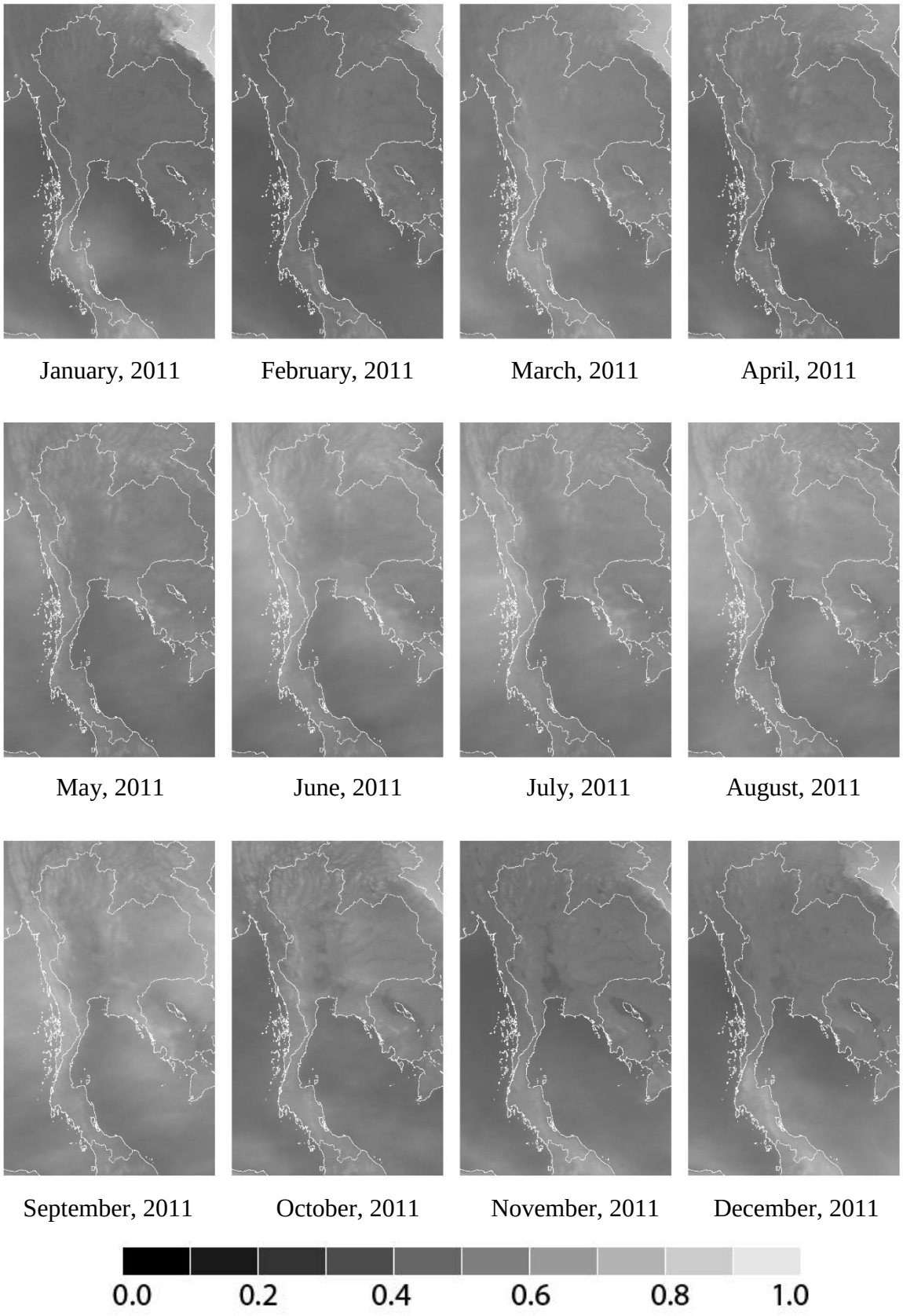
เมื่อ Γ คือ มุมของวัน (day angle) ซึ่งหาได้จาก

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \quad (3.8)$$

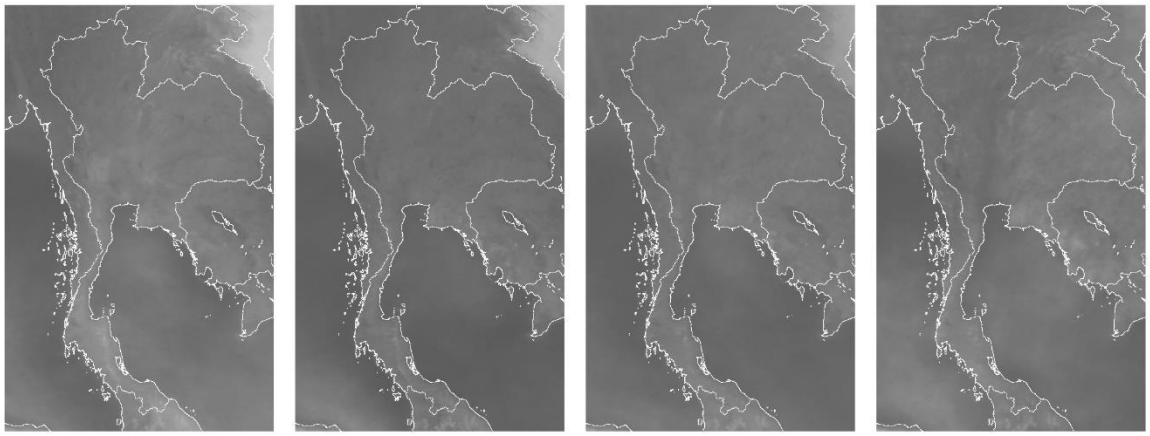
เมื่อ Γ คือ มุมของวัน (rad)

d_n คือ ลำดับของวัน (เริ่มต้นวันที่ 1 มกราคม ค่า d_n=1) (-)

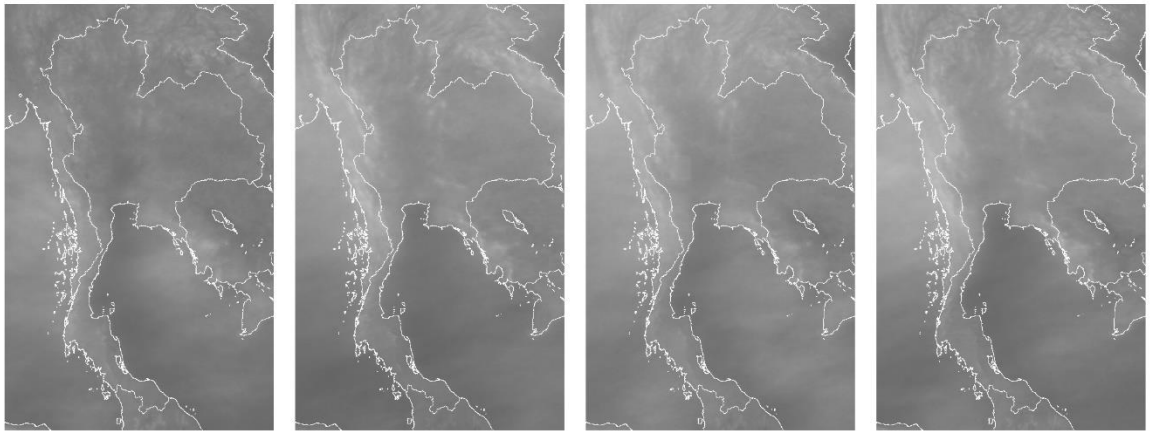
ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่แก้ไขผลจากมุมตกกระทบแล้ว ระหว่างปี ค.ศ. 2011 – 2020 แสดงดังรูปที่ 3.70 โดยค่า 0 (สีดำ) แสดงบริเวณที่มีการสะท้อนของแสงในช่องแสงสว่างต่ำหรือเป็นบริเวณที่ไม่มีเมฆ และค่า 1 (สีขาว) แสดงบริเวณที่มีค่าการสะท้อนสูงซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นบริเวณที่มีเมฆมาก



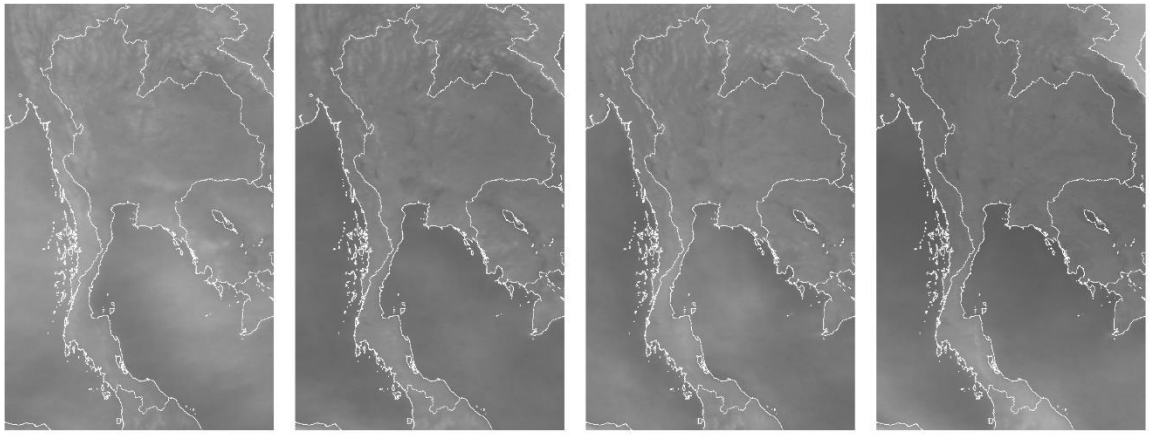
รูปที่ 3.70 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก



January, 2012 February, 2012 March, 2012 April, 2012



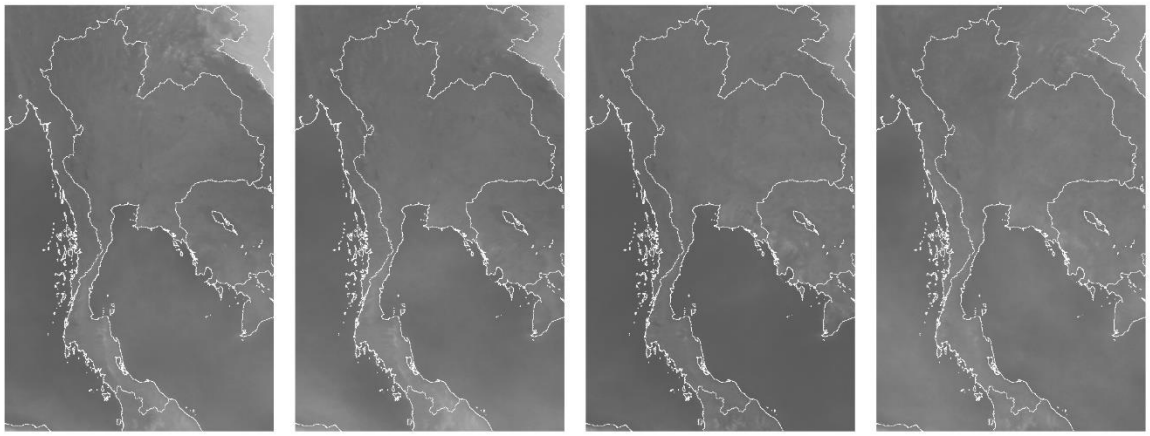
May, 2012 June, 2012 July, 2012 August, 2012



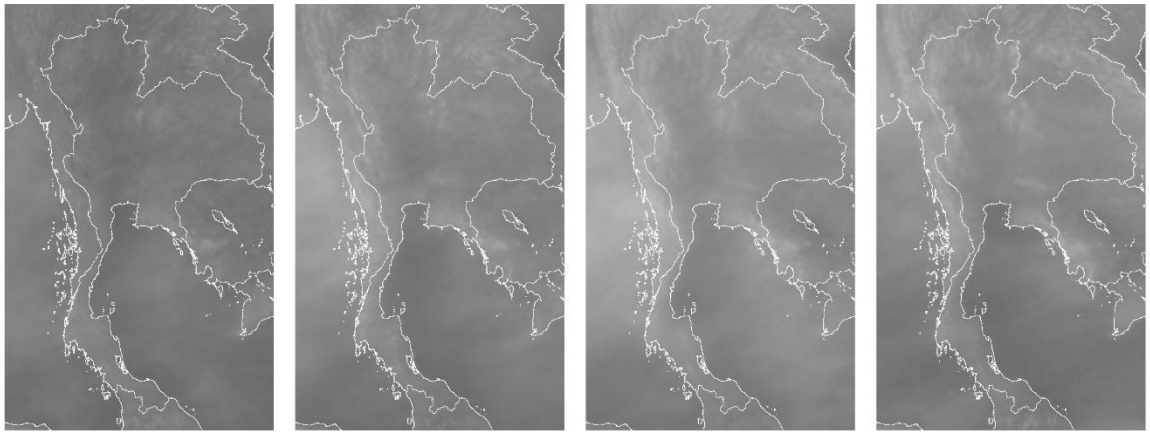
September, 2012 October, 2012 November, 2012 December, 2012



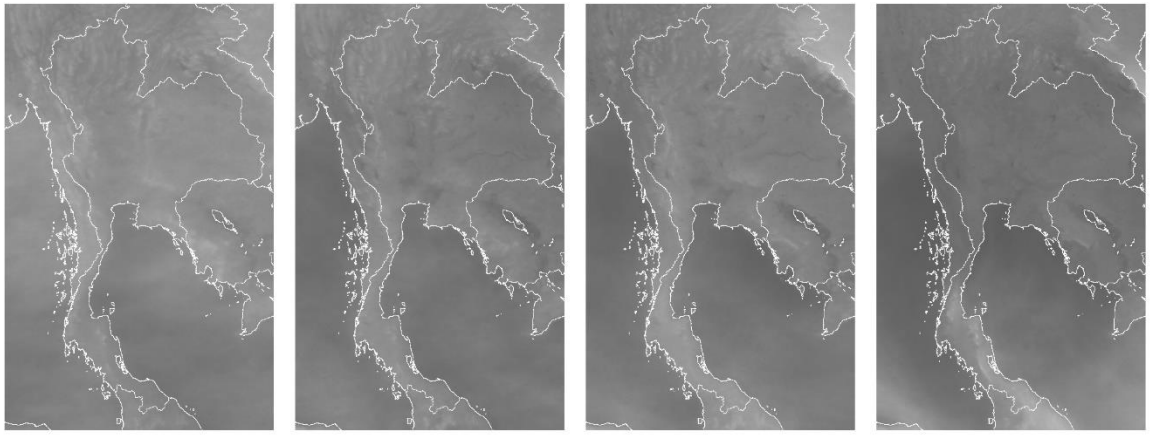
รูปที่ 3.70 (ต่อ)



January, 2013 February, 2013 March, 2013 April, 2013



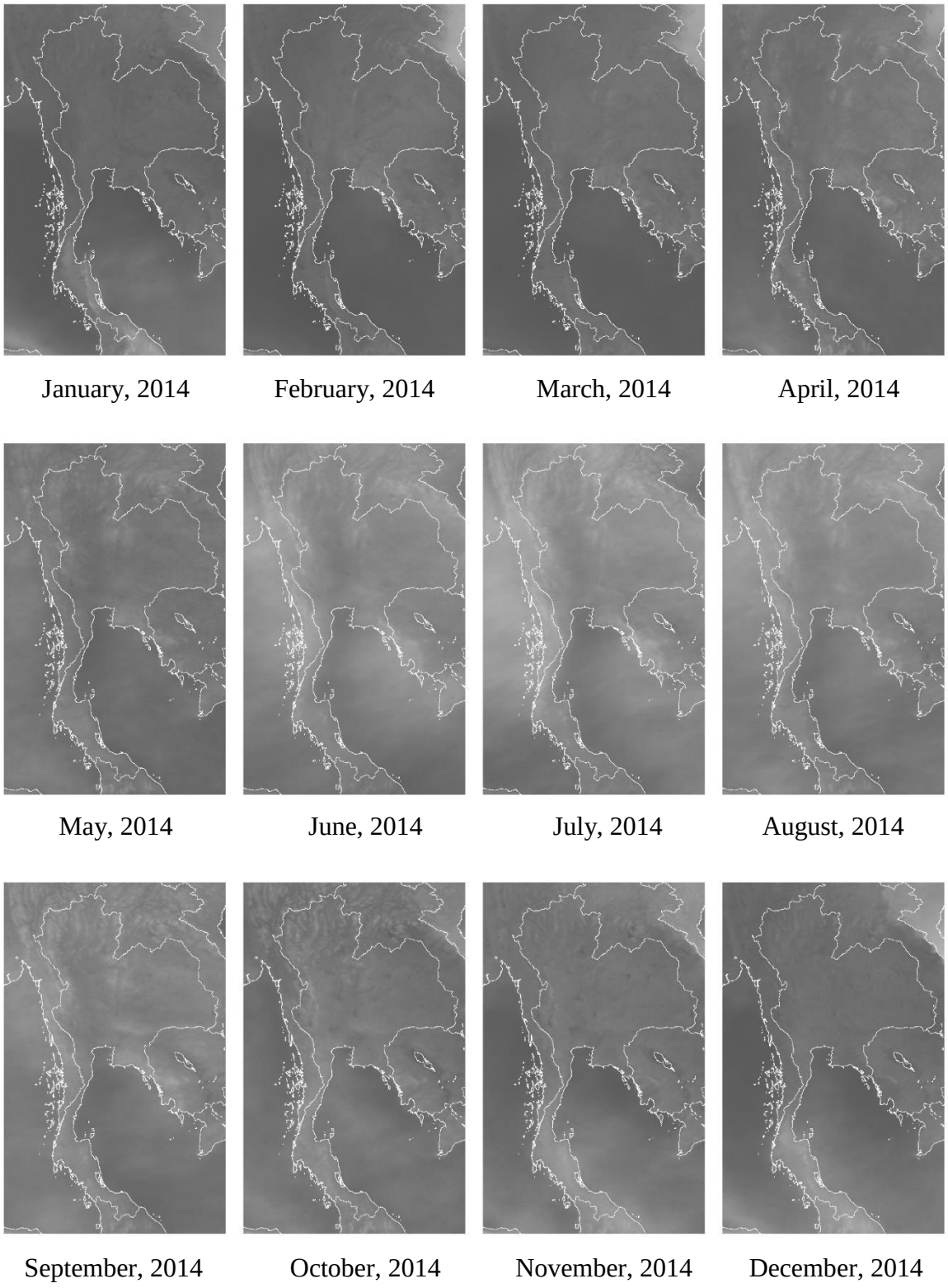
May, 2013 June, 2013 July, 2013 August, 2013



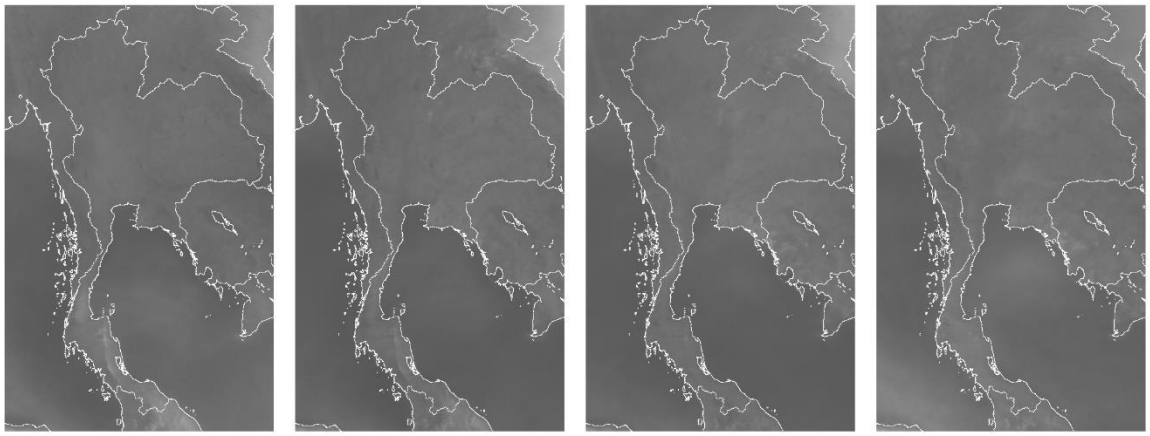
September, 2013 October, 2013 November, 2013 December, 2013



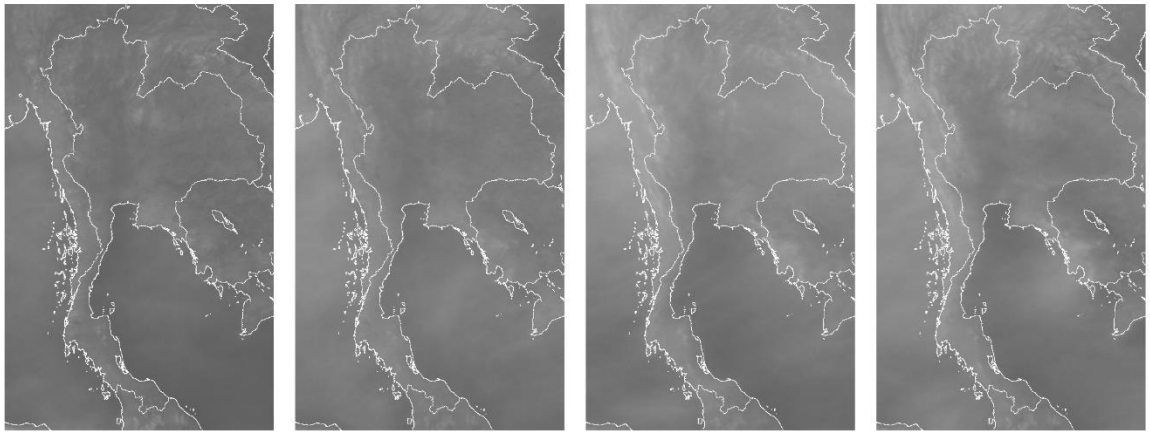
รูปที่ 3.70 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0

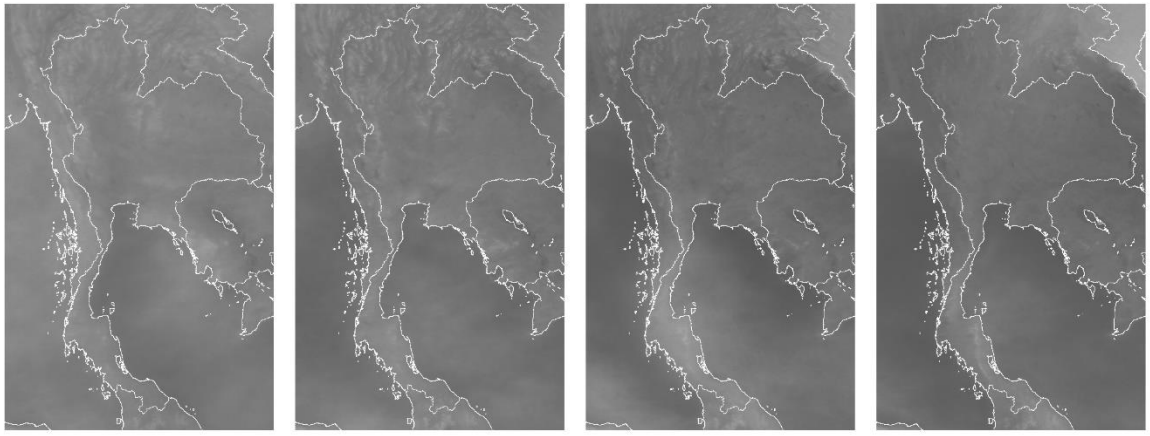
รูปที่ 3.70 (ต่อ)



January, 2015 February, 2015 March, 2015 April, 2015



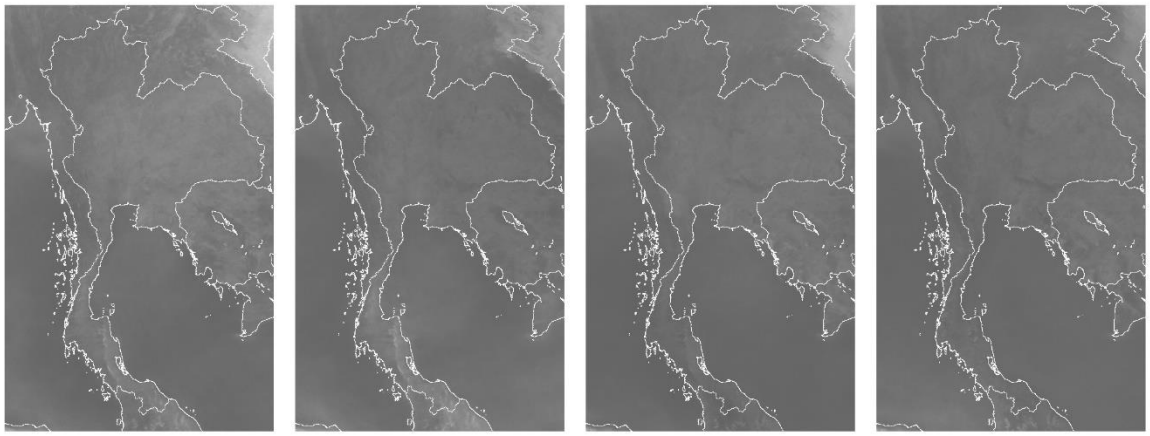
May, 2015 June, 2015 July, 2015 August, 2015



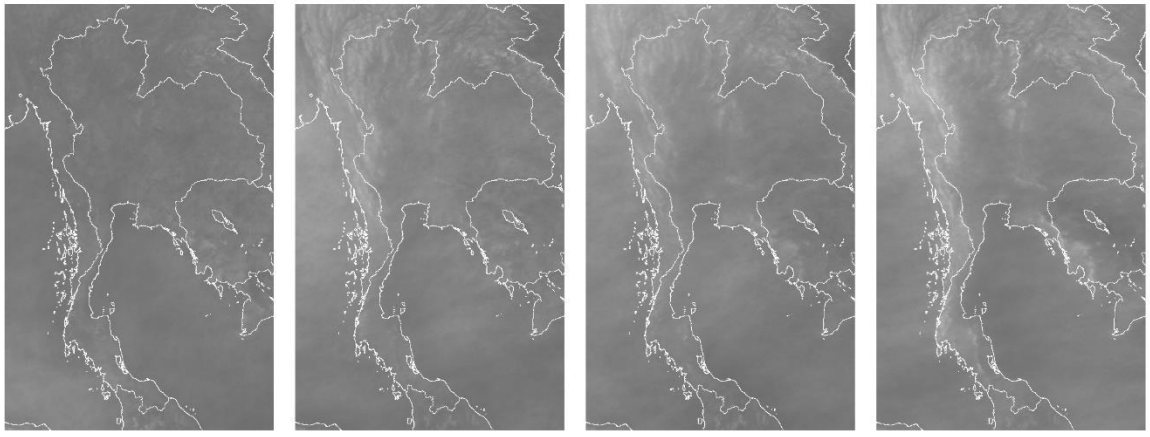
September, 2015 October, 2015 November, 2015 December, 2015



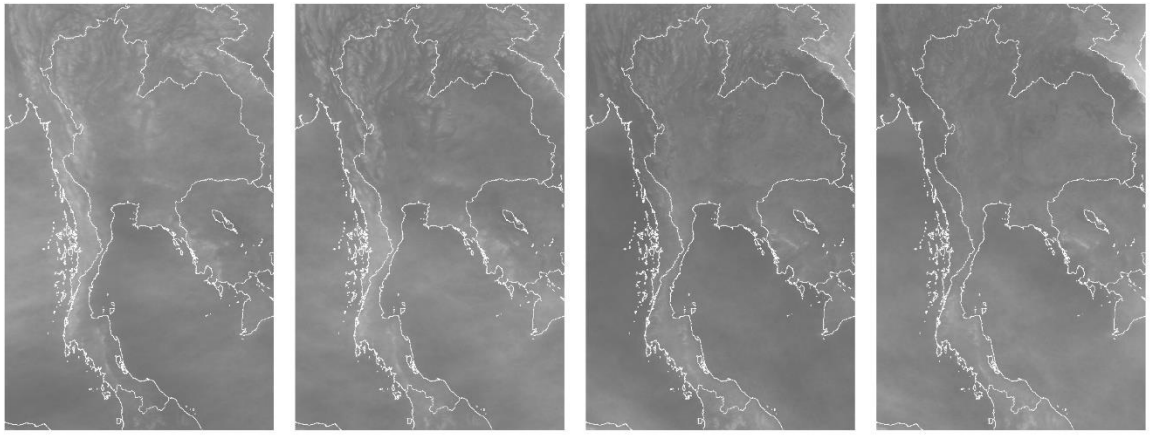
รูปที่ 3.70 (ต่อ)



January, 2016 February, 2016 March, 2016 April, 2016



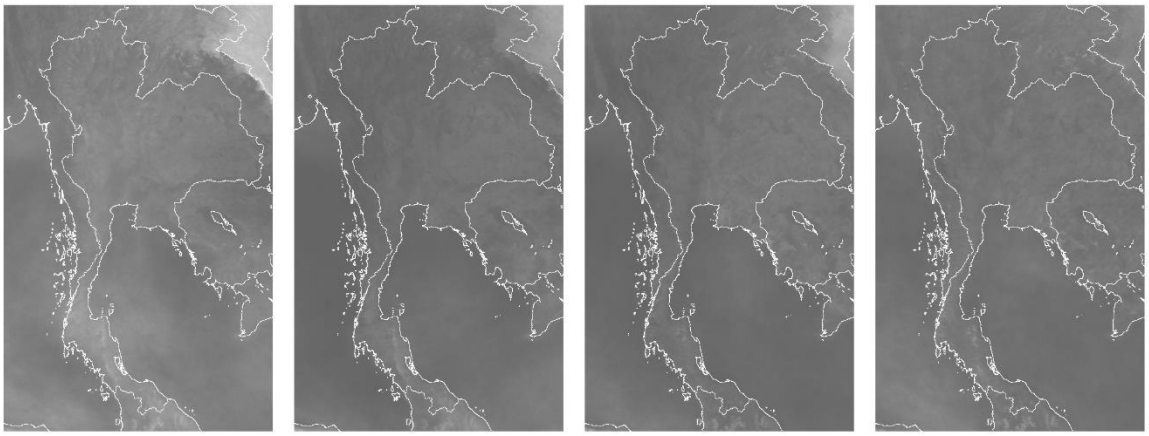
May, 2016 June, 2016 July, 2016 August, 2016



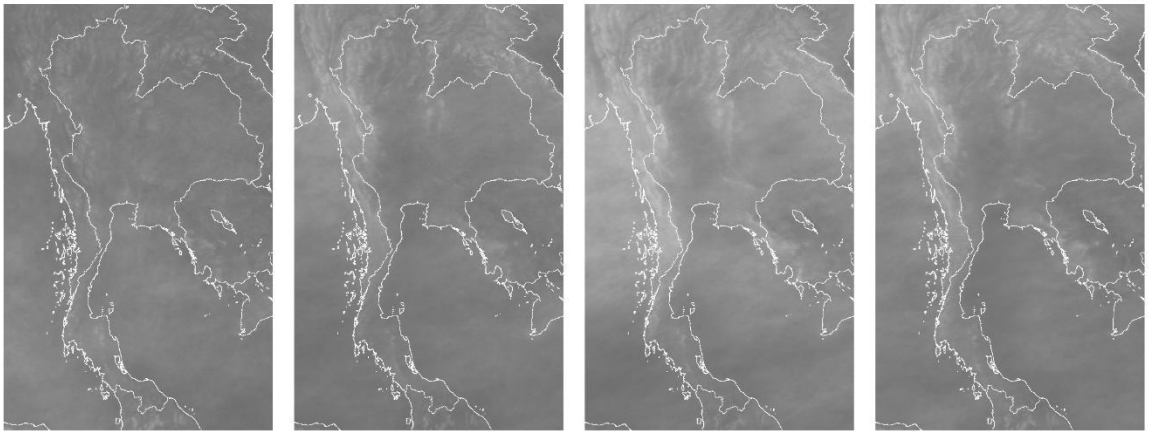
September, 2016 October, 2016 November, 2016 December, 2016



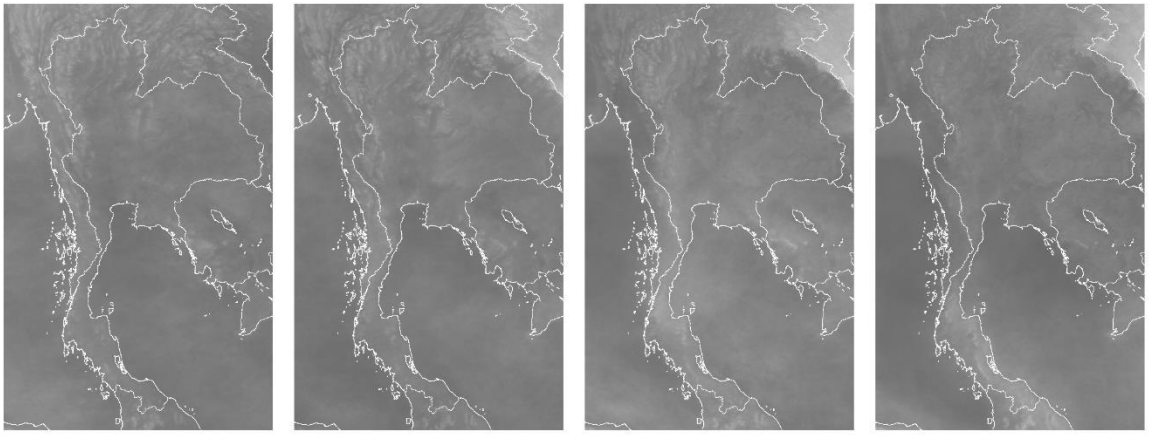
รูปที่ 3.70 (ต่อ)



January, 2017 February, 2017 March, 2017 April, 2017



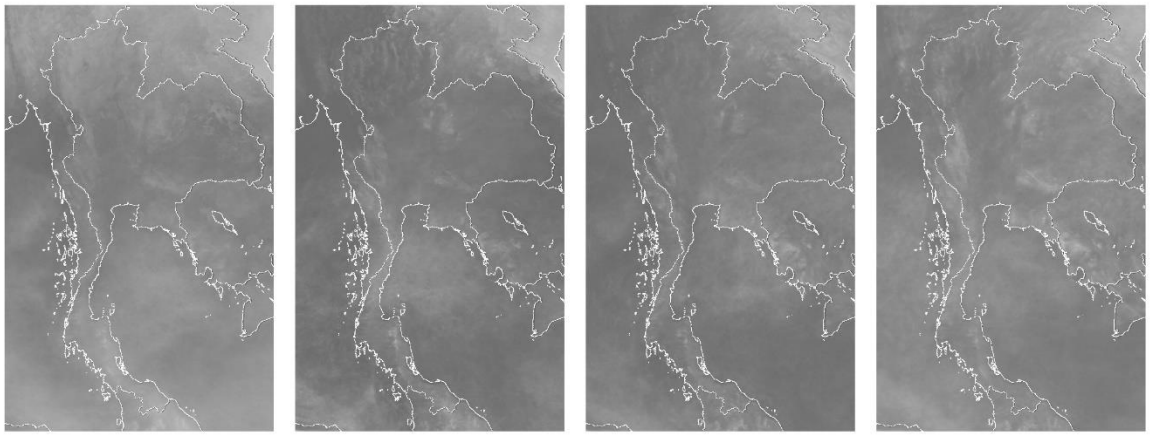
May, 2017 June, 2017 July, 2017 August, 2017



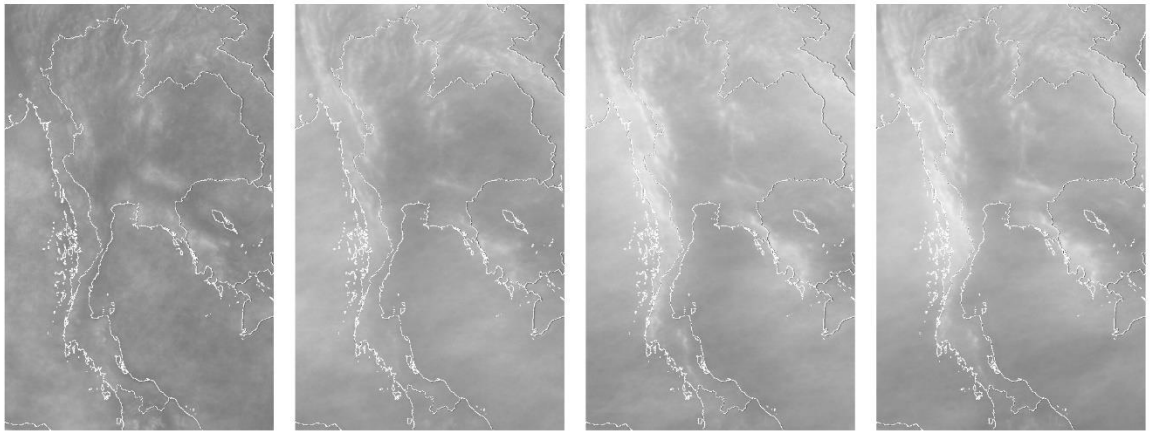
September, 2017 October, 2017 November, 2017 December, 2017



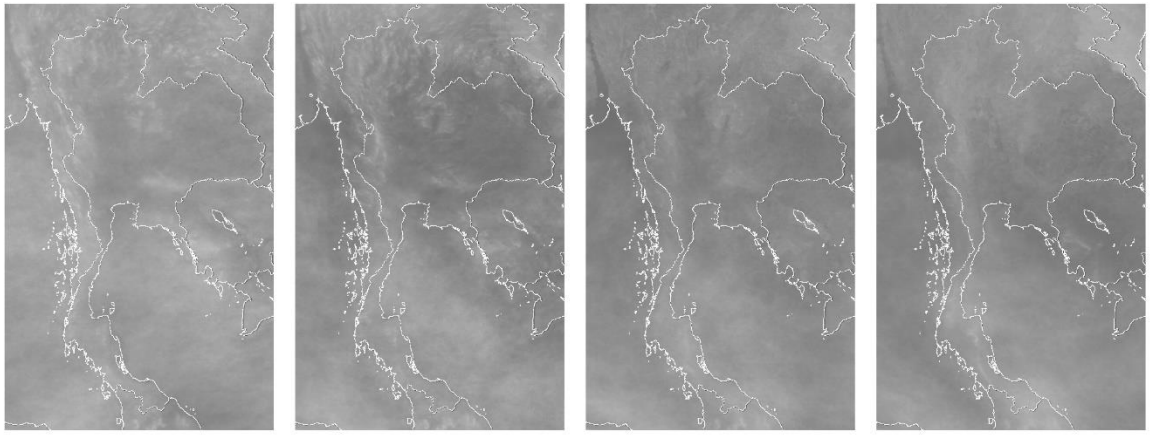
รูปที่ 3.70 (ต่อ)



January, 2018 February, 2018 March, 2018 April, 2018



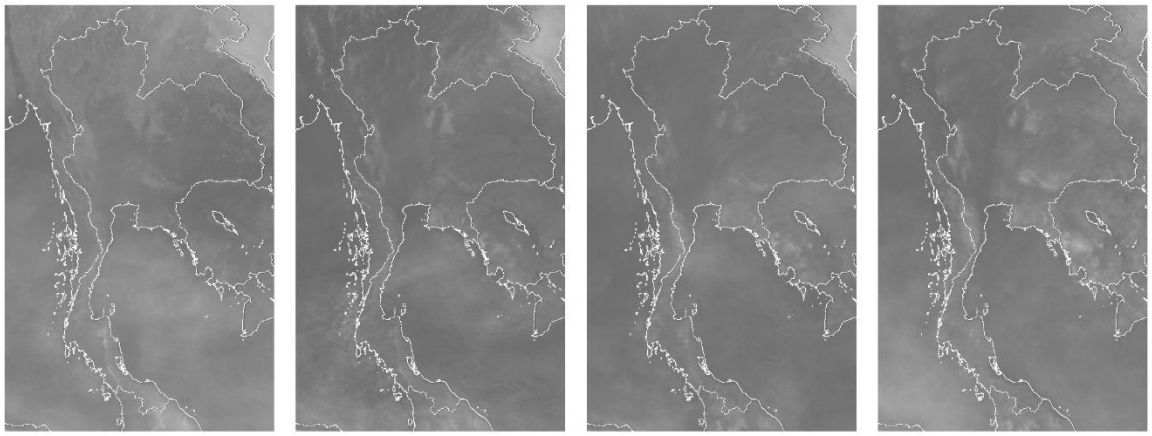
May, 2018 June, 2018 July, 2018 August, 2018



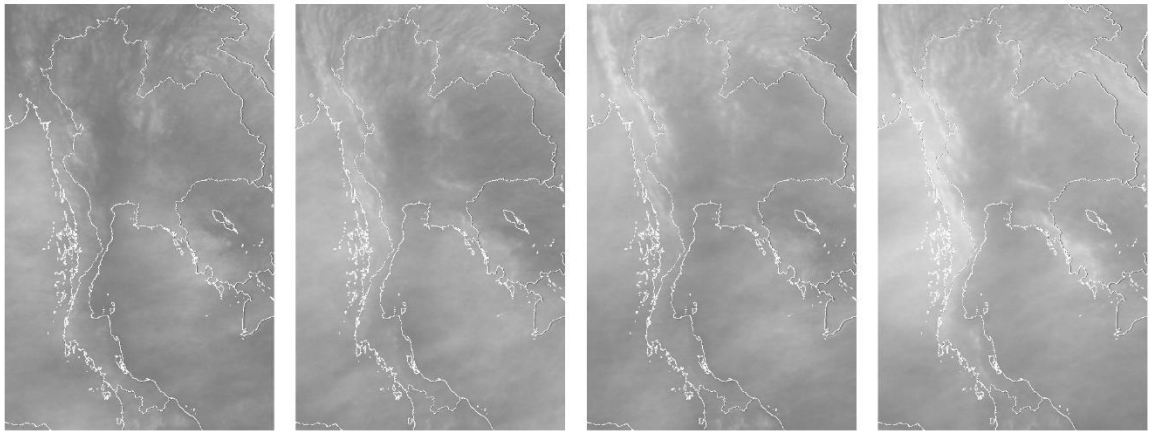
September, 2018 October, 2018 November, 2018 December, 2018



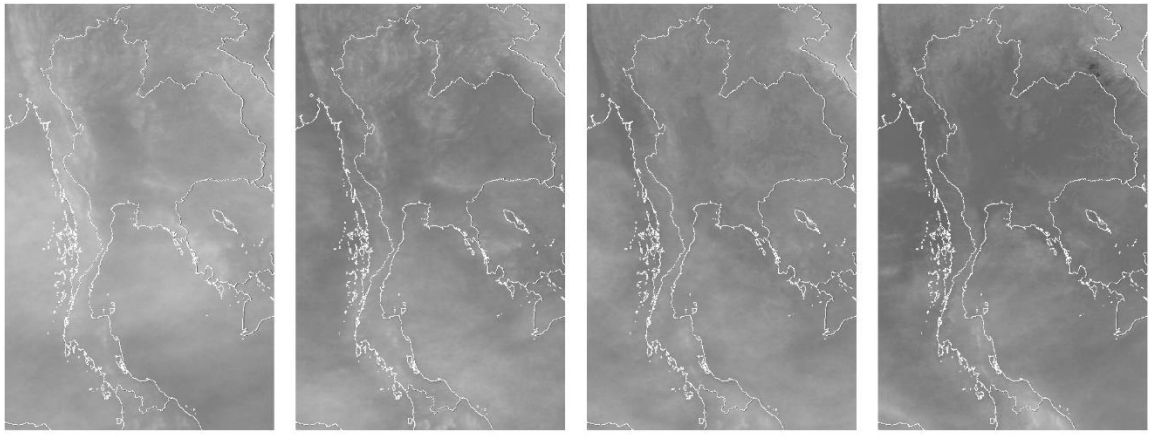
รูปที่ 3.70 (ต่อ)



January, 2019 February, 2019 March, 2019 April, 2019



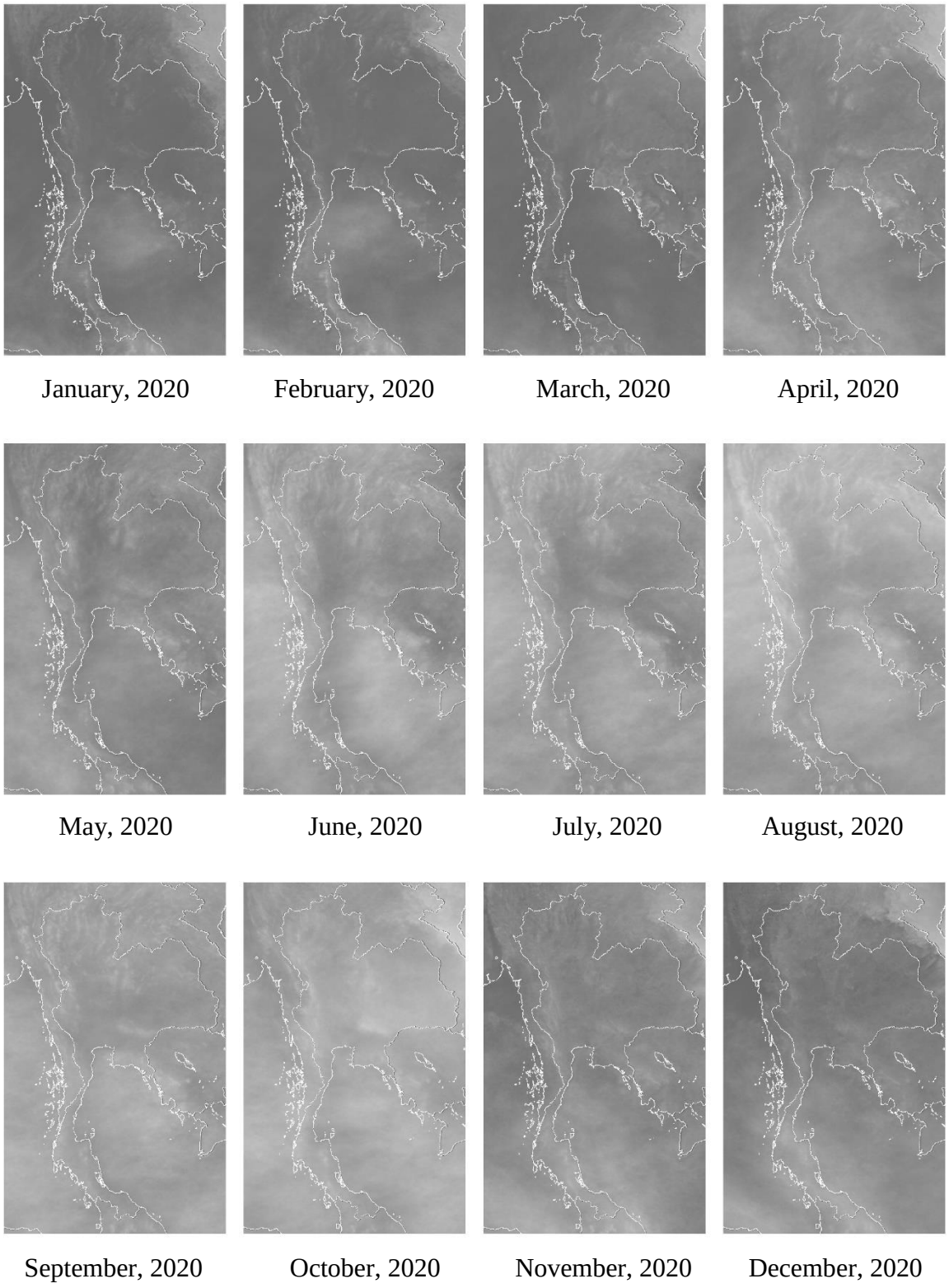
May, 2019 June, 2019 July, 2019 August, 2019



September, 2019 October, 2019 November, 2019 December, 2019



รูปที่ 3.70 (ต่อ)

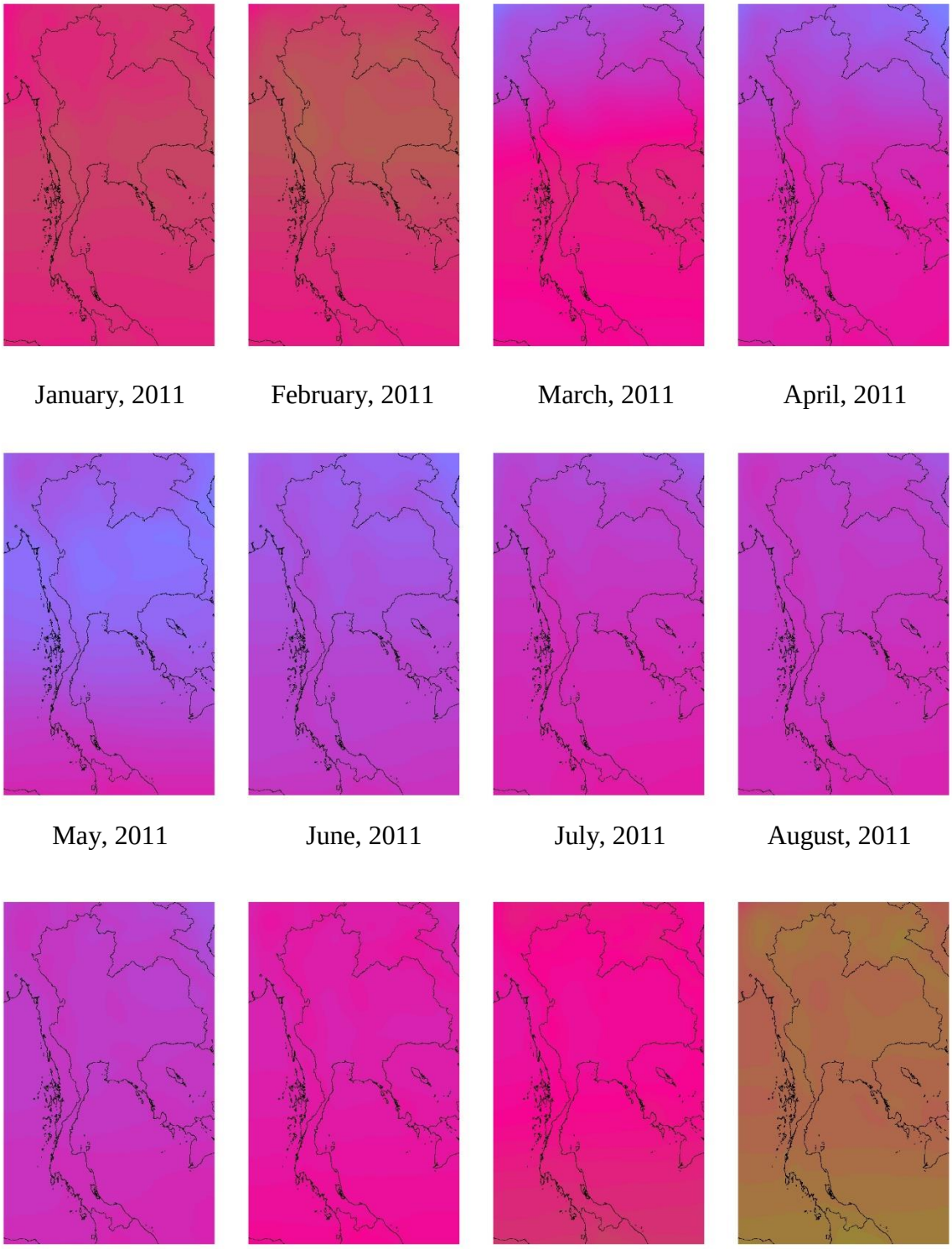

January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0

รูปที่ 3.70 (ต่อ)

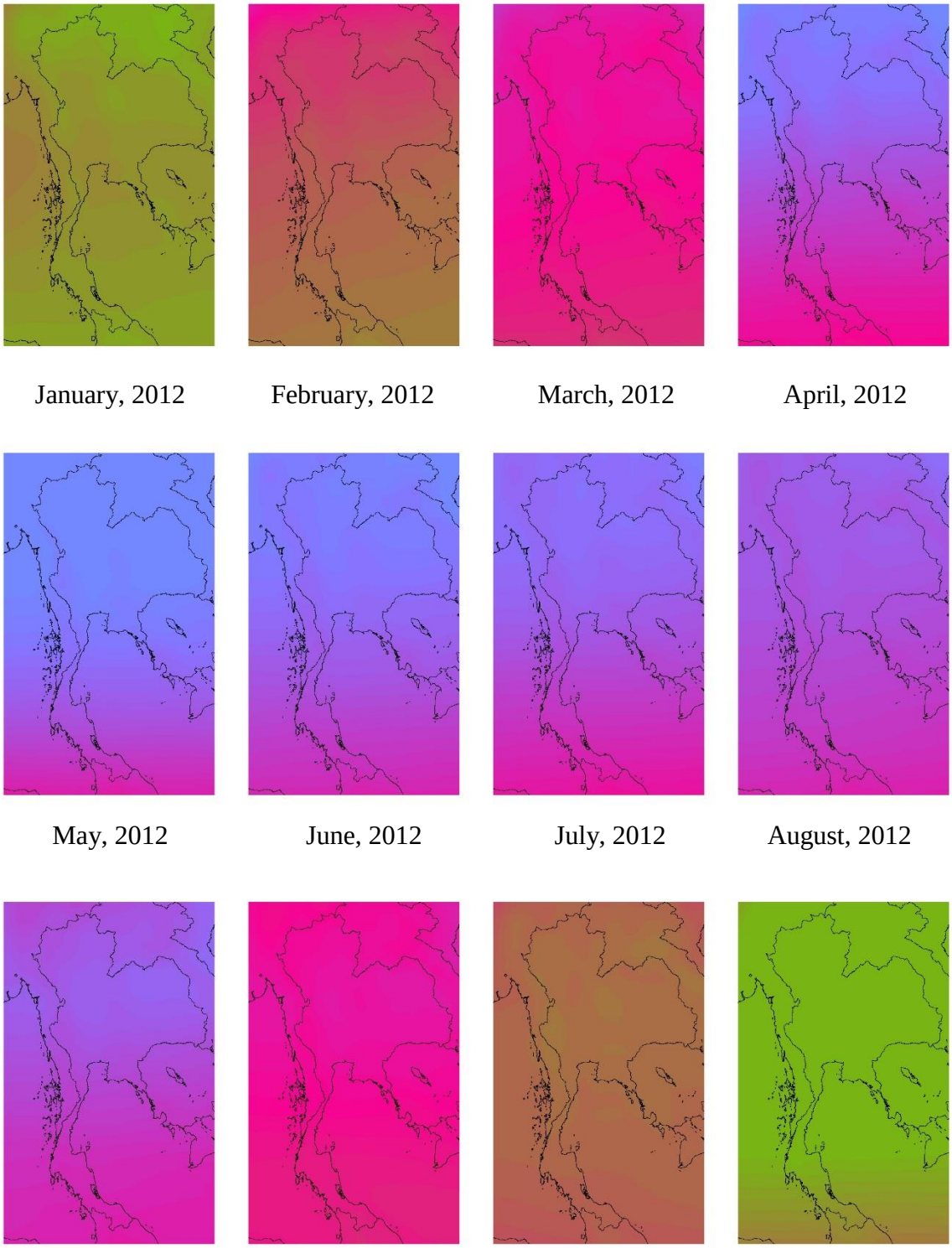
3.2.4 การประมวลผลข้อมูลโอโซนจากดาวเทียมให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน เพื่อใช้สำหรับคำนวณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนในบรรยากาศ (ตาม TOR ข้อ 5.2(4))

โอโซนเป็นองค์ประกอบในบรรยากาศที่สำคัญตัวหนึ่งที่จำเป็นต้องนำมาใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม เนื่องจากโอโซนดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นสั้น โดยปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณโอโซนที่รังสีเดินทางผ่าน

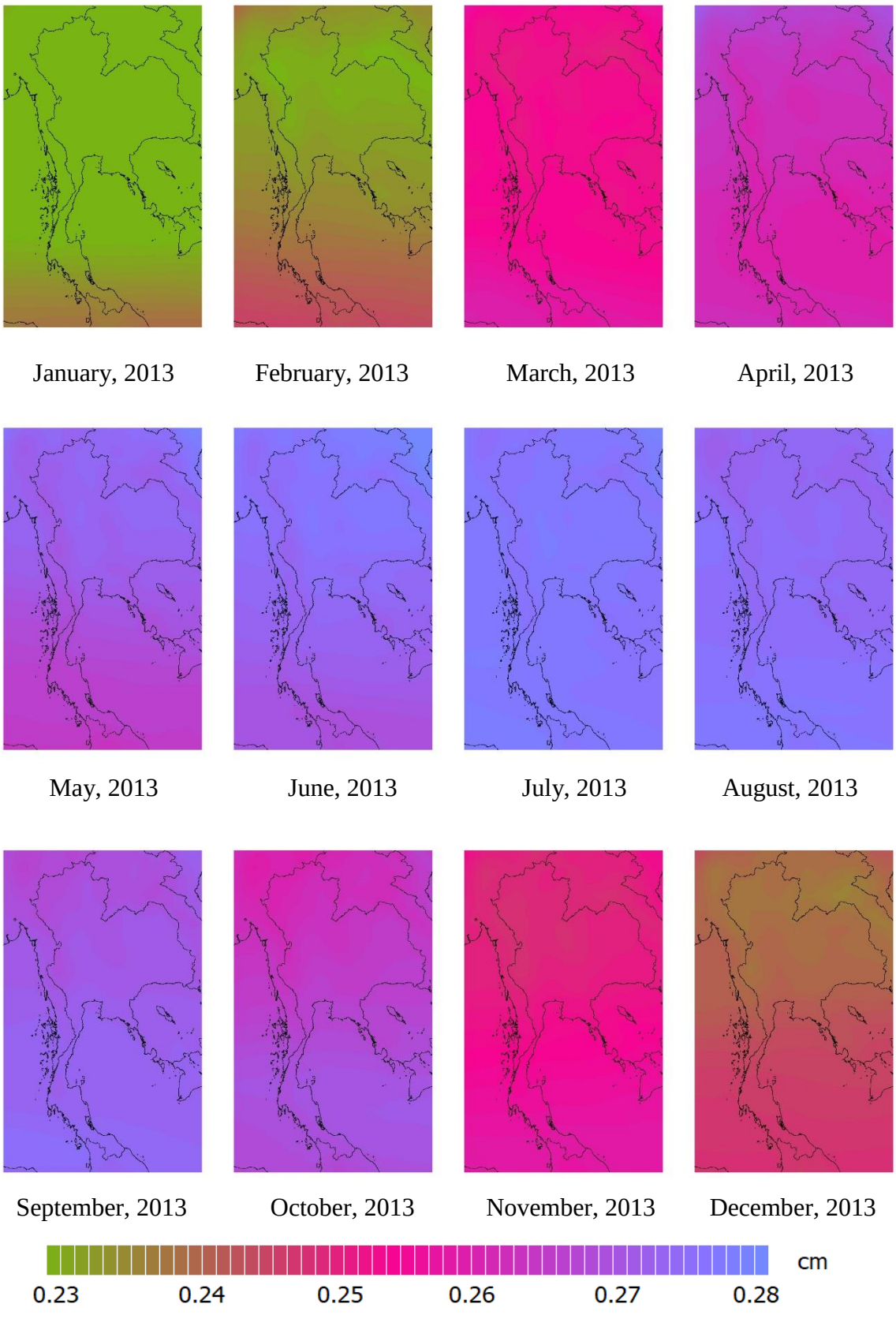
ในงานนี้ ผู้ดำเนินงานจะใช้ปริมาณโอโซนในคอลัมน์บรรยากาศระหว่างวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2001 – 31 ธันวาคม ค.ศ. 2020 เป็นตัวแปรอินพุทของแบบจำลองสำหรับคำนวณหารังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียม โดยข้อมูลดังกล่าวได้มาจากเครื่องมือที่เรียกว่า Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Earth Probe (ค.ศ. 2001 – ค.ศ. 2005) และเครื่องมือ Ozone Monitoring Instrument (OMI) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aura (ค.ศ. 2006 – ค.ศ. 2020) โดยดาวเทียมดังกล่าวเป็นดาวเทียมแบบ Polar orbit ซึ่งจะตรวจวัดโอโซนวันละ 1 ครั้ง ที่เวลาประมาณ 11:30 น. ตามเวลาท้องถิ่น ผู้ดำเนินงานได้ทำการแปลงข้อมูลโอโซนในหน่วยดอบสัน (DU) ให้อยู่ในหน่วยเซนติเมตร (cm) ครอบคลุมประเทศไทยและทำการแปลงข้อมูลให้มีขนาดเดียวกันกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 GOES-9 MTSAT และ Himawari เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณรังสีอาทิตย์ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม ตัวอย่างข้อมูลปริมาณโอโซนระหว่างปี ค.ศ. 2011 – ค.ศ. 2020 แสดงดังรูปที่ 3.71 จากรูปจะเห็นได้ว่าปริมาณโอโซนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยจากเดือนมกราคม (∼0.230 cm) ไปจนถึงเดือนเมษายน (∼0.280 cm) จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่และค่อย ๆ ลดลงในเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (∼0.230 cm) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงกลางปีประเทศไทยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเกิดโอโซนจึงทำให้ประเทศไทยมีปริมาณโอโซนสูงในช่วงดังกล่าว



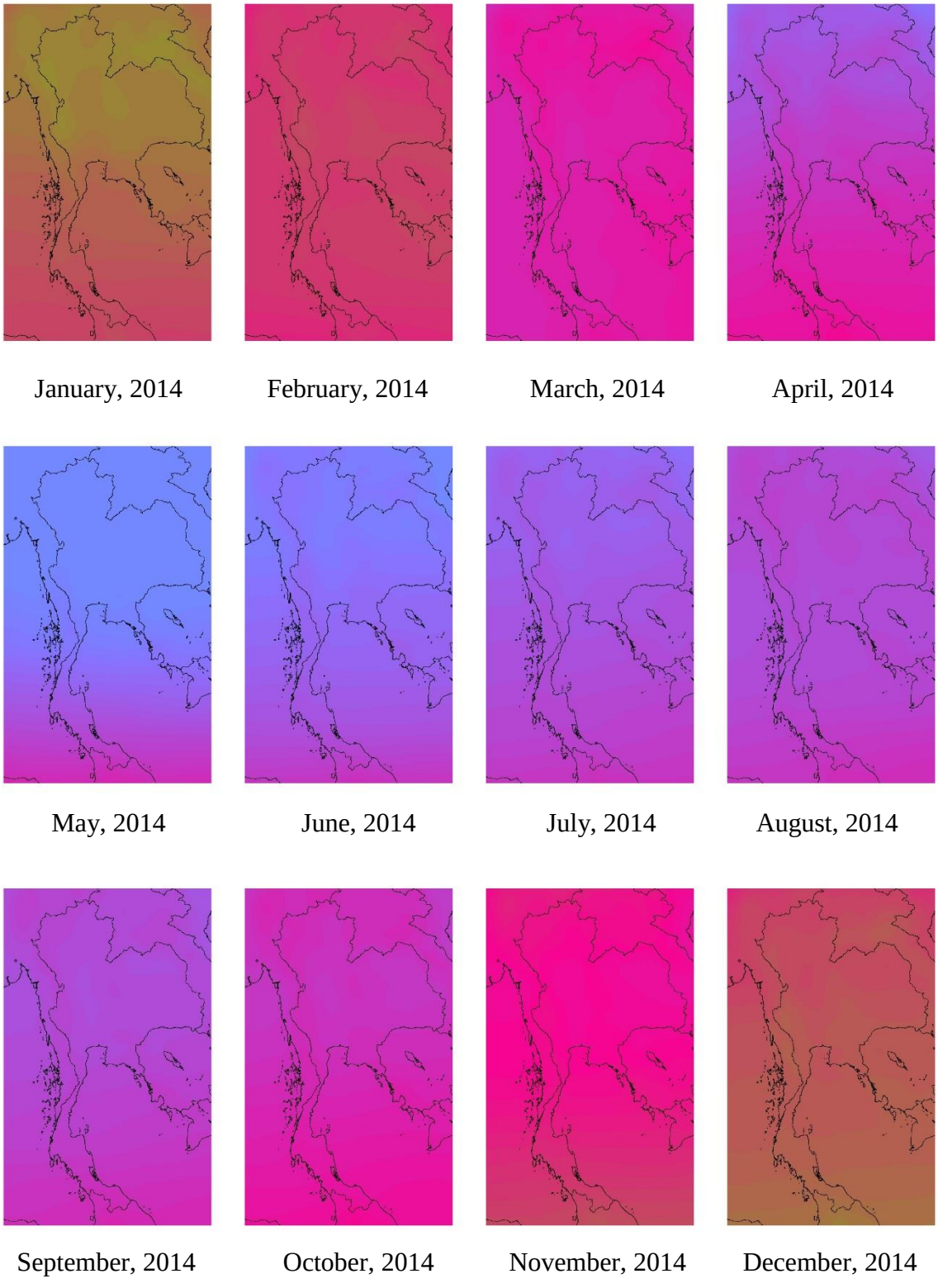
รูปที่ 3.71 ข้อมูลปริมาณโอโซนในบรรยากาศ


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

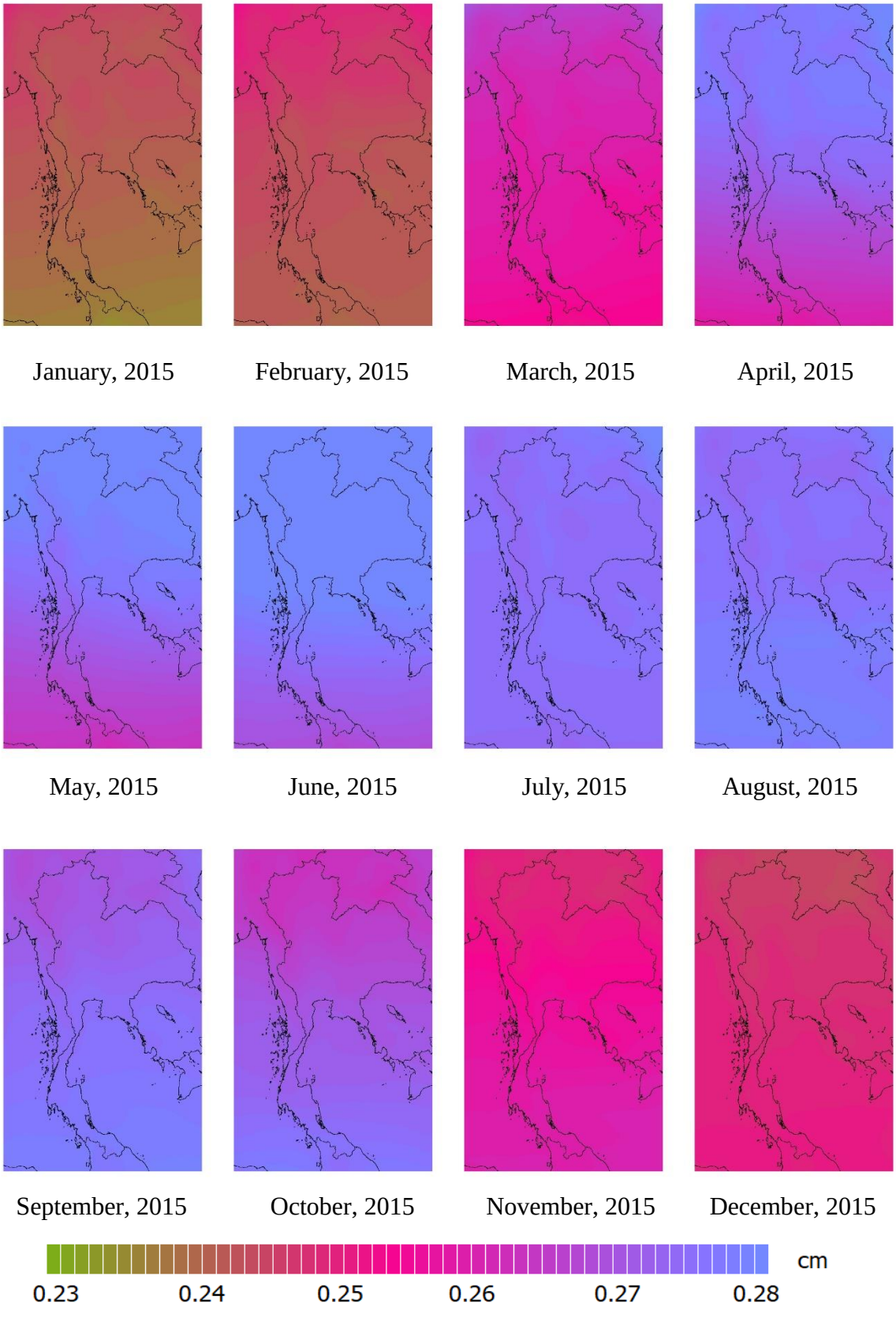
รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

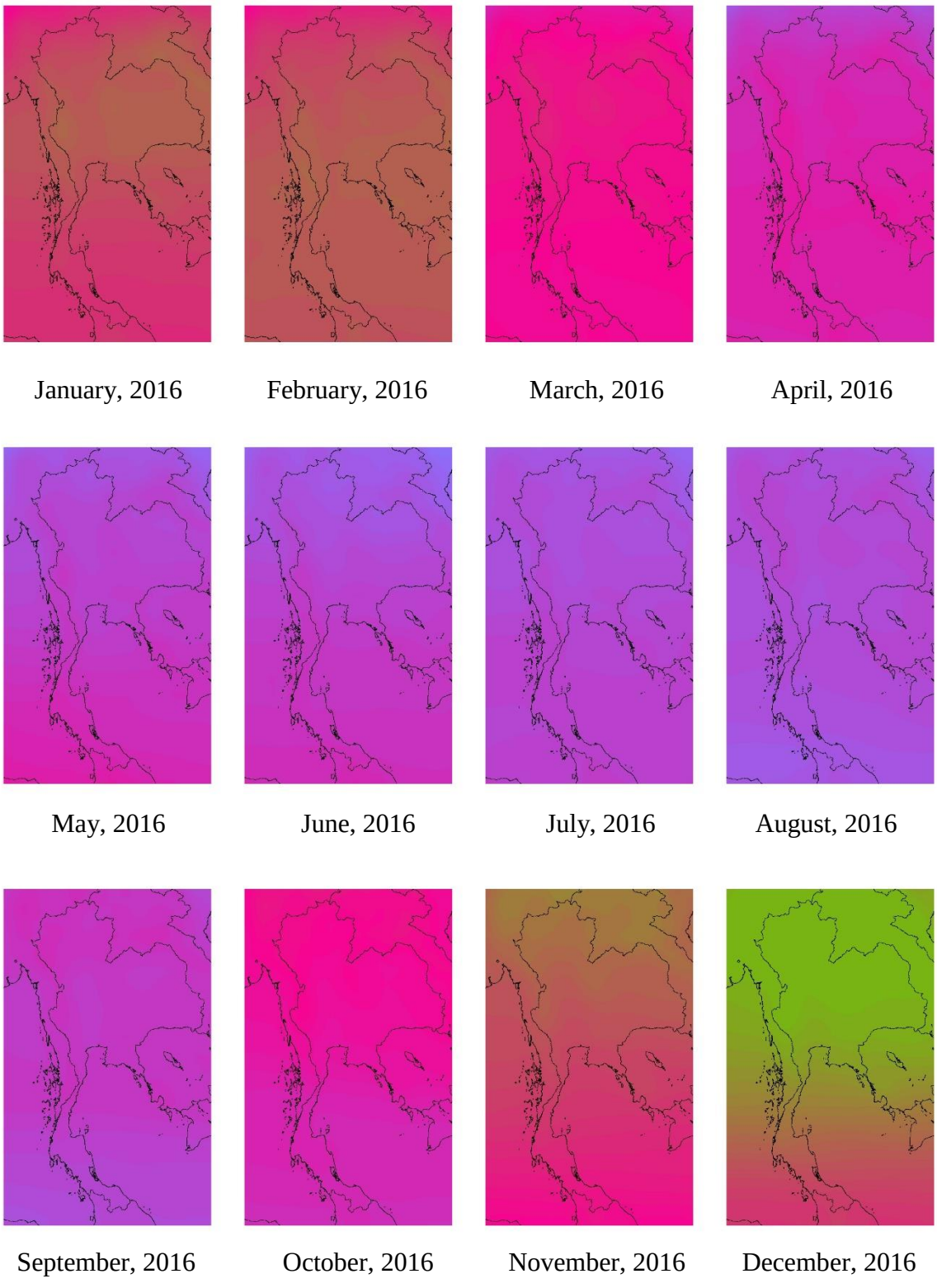
รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

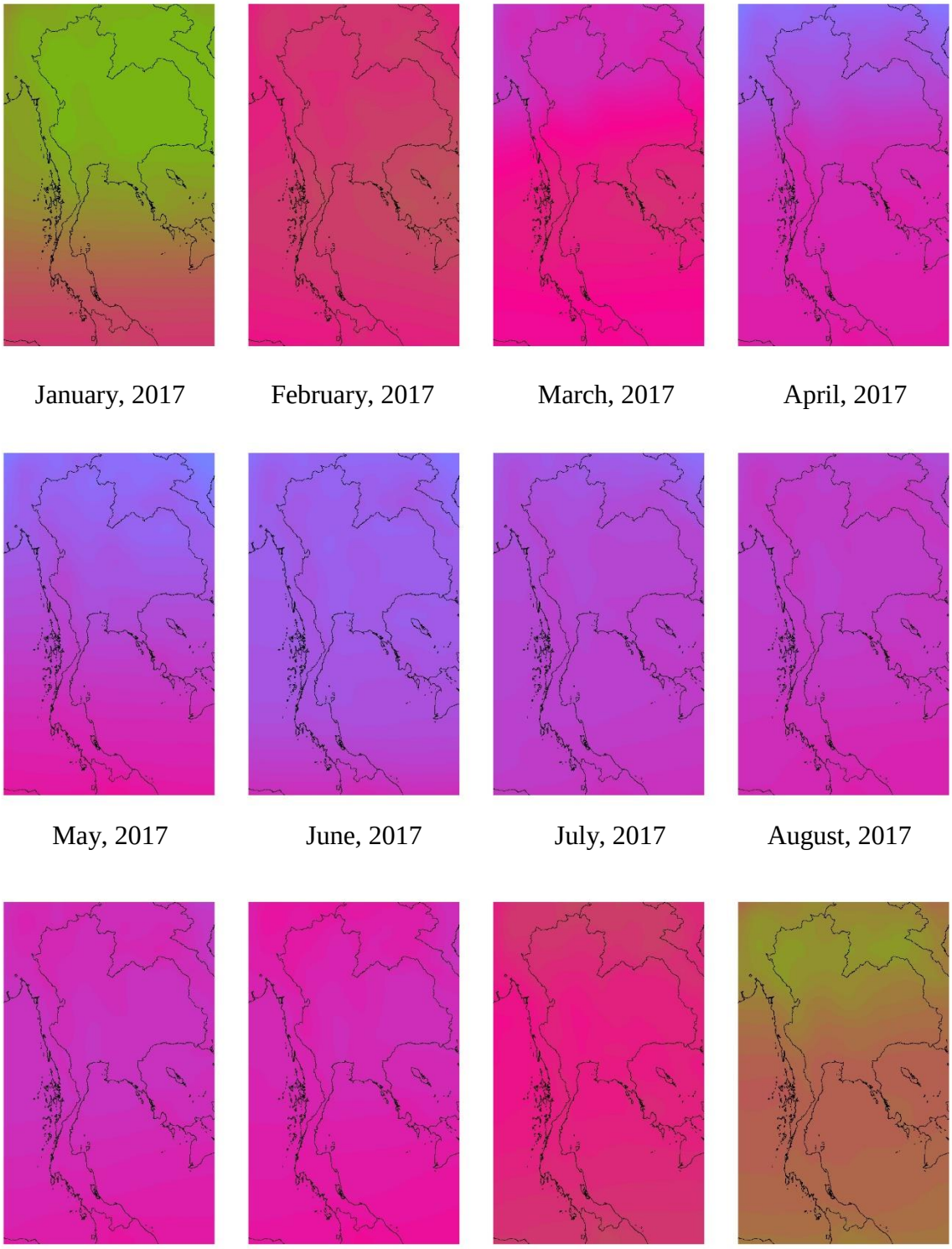
รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

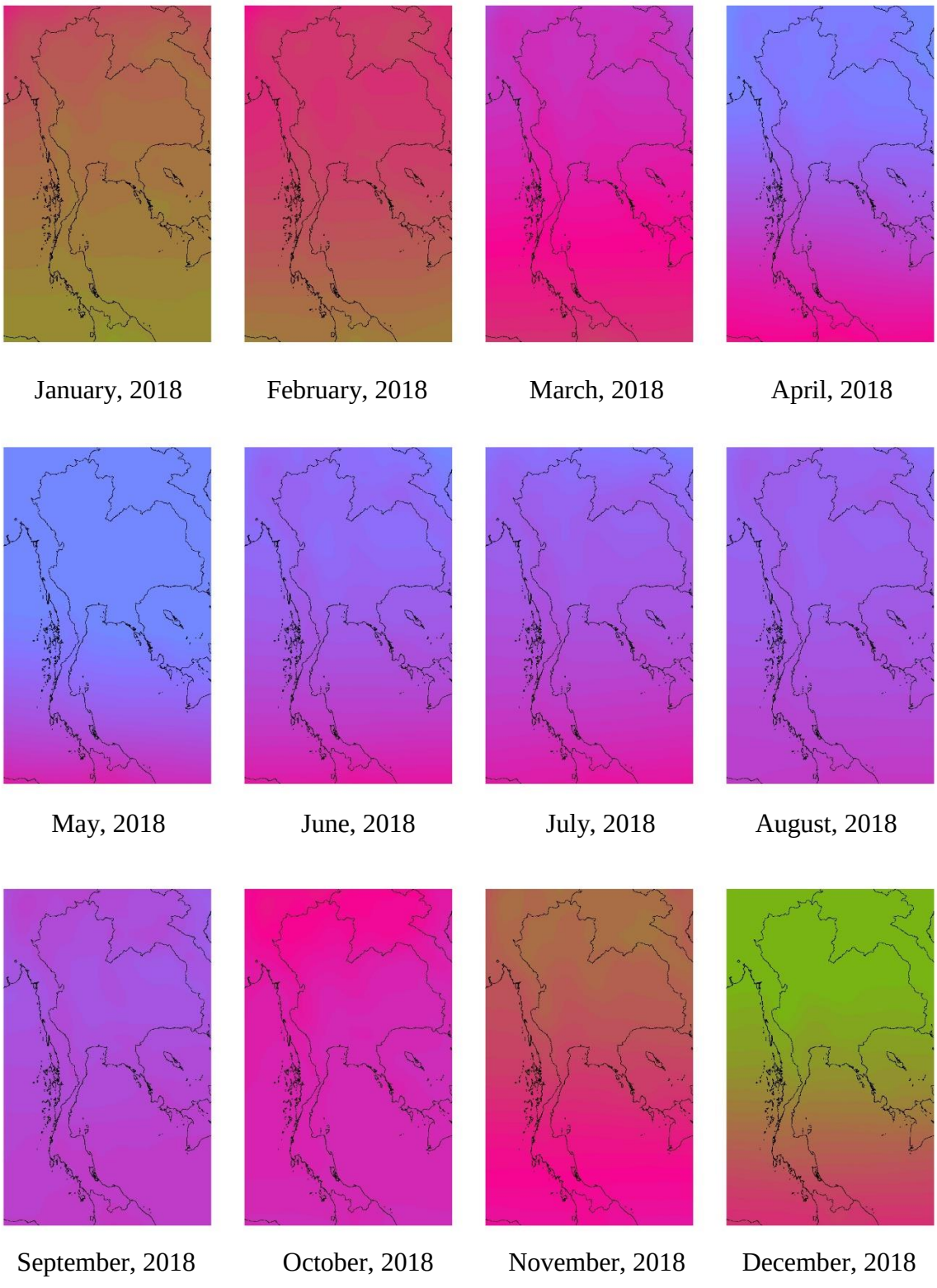
รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

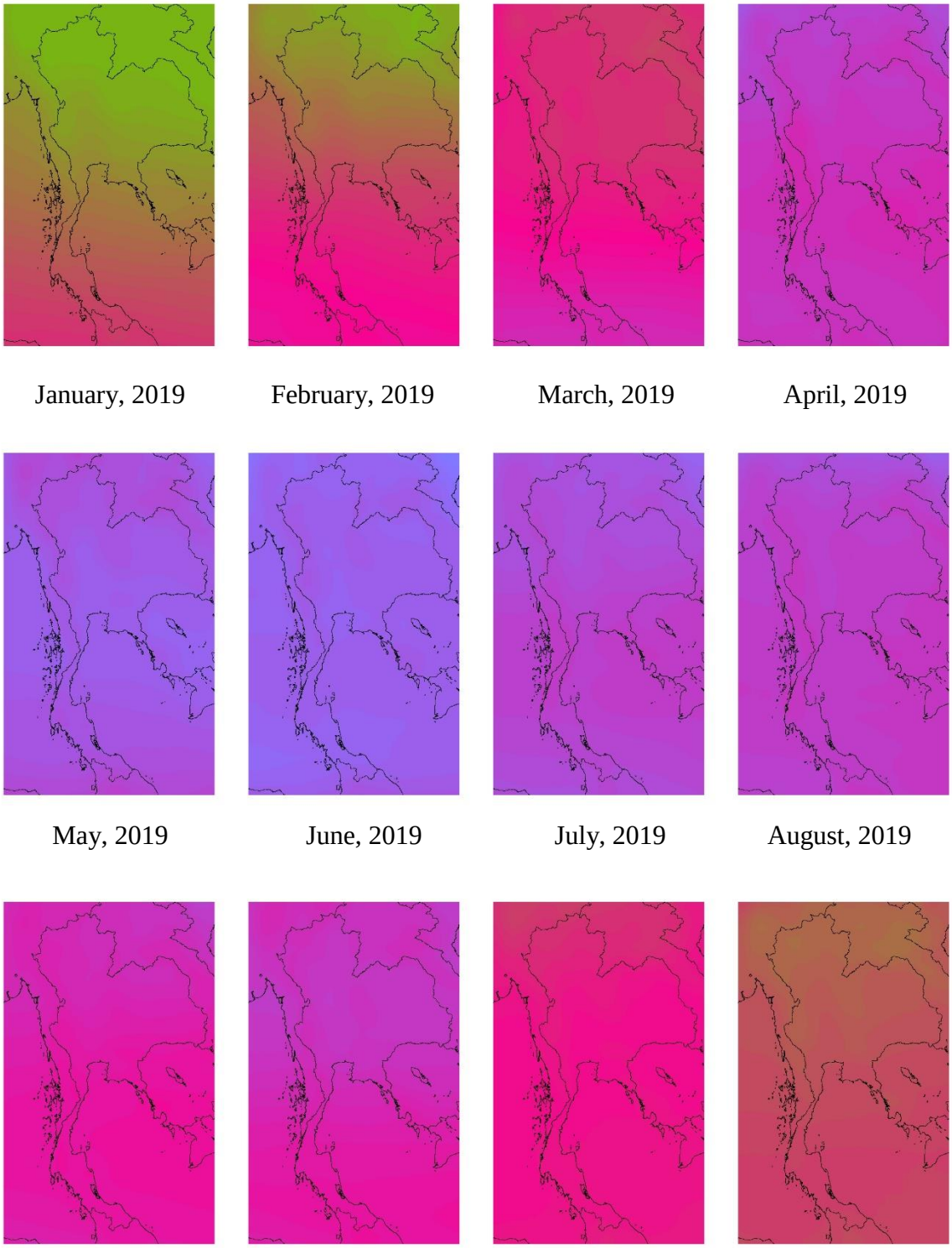
รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

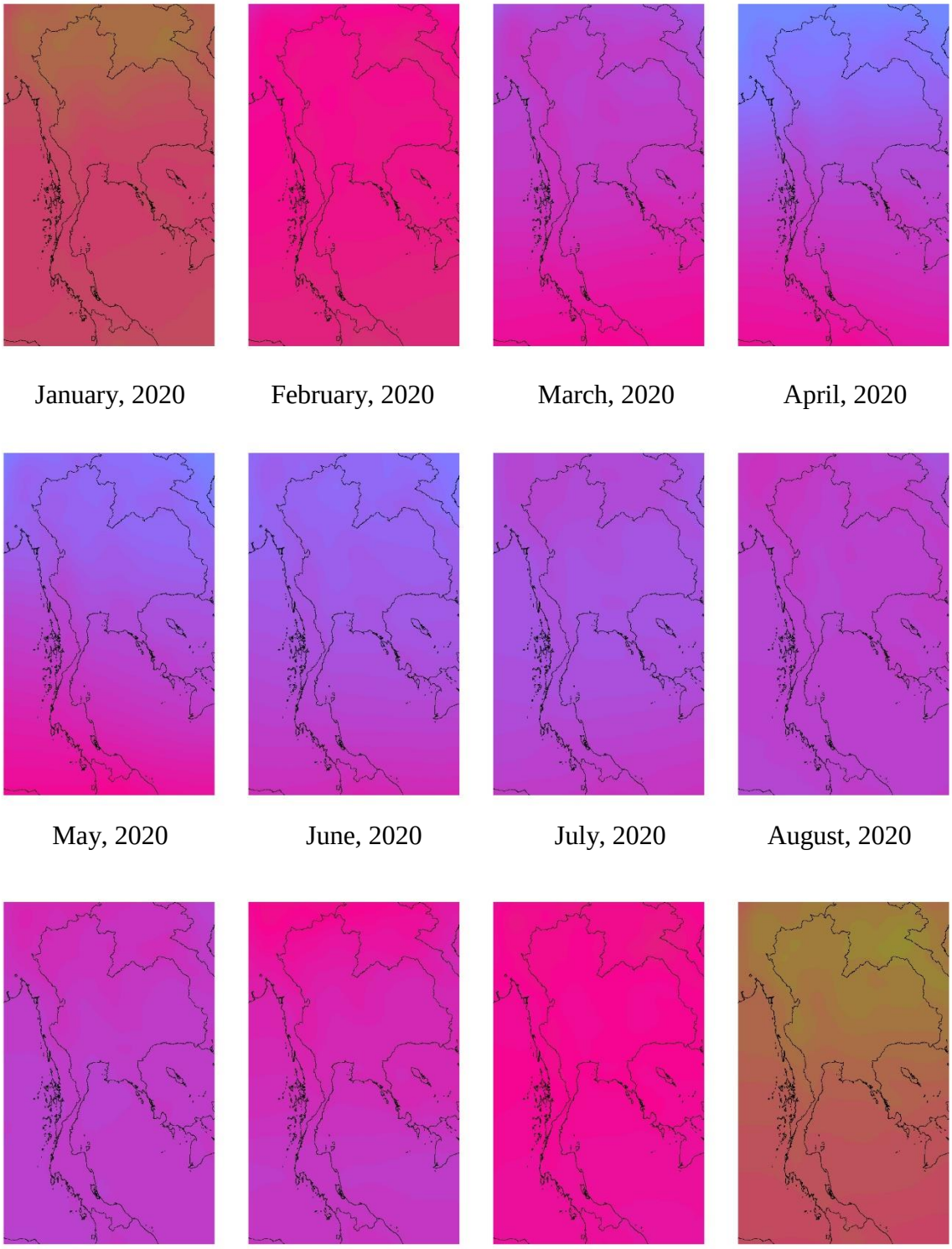
รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

รูปที่ 3.71 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
cm
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28

รูปที่ 3.71 (ต่อ)

3.2.5 การคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศของประเทศไทย สำหรับใช้หาการดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยไอน้ำ (ตาม TOR ข้อ 5.2(5))

งานของ Janjai et al. (2005) ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอน้ำจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนกับข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันไอน้ำอิ่มตัว และได้เสนอแบบจำลองดังนี้

$$w = 0.8933\exp[0.1715(rh \cdot p_s/T)] \quad (3.9)$$

เมื่อ w คือ ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (cm)

rh คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (decimal)

p_s คือ ความดันบรรยากาศอิ่มตัว (mbar)

T คือ อุณหภูมิอากาศ (K)

ในการทดสอบแบบจำลองดังกล่าวได้มีการนำค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องซันโฟโตมิเตอร์ซึ่งติดตั้งที่สถานีวัดภาคพื้นดินจำนวน 4 แห่ง ในภูมิภาคต่าง ๆ พบว่าข้อมูลทั้งสองสอดคล้องกันดี โดยมีค่า RMSD เท่ากับ 15.8% และ MBD เท่ากับ -8.2% ดังนั้นในงานนี้ผู้ดำเนินงานจึงเลือกใช้แบบจำลองดังกล่าวในการคำนวณหาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศทั่วประเทศ

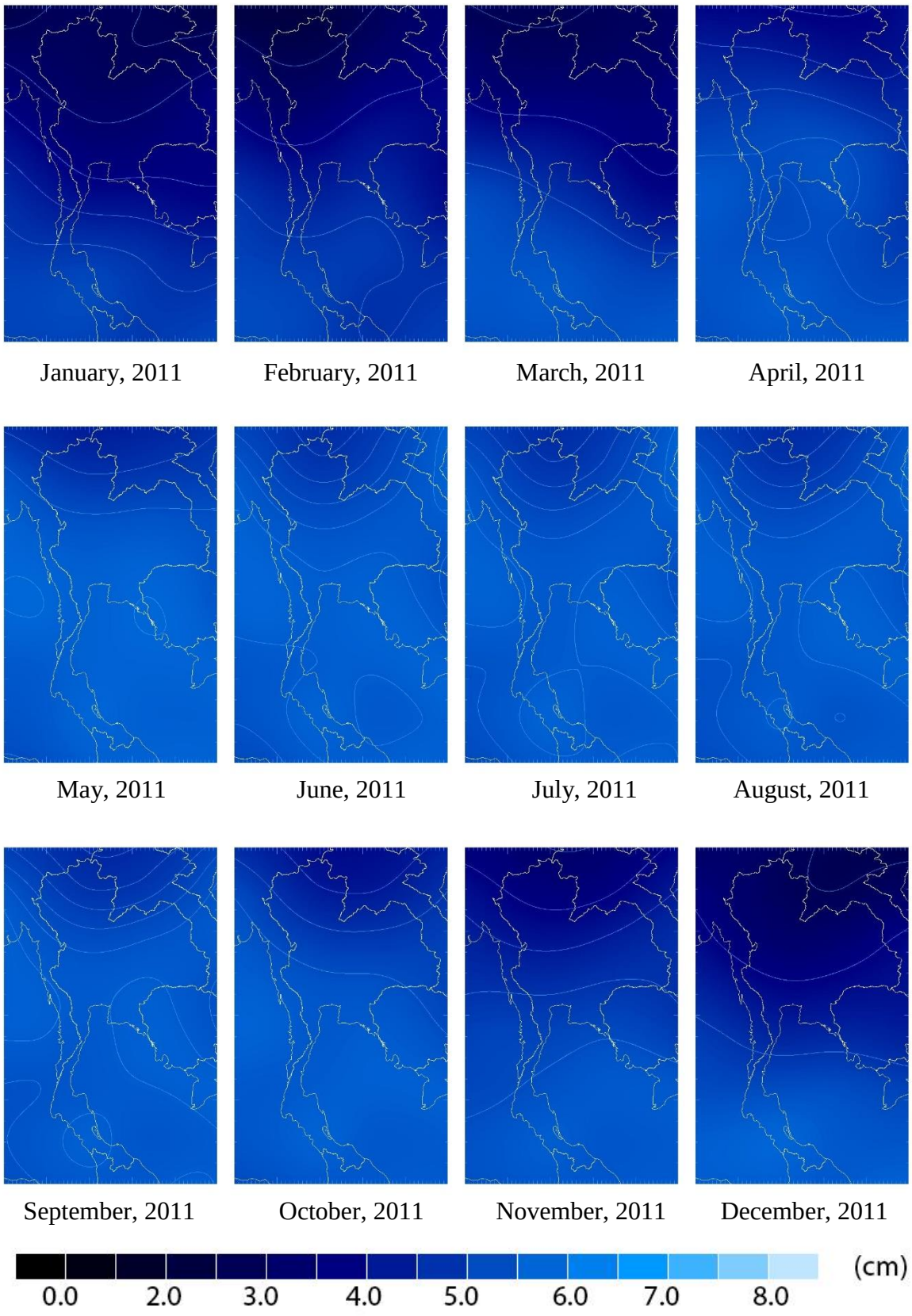
สำหรับค่าอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมงที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายเดือนและจัดทำเป็นแผนที่โดยใช้วิธีการ interpolation ส่วนค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$p_s = \exp(26.23\text{-}5416/T) \quad (3.10)$$

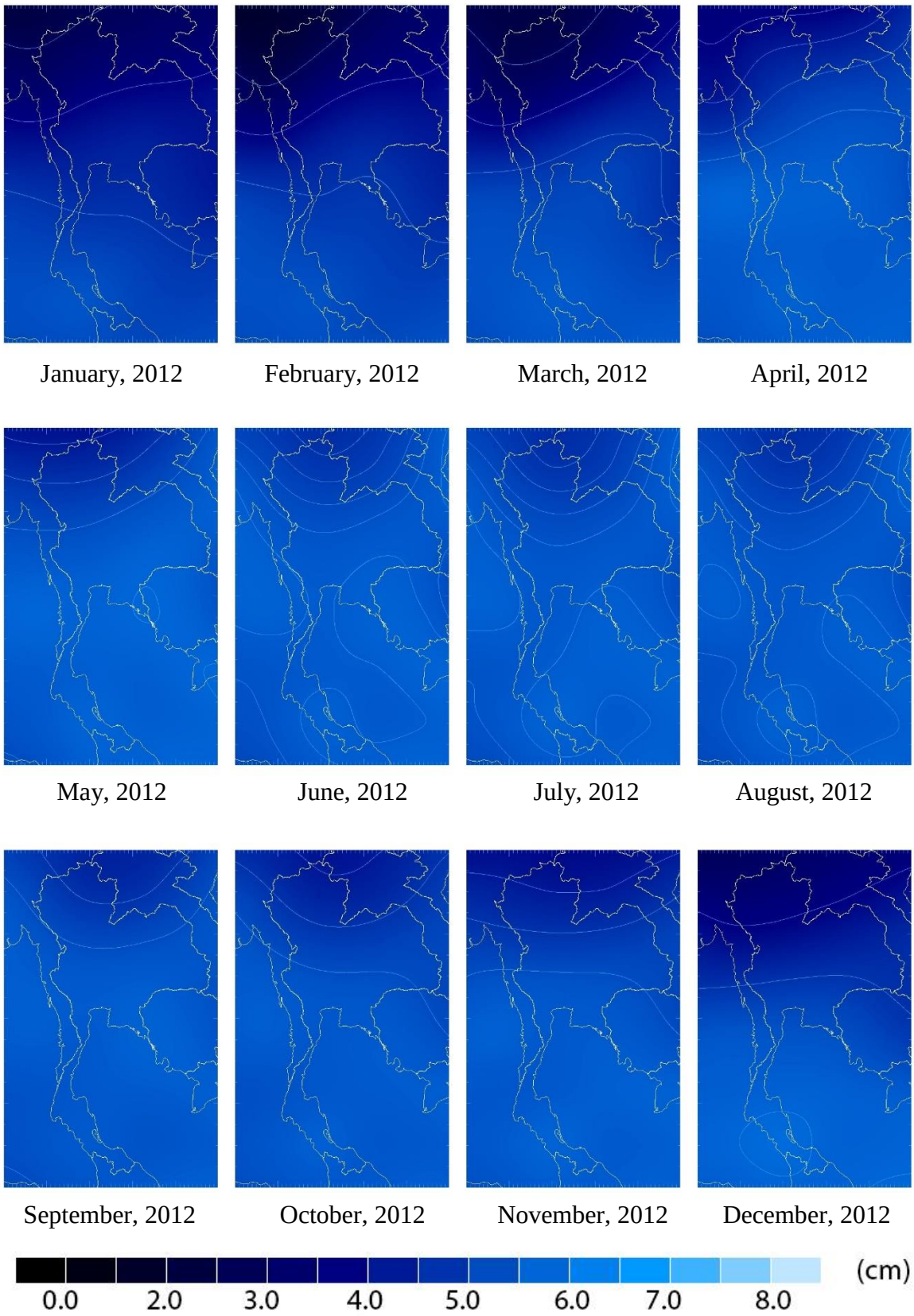
เมื่อ p_s คือ ความดันบรรยากาศอิ่มตัว (mbar)

T คือ อุณหภูมิอากาศ (K)

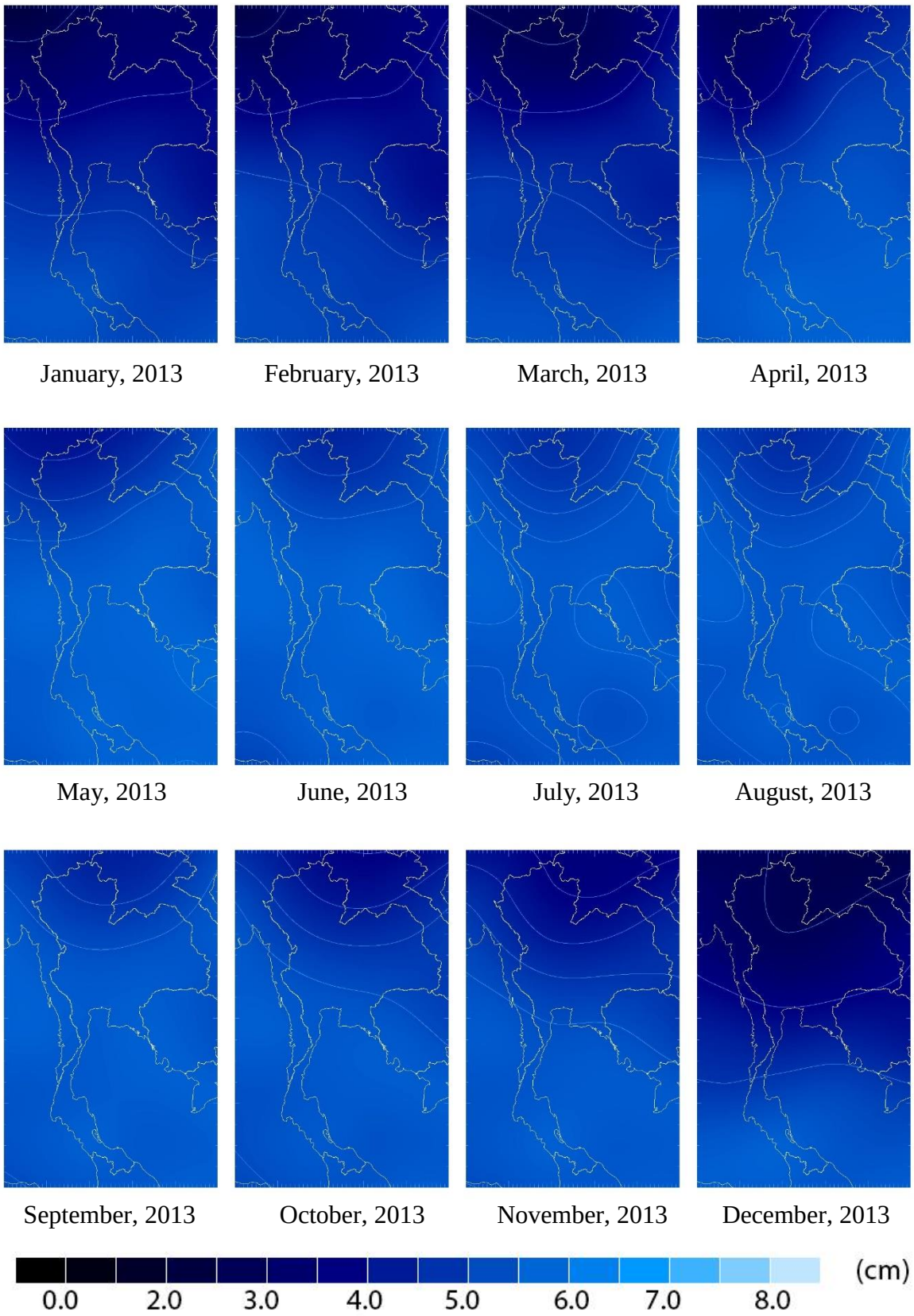
จากนั้นจึงใช้แบบจำลองคำนวณปริมาณไอน้ำและจัดทำข้อมูลให้อยู่ในรูปแผนที่โดยให้มีความละเอียดของข้อมูลตรงกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังตัวอย่างข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2011 – ค.ศ. 2020 ในรูปที่ 3.72 จากรูปจะเห็นว่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศเฉลี่ยรายเดือนมีการแปรค่าตามฤดูกาล โดยจะมีค่าสูง (ประมาณ 6 cm) ในฤดูฝนและมีค่าต่ำ (ประมาณ 2 cm) ในฤดูหนาว ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวโลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างน้อยทำให้อุณหภูมิของโลกมีค่าต่ำ ดังนั้นน้ำที่พื้นผิวโลกจึงระเหยสู่บรรยากาศได้น้อย ส่วนในฤดูฝนซึ่งเป็นช่วงที่โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูง อุณหภูมิของโลกจึงเพิ่มสูงขึ้น ทำให้น้ำที่พื้นผิวโลกระเหยได้มากจึงเกิดไอน้ำในบรรยากาศมาก



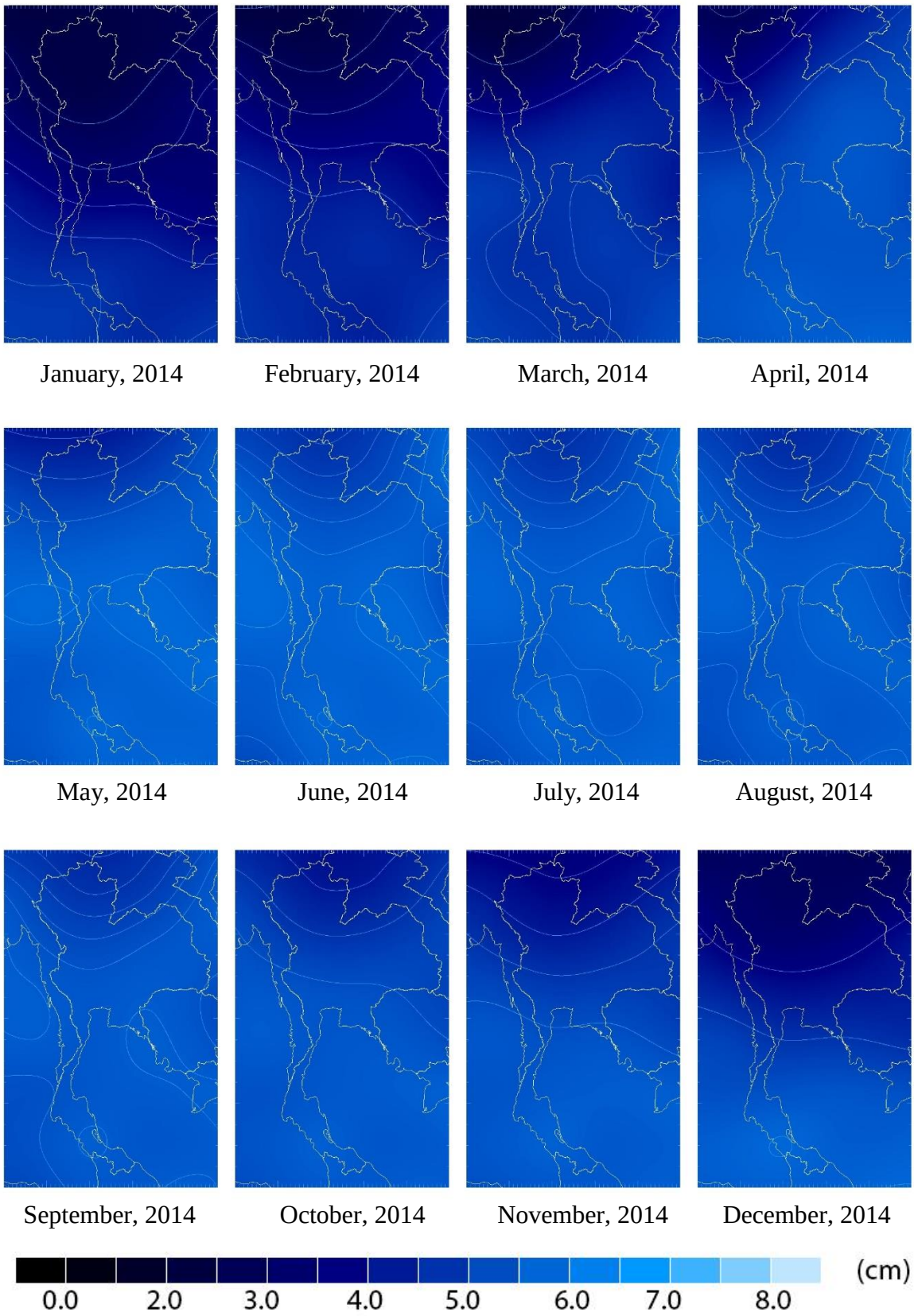
รูปที่ 3.72 ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

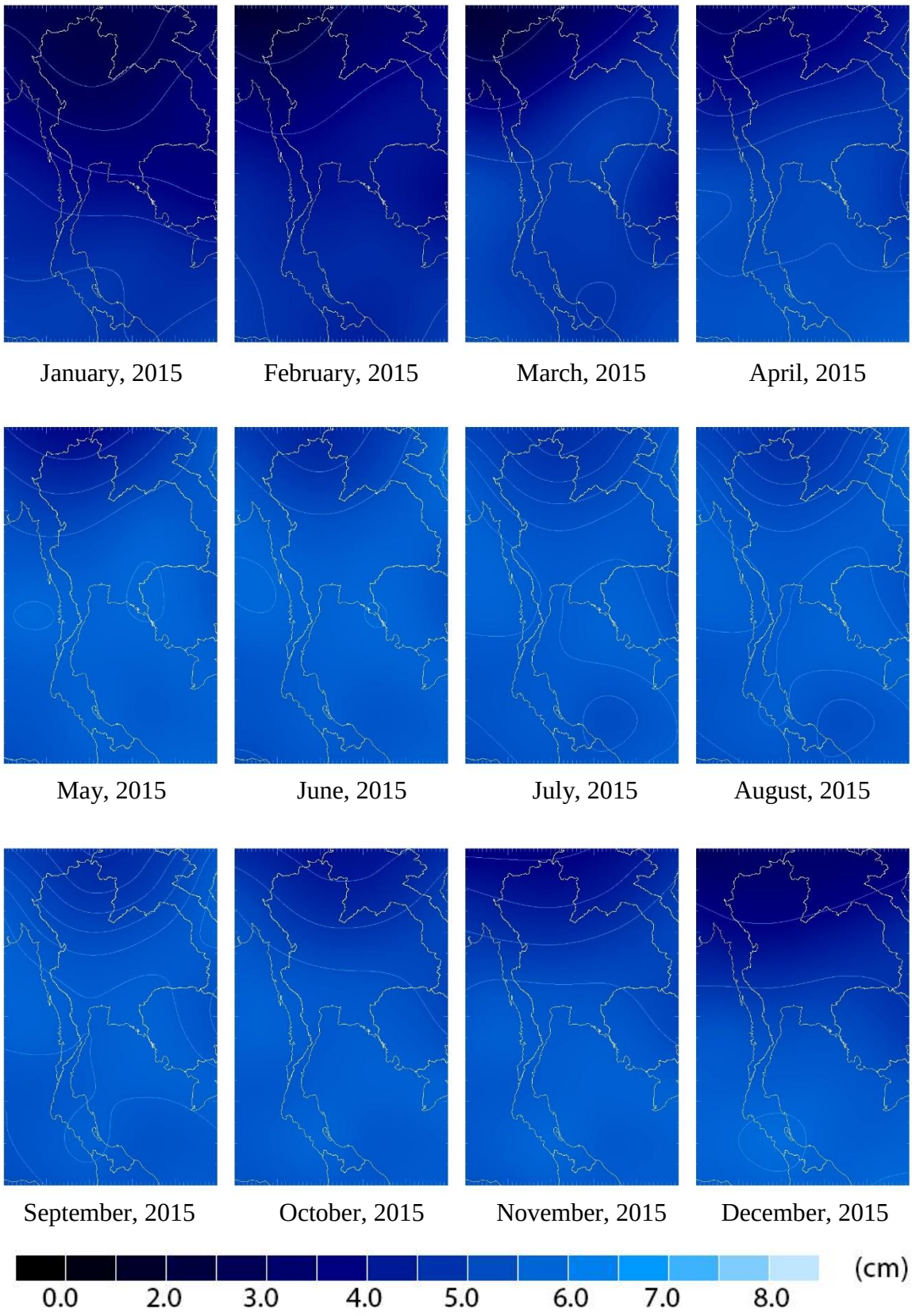
รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

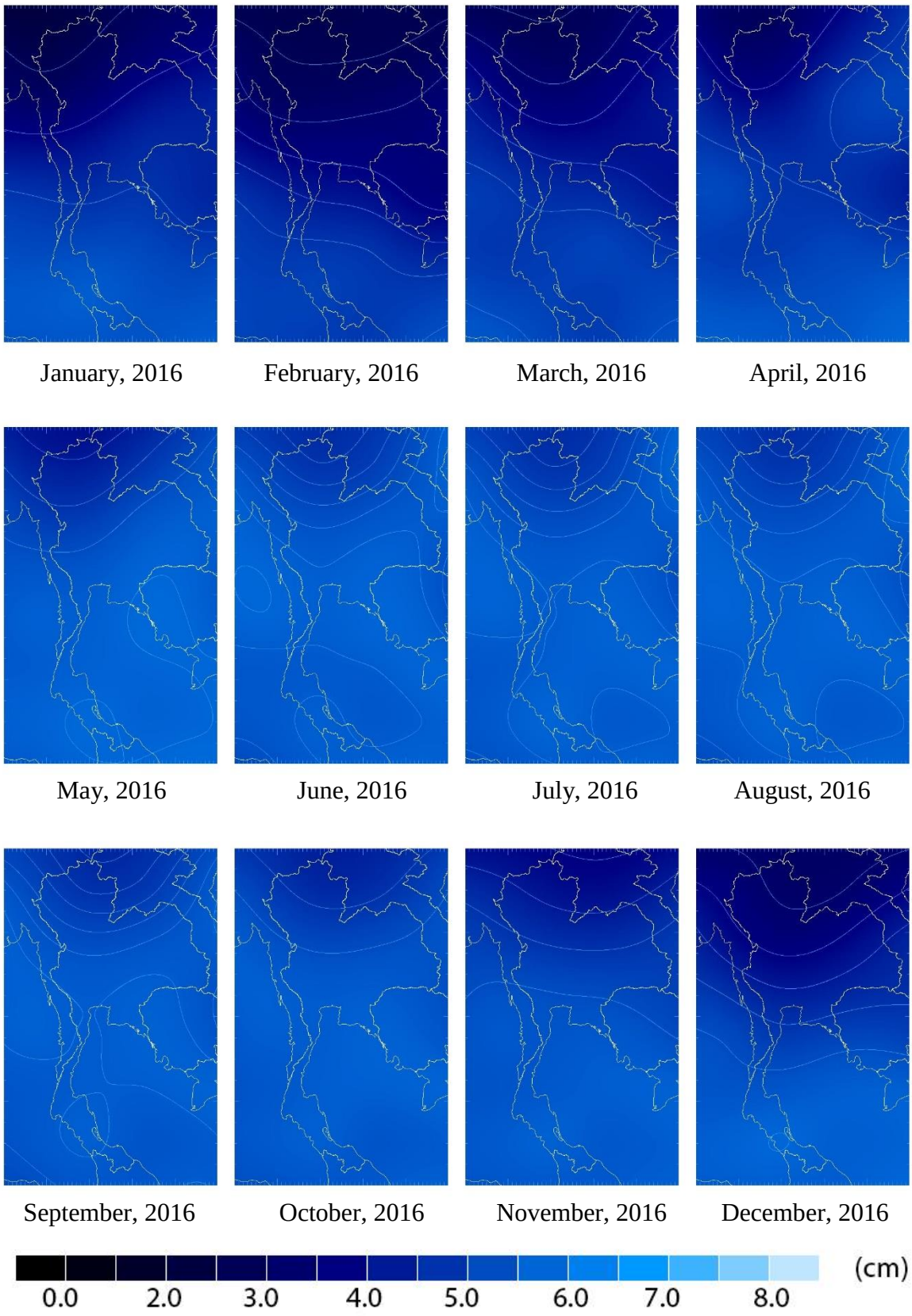
รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

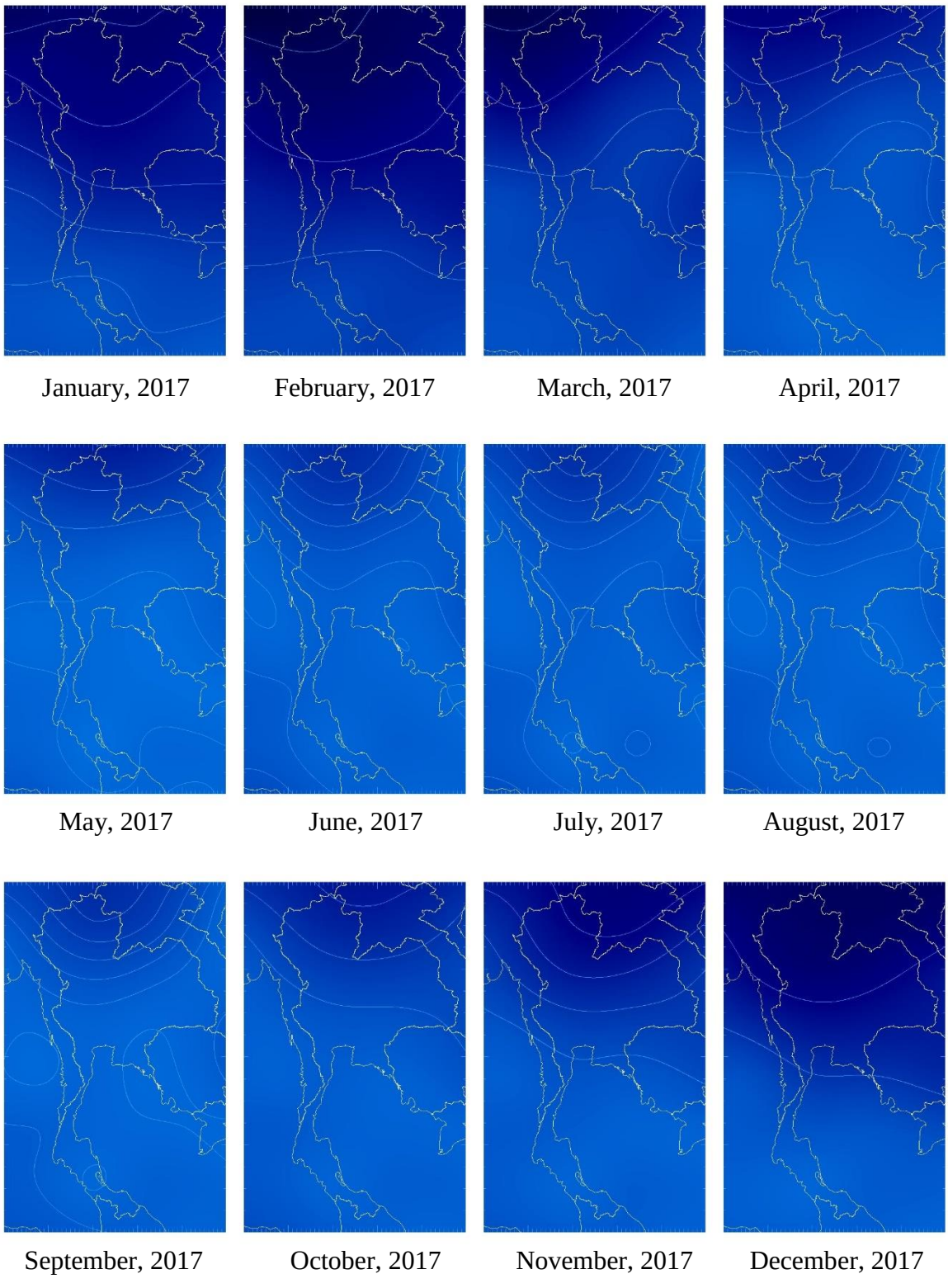
รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

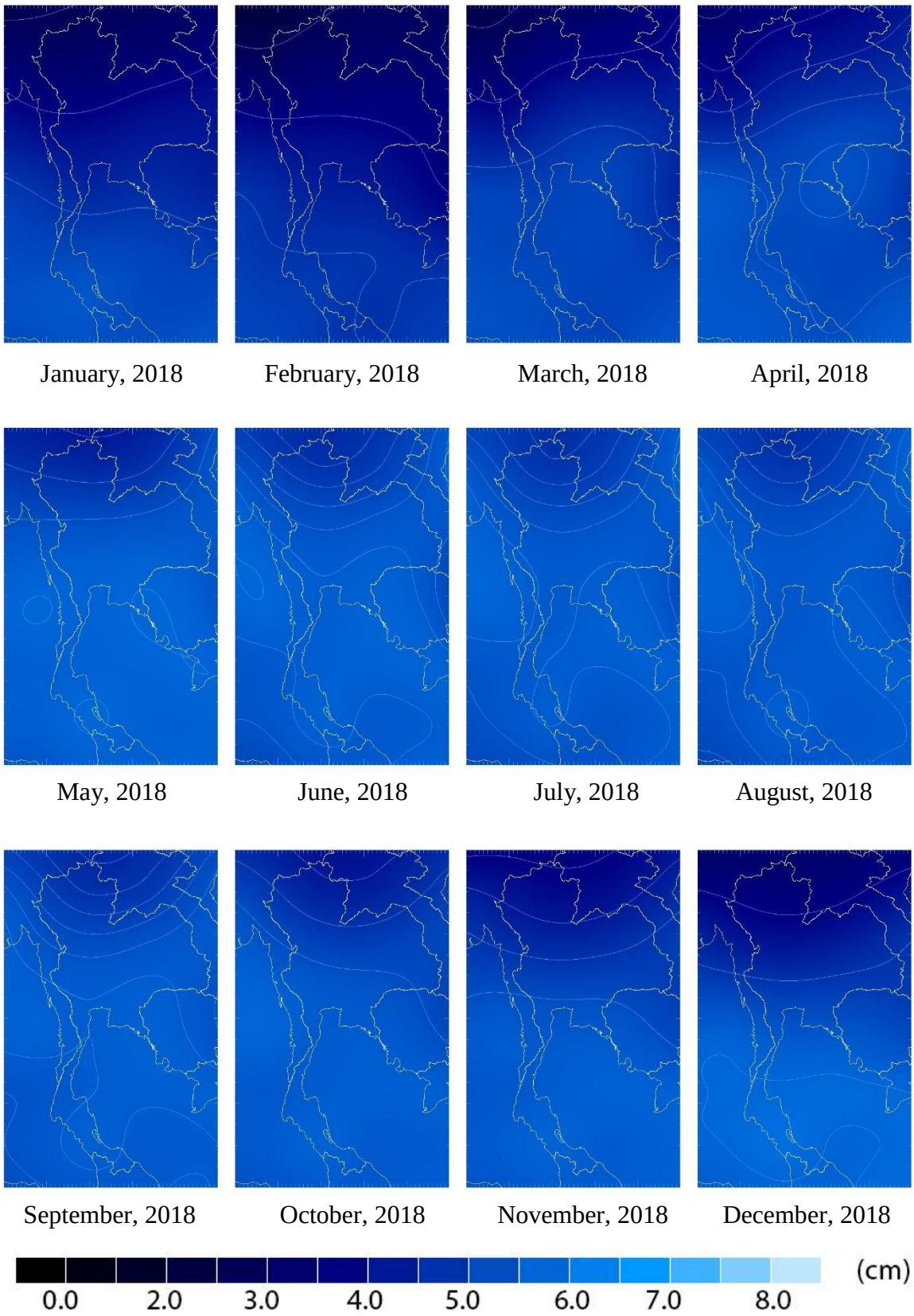
รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

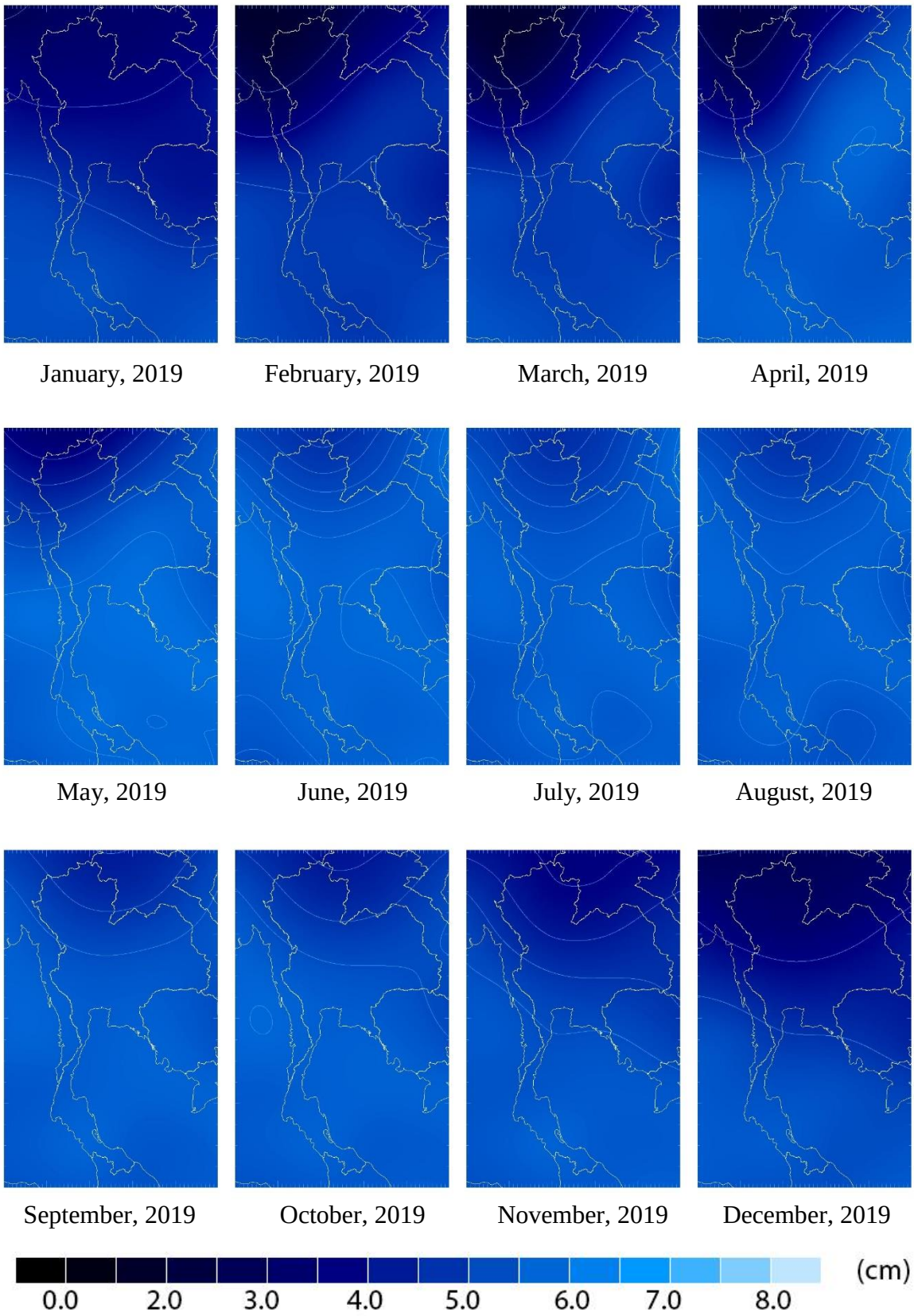
รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

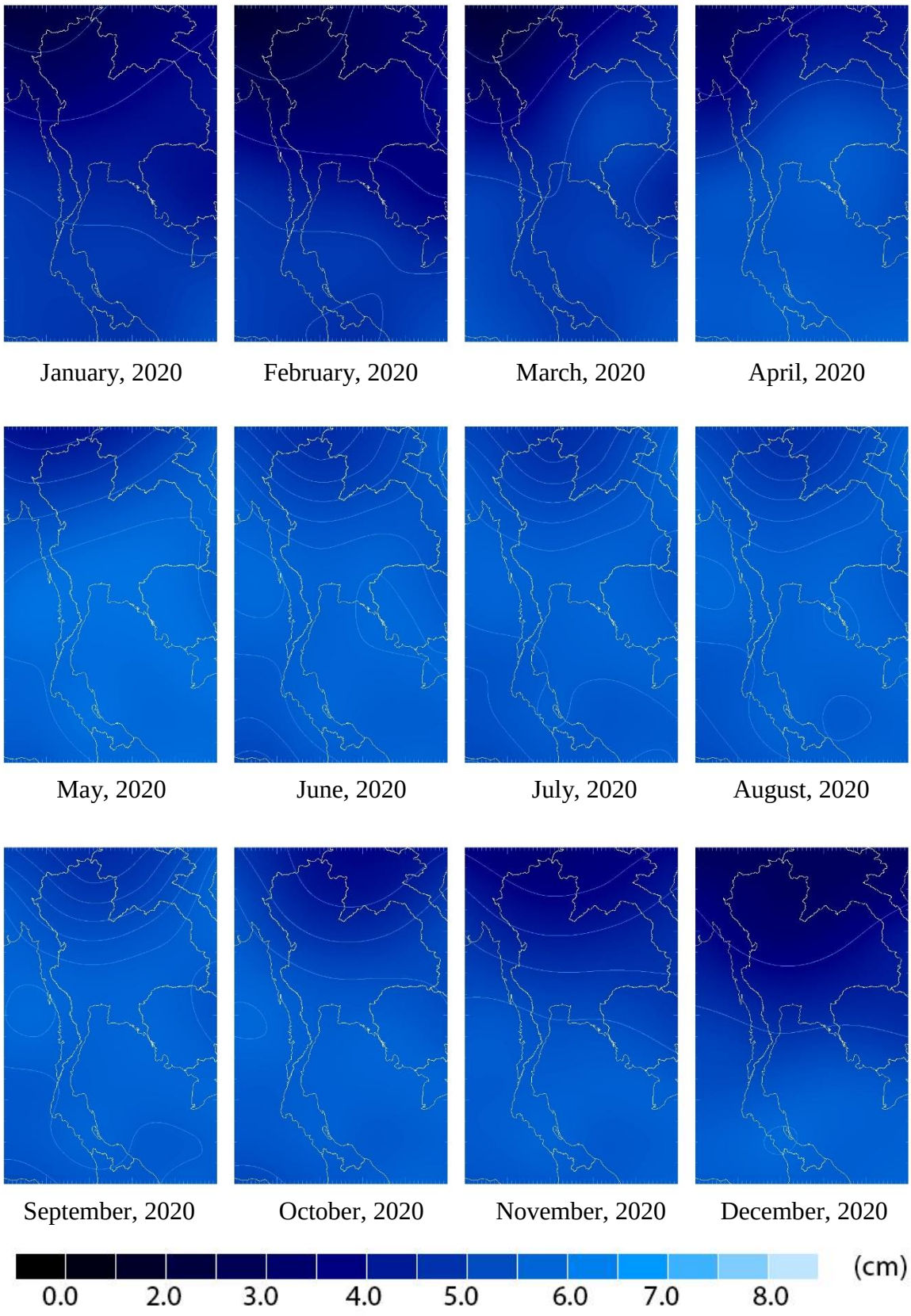
รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

รูปที่ 3.72 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
0.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
(cm)

รูปที่ 3.72 (ต่อ)

3.2.6 การประมวลผลข้อมูลทัศนวิสัย สำหรับหาผลของฝุ่นละอองที่มีต่อรังสีอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.2(6))

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถลดทอนความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นโลกได้ถึง 30% ดังนั้นข้อมูลฝุ่นละอองจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นโลก

ในทางฟิสิกส์เราสามารถคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองได้โดยใช้หลักการที่เมื่อแสงเดินทางผ่านฝุ่นละอองจะถูกฝุ่นละอองดูดกลืนและกระเจิง ทำให้แสงที่ผ่านฝุ่นละอองมีความเข้มลดลง การลดลงนี้จะขึ้นกับระยะทางที่แสงเดินทางผ่านและขึ้นกับความสามารถในการดูดกลืนและการกระเจิงแสงของฝุ่นละออง เราจะเรียกคุณสมบัติของฝุ่นละอองในการลดทอนแสงที่เคลื่อนที่ผ่านซึ่งเป็นผลรวมของระยะทางและความสามารถในการลดทอนแสงว่า ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth, AOD) โดยค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองนี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมได้ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองสามารถวัดได้ด้วยเครื่องซันโฟโตมิเตอร์ แต่เนื่องจากเครื่องซันโฟโตมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงจึงทำให้จำนวนสถานีวัดมีจำนวนจำกัด

นอกจากการบอกปริมาณฝุ่นละอองในรูปของค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองแล้ว นักอุตุนิยมวิทยาได้มีการวัดค่าทัศนวิสัยซึ่งเป็นปริมาณที่บอกถึงความขุ่นมัวของบรรยากาศและสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองได้โดยนำมาคำนวณเป็นสัดส่วนการลดลงของปริมาณรังสีอาทิตย์ด้วยวิธีการของ Janjai et al. (2005) ดังสมการ

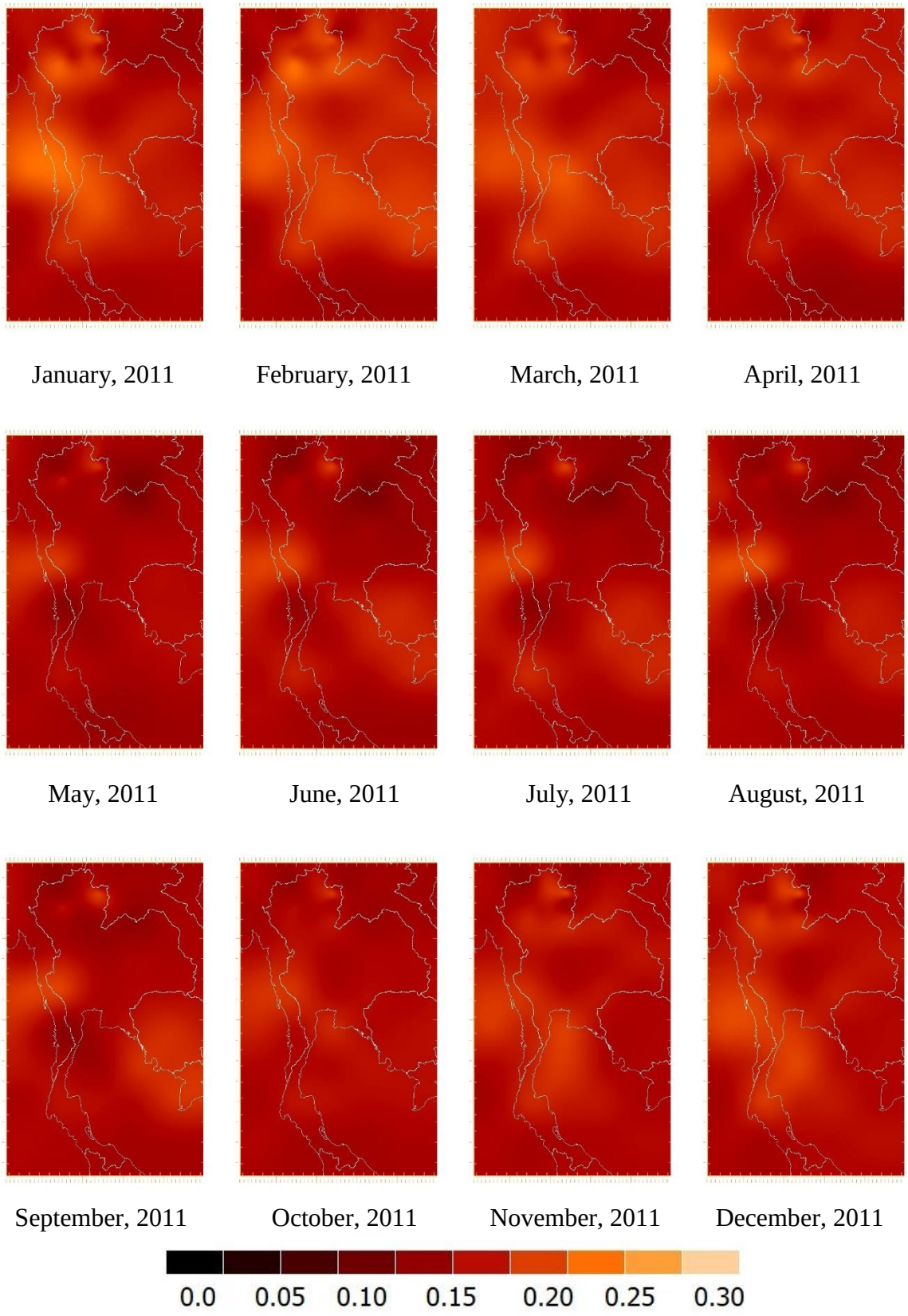
$$D_{aer} = 0.3631\text{-}0.0222VIS + 0.0003VIS^2 \qquad (3.11)$$

เมื่อ D_{aer} คือ สัดส่วนของการลดลงของปริมาณรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง (-)

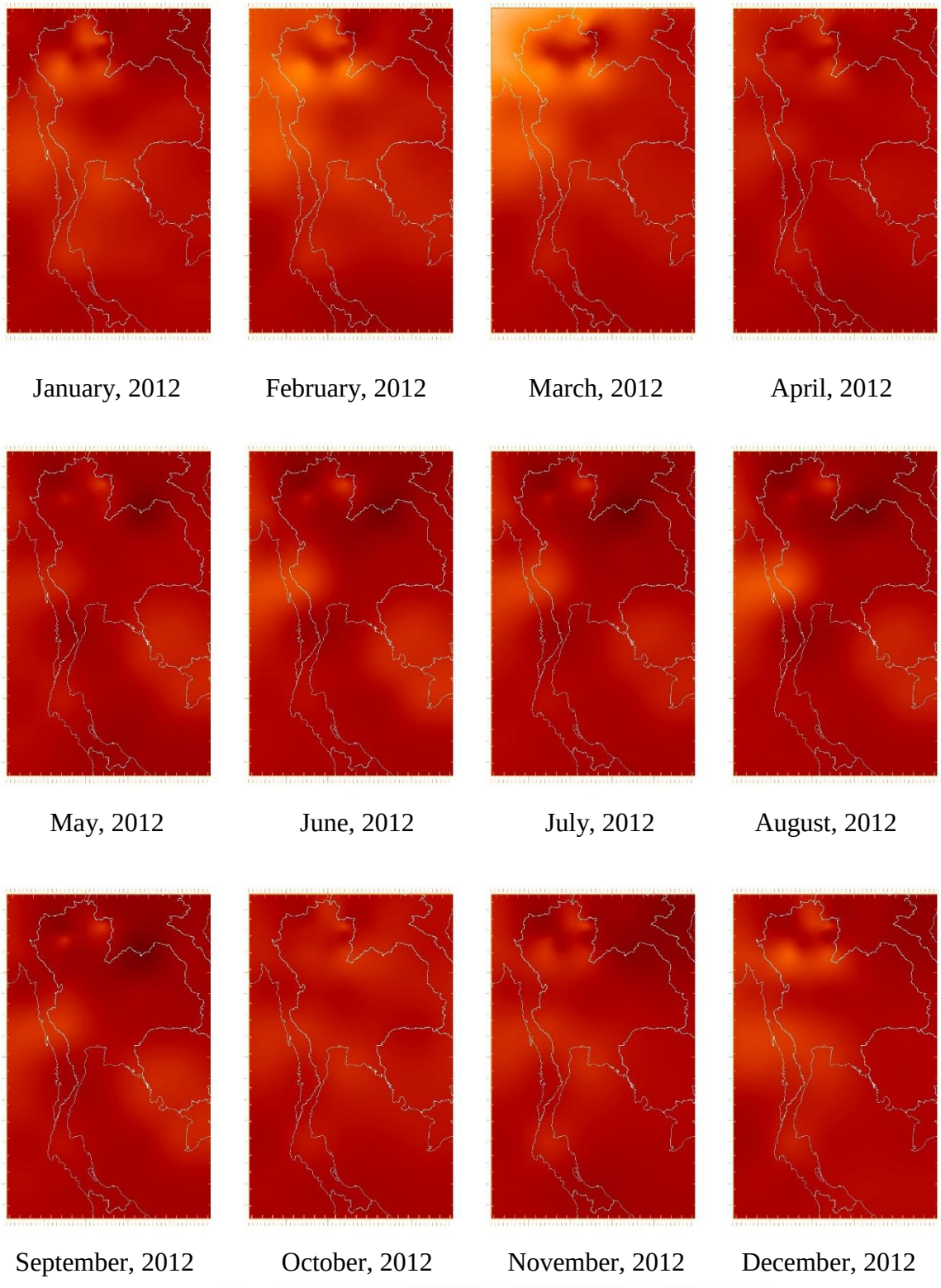
VIS คือ ค่าทัศนวิสัย (km)

จากสมการ (3.11) จะเห็นว่าถ้าทัศนวิสัยมีค่าสูงหมายถึงปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศมีค่าน้อยจะได้ค่าสัดส่วนการลดลงของปริมาณรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองต่ำ และถ้าทัศนวิสัยมีค่าต่ำนั่นคือฝุ่นละอองในบรรยากาศมีมากจะทำให้ได้ค่าสัดส่วนการลดลงของปริมาณรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองสูง

ในงานนี้ ผู้ดำเนินงานได้ใช้แบบจำลองดังกล่าวในการคำนวณหาสัดส่วนของการลดลงของปริมาณรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองสำหรับใช้เป็นข้อมูลอินพุทของการคำนวณปริมาณรังสีอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.73



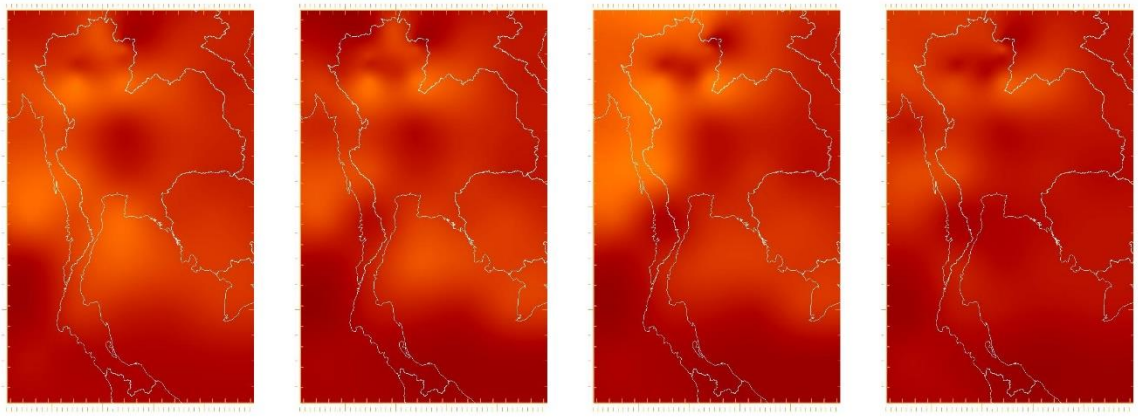
รูปที่ 3.73 ข้อมูลสัดส่วนของการลดลงของปริมาณรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
0.0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30

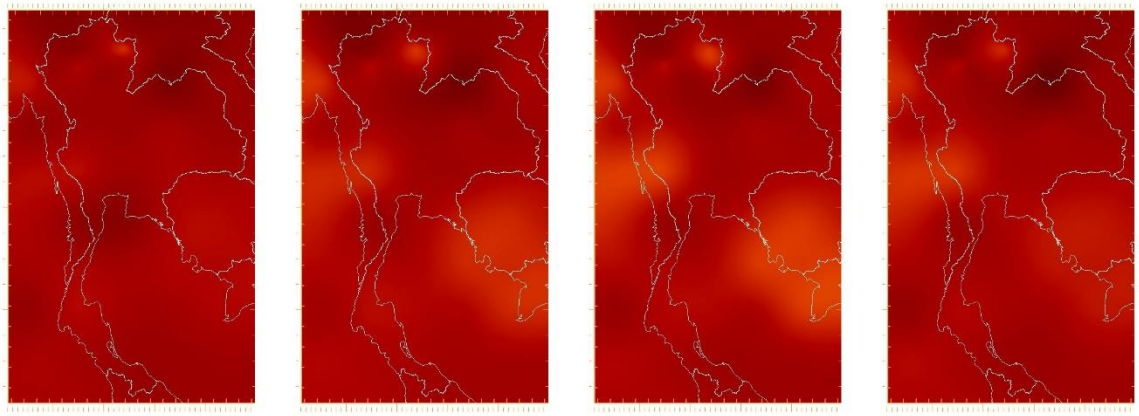
รูปที่ 3.73 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
0.0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30

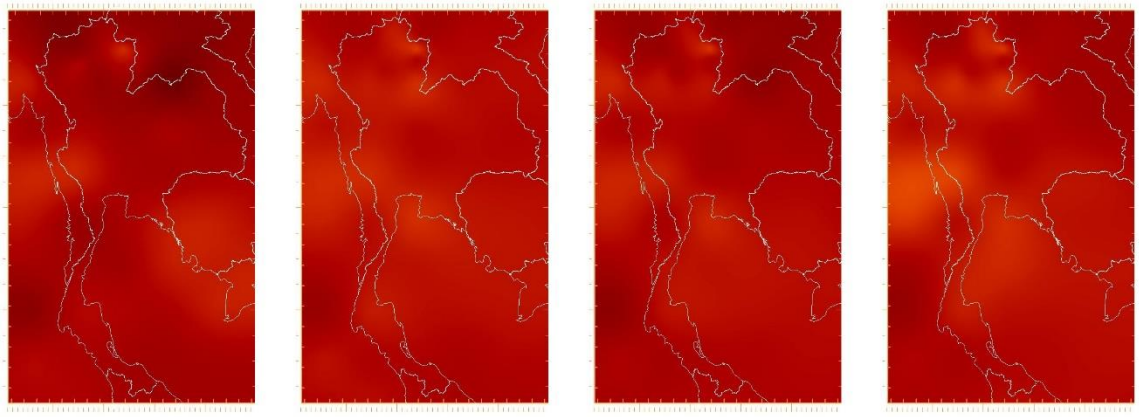
รูปที่ 3.73 (ต่อ)



January, 2014 February, 2014 March, 2014 April, 2014



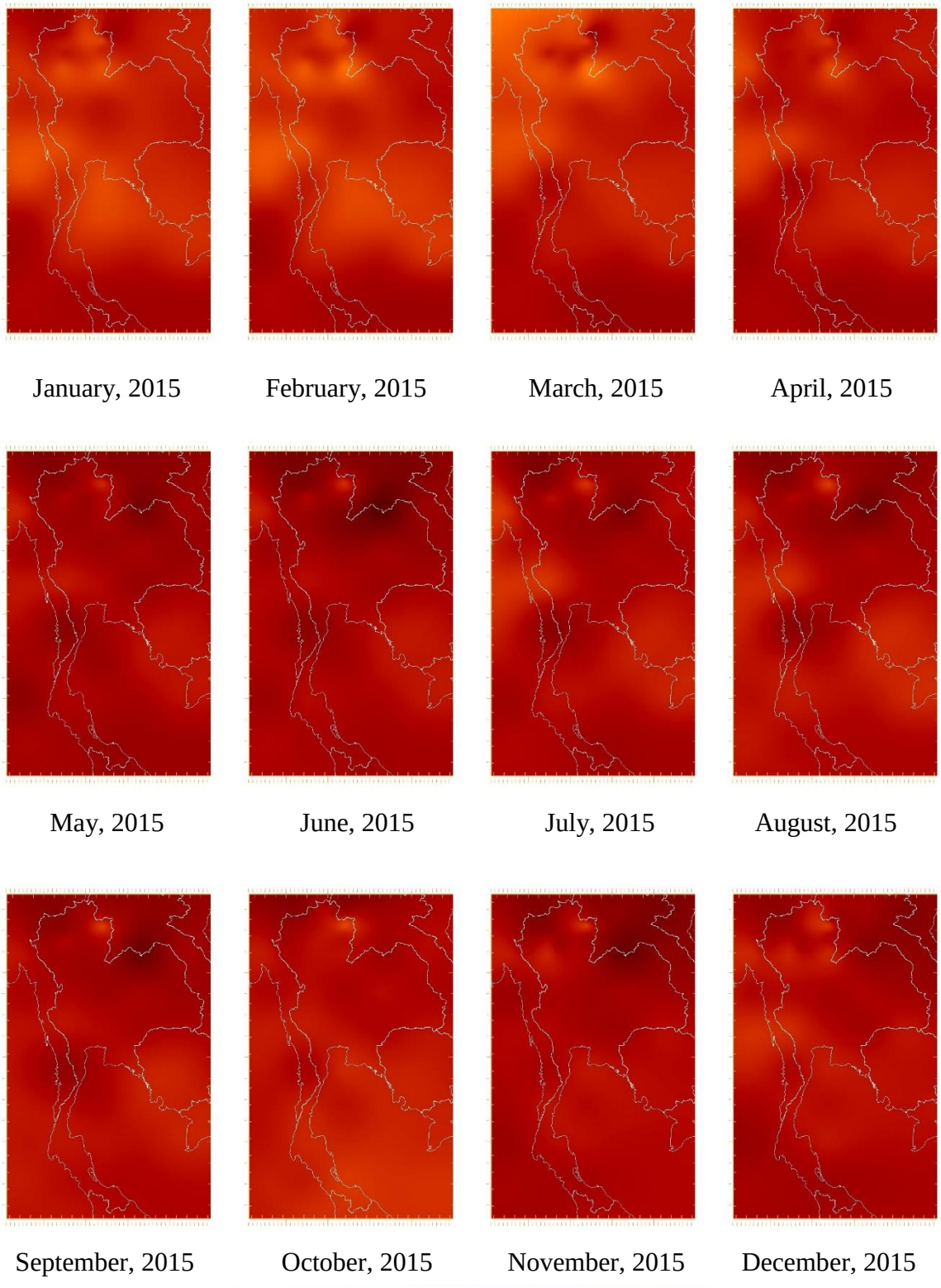
May, 2014 June, 2014 July, 2014 August, 2014



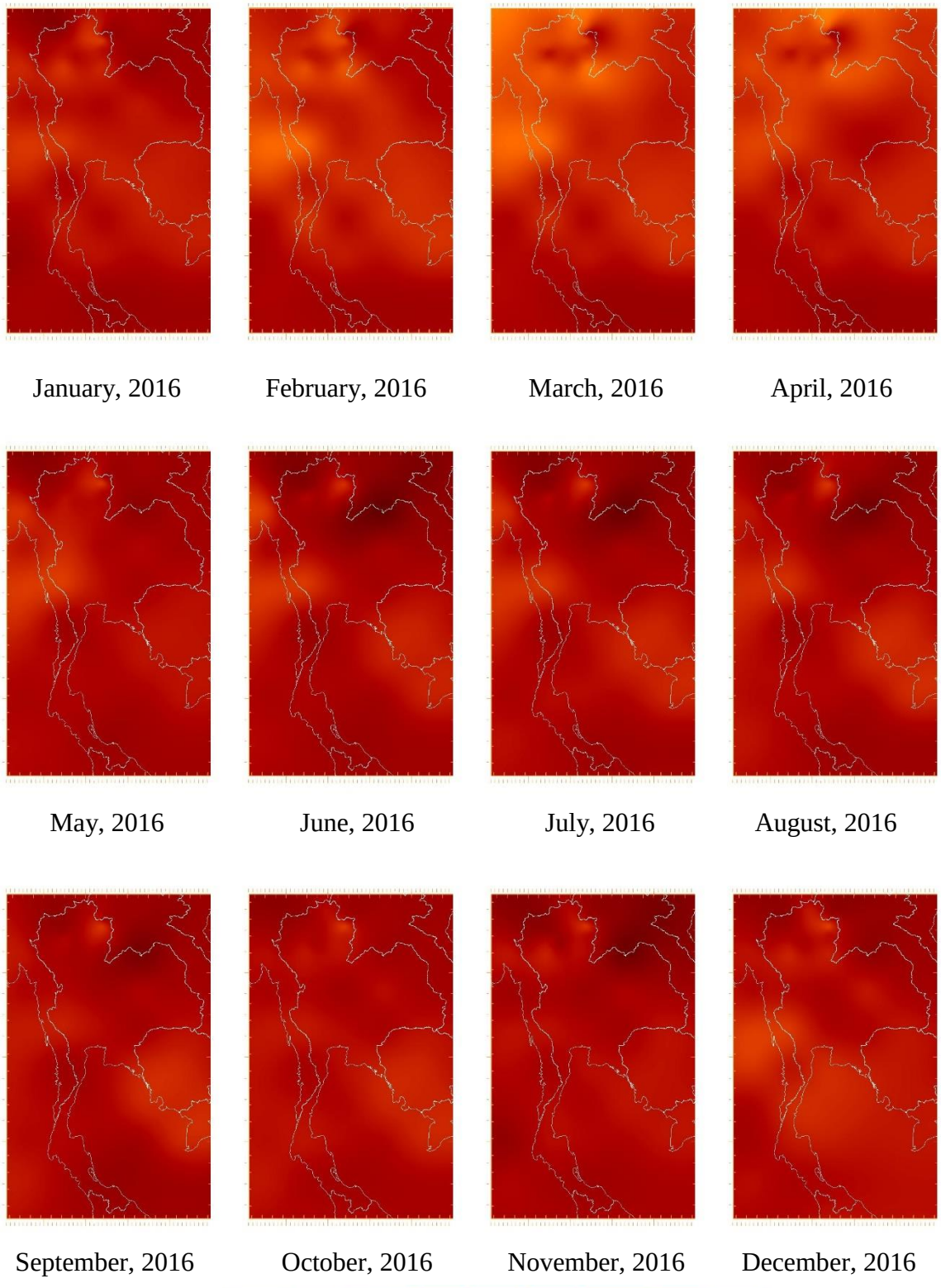
September, 2014 October, 2014 November, 2014 December, 2014



รูปที่ 3.73 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
0.0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30

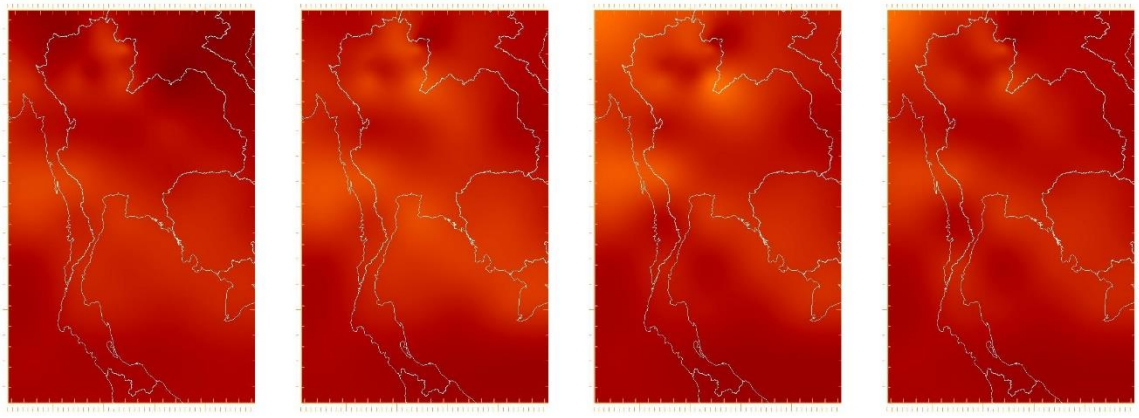
รูปที่ 3.73 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
0.0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30

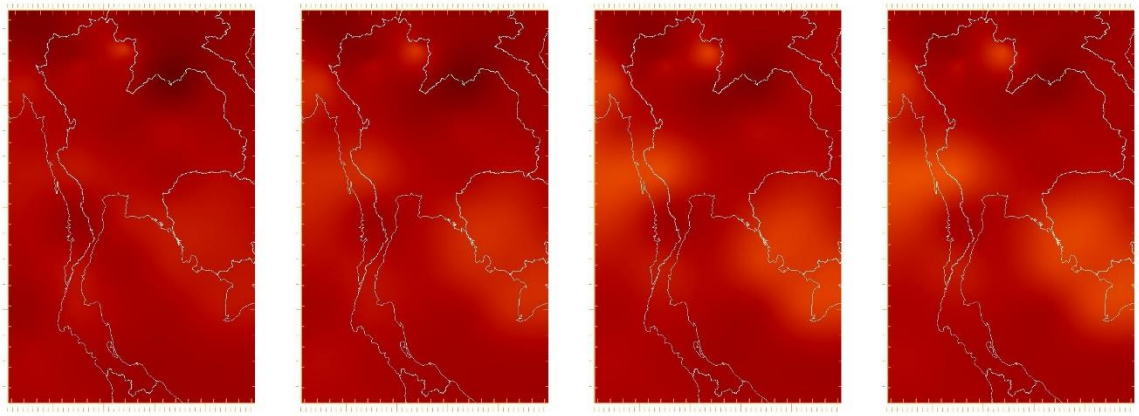
รูปที่ 3.73 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
0.0
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30

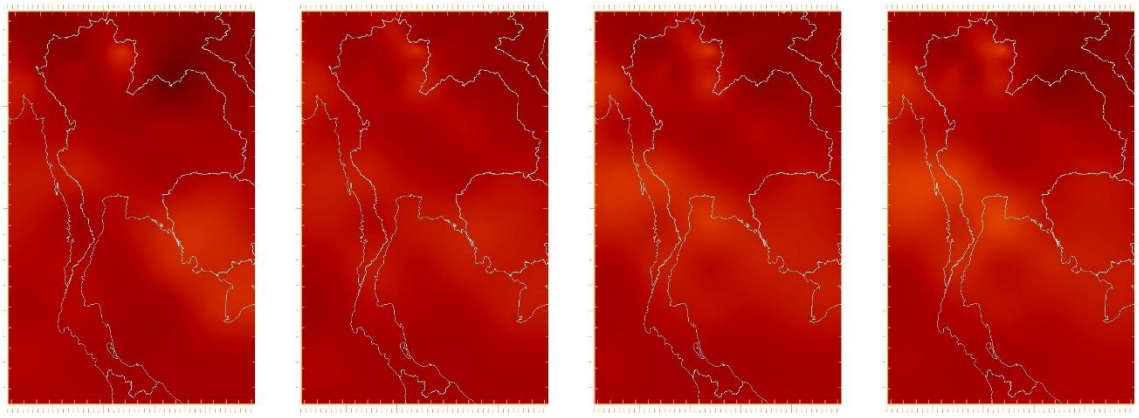
รูปที่ 3.73 (ต่อ)



January, 2018 February, 2018 March, 2018 April, 2018



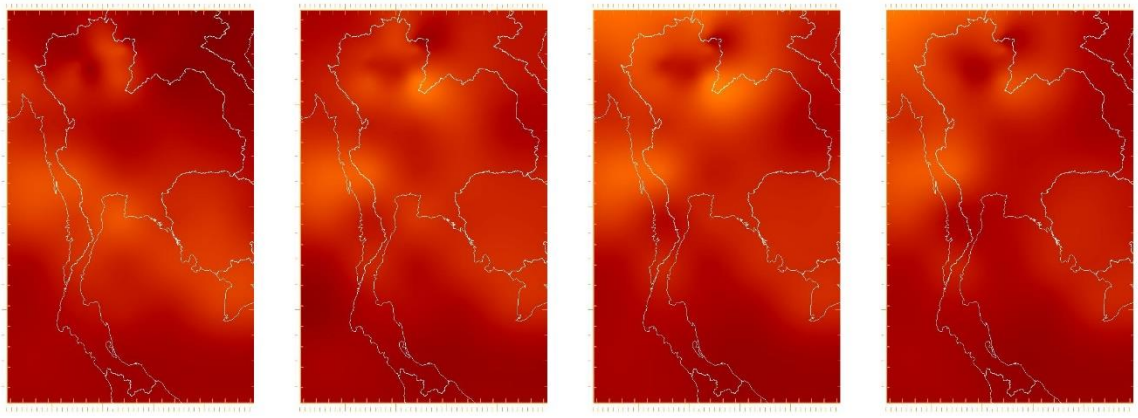
May, 2018 June, 2018 July, 2018 August, 2018



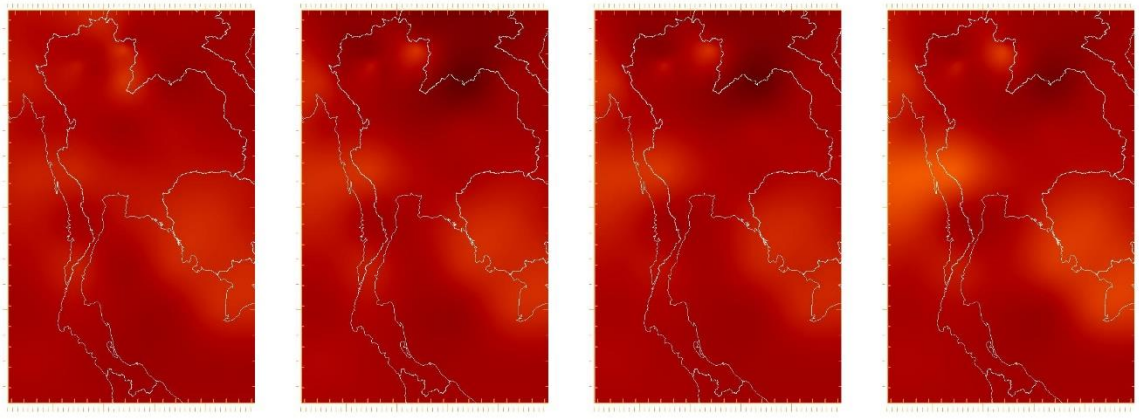
September, 2018 October, 2018 November, 2018 December, 2018



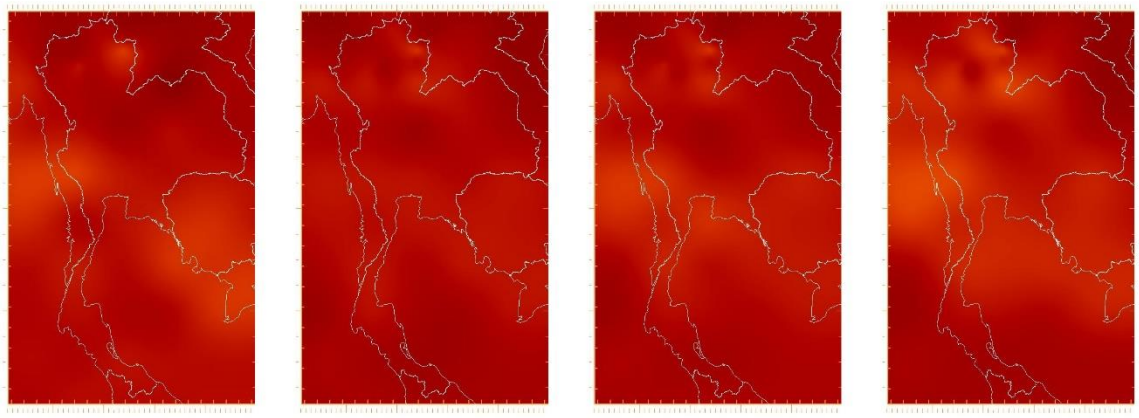
รูปที่ 3.73 (ต่อ)



January, 2019 February, 2019 March, 2019 April, 2019



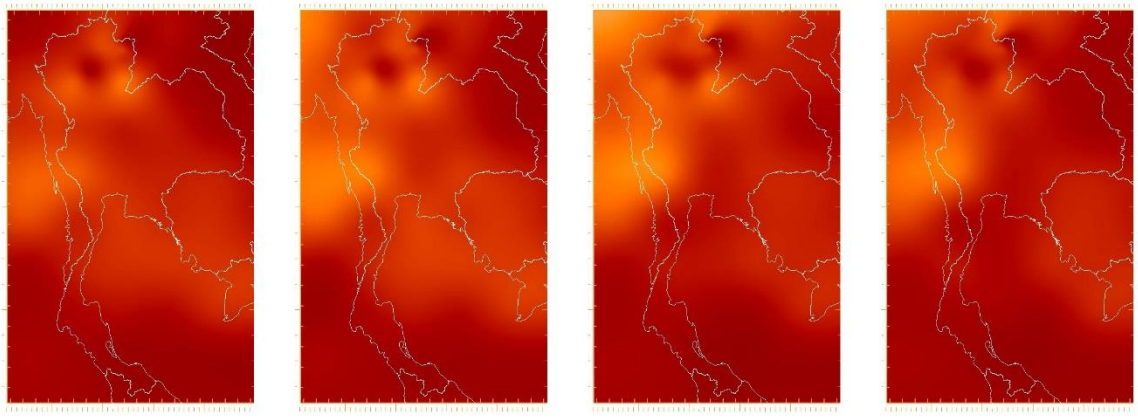
May, 2019 June, 2019 July, 2019 August, 2019



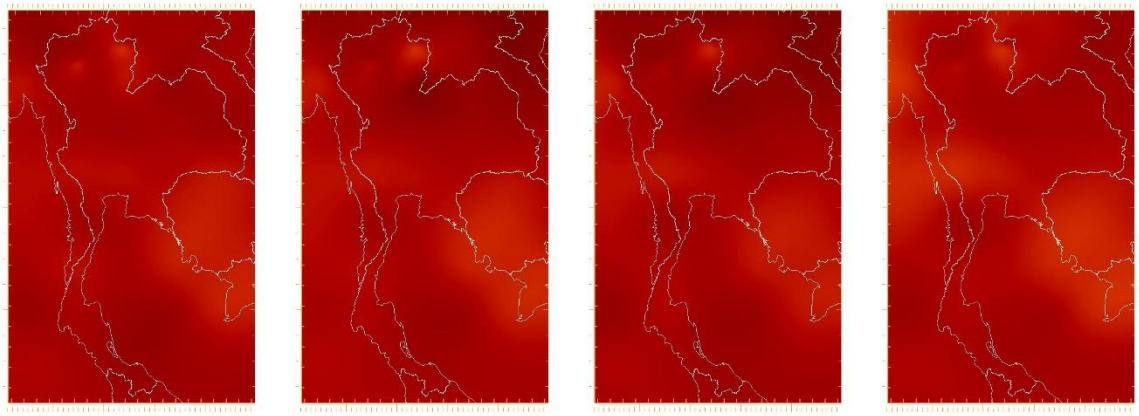
September, 2019 October, 2019 November, 2019 December, 2019



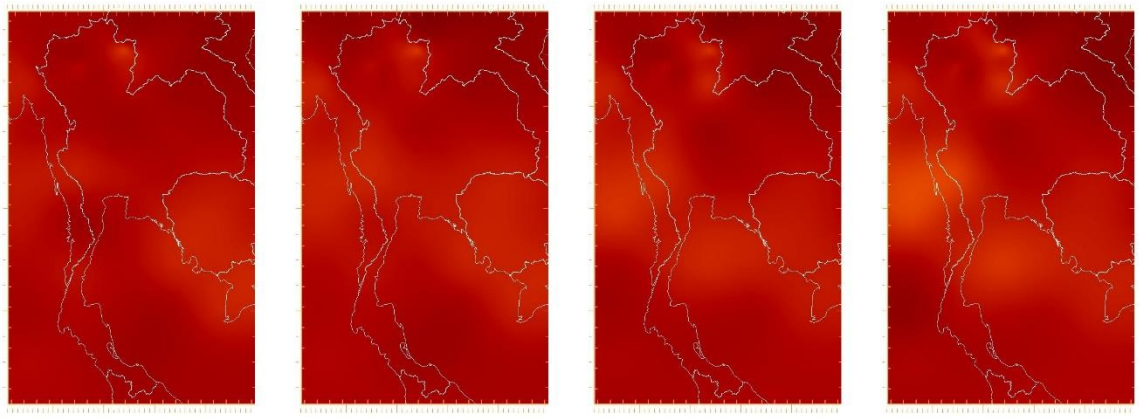
รูปที่ 3.73 (ต่อ)



January, 2020 February, 2020 March, 2020 April, 2020



May, 2020 June, 2020 July, 2020 August, 2020



September, 2020 October, 2020 November, 2020 December, 2020



รูปที่ 3.73 (ต่อ)

3.3 งานซ่อมบำรุง ตรวจสอบการทำงานอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบในการจัดเก็บข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ให้พร้อมในการใช้งานและสอบเทียบหัววัดรังสีอาทิตย์เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในกระบวนการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (TOR ข้อ 5.3)

3.3.1 การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ เมื่อตรวจสอบพบว่ามีสภาพไม่พร้อมต่อการทำงานให้ดำเนินการเปลี่ยนหรือซ่อมบำรุงอุปกรณ์ของสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ครบถ้วนสำหรับใช้ในโครงการ (TOR ข้อ 5.3(1))

เนื่องจากเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ใช้งานอย่างต่อเนื่องมาแล้วมากกว่า 17 ปี ทำให้อุปกรณ์บางส่วนอาจชำรุดหรือเสื่อมสภาพ ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงได้เดินทางไปตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์และอุปกรณ์ส่งข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งในการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะประกอบด้วย การตรวจสอบการทำงานของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (pyranometer) เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ระบบสำรองไฟแบตเตอรี่ รวมถึงสภาพแวดล้อมรอบ ๆ เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ ตัวอย่างรายการตรวจสอบเป็นไปตามแบบฟอร์มที่ได้จัดทำขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.74

-1-

แบบตรวจเช็คการทำงานของสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์

สถานี: อุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี IP : 192.168.200.119

รายละเอียดการตรวจเช็คอุปกรณ์ต่างๆ การทำงานของอุปกรณ์ และสภาพแวดล้อมของสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ มีดังนี้

1. เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer)

ลำดับที่	รายการ
1.1	- เสาที่ติดตั้งเครื่องวัดอยู่ในสภาพสมบูรณ์ ☑ สมบูรณ์ ☐ ไม่สมบูรณ์ เนื่องจาก ..... วิธีการแก้ไข .....
1.2	- โดมแก้วสะอาด ไม่มีน้ำเกาะภายใน ☐ ใช่ ☑ ไม่ใช่ เนื่องจาก โดมแก้วมีฝนน้ำและฝุ่นเกาะ วิธีการแก้ไข ทำความสะอาดโดมแก้วด้วยทิชชู่แอลกอฮอล์เช็ด
1.3	- เช็คและตั้งระดับน้ำ ☐ เรียบร้อย ☑ ไม่เรียบร้อย เนื่องจาก ระดับตาน้ำเอียง วิธีการแก้ไข ทำการตั้งระดับตาน้ำใหม่
1.4	- การเปลี่ยนสีของสารดูดความชื้นและเปลี่ยนสารดูดความชื้น ☑ สารดูดความชื้นเปลี่ยนสีและเปลี่ยนสารดูดความชื้นเรียบร้อย ☐ สารดูดความชื้นเปลี่ยนสีแต่ไม่ได้เปลี่ยนสารดูดความชื้น เนื่องจาก ..... ☐ สารดูดความชื้นเปลี่ยนสีและไม่ได้เปลี่ยนสารดูดความชื้น
1.5	- ขั้วต่อสายสัญญาณและสภาพสัญญาณอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ☑ ใช่ ☐ ไม่ใช่ เนื่องจาก ..... วิธีการแก้ไข .....
1.6	- ท่อร้อยสายต้องไม่หลุดหรือชำรุด ☑ ใช่ ☐ ไม่ใช่ เนื่องจาก ..... วิธีการแก้ไข .....
1.7	- ทำความสะอาดฝาครอบสีขาว ☐ เรียบร้อย ☑ ไม่เรียบร้อย เนื่องจาก มีฝุ่นเกาะ วิธีการแก้ไข ทำความสะอาดฝาครอบสีขาวด้วยทิชชู่แอลกอฮอล์

รูปที่ 3.74 แบบฟอร์มตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์

2. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

ลำดับที่	รายการ
2.1	- เครื่องบันทึกข้อมูลแสดงสถานะ ON ☑ ใช่ เครื่องบันทึกข้อมูลทำงานปกติ แต่ขึ้น Error E692 ☐ ไม่ใช่
2.2	- ตรวจสอบการทำงานของ tosibox ☑ มีไฟแสดงสถานะขึ้น ☐ ไม่มีไฟแสดงสถานะ วิธีการแก้ไข .....
2.3	- เช็คระบบอินเตอร์เน็ตผ่าน sim card/wifi ☑ เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตได้ ☐ เชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตไม่ได้ วิธีการแก้ไข .....
2.4	- เช็คการรับส่งข้อมูลระหว่าง data logger กับ tosibox ☑ รับส่งข้อมูลปกติ ☐ ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ วิธีการแก้ไข .....
2.5	- เช็คการรับส่งข้อมูลระหว่าง tosibox กับ data server ☑ รับส่งข้อมูลปกติ ☐ ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ วิธีการแก้ไข .....
2.6	- ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง data logger กับ data server ☑ รับส่งข้อมูลปกติ ☐ ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ วิธีการแก้ไข .....
2.7	- เช็คค่าสัญญาณไฟฟ้าว่าอยู่ในย่านการวัดของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (0 – 20 mV) ☑ เรียบร้อย ☐ ไม่เรียบร้อย เนื่องจาก ..... วิธีการแก้ไข .....
2.8	- เช็คความถูกต้องของเวลาที่เครื่อง ☑ เรียบร้อย ☐ ไม่เรียบร้อย เนื่องจาก ..... วิธีการแก้ไข .....

หมายเหตุ 1. หากพบว่าเครื่องบันทึกข้อมูลชำรุดหรือไม่ทำงาน ต้องทำการแจ้งเพื่อเปลี่ยนเครื่องใหม่

2. หากพบว่าเครื่องบันทึกข้อมูลไม่ทำการส่งข้อมูล ต้องทำการรีเซตเครื่องและตั้งค่าใหม่

รูปที่ 3.74 (ต่อ)

3. แบตเตอรี่ (Battery)

ลำดับที่	รายการ
3.1	- ระดับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ (power supply) ☑ แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 13.5 V ☐ แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 135 V วิธีการแก้ไข .....
3.2	- เช็คระดับแรงดันไฟฟ้าขณะที่มี load (ถอดไฟเลี้ยงออกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและวัดแรงดันไฟฟ้า) ☑ แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 12 V ☐ แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 12 V วิธีการแก้ไข .....
3.3	- เช็คขั้วแบตเตอรี่ (ไม่หลวมและไม่มีขี้เกลือที่ขั้ว) ☑ เรียบร้อย ☐ ไม่เรียบร้อย วิธีการแก้ไข .....
3.4	- เช็คของเหลวในแบตเตอรี่ ☑ ไม่มีของเหลวรั่วออกมา ☐ มีของเหลวรั่วออกมา วิธีการแก้ไข .....

4. สภาพแวดล้อม (surrounding landscape)

ลำดับที่	รายการ
4.1	- สิ่งกีดขวางตามแนวระดับในทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก ☐ ไม่มี ☑ มี รายละเอียด ทางทิศเหนือ มีเนอเรสการ์ตั้งอยู่ และทางทิศใต้มีหลังคาของอาคารสถานีอุตุ ซึ่งอยู่ห่างไกลจึงไม่ส่งผลต่อการรบกวนสัญญาณของเครื่องวัด ส่วนทางด้านทิศตะวันออก และตะวันตก ไม่มีสิ่งกีดขวางอยู่เลย
4.2	- ระบุสภาพต้นไม้ อาคารสูง เสาสัญญาณ และสิ่งกีดขวางอื่นๆ โดยรอบเสาที่ติดตั้งเครื่องวัด ทางทิศเหนือ มีเนอเรสการ์ตั้งอยู่ และทางทิศใต้มีหลังคาของอาคารสถานีอุตุ ส่วนทางทิศตะวันออกและตะวันตกไม่มีสิ่งกีดขวาง

ลงชื่อ ปิยะยาสร บุริน ผู้ตรวจเช็ค
(นางสาวปิยะยาสร บุริน)
วันที่ 3 ก.พ. 2565

รูปที่ 3.74 (ต่อ)

ผู้ดำเนินงานได้ทำการตรวจสอบอุปกรณ์และการทำงานของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ตามสถานีต่าง ๆ ในการดูแลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และหากพบอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานะไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติก็จะทำการซ่อมแซมให้สามารถใช้งานได้ปกติ โดยตัวอย่างการตรวจสอบและการซ่อมบำรุงมีดังต่อไปนี้

1) การซ่อมบำรุงเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยทำการเปลี่ยนสารดูดความชื้น ทำความสะอาดโดมแก้วและส่วนประกอบภายนอก



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.75 (ก) โดมแก้วของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ที่มีหยดน้ำ ตะไคร่ และฝุ่นเกาะก่อนการทำความสะอาด (ข) การทำความสะอาดโดมแก้วและส่วนประกอบภายนอก และ (ค) สภาพโดมแก้วหลังการทำความสะอาด



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.76 การตรวจสอบและตั้งระดับน้ำ (spirit level) ของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (ก) ก่อนตั้งระดับน้ำ (ข) การตั้งระดับน้ำ และ (ค) หลังตั้งระดับน้ำ



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.77 การตรวจสอบสารดูดความชื้น (desiccant) (ก) สารดูดความชื้นที่มีสีเปลี่ยนไป (ข) การเปลี่ยนสารดูดความชื้น และ (ค) สารดูดความชื้นที่เปลี่ยนแล้ว

2) การตรวจสอบสายสัญญาณของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ พร้อมทั้งซ่อมบำรุงจุดเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างหัววัดกับสายสัญญาณ โดยพบว่าทุกสถานีไม่มีการชำรุดและติดตั้งอยู่ในท่อ PVC เป็นอย่างดี



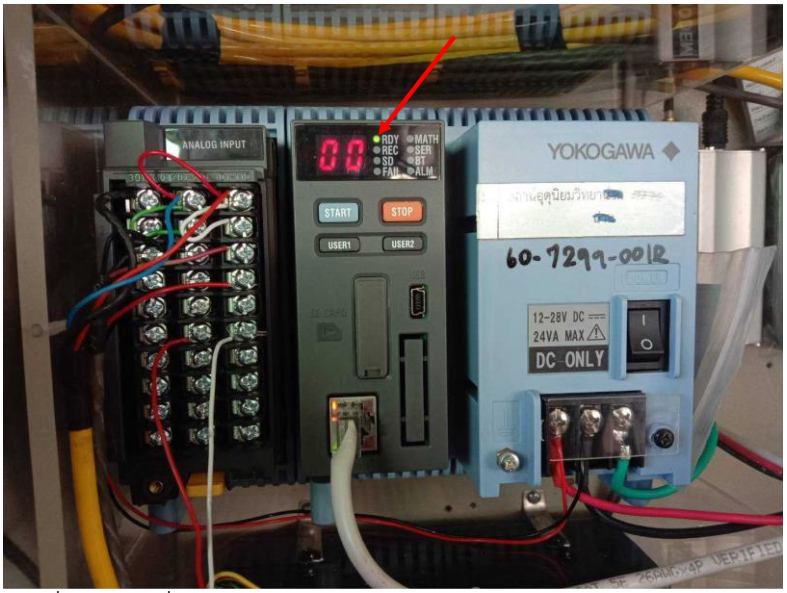
(ก) (ข)

รูปที่ 3.78 (ก) ขั้วต่อสายสัญญาณ และ (ข) ขั้วต่อสายสัญญาณที่อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน



รูปที่ 3.79 เสาและท่อร้อยสายสัญญาณอยู่ในสภาพปกติ ไม่มีการชำรุดหรือหลุดไป

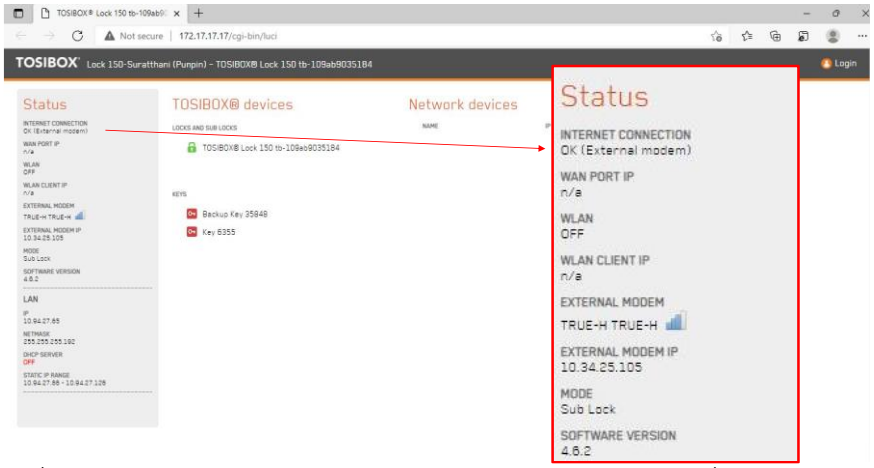
3) การตรวจสอบอุปกรณ์รับส่งข้อมูล ระบบอินเทอร์เน็ต และค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดรังสีอาทิตย์



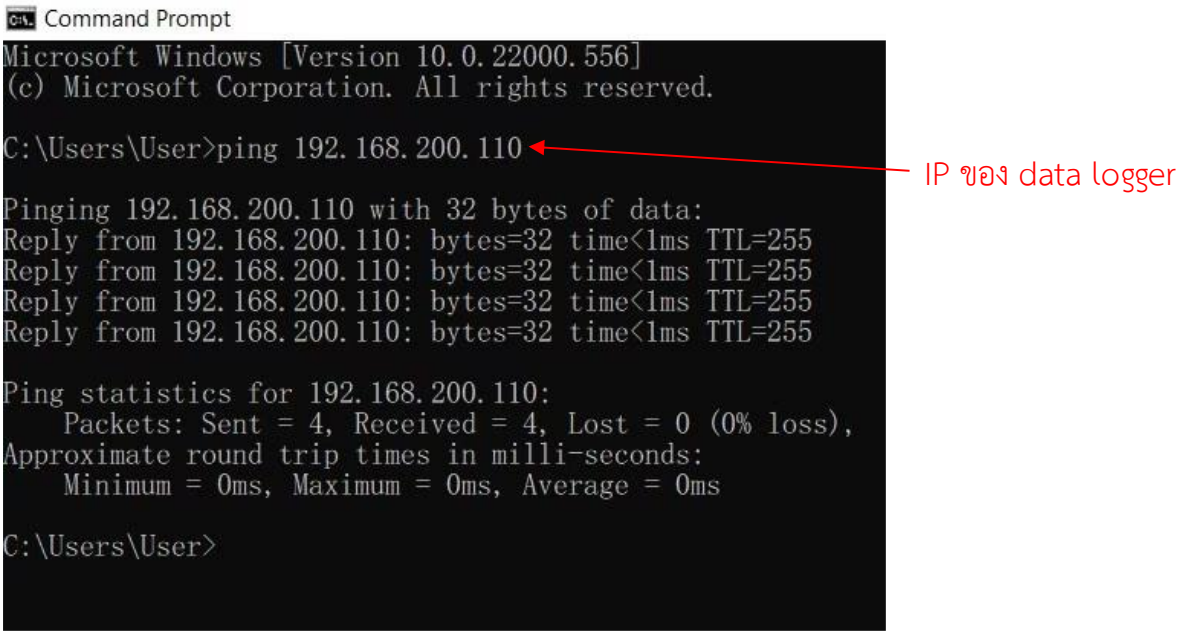
รูปที่ 3.80 เครื่องบันทึกข้อมูลอยู่ในสถานะปกติ โดยจะแสดงไฟสีเขียว



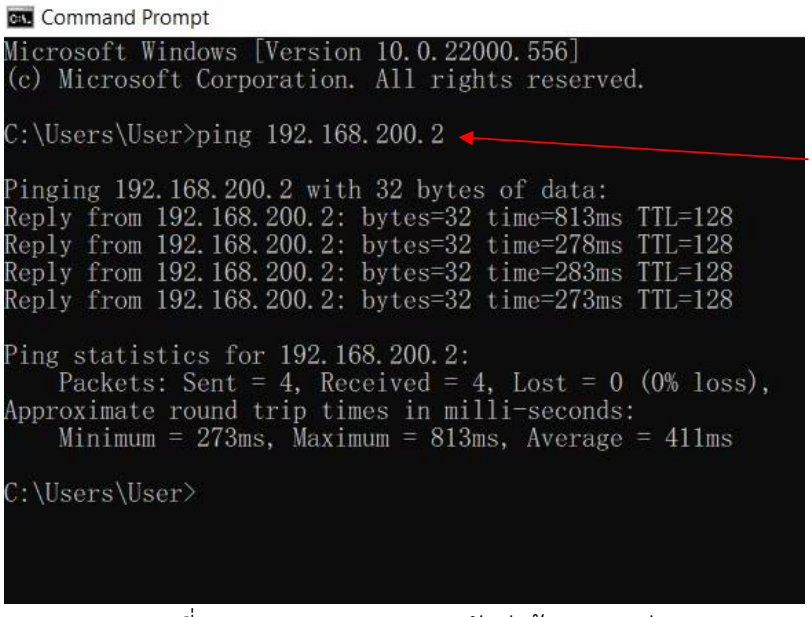
รูปที่ 3.81 การทำงานของ Tosibox สำหรับระบบส่งข้อมูลอยู่ในสถานะปกติ โดยจะแสดงไฟสีเขียว



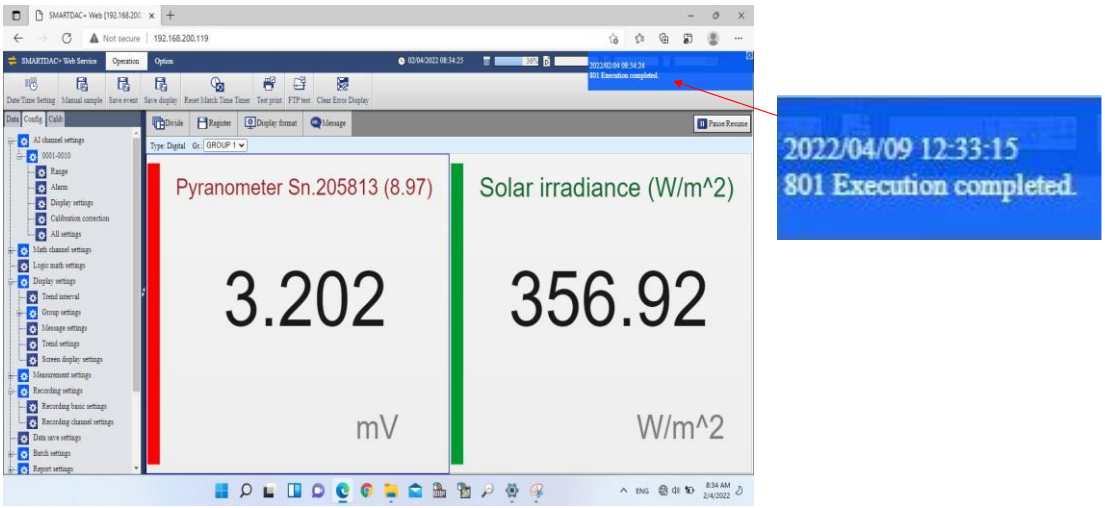
รูปที่ 3.82 การตรวจสอบระบบอินเทอร์เน็ตผ่าน sim card/wifi ซึ่งมีสถานะปกติ



รูปที่ 3.83 การตรวจสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง data logger และ tosibox



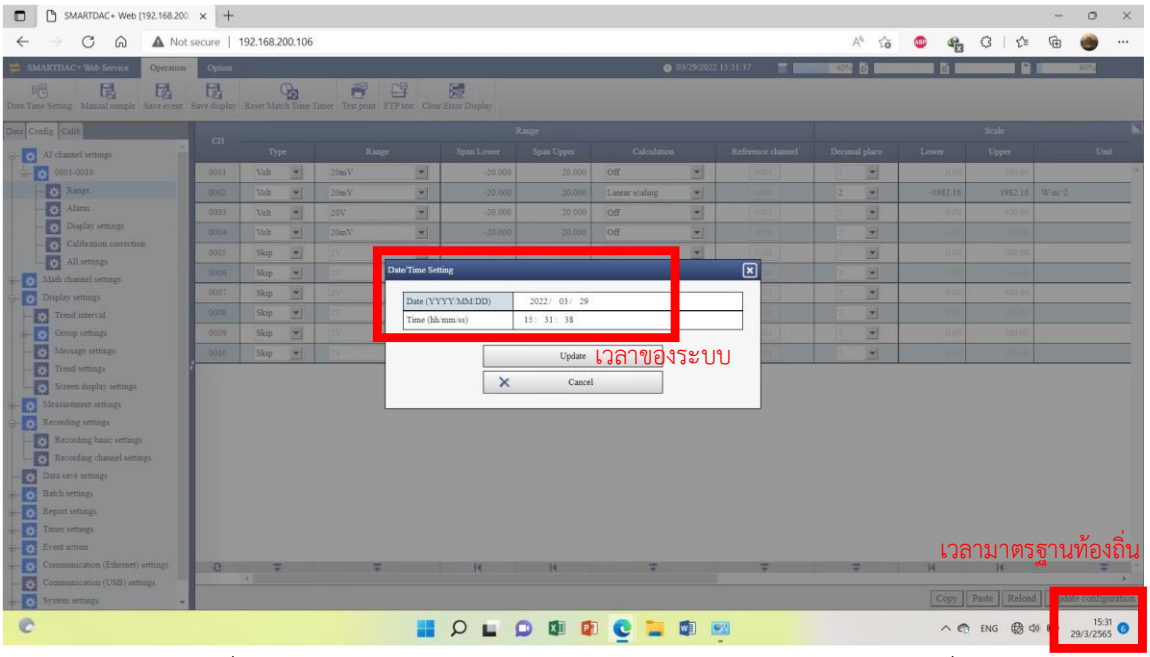
รูปที่ 3.84 การตรวจสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง tosibox และ server



รูปที่ 3.85 การตรวจสอบการรับส่งข้อมูลระหว่าง data logger และ server

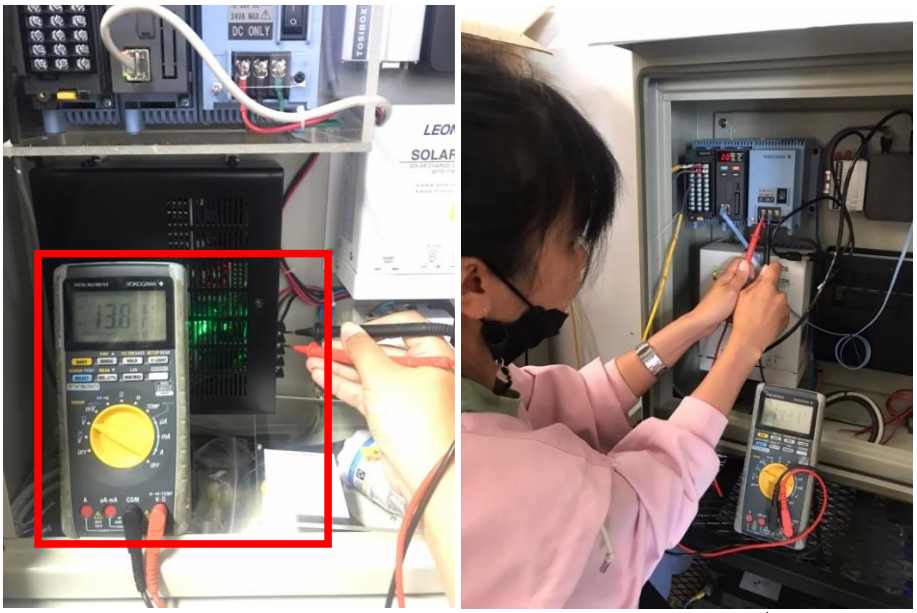


รูปที่ 3.86 การตรวจสอบค่าสัญญาณไฟฟ้าในย่านการวัดของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (0 - 20 mV)



รูปที่ 3.87 การตรวจสอบเวลาของระบบให้ตรงกับเวลามาตรฐานท้องถิ่น

4) การตรวจสอบอุปกรณ์สำรองไฟแบตเตอรี่ พบว่าระดับสัญญาณศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่สถานีวัดยังอยู่ในสถานะที่ใช้งานได้ อย่างไรก็ตามผู้ดำเนินงานได้ทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับสำรองไฟทุกสถานีเพื่อให้มีสมรรถนะในการทำงานที่ดีที่สุด ยกเว้นสถานีนครสวรรค์ สถานีลพบุรี และสถานีนราธิวาส ที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ดำเนินการปรับปรุงสถานีในระหว่างโครงการซึ่งเป็นแบตเตอรี่ใหม่



รูปที่ 3.88 การตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ (power supply) ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 13.5 V



รูปที่ 3.89 การตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะที่มี load โดยการถอดปลั๊กไฟเลี้ยงออกเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและวัดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 12 V



รูปที่ 3.90 การตรวจสอบขั้วแบตเตอรี่ซึ่งจะต้องไม่หลวมและไม่มีขี้เกลือที่ขั้ว

5) การตรวจสอบสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มีเพียงสถานีวัดรังสีอาทิตย์ที่ศูนย์บริการวิชาการที่ 7 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีต้นไม้ใหญ่อยู่ใกล้กับเครื่องวัดทำให้บดบังรังสีอาทิตย์ ผู้ดำเนินงานจึงได้ดำเนินการย้ายเครื่องวัดรังสีอาทิตย์จากบริเวณด้านหน้าอาคารไปติดตั้ง ณ ตำแหน่งด้านข้างที่อยู่ไกลออกไปและตัดต้นไม้สูงที่อยู่ใกล้กับอาคารสถานีวัดรังสีอาทิตย์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 3.91 และรูปที่ 3.92



รูปที่ 3.91 ต้นไม้ใหญ่อยู่ใกล้กับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ทำให้ไปบดบังรังสีอาทิตย์ที่สถานีเชียงใหม่ (ศูนย์บริการวิชาการที่ 7)

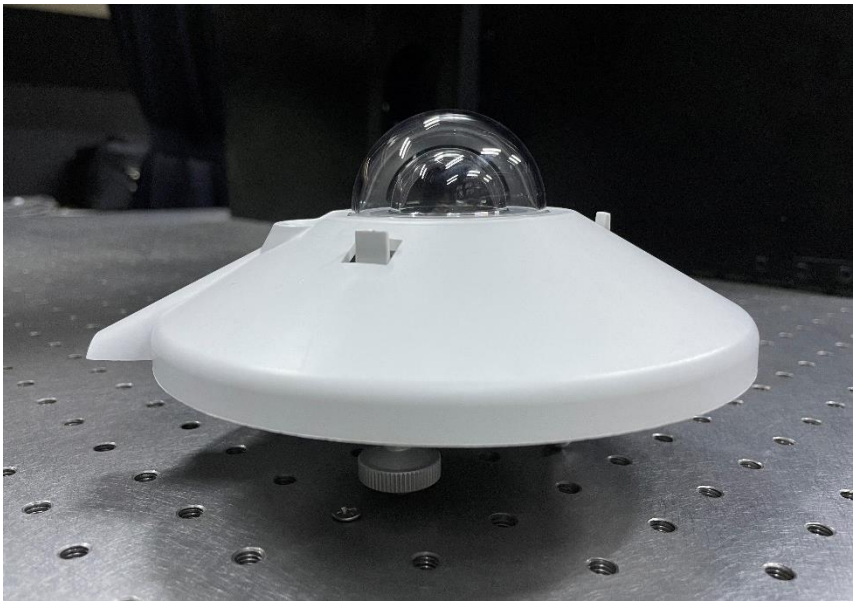


(ก) (ข)

รูปที่ 3.92 ตำแหน่งของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (ก) ก่อนย้ายตำแหน่ง และ (ข) หลังย้ายตำแหน่ง

3.3.2 การสอบเทียบหัววัดรังสีอาทิตย์ ณ สถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานสำหรับสถานีที่ไม่ได้มีการสอบเทียบมากกว่า 1 ปีขึ้นไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำสำหรับใช้ในโครงการ (TOR ข้อ 5.3(2))

เนื่องจากเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานต่อเนื่องกลางแจ้งเป็นเวลานานจะมีการเสื่อมสภาพ ซึ่งค่าการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ (sensitivity) ที่ใช้สำหรับแปลงศักย์ไฟฟ้าให้เป็นความเข้มรังสีอาทิตย์อาจเปลี่ยนไปจากเดิม ทำให้หลังจากใช้งานไปแล้วจะต้องทำการสอบเทียบเป็นระยะ ๆ โดยทั่วไปควรสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ปีละครั้ง ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงทำการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทั้ง 38 สถานี ทั่วประเทศ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ที่เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับนำมาใช้คำนวณปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อไป โดยผู้ดำเนินงานได้ใช้หัววัดรังสีอาทิตย์มาตรฐานในการสอบเทียบหัววัดรังสีอาทิตย์ โดยเลือกใช้หัววัดมาตรฐานรุ่น CMP11 ของบริษัท Kipp&Zonen จำนวน 3 หัว (Serial no. 130014 130016 และ 152218) ซึ่งเป็นหัววัดรังสีอาทิตย์มาตรฐานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ผ่านกระบวนการถ่ายทอดค่าการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานโลกที่องค์กร Physikalisch-Meteorologisches Observatorium, World Radiation Center (PMOD/WRC) เมือง Davos ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ลักษณะของหัววัดมาตรฐานแสดงในรูปที่ 3.93 และมีรายละเอียดคุณสมบัติตามตารางที่ 3.39



รูปที่ 3.93 หัววัดมาตรฐานรุ่น CMP11 ของบริษัท Kipp&Zonen ที่ใช้สำหรับการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ของเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 3.39 คุณสมบัติของหัววัดรังสีอาทิตย์ รุ่น CMP11 ของบริษัท Kipp&Zonen

คุณสมบัติ	
Spectral range	285 to 2800 nm
Sensitivity	7 to 14 μV/W/m²
Uncertainty	2.4 %
Response time	< 5 s
Zero offset A	< 7 W/m²
Zero offset B	< 2 W/m²
Directional error (at 80° with 1000 W/m² beam)	< 10 W/m²
Temperature dependence of sensitivity (-10 °C to +40 °C)	± 1 %
Operating temperature range	-40 °C to +80 °C
Maximum solar irradiance	4000 W/m²
Field of view	180°

ในการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์จะดำเนินการตามกระบวนการสอบเทียบมาตรฐานแบบภายนอกอาคาร ISO 9847:1992 (outdoor calibration) โดยผู้ดำเนินงานได้เดินทางไปตามสถานีต่าง ๆ ทั้ง 38 แห่ง ทั่วประเทศและทำการสอบเทียบหัววัดความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยมีกระบวนการสอบเทียบดังต่อไปนี้

เริ่มต้นทำการติดตั้งขาตั้งชั่วคราวโดยติดตั้งให้อยู่ใกล้กับเครื่องวัดของสถานีที่ต้องการสอบเทียบและอยู่ในระดับความสูงเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.94 จากนั้นติดตั้งหัววัดมาตรฐานบนขาตั้งชั่วคราวและต่อสายสัญญาณที่หัววัดทั้งสอง (รูปที่ 3.95) นอกจากนี้มีการปรับระดับน้ำของหัววัดทั้งสองเพื่อให้ตัวรับรังสีของหัววัดทั้งสองอยู่ในระนาบเดียวกันและอยู่ในแนวราบ (รูปที่ 3.96) โดยลักษณะของหัววัดมาตรฐานและหัววัดที่ติดตั้งที่สถานีที่พร้อมทำการสอบเทียบแสดงดังรูปที่ 3.97 จากนั้นนำปลายสายสัญญาณของหัววัดทั้งสองต่อเข้ากับ data logger เครื่องเดียวกัน (รูปที่ 3.98) และทำการบันทึกสัญญาณทุก 1 วินาที ตัวอย่างค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดมาตรฐานและหัววัดของสถานีแสดงดังรูปที่ 3.99



รูปที่ 3.94 การติดตั้งขาตั้งชั่วคราวใกล้เคียงกับหัววัดที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์

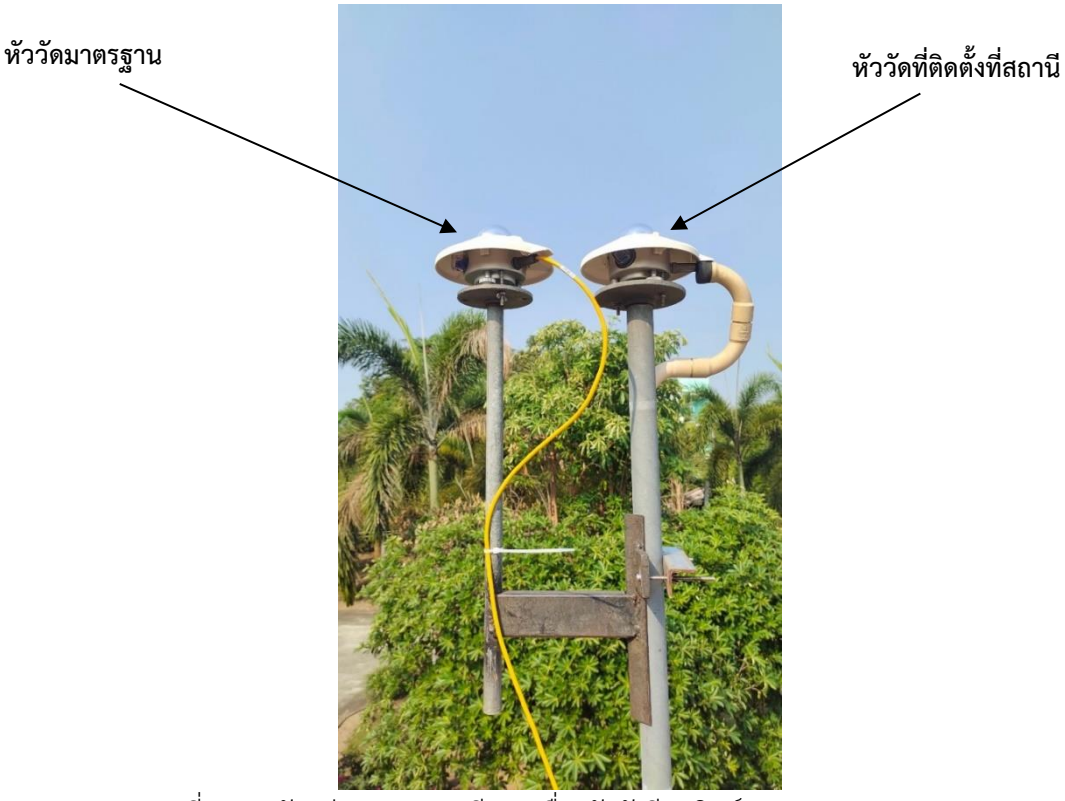


(ก) (ข)

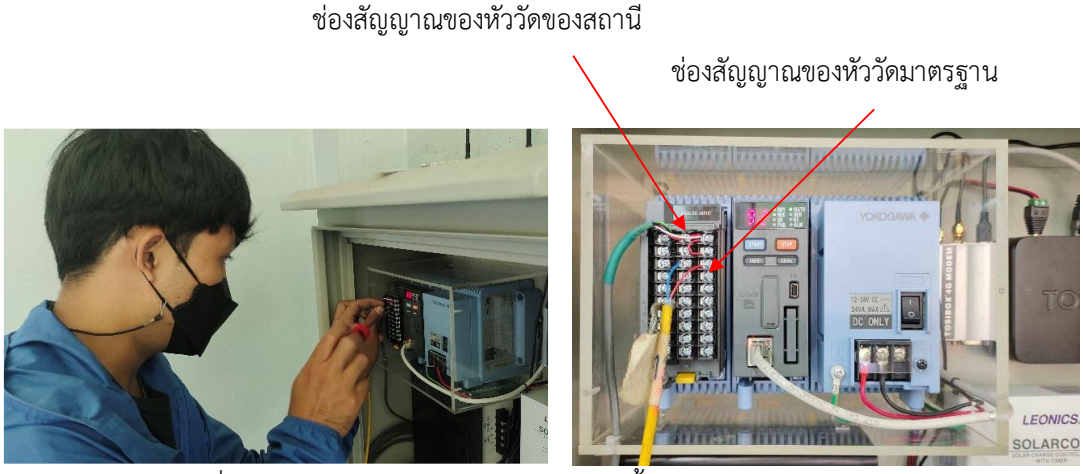
รูปที่ 3.95 (ก) การติดตั้งหัววัดมาตรฐาน (ข) ต่อสายสัญญาณ



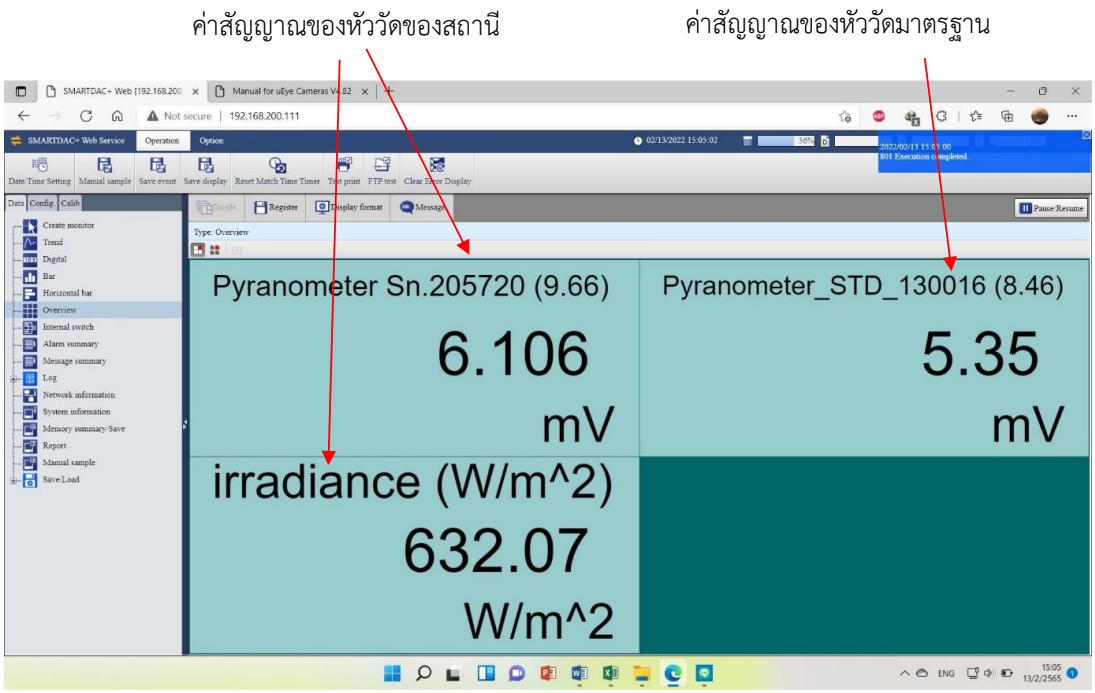
รูปที่ 3.96 การปรับระดับน้ำของหัววัดมาตรฐานและหัววัดของสถานี



รูปที่ 3.97 ตัวอย่างการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์แบบภายนอกอาคาร

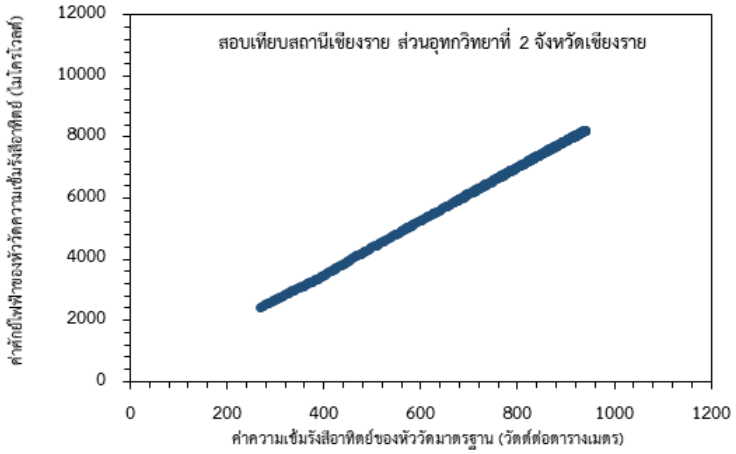


รูปที่ 3.98 การต่อสายสัญญาณของหัววัดทั้งสองเข้ากับ data logger

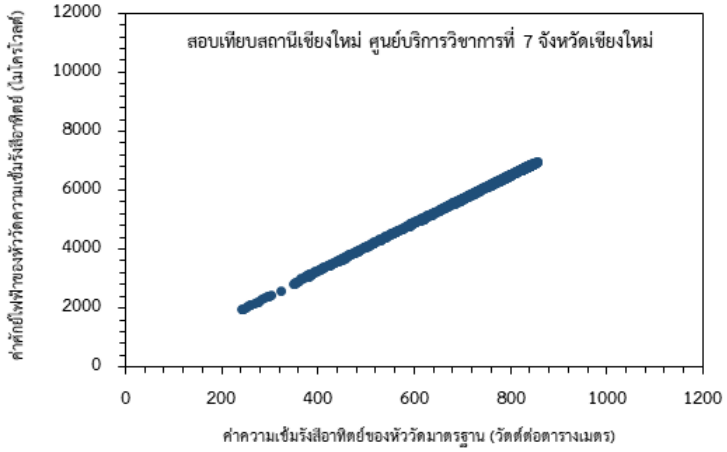


รูปที่ 3.99 หน้าจอแสดงผลค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดมาตรฐานและหัววัดของสถานี

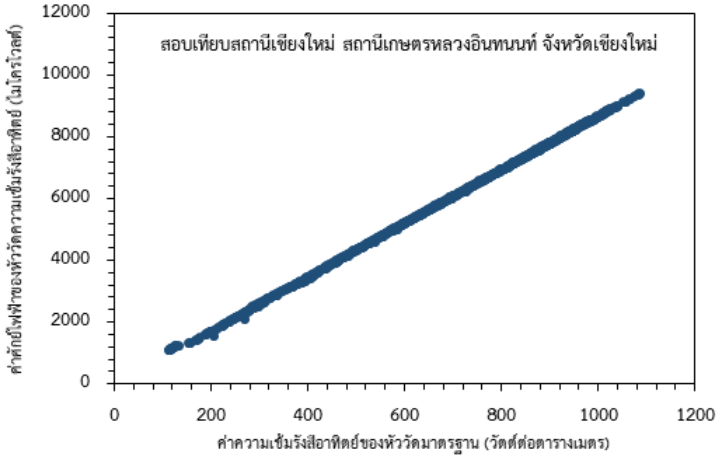
โดยทั่วไปการสอบเทียบจะดำเนินการในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและทำการสอบเทียบตั้งแต่เวลาประมาณ 9:00 น. ถึง 15:00 น. เป็นระยะเวลา 3 วัน หลังจากนั้นจึงนำค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากหัววัดมาตรฐานมาแปลงให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดของสถานี เพื่อตรวจสอบคุณภาพของการตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ของหัววัดที่ทำการสอบเทียบ โดยลักษณะของกราฟควรเป็นเส้นตรงซึ่งแสดงถึงค่าการตอบสนองของหัววัดและระนาบของตัวรับรังสีอาทิตย์ของหัววัดรังสีอาทิตย์ทั้งสองอยู่ในระนาบเดียวกัน สำหรับกราฟผลการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์แสดงไว้ในรูปที่ 3.100 – 3.137 และค่า sensitivity จะหาได้ตามกระบวนการ ISO9847 (outdoor calibration) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3.40 นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากรยังได้ดำเนินการออกใบรับรองผลการสอบเทียบ (certificate of calibration) สำหรับการสอบเทียบหัววัดรังสีอาทิตย์ของสถานีวัดทั้ง 38 แห่งอีกด้วย ตัวอย่างใบรับรองผลการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ของสถานีกรุงเทพมหานคร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานแสดงดังรูปที่ 3.138



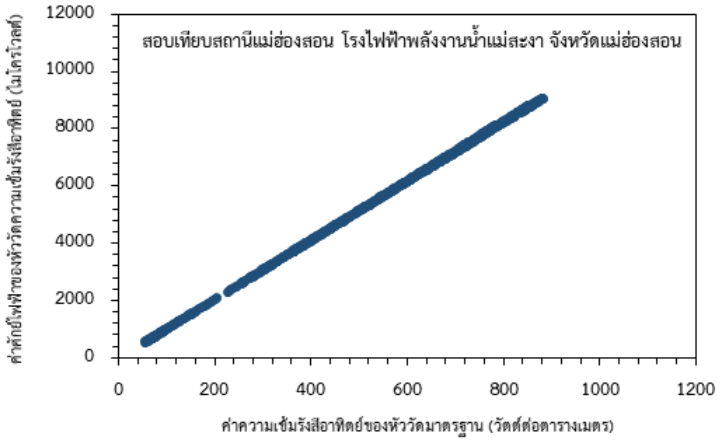
รูปที่ 3.100 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีเชียงราย ส่วนอุทกวิทยาที่ 2 จังหวัดเชียงราย



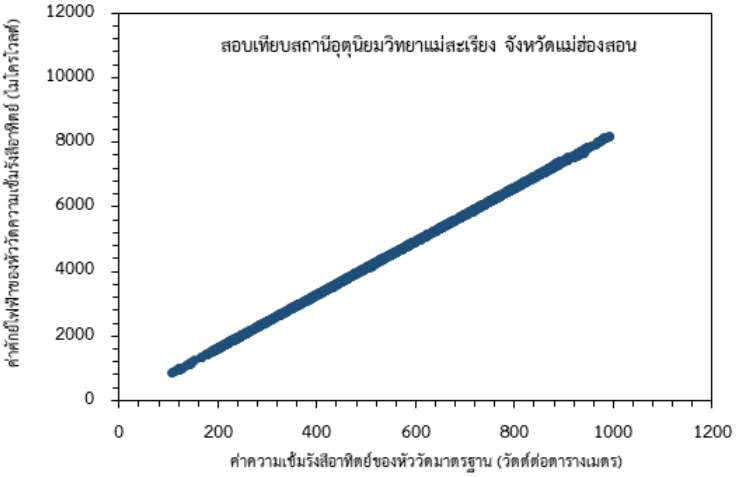
รูปที่ 3.101 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีเชียงใหม่ ศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่



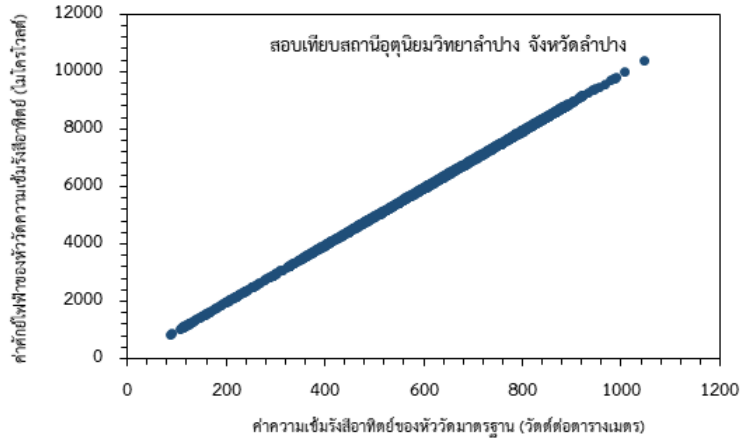
รูปที่ 3.102 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีเชียงใหม่ สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่



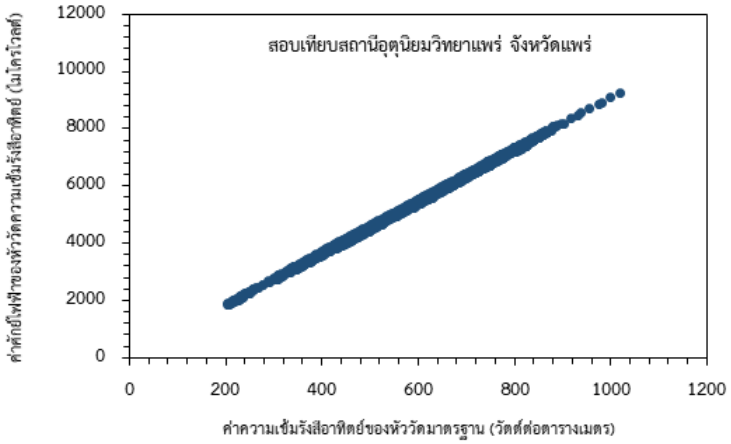
รูปที่ 3.103 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีแม่ฮ่องสอน โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน



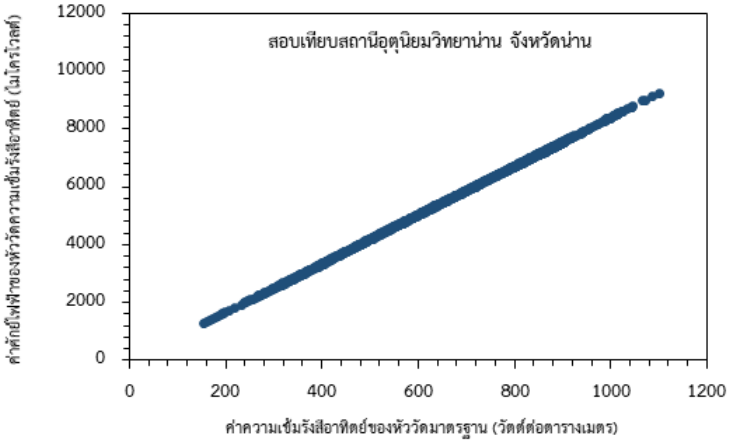
รูปที่ 3.104 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน



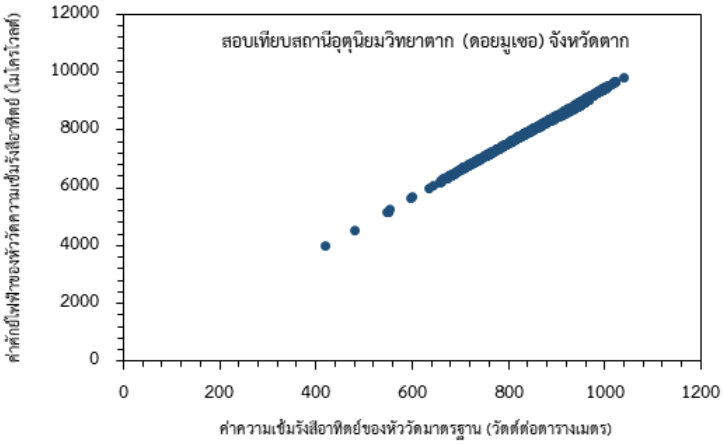
รูปที่ 3.105 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง จังหวัดลำปาง



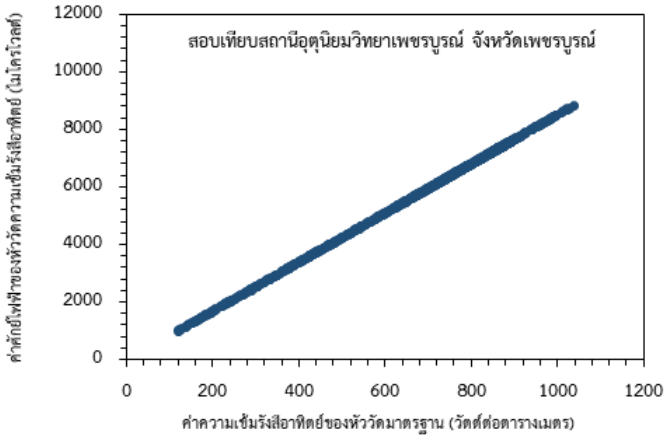
รูปที่ 3.106 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ จังหวัดแพร่



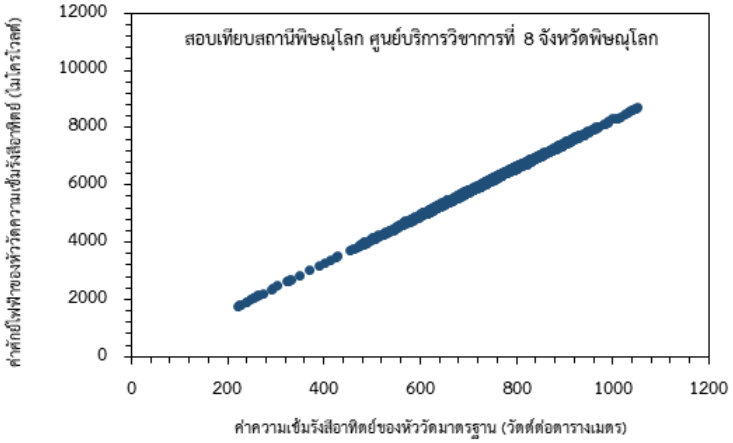
รูปที่ 3.107 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาน่าน จังหวัดน่าน



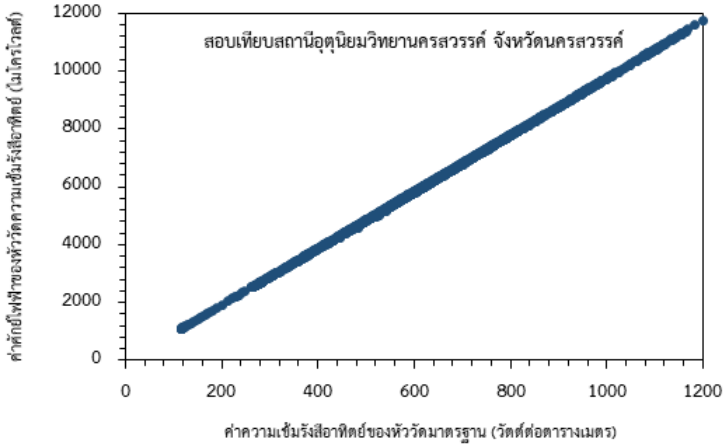
รูปที่ 3.108 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาตาก (ดอยมูเซอ) จังหวัดตาก



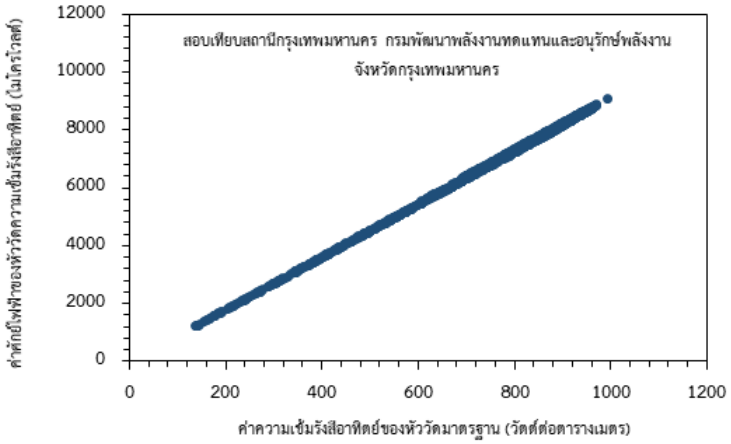
รูปที่ 3.109 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์



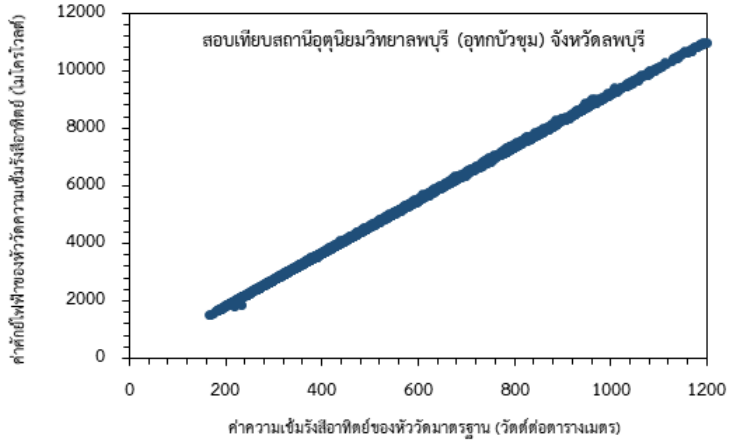
รูปที่ 3.110 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีพิษณุโลก ศูนย์บริการวิชาการที่ 8 จังหวัดพิษณุโลก



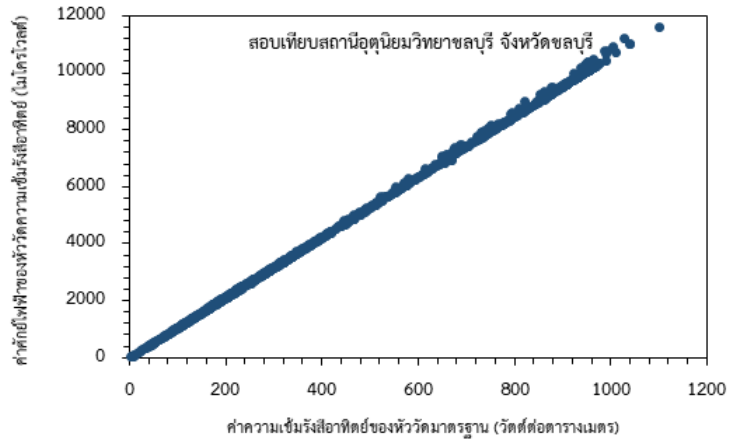
รูปที่ 3.111 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์



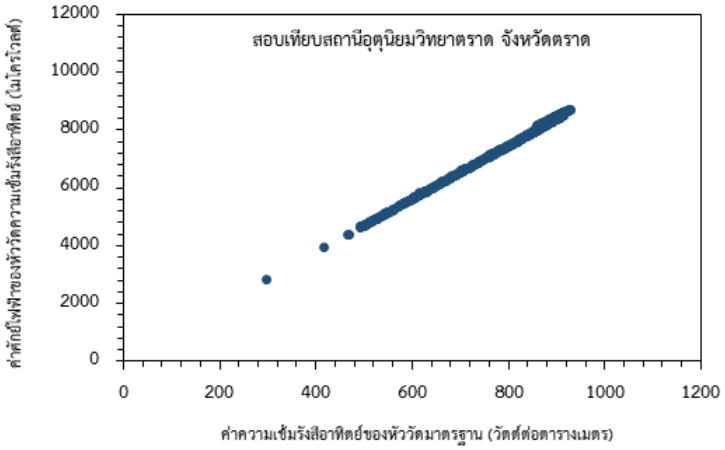
รูปที่ 3.112 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีกรุงเทพมหานคร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรุงเทพมหานคร



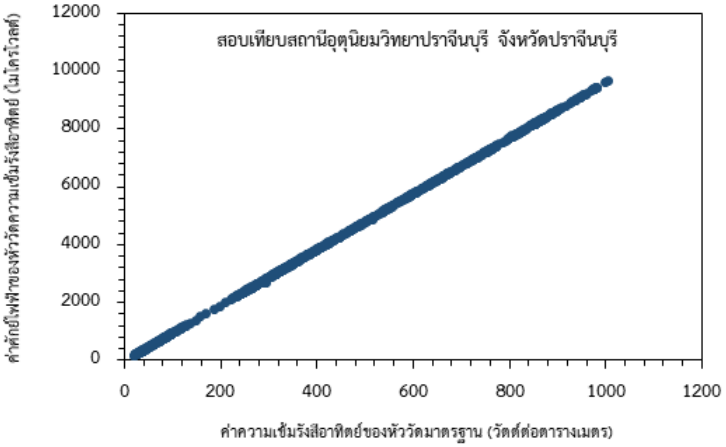
รูปที่ 3.113 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี (อุทกบัวชุม) จังหวัดลพบุรี



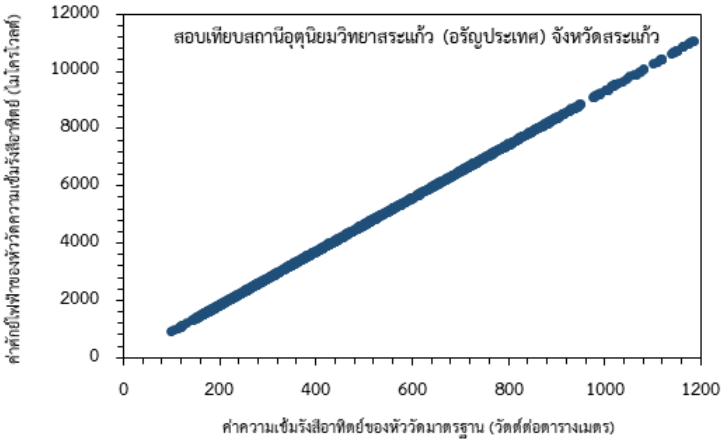
รูปที่ 3.114 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี จังหวัดชลบุรี



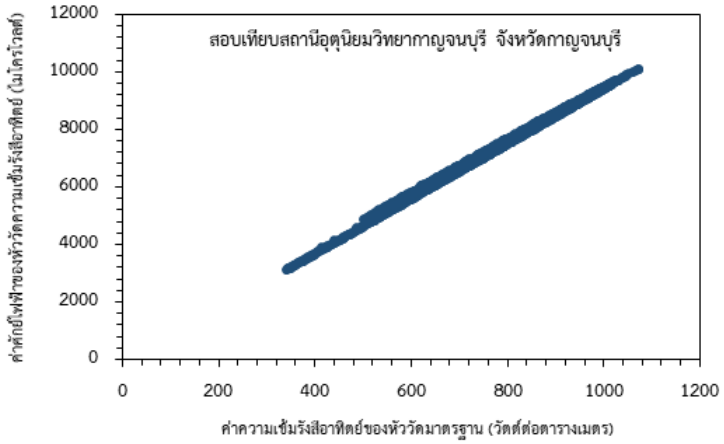
รูปที่ 3.115 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาตราด จังหวัดตราด



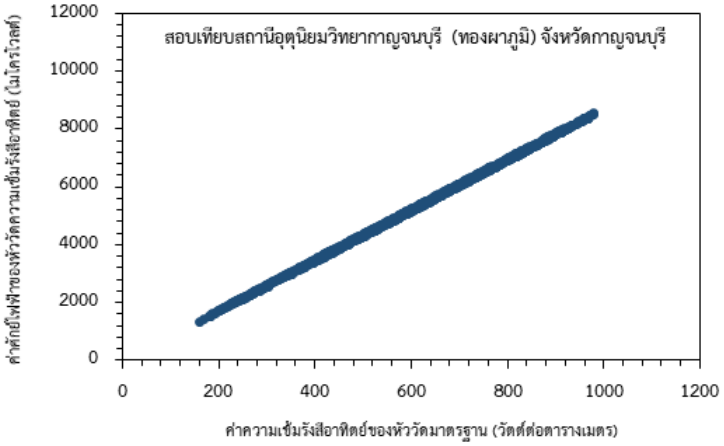
รูปที่ 3.116 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี



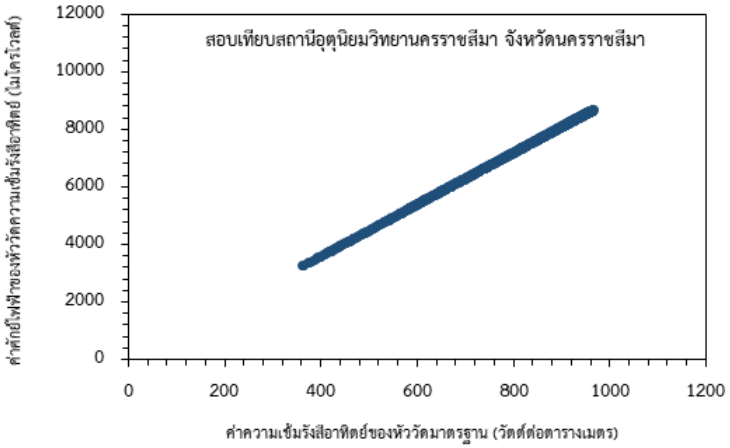
รูปที่ 3.117 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว (อรัญประเทศ) จังหวัดสระแก้ว



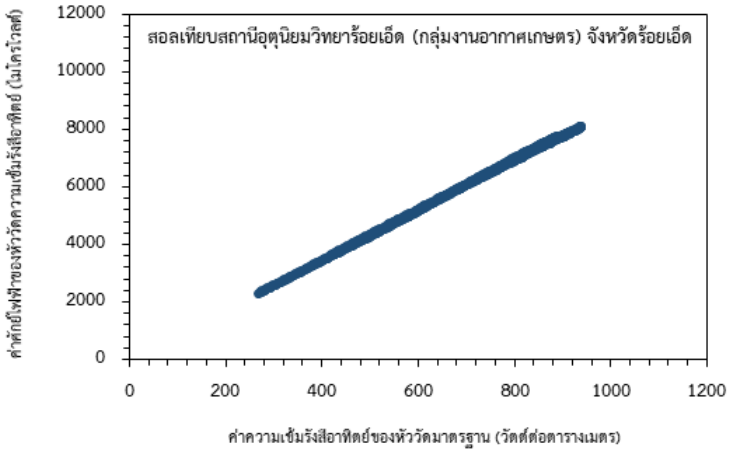
รูปที่ 3.118 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี



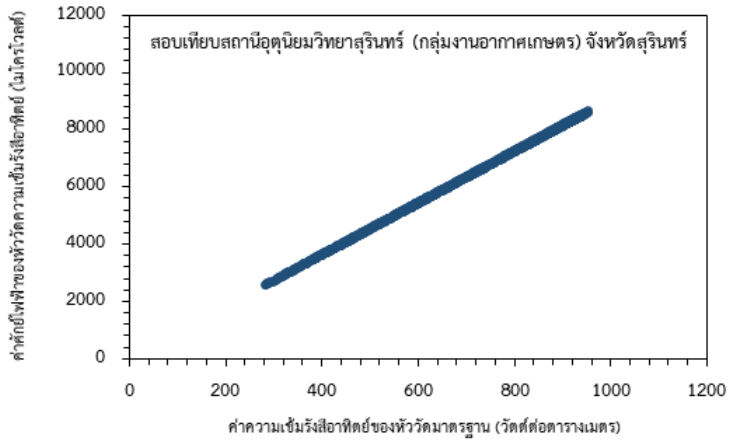
รูปที่ 3.119 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) จังหวัดกาญจนบุรี



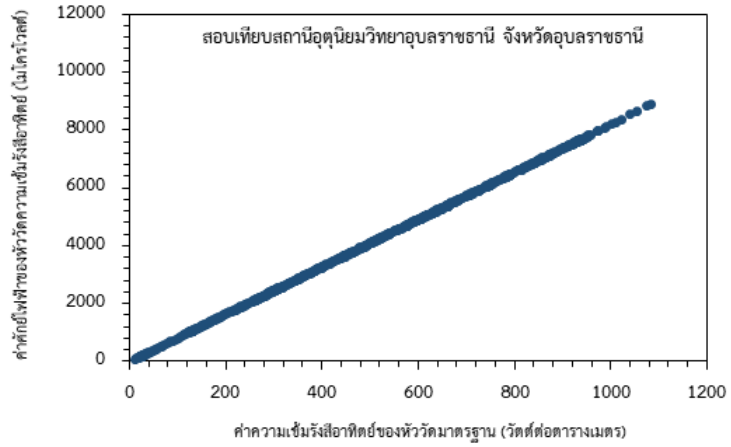
รูปที่ 3.120 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา



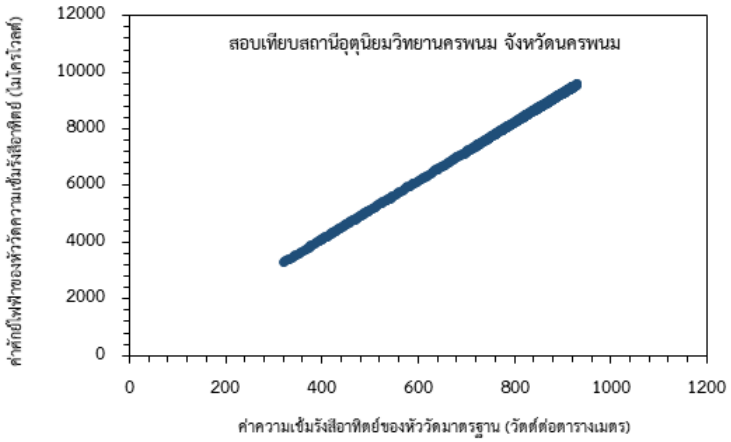
รูปที่ 3.121 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาร้อยเอ็ด (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดร้อยเอ็ด



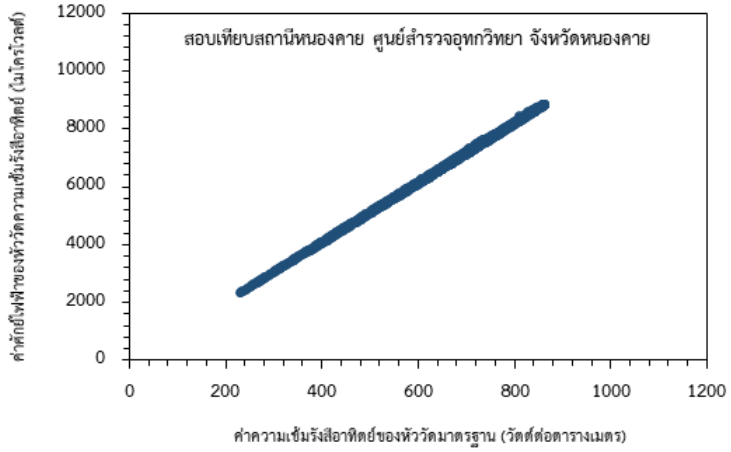
รูปที่ 3.122 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาสุรินทร์ (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดสุรินทร์



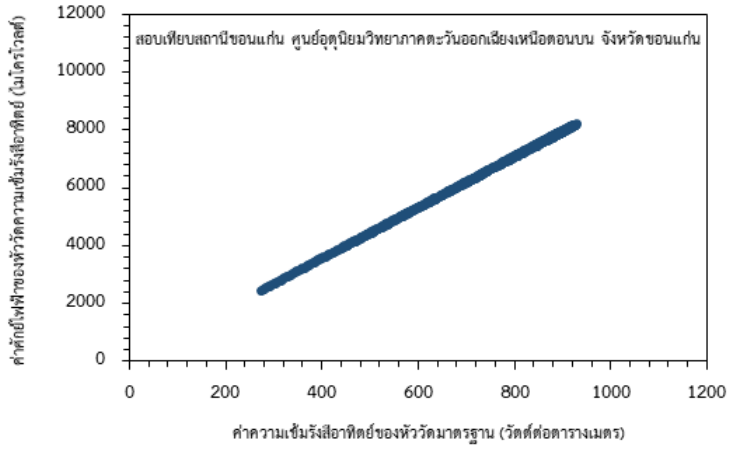
รูปที่ 3.123 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี



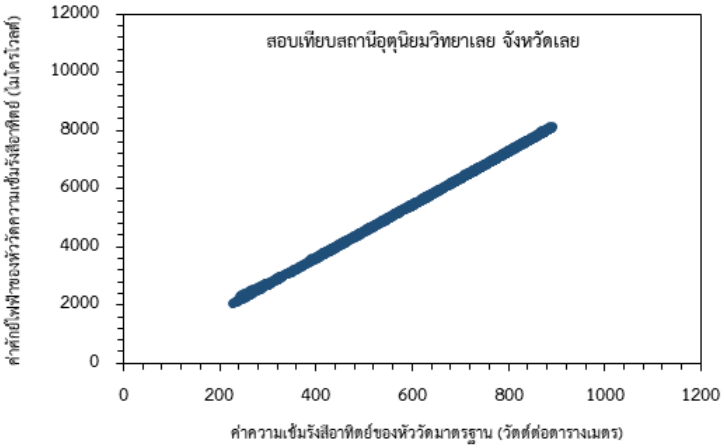
รูปที่ 3.124 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครพนม จังหวัดนครพนม



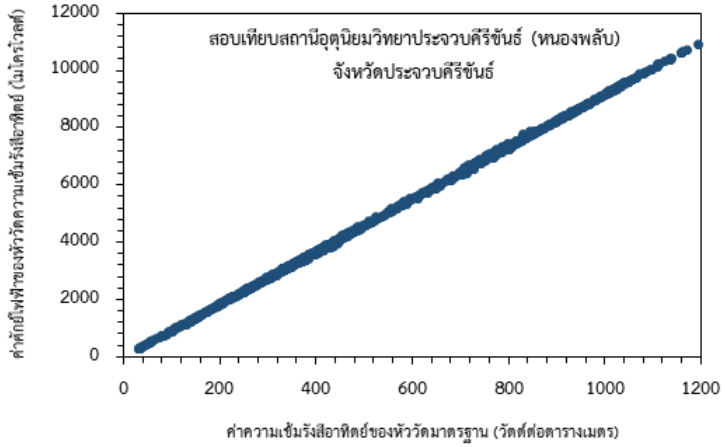
รูปที่ 3.125 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีหนองคาย ศูนย์สำรวจอุทกวิทยา จังหวัดหนองคาย



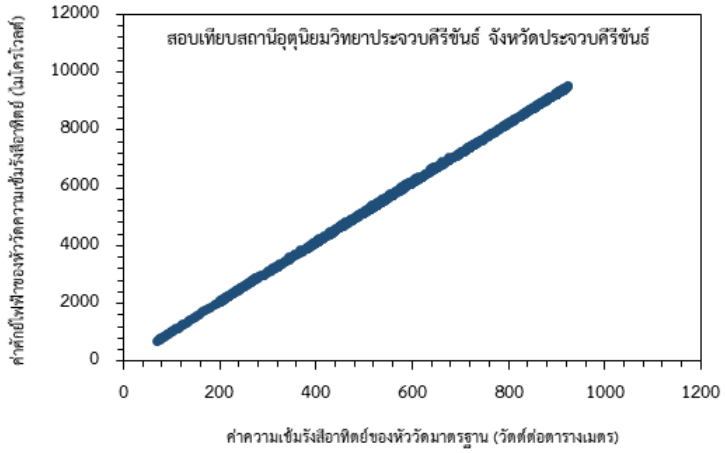
รูปที่ 3.126 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีขอนแก่น ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดขอนแก่น



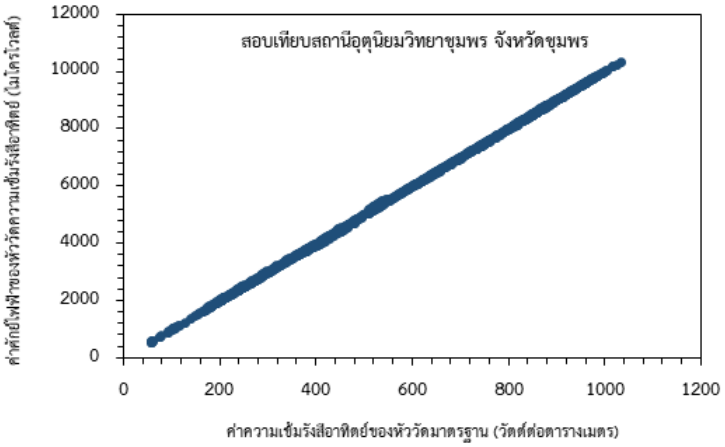
รูปที่ 3.127 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเลย จังหวัดเลย



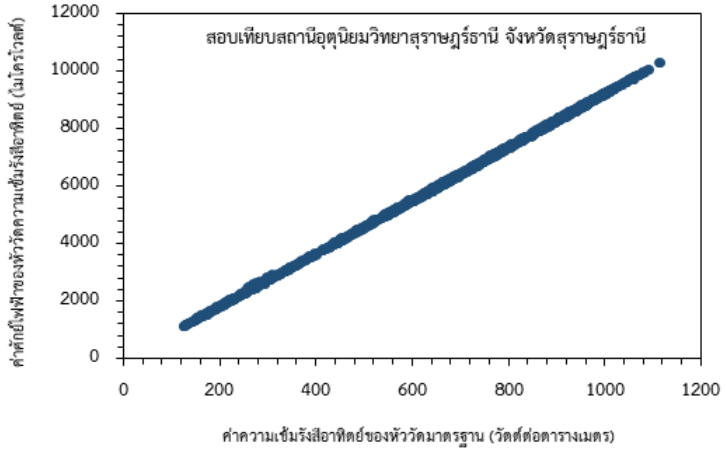
รูปที่ 3.128 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ (หนองพลับ) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



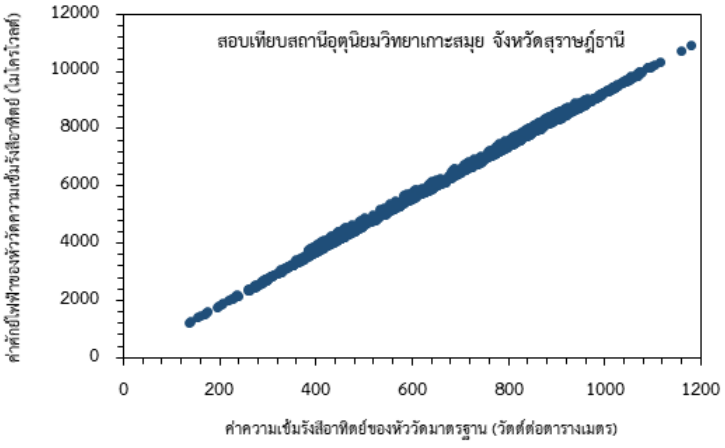
รูปที่ 3.129 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



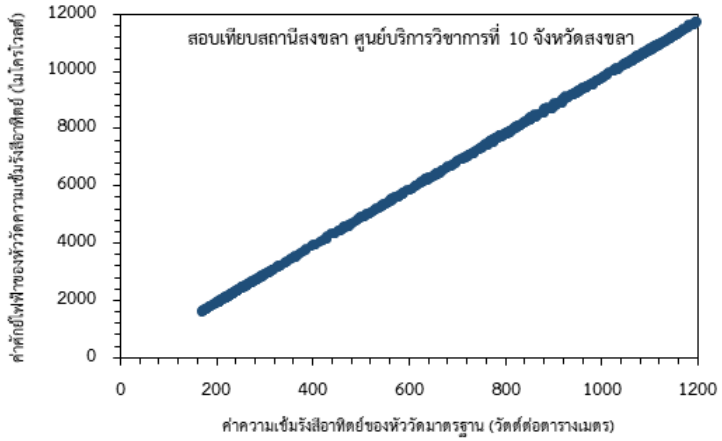
รูปที่ 3.130 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาชุมพร จังหวัดชุมพร



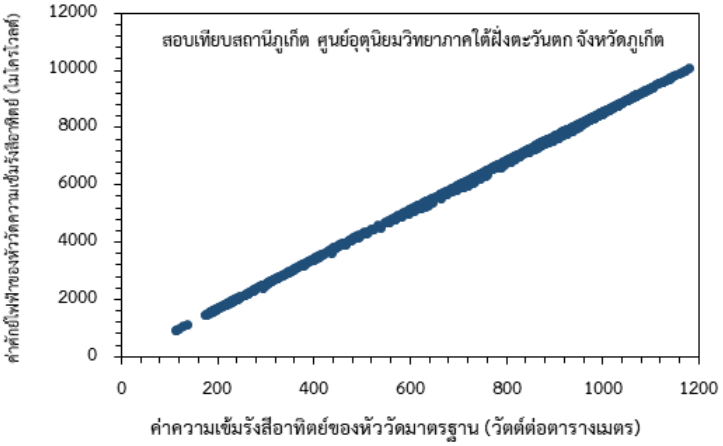
รูปที่ 3.131 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี



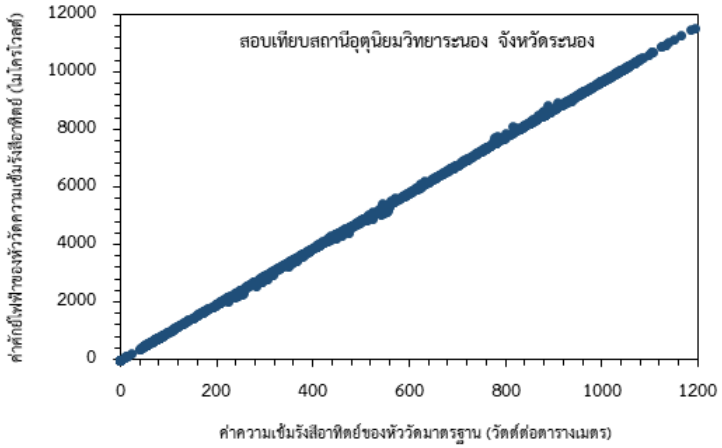
รูปที่ 3.132 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี



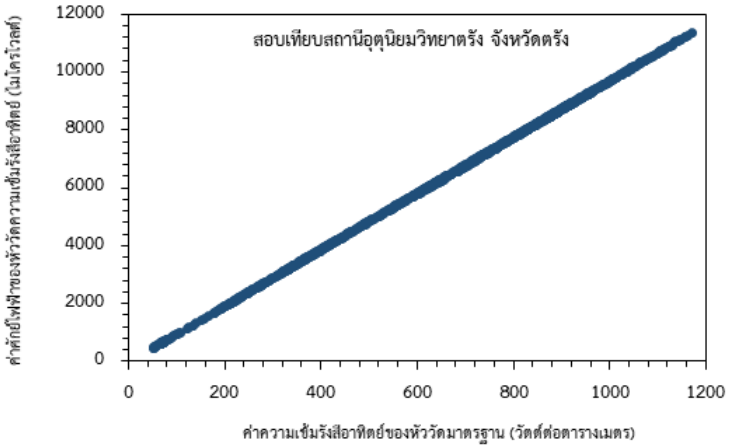
รูปที่ 3.133 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีสงขลา ศูนย์บริการวิชาการที่ 10 จังหวัดสงขลา



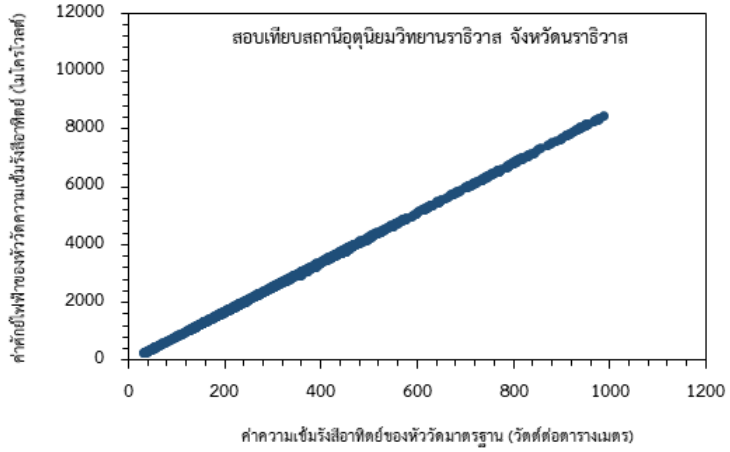
รูปที่ 3.134 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีภูเก็ต ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันตก จังหวัดภูเก็ต



รูปที่ 3.135 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาระนอง จังหวัดระนอง



รูปที่ 3.136 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยาตรัง จังหวัดตรัง



รูปที่ 3.137 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าจากหัววัดที่สถานีกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากหัววัดมาตรฐานที่สถานีอุตุนิยมวิทยานราธิวาส จังหวัดนราธิวาส

ตารางที่ 3.40 ค่า Sensitivity ของเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์รุ่น CMP11 ที่ได้จากการสอบเทียบ

ลำดับที่	สถานี	Serial No.	Sensitivity ($\mu V/W.m^{-2}$) เก่า	Sensitivity ($\mu V/W.m^{-2}$) ใหม่
ภาคเหนือ				
1.	สถานีเชียงราย ส่วนอุทกวิทยาที่ 2 จังหวัดเชียงราย	173919	8.93	8.79
2.	สถานีเชียงใหม่ ศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่	152984	8.46	8.17
3.	สถานีเชียงใหม่ สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่	173918	8.86	8.71
4.	สถานีแม่ฮ่องสอน โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน	173916	10.20	10.34
5.	สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	173917	8.39	8.28
6.	สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง จังหวัดลำปาง	205723	10.06	9.96
7.	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ จังหวัดแพร่	173915	8.92	9.13
8.	สถานีอุตุนิยมวิทยาน่าน จังหวัดน่าน	173912	8.52	8.42
9.	สถานีอุตุนิยมวิทยาตาก (ดอยมูเซอ) จังหวัดตาก	205722	9.53	9.45
10.	สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์	152990	8.82	8.54
11.	สถานีพิษณุโลก ศูนย์บริการวิชาการที่ 8 จังหวัดพิษณุโลก	152986	8.20	8.28
12.	สถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์	216168	-	9.75
ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันตก				
13.	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรุงเทพมหานคร	152996	9.09	9.15
14.	สถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี (อุทกบัวชุม) จังหวัดลพบุรี	216167	-	9.24
15.	สถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี จังหวัดชลบุรี	205719	10.67	10.64

ลำดับที่	สถานี	Serial No.	Sensitivity ($\mu V/W.m^{-2}$) เก่า	Sensitivity ($\mu V/W.m^{-2}$) ใหม่
16.	สถานีอุตุนิยมวิทยาตราด จังหวัดตราด	173920	9.24	9.43
17.	สถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี	205720	9.66	9.65
18.	สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว (อรัญประเทศ) จังหวัดสระแก้ว	205721	9.40	9.35
19.	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี	173914	9.65	9.92
20.	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) จังหวัดกาญจนบุรี	173913	8.84	9.12
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ				
21.	สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา	152998	9.18	8.85
22.	สถานีอุตุนิยมวิทยาร้อยเอ็ด (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดร้อยเอ็ด	152993	8.90	8.56
23.	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุรินทร์ (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดสุรินทร์	173911	9.29	9.10
24.	สถานีอุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี	152987	8.37	8.06
25.	สถานีอุตุนิยมวิทยานครพนม จังหวัดนครพนม	152997	10.61	10.15
26.	สถานีหนองคาย ศูนย์สำรวจอุทกวิทยา จังหวัดหนองคาย	152991	10.26	10.30
27.	สถานีขอนแก่น ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดขอนแก่น	152994	9.24	8.71
28.	สถานีอุตุนิยมวิทยาเลย จังหวัดเลย	152985	9.45	9.15
ภาคใต้				
29.	สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ (หนองพลับ) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	152992	9.45	9.20

ลำดับที่	สถานี	Serial No.	Sensitivity ($\mu V/W.m^{-2}$) เก่า	Sensitivity ($\mu V/W.m^{-2}$) ใหม่
30.	สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	205936	10.28	10.35
31.	สถานีอุตุนิยมวิทยาชุมพร จังหวัดชุมพร	205725	9.89	10.03
32.	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี	205813	8.97	9.21
33.	สถานีอุตุนิยมวิทยาเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี	205814	9.19	9.42
34.	สถานีสงขลา ศูนย์บริการวิชาการที่ 10 จังหวัดสงขลา	152995	9.90	9.86
35.	สถานีภูเก็ต ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันตก จังหวัดภูเก็ต	152988	8.79	8.50
36.	สถานีอุตุนิยมวิทยาระนอง จังหวัดระนอง	152989	10.01	9.66
37.	สถานีอุตุนิยมวิทยาตรัง จังหวัดตรัง	205726	9.39	9.75
38.	สถานีอุตุนิยมวิทยานราธิวาส จังหวัดนราธิวาส	216156	-	8.55

หมายเหตุ สถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์
สถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี (อุทกบัวชุม) จังหวัดลพบุรี
และสถานีอุตุนิยมวิทยานราธิวาส จังหวัดนราธิวาส เป็นสถานีที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ จึงไม่มีค่า sensitivity เก่า



Calibration Laboratory for Solar Radiation Instrument
Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University
Nakhon Pathom, 73000, Thailand
Tel: (+66) 34270761, Fax: (+66) 34271189
Email: calibrationsu@gmail.com, Website: www.calibrationsu.com

ACCREDITED LABORATORY ISO/IEC 17025

CERTIFICATE OF CALIBRATION
PYRANOMETER

CERTIFICATE NO.: CLSU-00061-2022

Customer Information

REQUESTER	NAME	Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE)
	ADDRESS	17 Kasatsuk Bridge, Rama 1 Road,
		Patumwan, Bangkok Thailand 10330
CALIBRATION ITEM	MANUFACTURER	Kipp&Zonen
	TYPE	CMP11
	SERIAL NUMBER	152996

Calibration Results

SENSITIVITY	9.15 [μV/W/m²]
UNCERTAINTY	4.0 [%]
CALIBRATION PERIOD	12-14 April, 2022
CALIBRATION SITE	13.67°N, 100.62°E, 2 m (msl)
CALIBRATION BY	Assistant Prof.Dr. Somjet Pattarapanitchai

COPY

CALIBRATION METHOD
This calibration product is based on an outdoor comparison against a reference pyranometer in accordance with the method stated in ISO9847:1992.

Reference Used

DESCRIPTION	MANUFACTURER / MODEL	SN	DATE OF LAST CALIBRATION
Pyranometer	Kipp&Zonen / CMP11	130014	June, 2017

Performed by

Somjet Pattarapanitchai

(Assistant Prof.Dr. Somjet Pattarapanitchai)
Technical Manager

Approved by

Serm Janjai

(Prof.Dr. Serm Janjai)
Head of Calibration Laboratory for Solar Radiation Instrument

Page 1/3

รูปที่ 3.138 ใบรับรองผลการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ของสถานีกรุงเทพมหานคร ซึ่งติดตั้งที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ออกโดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

(Continuation of certificate of calibration)
CERTIFICATE NO.: CLSU-00061-2022

Calibration Procedure

The tested pyranometer was calibrated against a reference pyranometer (SN:130014) using a method defined by ISO9847:1992. Both of reference and tested pyranometer were situated on horizontal surface at the same level and alignment. Global solar irradiance and voltage signals from reference and tested pyranometers were collected by using an automatic data logger. The calibration was performed under cloudless sky condition. Ambient air temperature, humidity and wind speed were also monitored during the calibration period.

Uncertainty

The expanded calibration uncertainty of this calibration is calculated as the square root of the sum of the square of the following uncertainties:

1) Uncertainty due to sensitivity of reference	1.85 %
2) Uncertainty due to repeatability of ref signal	0.27 %
3) Uncertainty due to repeatability of test signal	0.27 %
2) Uncertainty due to reproduce of calibration factor	0.09 %
3) Uncertainty due to directional	0.41 %
4) Uncertainty due to temperature	0.41 %
5) Uncertainty due to acquisition system	0.11 %
6) Uncertainty due to offset	0.35 %
Total uncertainty	2.0 %
Expanded uncertainty	4.0 % (Coverage factor, k = 2)

COPY

Traceability

The Kipp&Zonen CMP11 secondary standard pyranometer (SN:130014) was calibrated against reference standard pyranometer and pyrheliometer by using continuous sun-and-shade method defined by ISO9846:1993. The standard pyranometer and pyrheliometer can be traced to the primary standard AHF absolute cavity radiometer (SN:36013) which is directly traceable to WRR (World Radiometric Reference) and maintained in the IPC calibration event every 5 years at World Radiation Centre, Davos, Switzerland.

Term of Use

(1) Reproduction of this certificate is strictly prohibited without a written permission from CLSU.
(2) Adding, changing or editing information of this certificate is only authorized by CLSU.

รูปที่ 3.138 (ต่อ)

(Continuation of certificate of calibration)
CERTIFICATE NO.: CLSU-00061-2022

Calibration Results

Period of the calibration: 12-14 April, 2022

n	Ref. Pyranometer [mV]	Test Pyranometer [mV]	Sensitivity [μV/W/m²]
1	13.01	8.61	9.15
2	13.24	8.78	9.16
3	13.03	8.62	9.14
4	12.91	8.57	9.18
5	11.99	7.90	9.11
6	13.14	8.72	9.17
7	12.24	8.13	9.18
8	12.94	8.56	9.14
9	12.60	8.34	9.14
10	12.92	8.57	9.17
11	11.41	7.60	9.20
12	12.64	8.39	9.17
13	12.47	8.23	9.12
14	11.86	7.81	9.09
15	12.55	8.27	9.11
16	12.08	8.03	9.18
17	11.15	7.41	9.19
18	10.98	7.21	9.08
19	11.88	7.81	9.09
20	12.63	8.35	9.14

COPY

Number of data : 20

Mean of sensitivity : 9.15 [μV/W/m²]
Standard deviation : 0.036

Solar elevation range during the calibration: 10 - 70 [degree]

NOTE: The instruments performed normally and there was no abnormal situation occurred during the calibration.

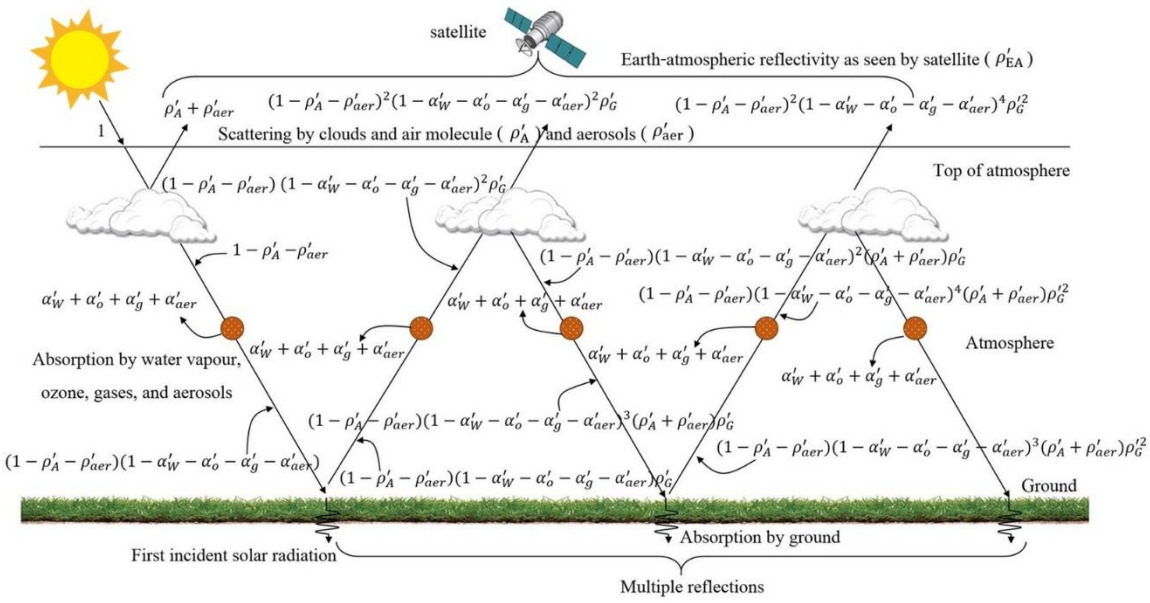
(End of Certificate of Calibration)

รูปที่ 3.138 (ต่อ)

3.4 งานพัฒนาและปรับปรุงข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ (ตาม TOR ข้อ 5.4)

3.4.1 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม (ตาม TOR ข้อ 5.4(1))

ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณโอโซน ปริมาณไอน้ำ โมเลกุลของก๊าซ ปริมาณและชนิดของเมฆ ปริมาณและชนิดของฝุ่นละออง ลักษณะพื้นผิว และตำแหน่งของดวงอาทิตย์เทียบกับตำแหน่งที่สนใจซึ่งสัมพันธ์กับระยะทางที่รังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ในบรรยากาศ ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้ โดยทั่วไปจะแบ่งแบบจำลองออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองทางฟิสิกส์ (physical model) และแบบจำลองเอมไพริคัล (empirical model) โดยแบบจำลองทางฟิสิกส์จะคำนึงถึงกระบวนการทางฟิสิกส์ ได้แก่ กระบวนการดูดกลืนและการสะท้อนของรังสีอาทิตย์เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ และการสะท้อนกลับไปมาของรังสีอาทิตย์ระหว่างบรรยากาศและพื้นผิวโลก ส่วนแบบจำลองเอมไพริคัลจะเป็นการหาความสัมพันธ์เชิงตัวเลขระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ทำให้แบบจำลองประเภทนี้ใช้ได้จำกัดในพื้นที่ที่มีลักษณะสภาพภูมิอากาศที่เหมือนกัน แต่แบบจำลองทางฟิสิกส์สามารถใช้ได้ทั่วทุกพื้นที่ ดังนั้นในงานนี้ผู้ดำเนินงานจึงเลือกใช้แบบจำลองทางฟิสิกส์ของ Janjai et al. (2013) ซึ่งสามารถใช้ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์สำหรับประเทศไทยได้เป็นอย่างดี มาทำการพัฒนาและปรับปรุงข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป สำหรับรายละเอียดของแบบจำลองดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3.139



รูปที่ 3.139 แผนภูมิแสดงการดูดกลืนและการสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในแบบจำลอง

จากรูปที่ 3.139 พิจารณารังสีอาทิตย์หนึ่งหน่วยที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่บรรยากาศโลก เมื่อรังสีอาทิตย์เข้ามาในบรรยากาศจะถูกกระเจิงโดยโมเลกุลอากาศ เมฆ และฝุ่นละออง ทำให้รังสีส่วนหนึ่งสะท้อนออกไปนอกบรรยากาศโลกเป็นจำนวน $\rho'_A + \rho'_{aer}$ ส่วนรังสีที่เหลือคือ $1 - (\rho'_A + \rho'_{aer})$ จะเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังพื้นผิวโลกซึ่งในระหว่างทางจะถูกดูดกลืนโดยองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ เช่น ไอน้ำ โอโซน ก๊าซต่าง ๆ และฝุ่นละออง เป็นจำนวน $(1 - (\rho'_A + \rho'_{aer}))(\alpha'_w + \alpha'_o + \alpha'_g + \alpha'_{aer})$ ดังนั้นรังสีที่ตกกระทบพื้นผิวโลกครั้งแรกจะเหลือจำนวนเท่ากับ $(1 - (\rho'_A + \rho'_{aer}))(1 - (\alpha'_w + \alpha'_o + \alpha'_g + \alpha'_{aer}))$ จากนั้นรังสีส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวโลก $(1 - (\rho'_A + \rho'_{aer}))(1 - (\alpha'_w + \alpha'_o + \alpha'_g + \alpha'_{aer}))(1 - \rho'_G)$ และรังสีส่วนที่เหลือจำนวนเท่ากับ $(1 - (\rho'_A + \rho'_{aer}))(1 - (\alpha'_w + \alpha'_o + \alpha'_g + \alpha'_{aer}))\rho'_G$ จะถูกสะท้อนกลับขึ้นไปในบรรยากาศ โดยระหว่างทางจะถูกดูดกลืนโดยไอน้ำ โอโซน ก๊าซต่าง ๆ และฝุ่นละออง จากนั้นส่วนหนึ่งจะส่งผ่านออกไปสู่นอกบรรยากาศเป็นจำนวน $(1 - (\rho'_A + \rho'_{aer}))^2(1 - (\alpha'_w + \alpha'_o + \alpha'_g + \alpha'_{aer}))^2\rho'_G$ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกกระเจิงโดยโมเลกุลอากาศ เมฆ และฝุ่นละออง กลับลงมาสู่บรรยากาศ $(1 - (\rho'_A + \rho'_{aer}))(1 - (\alpha'_w + \alpha'_o + \alpha'_g + \alpha'_{aer}))^2(\rho'_A + \rho'_{aer})\rho'_G$ และถูกดูดกลืนโดยไอน้ำ โอโซน ก๊าซต่าง ๆ และฝุ่นละอองอีกครั้งก่อนลงสู่พื้นผิวโลกเป็นจำนวน $(1 - (\rho'_A + \rho'_{aer}))(1 - (\alpha'_w + \alpha'_o + \alpha'_g + \alpha'_{aer}))^3(\rho'_A + \rho'_{aer})\rho'_G$ โดยจะพิจารณาแบบนี้ไปเรื่อย ๆ ดังนั้นรังสีอาทิตย์ที่ออกสู่นอกบรรยากาศและดาวเทียมสามารถรับไว้ได้ (ρ'_{EA}) จึงสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\rho'_{EA} = (\rho'_A + \rho'_{aer}) + (1 - \rho'_A - \rho'_{aer})^2(1 - \alpha'_o - \alpha'_w - \alpha'_g - \alpha'_{aer})^2(1 - \alpha'_{aer})\rho'_G{}^{+..} \quad (3.12)$$

เมื่อ ρ'_{EA} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (-)
ρ'_A คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆ (-)
ρ'_{aer} คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง (-)
ρ'_G คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวโลก (-)
α'_o คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน (-)
α'_w คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำในบรรยากาศ (-)
α'_g คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของก๊าซต่าง ๆ (-)
α'_{aer} คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง (-)

จากสมการ (3.12) จะเห็นว่าค่า ρ'_{EA} เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับหลายตัวแปร แต่ตัวแปรที่มีผลต่อค่า ρ'_{EA} มากที่สุดคือสัมประสิทธิ์การสะท้อนของโมเลกุลอากาศและเมฆ (ρ'_A) ทั้งนี้เพราะเมฆสามารถลดทอนรังสีอาทิตย์ได้ถึง 90% ดังนั้นผู้ดำเนินงานจะทำการหาค่าของ ρ'_A โดยจัดรูปแบบสมการของ ρ'_{EA} ใหม่ ซึ่งจะได้สมการของ ρ'_A ดังนี้

$$\rho'_A = \frac{-(1-2CB) \pm \sqrt{(1-2CB)^2 - 4C(A+CB^2)}}{2C} \quad (3.13)$$

เมื่อ $A = \rho'_{aer} - \rho'_{EA}$

$B = 1 - \rho'_{aer}$

$C = (1 - \alpha'_o - \alpha'_g - \alpha'_w - \alpha'_{aer})(1 - \alpha'_{aer})\rho'_G$

เครื่องหมาย $\pm$ ในสมการของ ρ'_A จะเลือกใช้เฉพาะเครื่องหมายบวก ซึ่งจะทำให้ได้ค่า ρ'_A ที่เป็นจริง สำหรับค่า ρ'_{EA} จะหาได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ค่า ρ'_{aer} และ α'_{aer} จะคำนวณได้จากค่าทัศนวิสัย ค่า α'_o และ α'_w คำนวณได้จากปริมาณโอโซนและปริมาณไอน้ำ ตามลำดับ ส่วนค่า α'_g จะคำนวณได้จากมวลอากาศ (air mass) และ ρ'_G คำนวณจากข้อมูลดาวเทียม

เมื่อได้ค่า ρ'_A ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของดาวเทียมแล้ว ผู้ดำเนินงานจะทำการแปลงให้เป็นค่าในช่วงความยาวคลื่นกว้างของรังสีอาทิตย์ (0.3 - 3.0 μm) โดยใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่วัดจากสถานีวัดต่าง ๆ ช่วยในการคำนวณ ซึ่งสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ในรูปทั่วไปได้ดังนี้

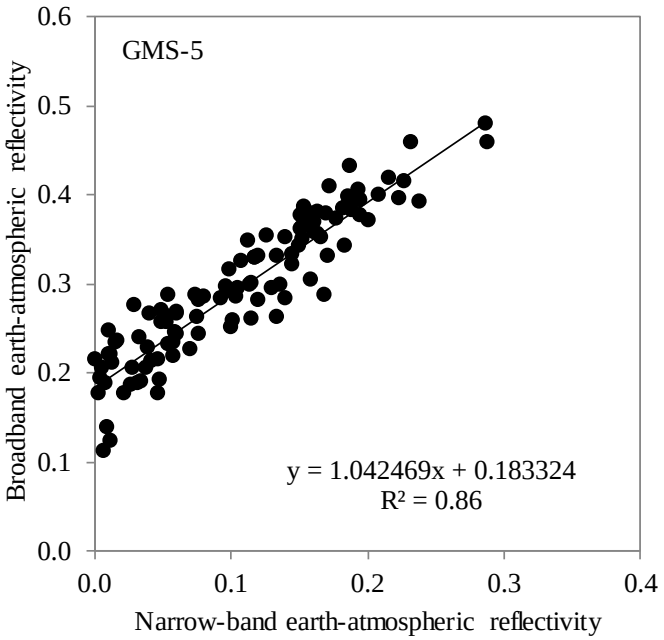
$$\rho_A = a_o + a_1\rho'_A \quad (3.14)$$

เมื่อ ρ_A คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆ ในช่วงความยาวคลื่นกว้างของรังสีอาทิตย์ (-)

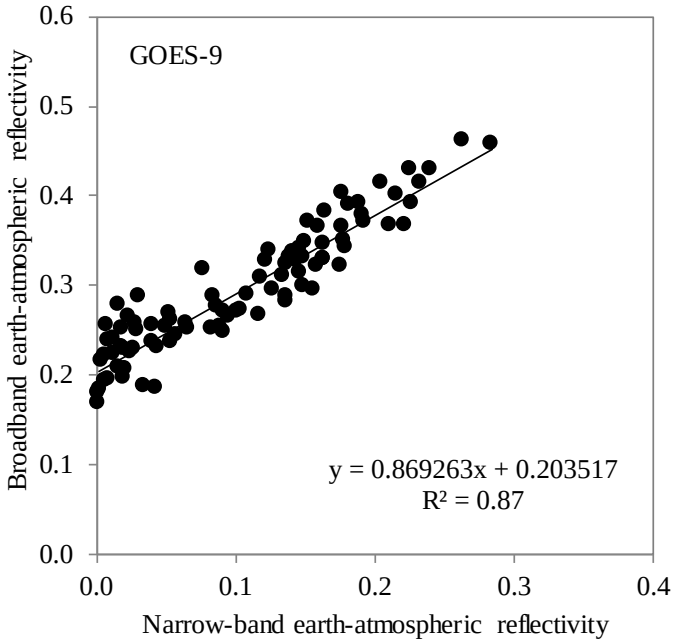
ρ'_A คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆ ในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียม (-)

a_o, a_1 คือ สัมประสิทธิ์ของสมการ

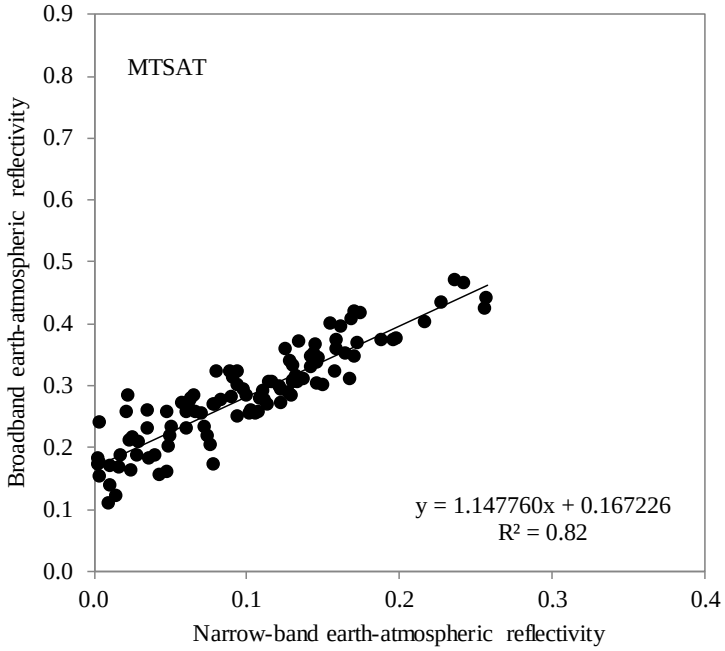
โดยค่า a_o และ a_1 จะหาจากการฟิตกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ρ_A และ ρ'_A ณ ตำแหน่งสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งผู้ดำเนินงานจะใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์จากสถานีวัดของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและสถานีวัดของมหาวิทยาลัยศิลปากร โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังขนานกับข้อมูลดาวเทียม ซึ่งในงานนี้ได้สร้างความสัมพันธ์ขึ้นมาใหม่โดยแสดงได้ดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นกว้างของรังสีอาทิตย์และสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียมแต่ละดวง ได้แก่ ดาวเทียม GMS-5 ดาวเทียม GOES-9 ดาวเทียม MTSAT และดาวเทียม Himawari ดังรูปที่ 3.140 - 3.143 ตามลำดับ



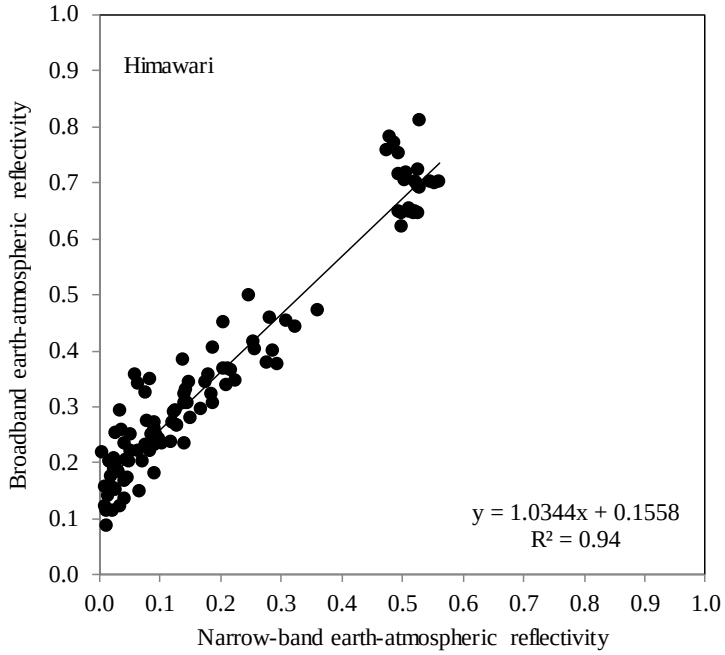
รูปที่ 3.140 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นกว้างของรังสีอาทิตย์และสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียมสำหรับดาวเทียม GMS-5



รูปที่ 3.141 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นกว้างของรังสีอาทิตย์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียมสำหรับดาวเทียม GOES-9



รูปที่ 3.142 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นกว้างของรังสีอาทิตย์และสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียมสำหรับดาวเทียม MTSAT



รูปที่ 3.143 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นกว้างของรังสีอาทิตย์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศและเมฆในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียมสำหรับดาวเทียม Himawari

จากความสัมพันธ์ในกราฟสามารถเขียนได้ในรูปสมการเอมไพริคัล ดังนี้

- ดาวเทียม GMS-5

$$\rho_A = 1.042469\rho'_A + 0.183324 \qquad R^2 = 0.86 \qquad (3.15)$$

- ดาวเทียม GOES-9

$$\rho_A = 0.869263\rho'_A + 0.203517 \qquad R^2 = 0.87 \qquad (3.16)$$

- ดาวเทียม MTSAT

$$\rho_A = 1.1478\rho'_A + 0.1672 \qquad R^2 = 0.82 \qquad (3.17)$$

- ดาวเทียม Himawari

$$\rho_A = 1.0344\rho'_A + 0.1558 \qquad R^2 = 0.94 \qquad (3.18)$$

หลังจากที่ได้ค่า ρ_A แล้ว ผู้ดำเนินงานจะนำค่า ρ_A ไปคำนวณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศ (τ) โดยอาศัยสมการ

$$\tau = \frac{(1-\rho_A-\rho_{aer})(1-\alpha_w-\alpha_o-\alpha_g-\alpha_{aer})}{1-(\rho_A+\rho_{aer})\rho_G} \qquad (3.19)$$

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ทางขวามือของสมการ (3.19) สามารถคำนวณได้โดย ρ_A คำนวณจากสมการ (3.15) ถึงสมการ (3.18) ส่วนตัวแปรอื่น ๆ จะคำนวณได้จากข้อมูลวัดภาคพื้นดินและดาวเทียมที่ได้เตรียมไว้และมีรายละเอียดการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในหัวข้อถัดไป ดังนั้นเราจะสามารถหาค่า τ ได้

ในขั้นตอนสุดท้ายจะใช้ค่า τ ที่ได้ มาทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกรายวัน (H) โดยใช้สมการ

$$H = \tau H_0 \qquad (3.20)$$

เมื่อ H คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันที่พื้นผิวโลก (MJ/m^2)

H_0 คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันนอกบรรยากาศโลก (MJ/m^2)

τ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศ (-)

3.4.2 การคำนวณสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดิน และคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศจากข้อมูลข้างต้น (ตาม TOR ข้อ 5.4(2))

3.4.2.1 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ

ผู้ดำเนินงานได้ทำการคำนวณหาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศไทย จากนั้นนำปริมาณไอน้ำดังกล่าวมาคำนวณเป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียมและในช่วงความยาวคลื่นกว้าง ดังสมการ

- ช่วงความยาวคลื่นดาวเทียม

$$\alpha'_w = 1 - \frac{\int_{0.55}^{0.9} I_{0\lambda}\tau_{w\lambda}d\lambda}{\int_{0.55}^{0.9} I_{0\lambda}d\lambda} \quad (3.21)$$

- ช่วงความยาวคลื่นกว้าง

$$\alpha_w = 1 - \frac{\int_{0.3}^{3.0} I_{0\lambda}\tau_{w\lambda}d\lambda}{\int_{0.3}^{3.0} I_{0\lambda}d\lambda} \quad (3.22)$$

เมื่อ $I_{0\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (W/m^2-μm)

$\tau_{w\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ (-)

α'_w คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียม (-)

α_w คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (-)

λ คือ ความยาวคลื่น (μm)

โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ ($\tau_{w\lambda}$) สามารถคำนวณได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

$$\tau_{w\lambda} = \exp[-0.238k_{w\lambda}wm_r/(1+20.07k_{w\lambda}wm_r)^{0.45}] \quad (3.23)$$

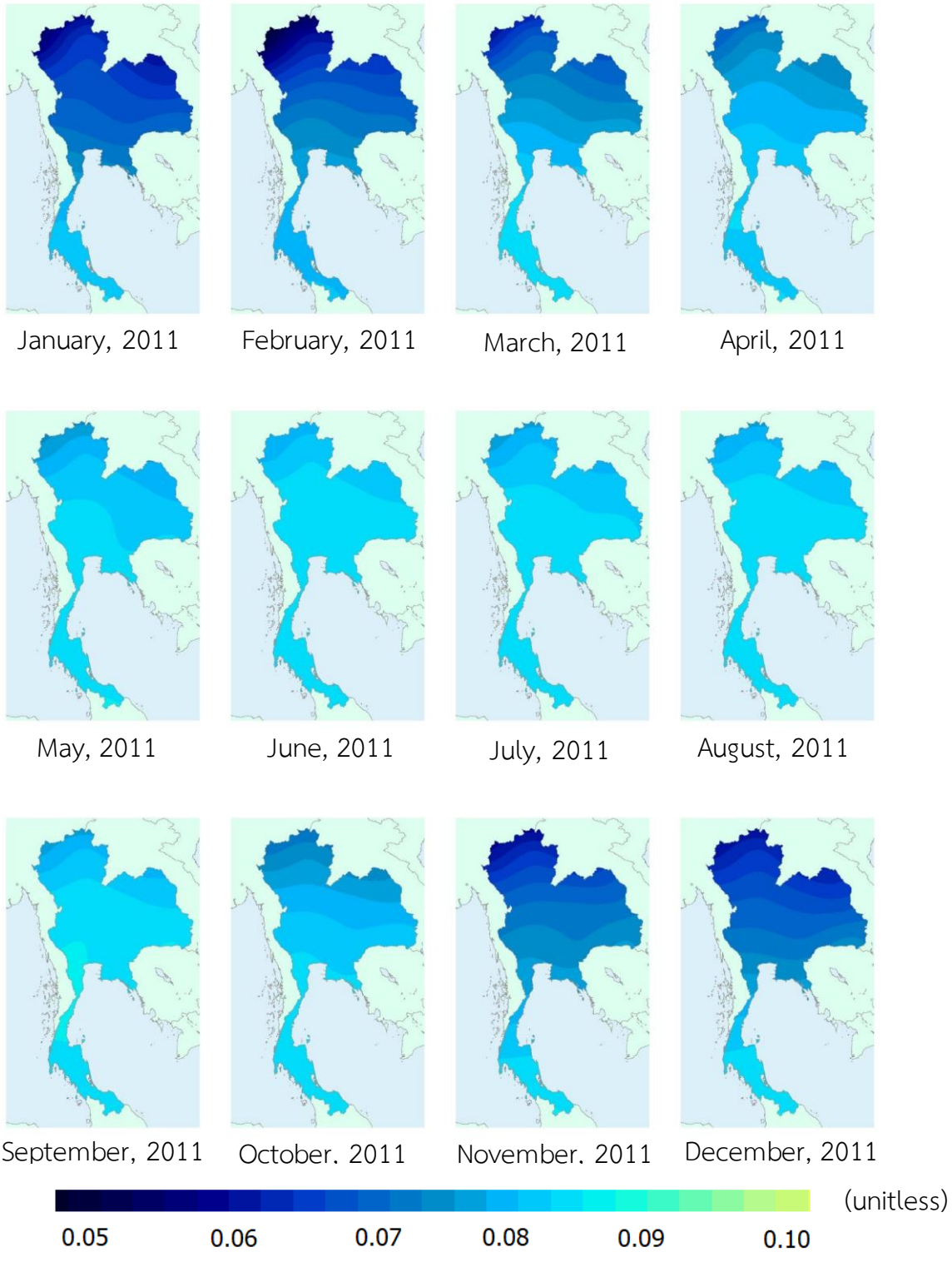
เมื่อ $k_{w\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ (extinction coefficient) เนื่องจากไอน้ำ (-)

w คือ ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (cm)

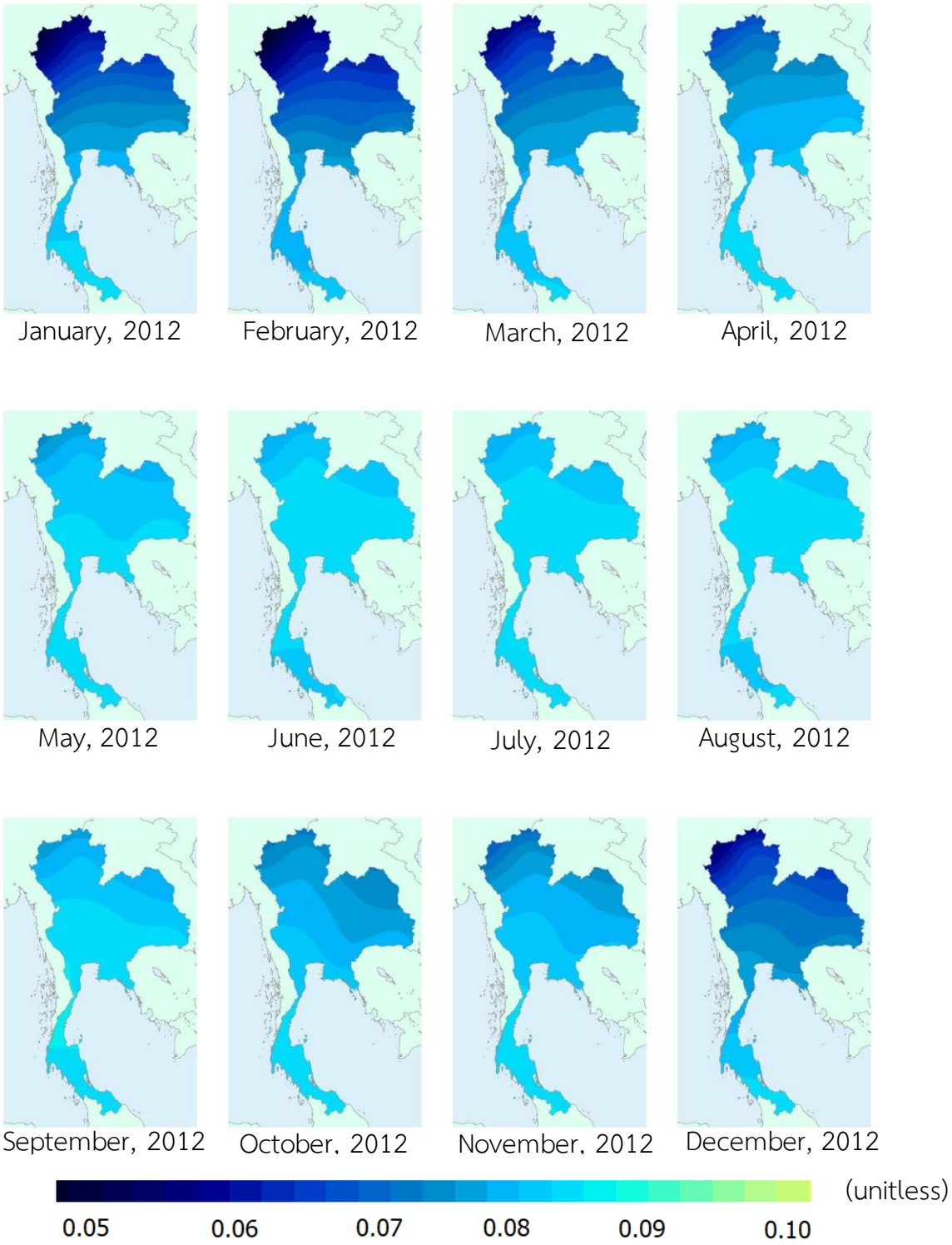
m_r คือ มวลอากาศสัมพัทธ์ (-)

ผู้ดำเนินงานคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำในช่วงความยาวคลื่นกว้างและช่วงความยาวคลื่นของดาวเทียมทั่วประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 2001 - 2020 โดยในแต่ละปีจะมีการแปรค่าคล้ายกัน ตัวอย่างผลที่ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำในช่วงความยาวคลื่นกว้างทั่วประเทศไทยของปี ค.ศ. 2011 – 2020 แสดงดังรูปที่ 3.144

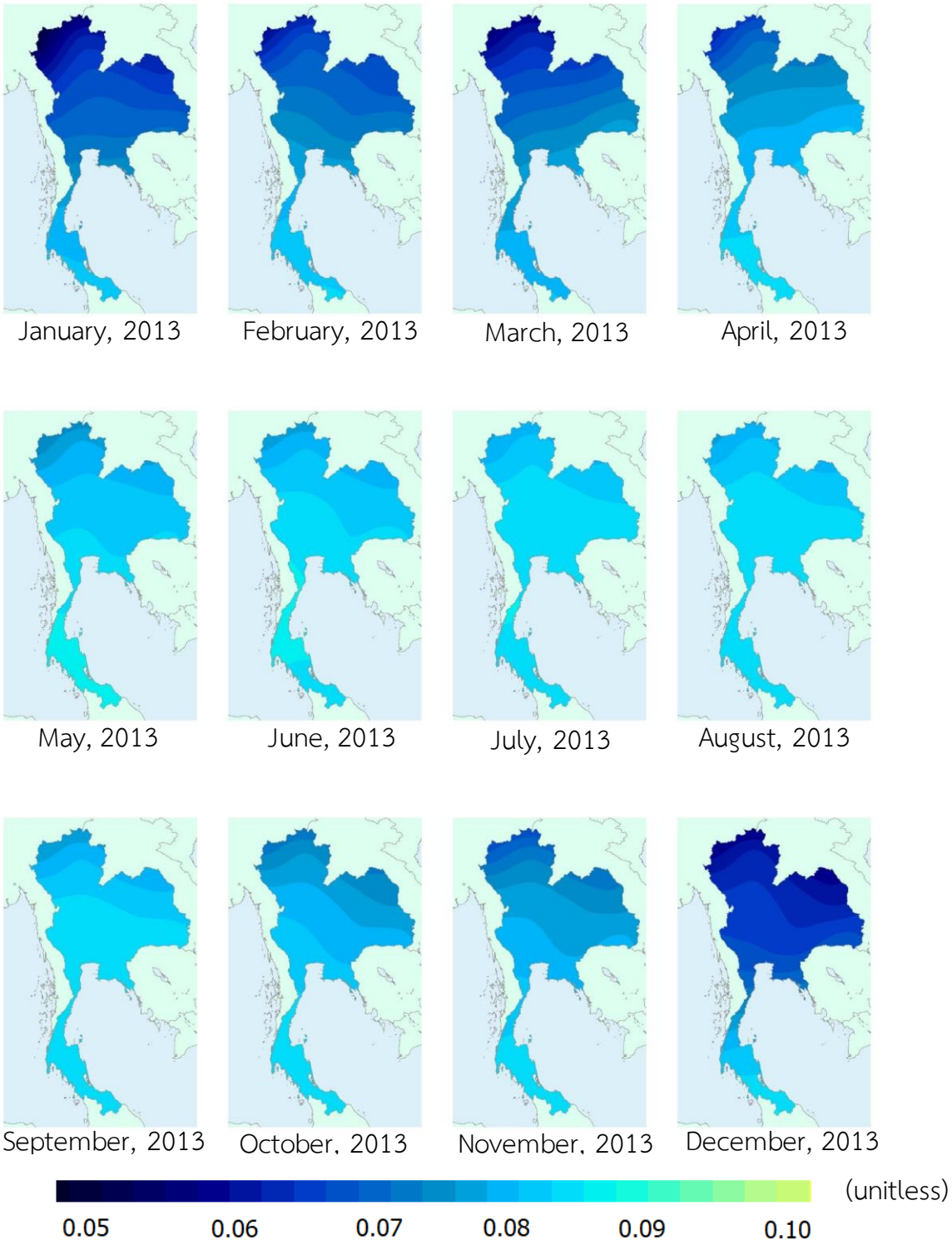
จากรูปจะเห็นว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำมีการแปรค่าตามละติจูด โดยมีค่าต่ำในบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ประมาณ 0.05-0.07) และมีค่าสูง (ประมาณ 0.09) ในบริเวณภาคใต้ซึ่งมีพื้นที่ติดกับทะเล ทำให้ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมาก ส่งผลให้ความสามารถในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าสูง สำหรับการแปรค่าในรอบปีจะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูหนาวค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของไอน้ำจะมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในช่วงดังกล่าวพื้นที่ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้มีปริมาณไอน้ำในบรรยากาศน้อย ส่วนในช่วงกลางปีซึ่งได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพาความชื้นและไอน้ำจากมหาสมุทรเข้ามายังพื้นที่ของประเทศทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากปริมาณไอน้ำมีค่าสูงขึ้น



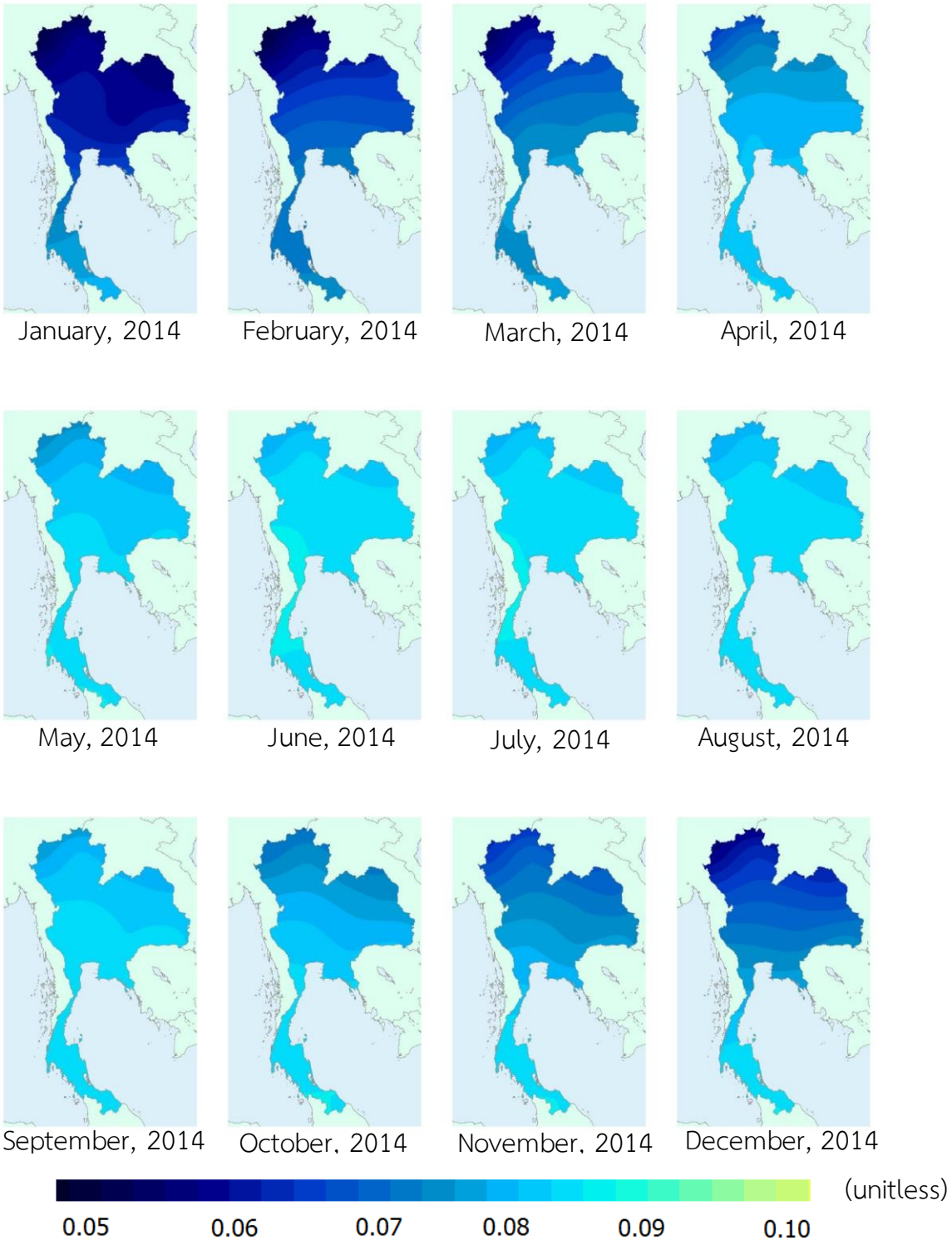
รูปที่ 3.144 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำในช่วงความยาวคลื่นกว้าง


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

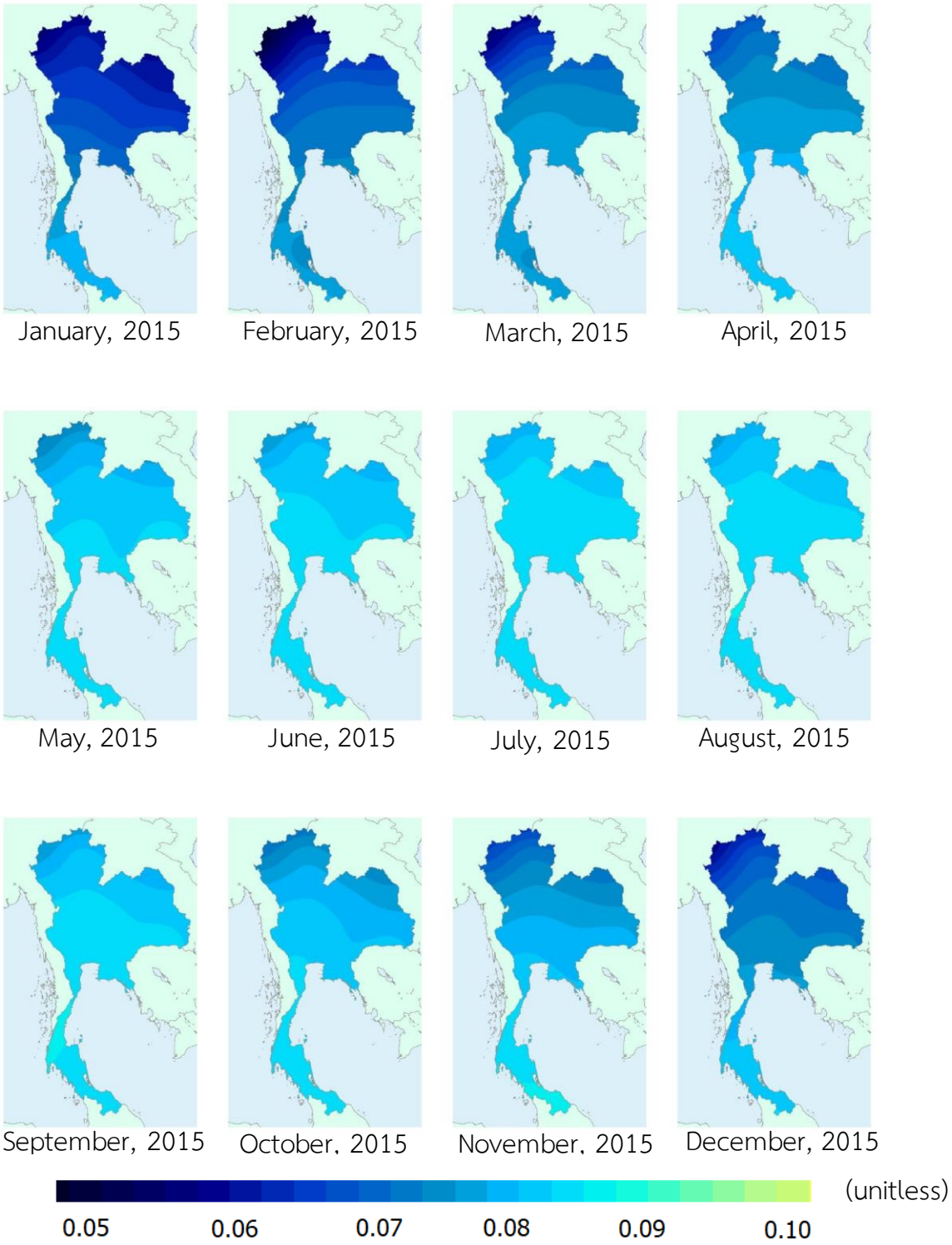
รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

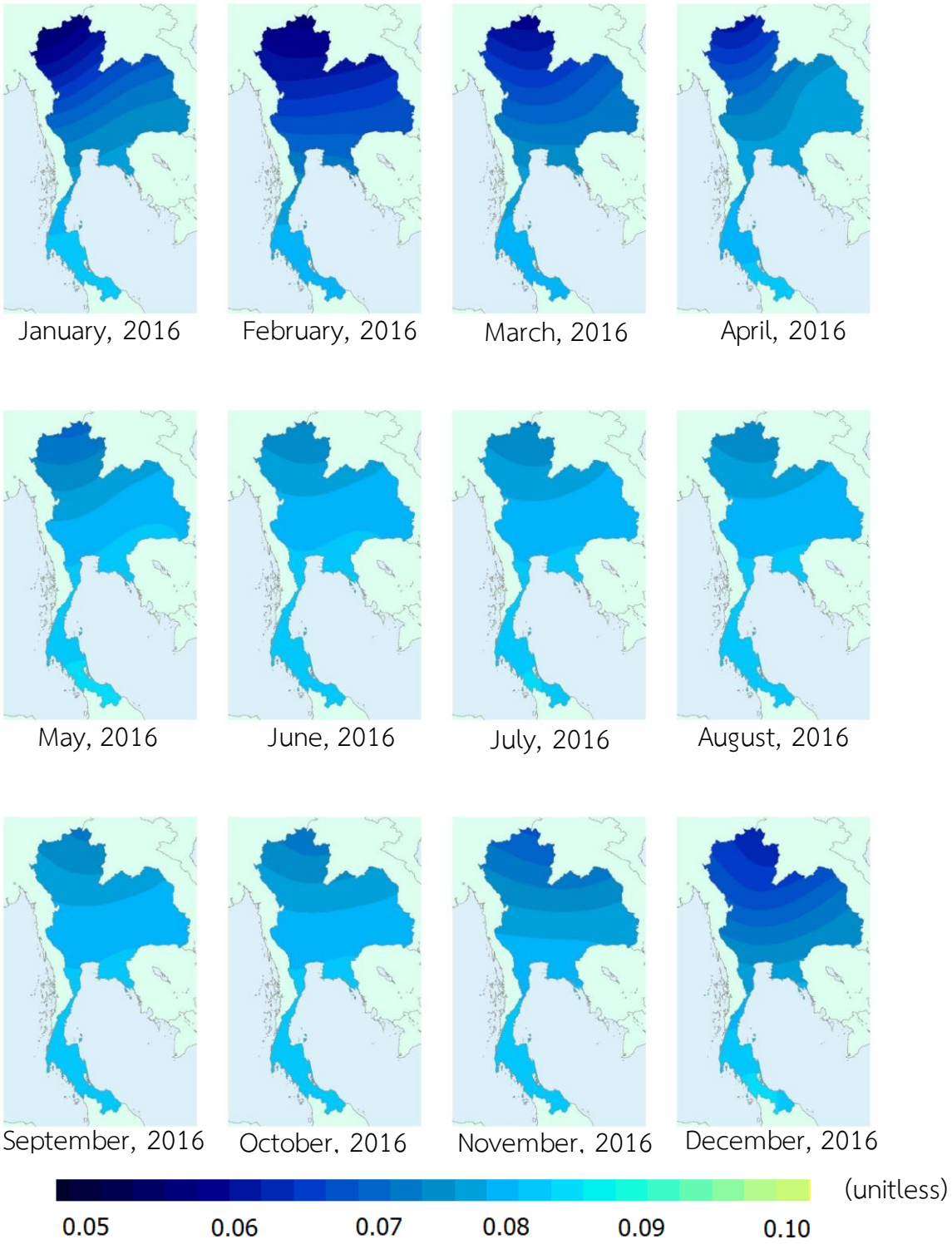
รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

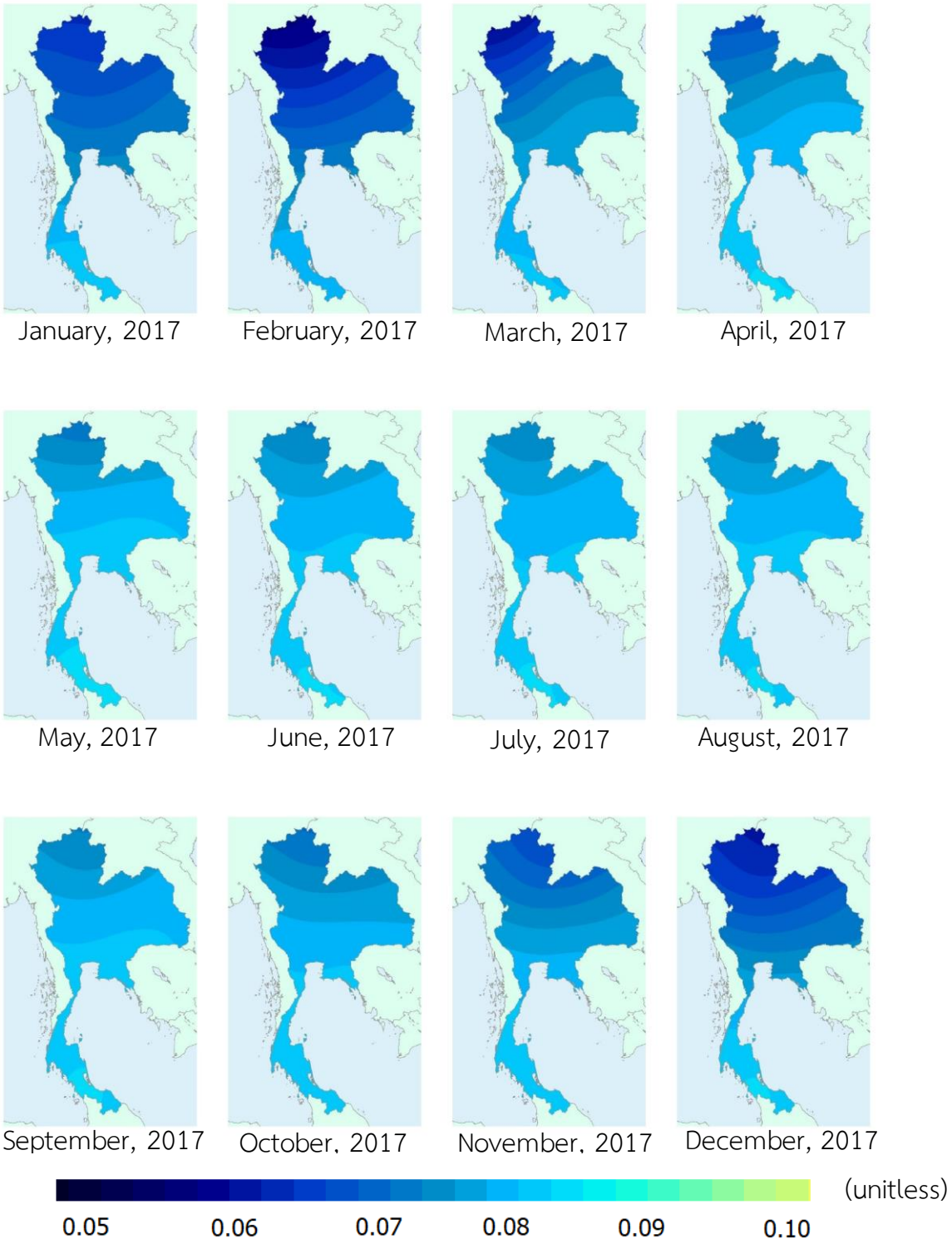
รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

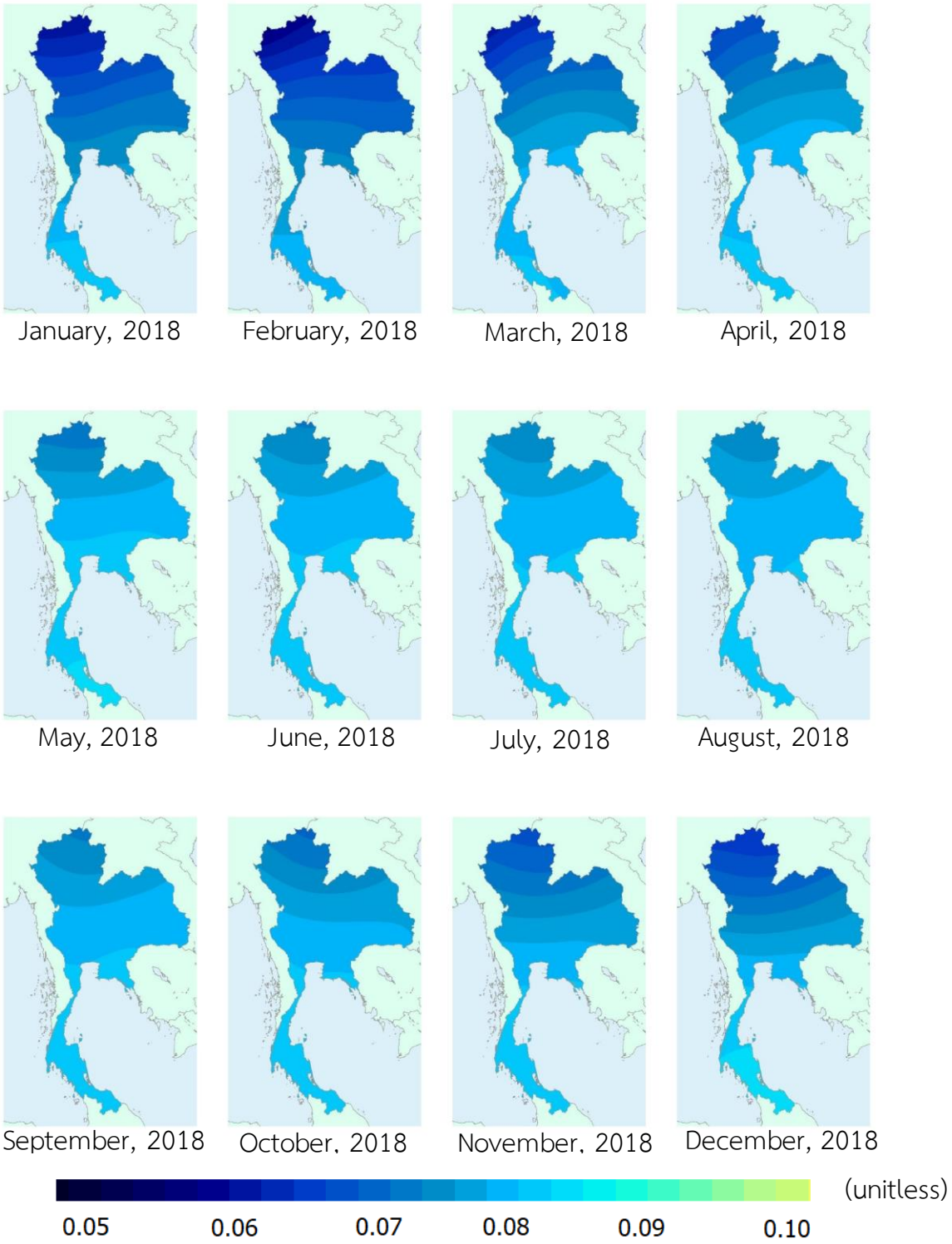
รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

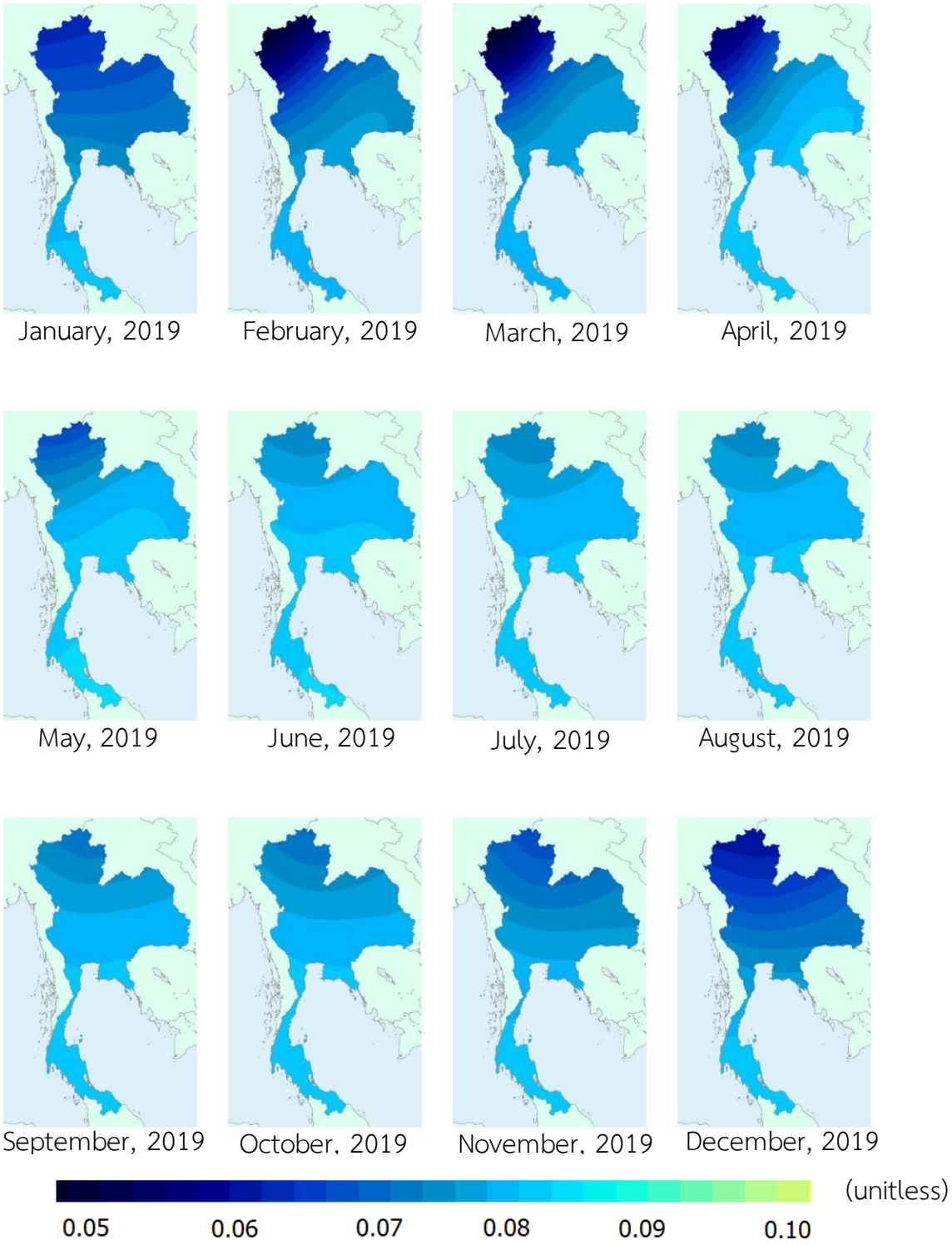
รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

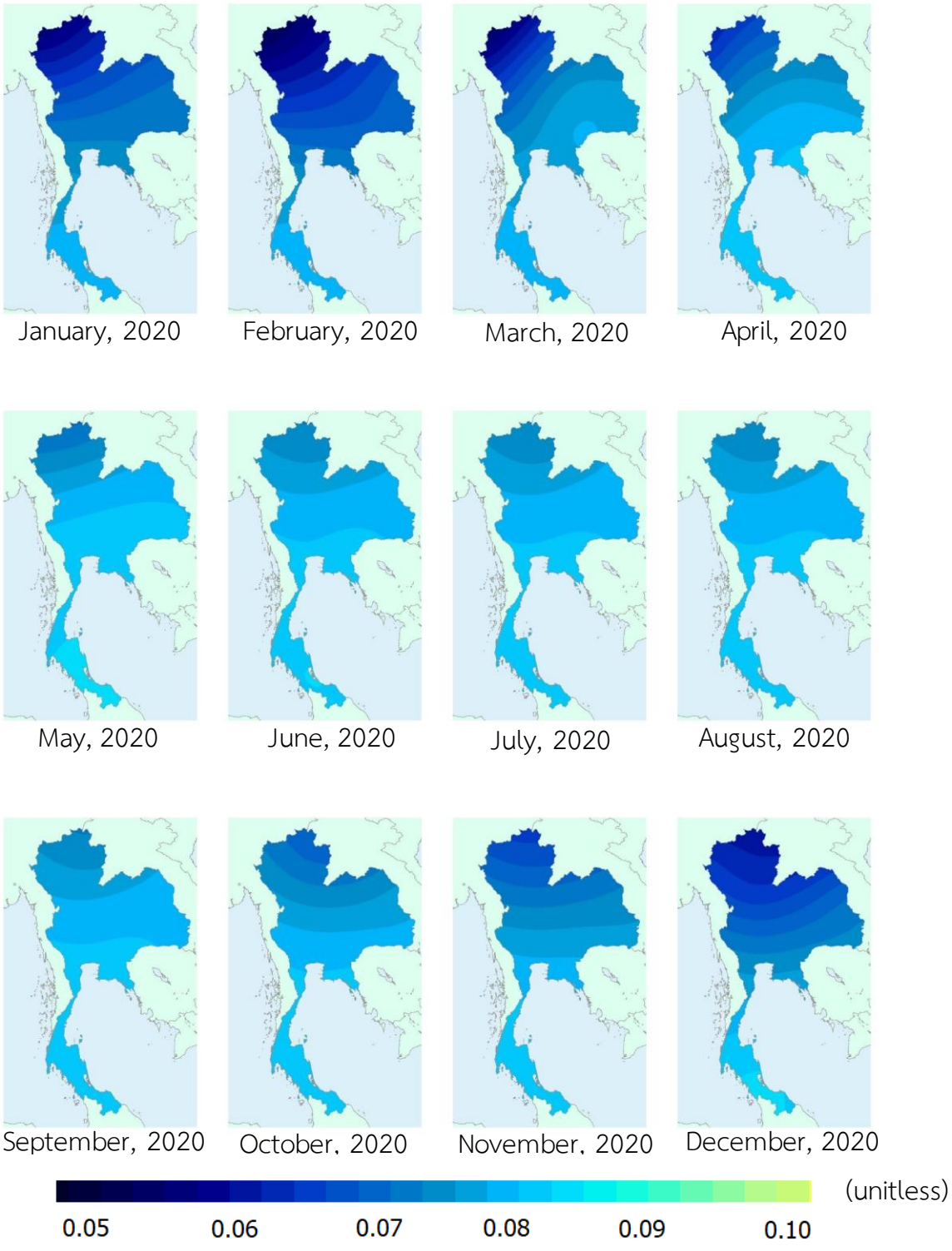
รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

รูปที่ 3.144 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
(unitless)
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10

รูปที่ 3.144 (ต่อ)

3.4.2.2 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากโอโซน

โดยทั่วไปโอโซนในบรรยากาศจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเลตและบางส่วนในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่าง ในการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจำเป็นต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน ในงานนี้ผู้ดำเนินงานจึงได้ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากโอโซนในช่วงความยาวคลื่นของดาวเทียมและช่วงความยาวคลื่นกว้างตามสมการ

- ช่วงความยาวคลื่นดาวเทียม

$$\alpha'_o = 1 - \frac{\int_{0.55}^{0.9} I_{o\lambda}\tau_{o\lambda}d\lambda}{\int_{0.55}^{0.9} I_{o\lambda}d\lambda} \quad (3.24)$$

- ช่วงความยาวคลื่นกว้าง

$$\alpha_o = 1 - \frac{\int_{0.3}^{3.0} I_{o\lambda}\tau_{o\lambda}d\lambda}{\int_{0.3}^{3.0} I_{o\lambda}d\lambda} \quad (3.25)$$

เมื่อ α'_o คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนในช่วงความยาวคลื่นดาวเทียม (-)

α_o คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (-)

$I_{o\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (W/m^2-μm)

$\tau_{o\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (spectral transmittance) ของโอโซน (-)

โดยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของโอโซนสามารถคำนวณได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

$$\tau_{o\lambda} = \exp(-k_{o\lambda} l m_a) \quad (3.26)$$

เมื่อ $\tau_{o\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์แต่ละความยาวคลื่นของโอโซน (-)

$k_{o\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ (extinction coefficient) ของโอโซน (-)

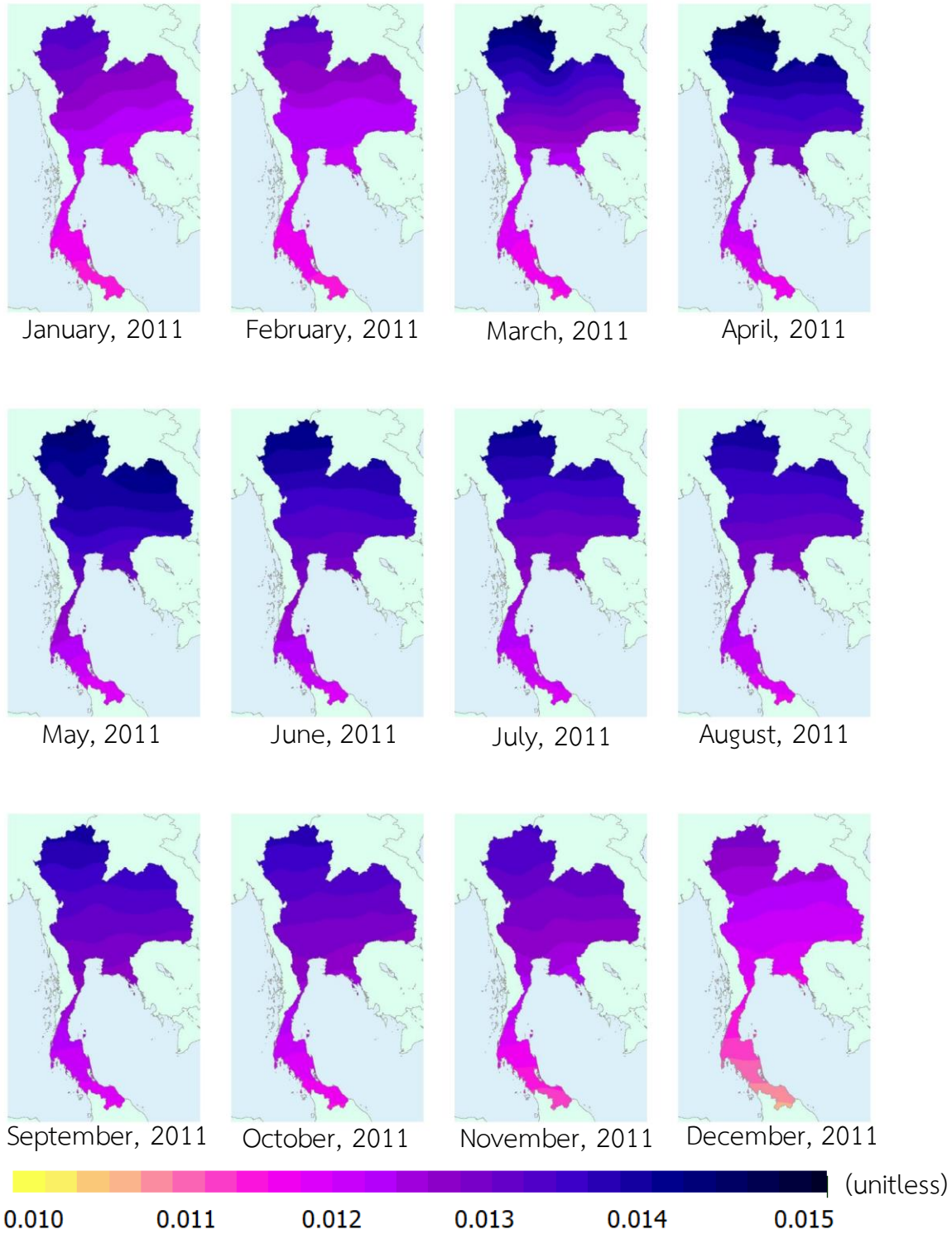
l คือ ปริมาณโอโซน (cm)

m_a คือ มวลอากาศ (-)

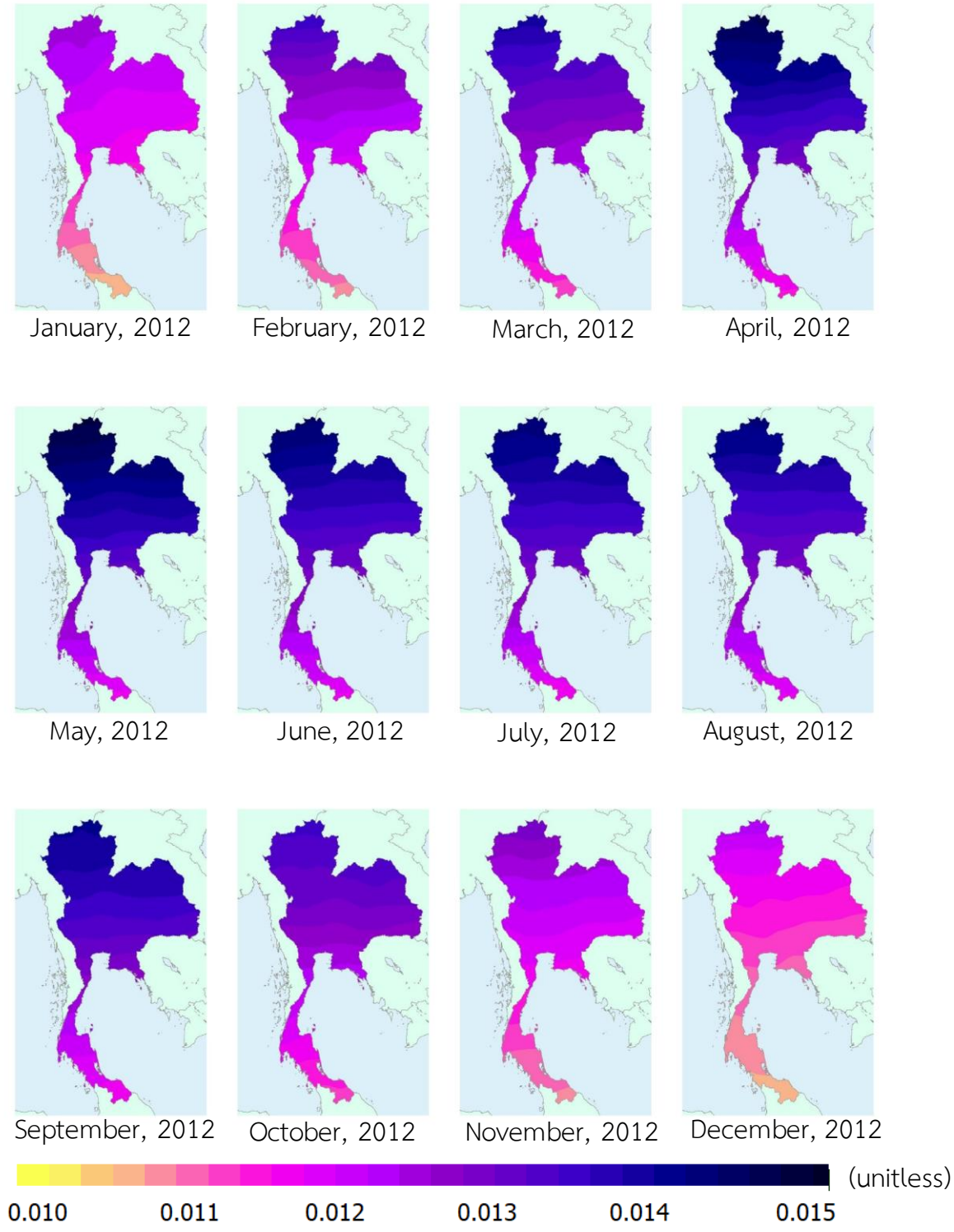
ผู้ดำเนินงานได้นำข้อมูลปริมาณโอโซนรายวันที่ได้จากดาวเทียม Earth Probe และดาวเทียม Aura มาใช้ในการคำนวณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนเหนือบริเวณประเทศไทย จากนั้นจึงทำการเฉลี่ยค่ารายวันที่ได้ในแต่ละพิกเซลให้อยู่ในรูปข้อมูลเฉลี่ยของแต่ละเดือน ในช่วงปี ค.ศ. 2001 – 2020

โดยตัวอย่างลักษณะการกระจายตามพื้นที่ของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนในช่วงความยาวคลื่นกว้างทั่วประเทศในเดือนต่าง ๆ ของปี ค.ศ. 2011 - 2020 แสดงไว้ในรูปที่ 3.145

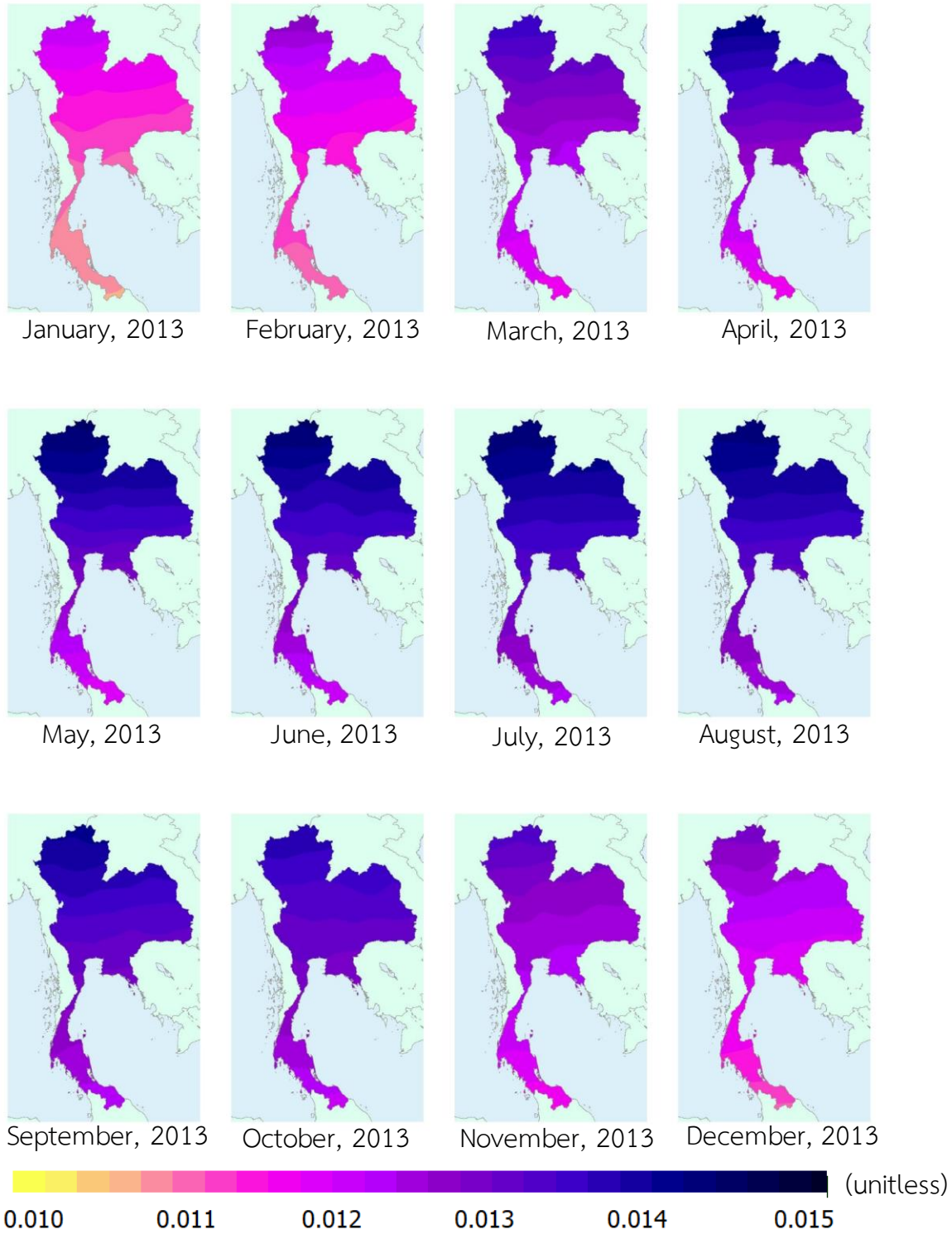
จากรูปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากโอโซนจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากช่วงต้นปี (ประมาณ 0.011) ไปถึงช่วงกลางปี (ประมาณ 0.015) จากนั้นจะมีค่าลดลงจนถึงช่วงปลายปี นอกจากนี้พบว่าการแปรค่าจะขึ้นกับละติจูดโดยมีค่าสูงทางภาคเหนือและลดลงทางภาคใต้ ทั้งนี้เนื่องจากที่ละติจูดสูงจะมีปริมาณโอโซนมากกว่าละติจูดต่ำ และในช่วงกลางปีจะมีปริมาณโอโซนสูงกว่าช่วงต้นปีและปลายปี



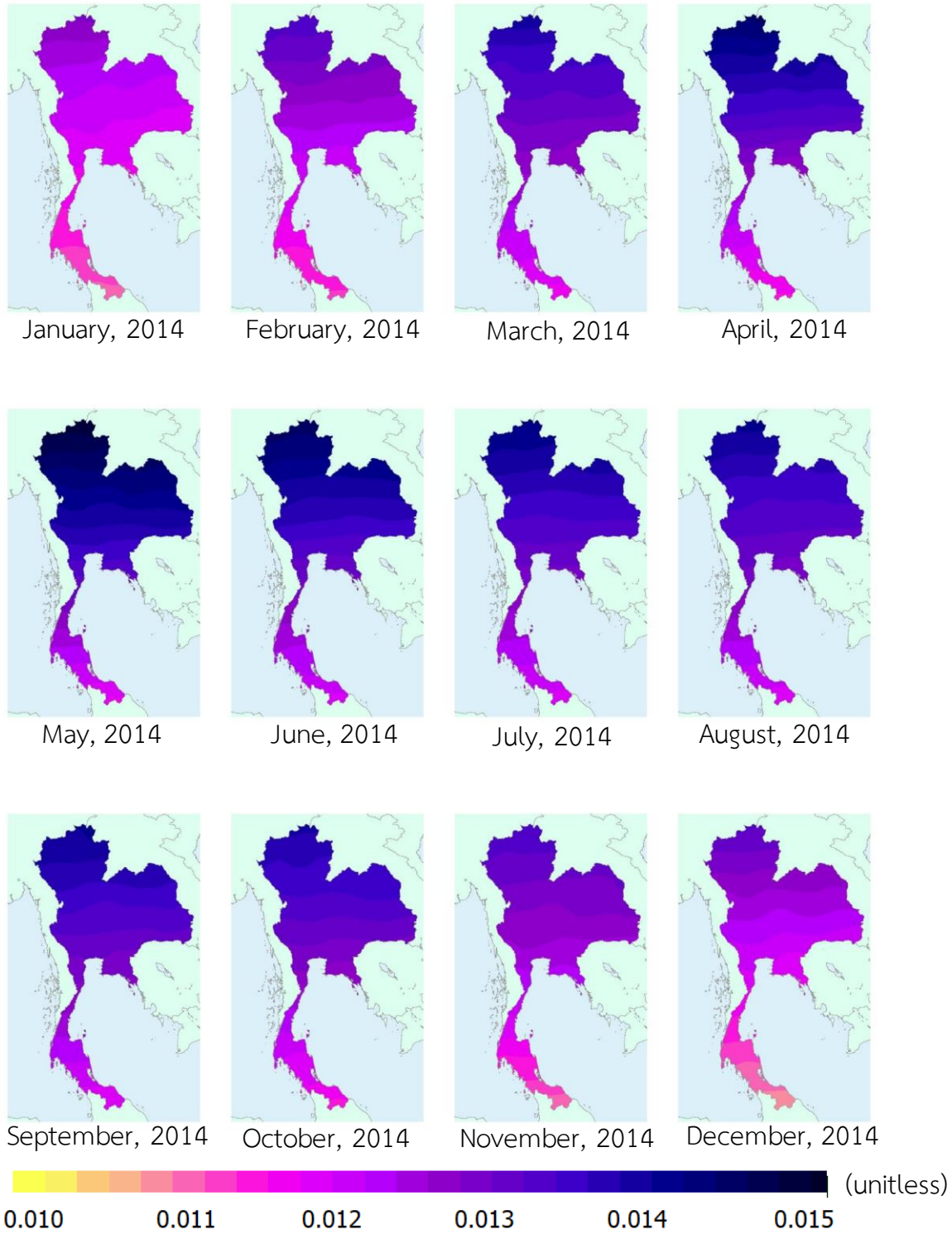
รูปที่ 3.145 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนในบรรยากาศ


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

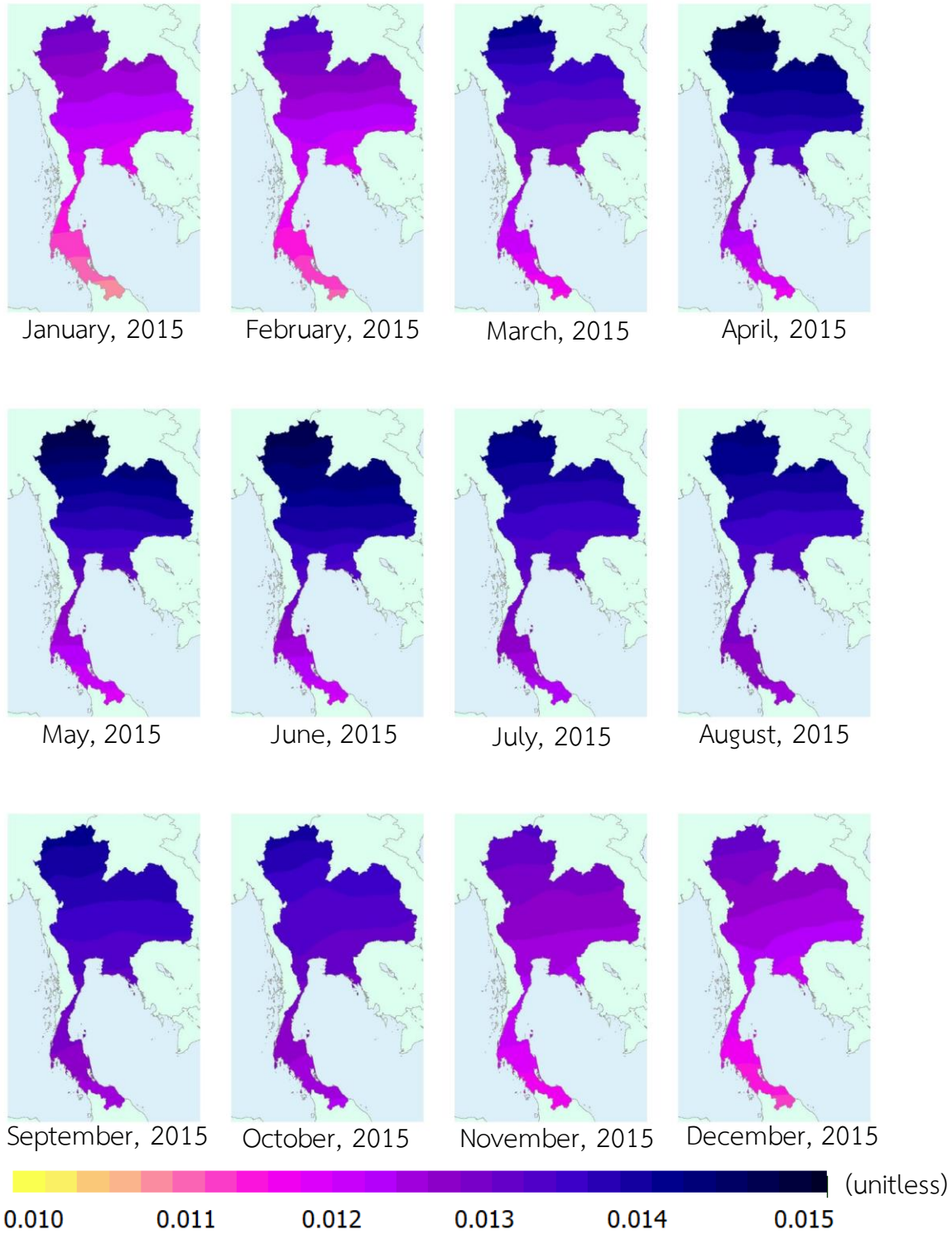
รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

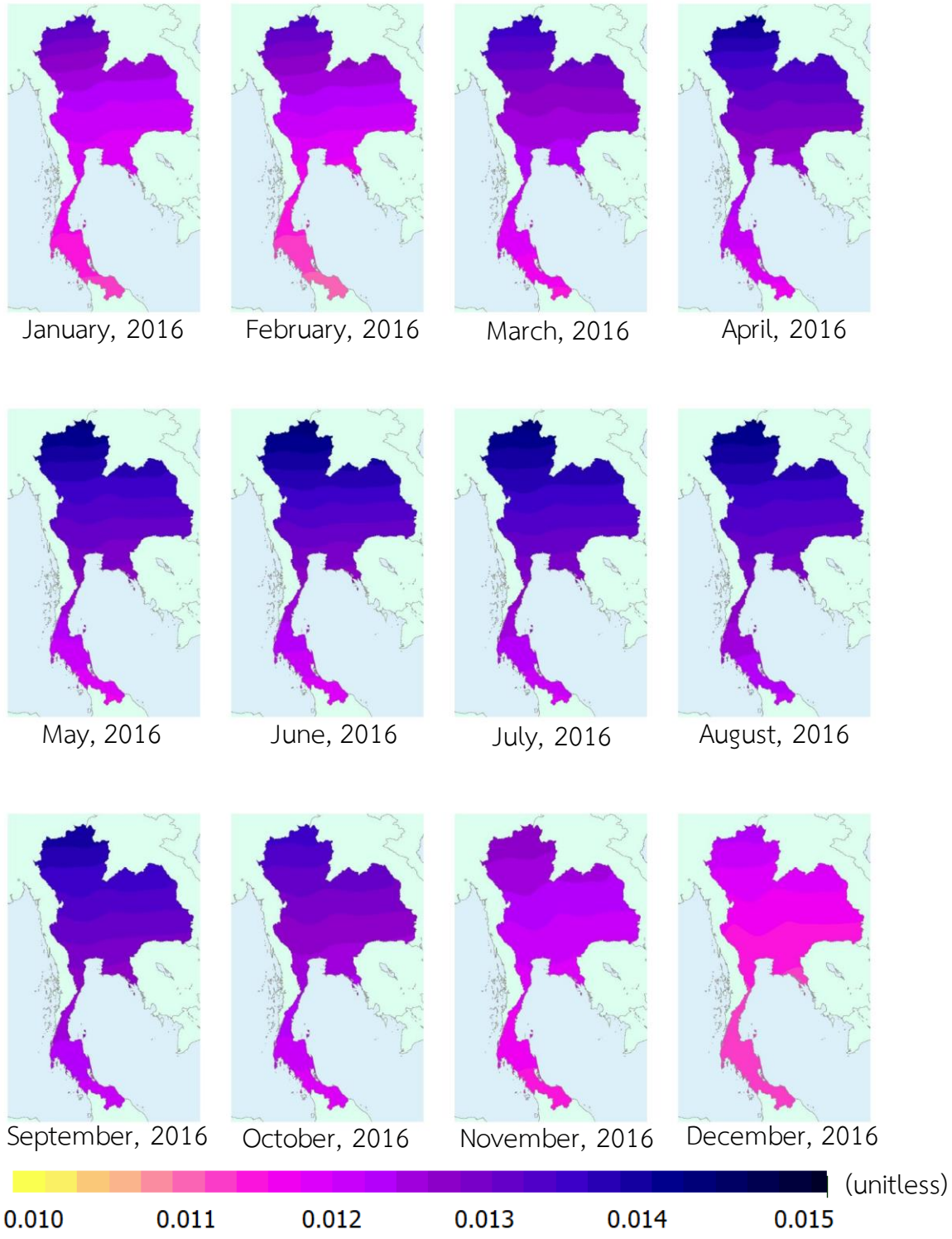
รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

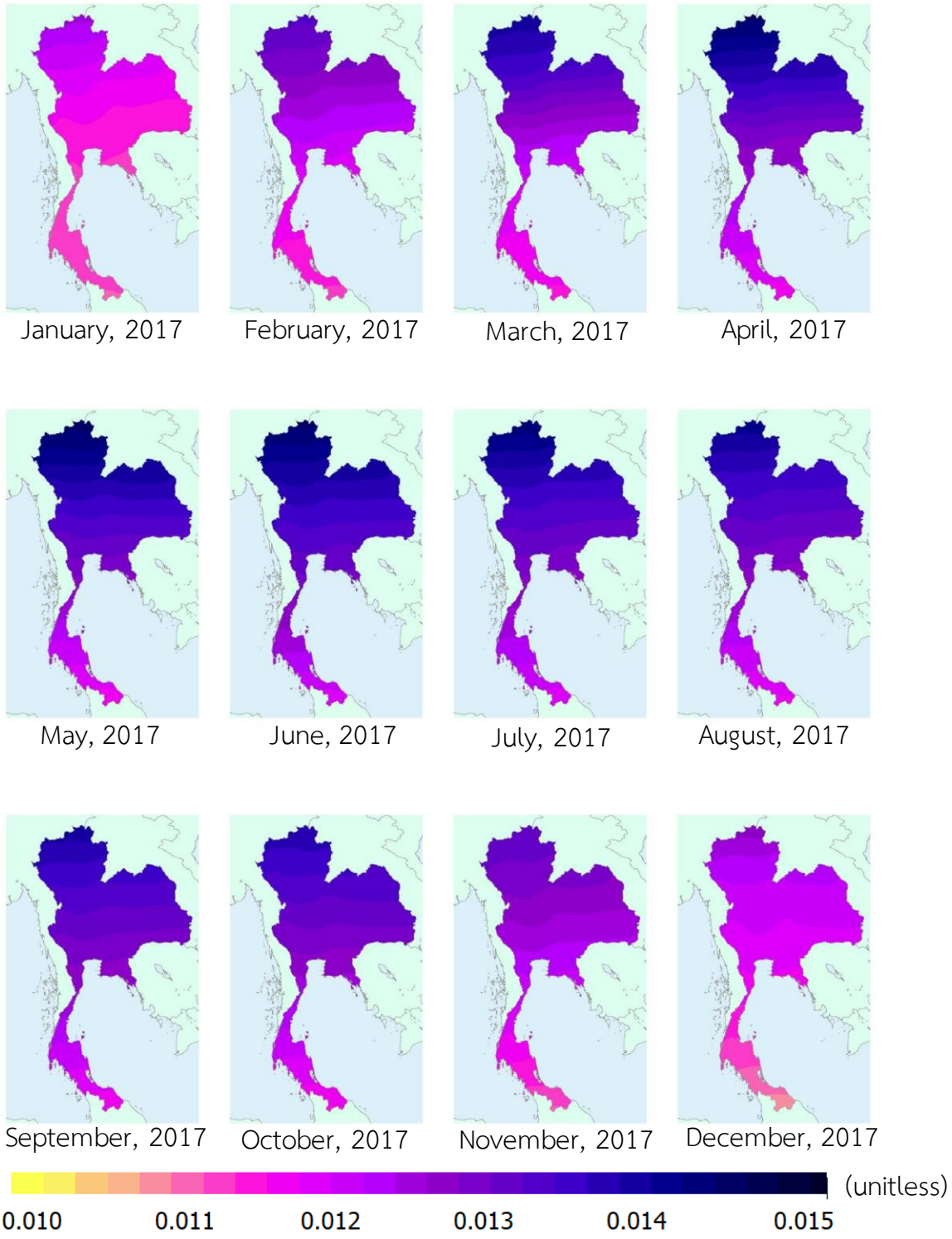
รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

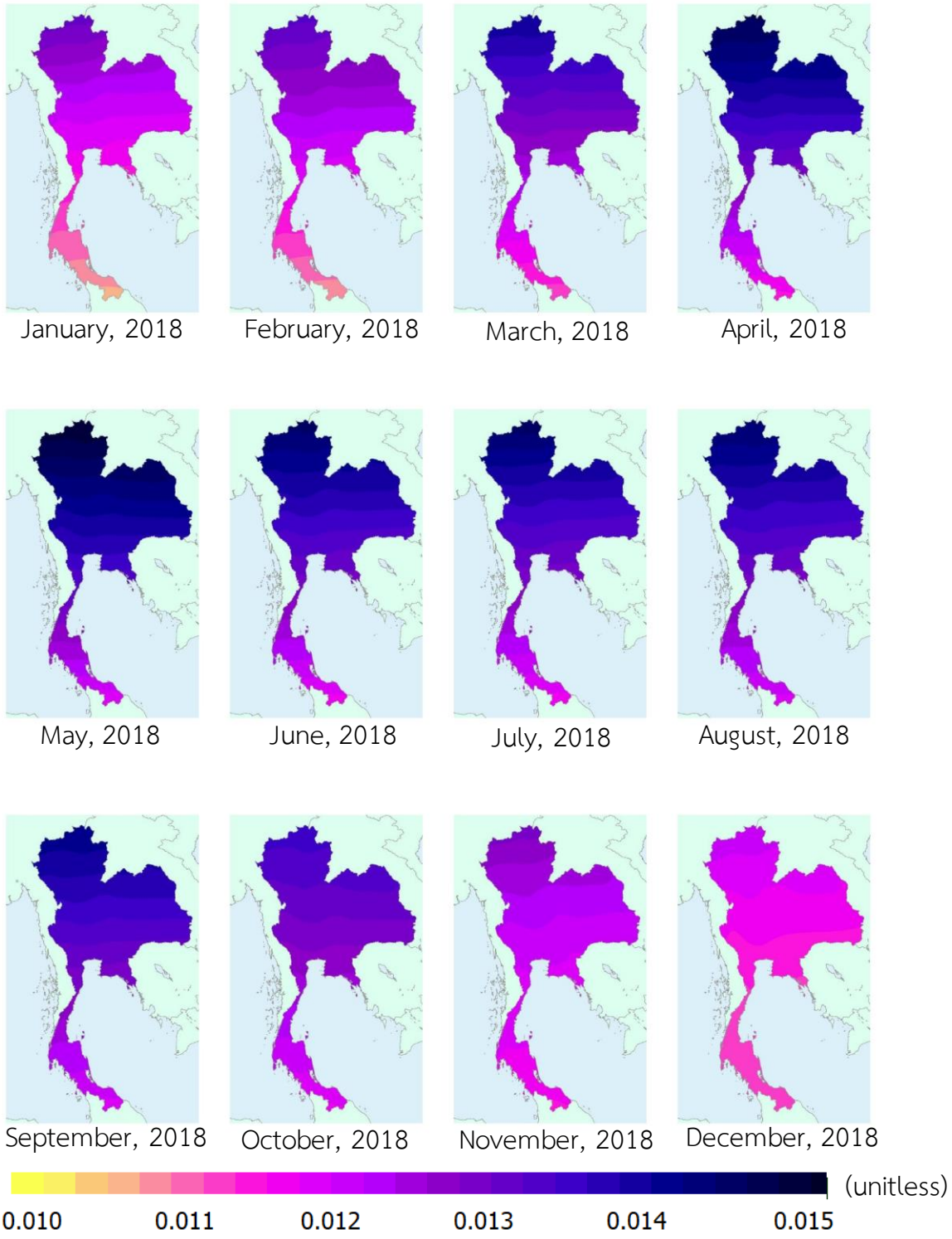
รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

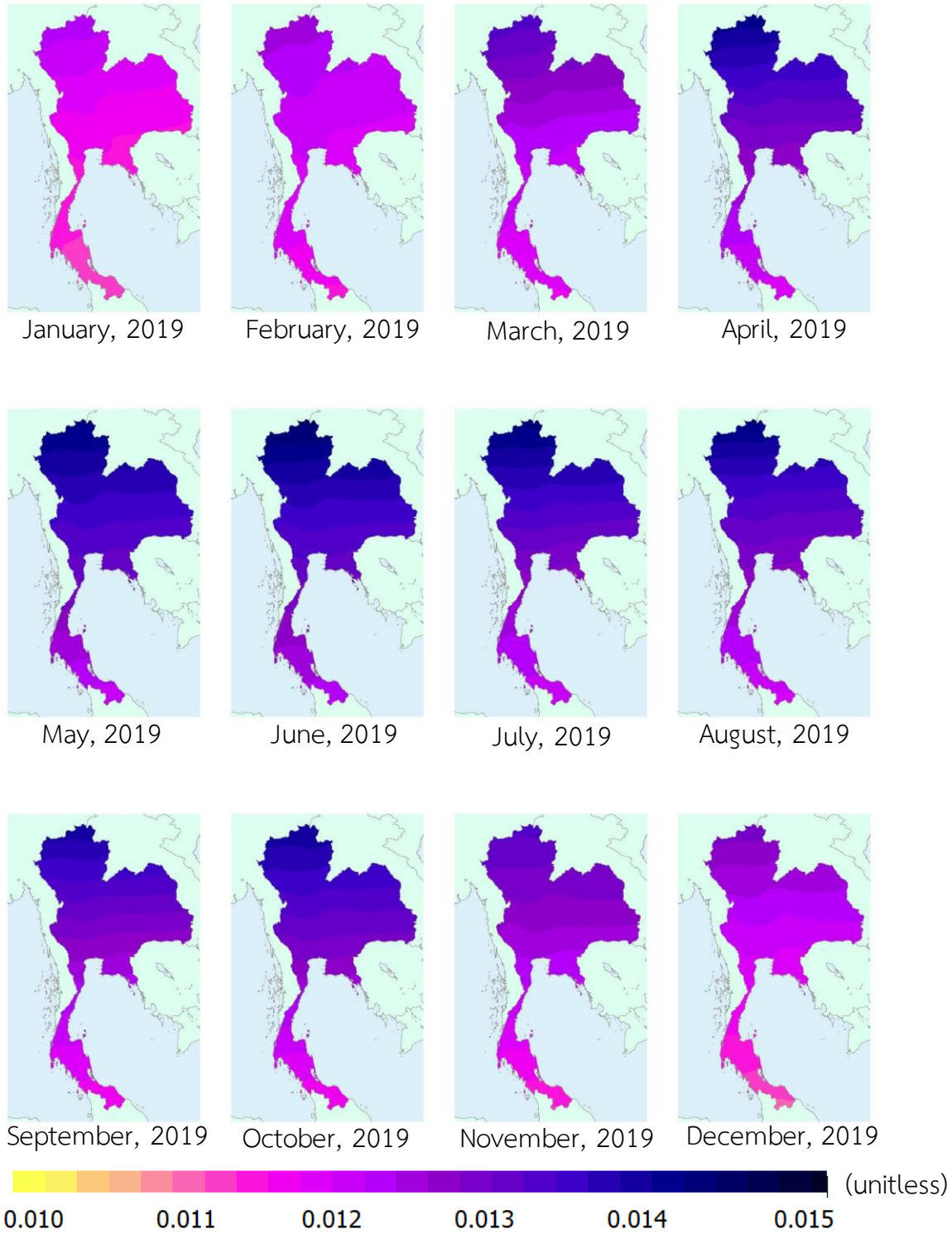
รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

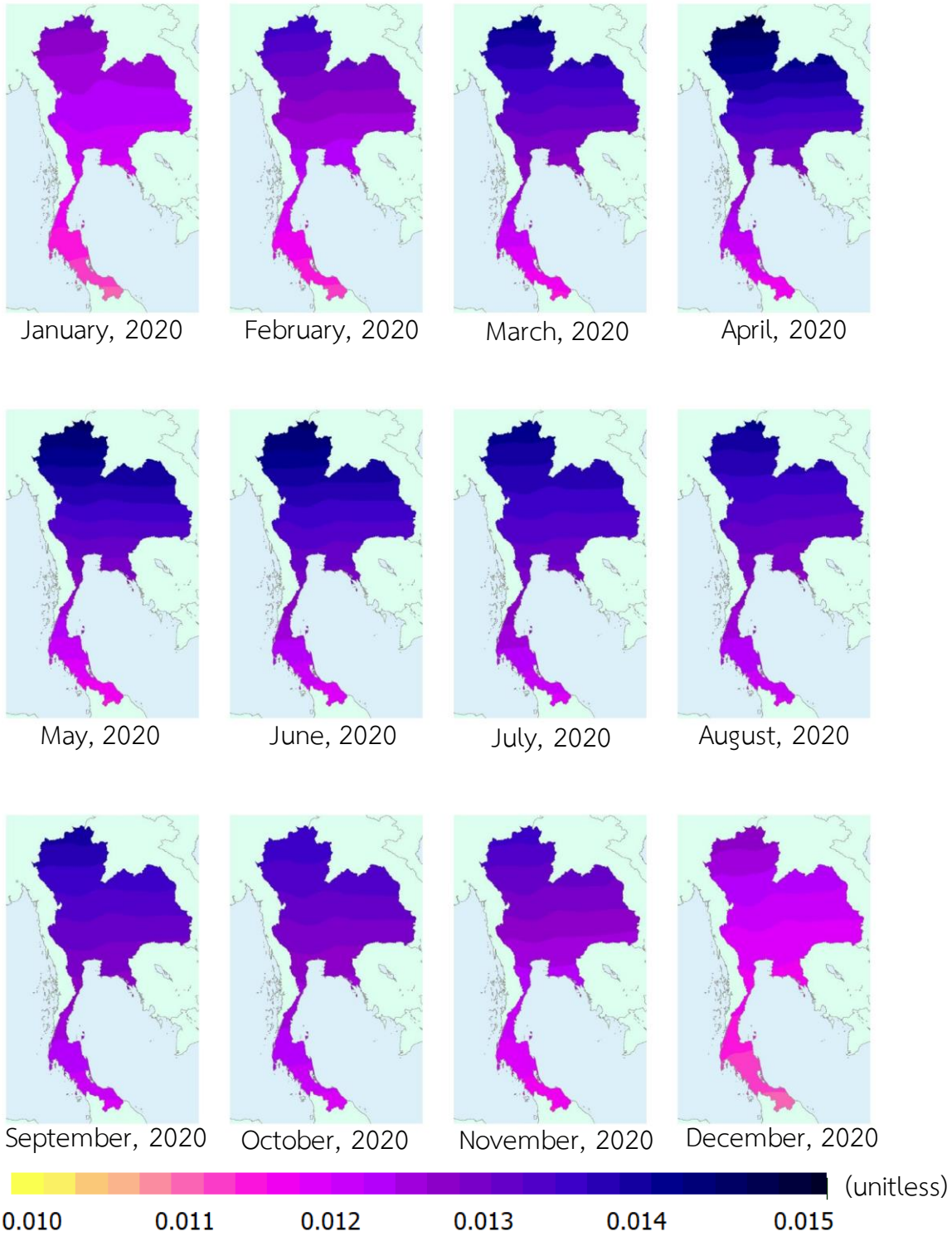
รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

รูปที่ 3.145 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
(unitless)
0.010
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015

รูปที่ 3.145 (ต่อ)

3.4.2.3 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและกระเจิงรังสีอาทิตย์จากฝุ่นละออง

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์จากฝุ่นละออง (D_{aer}) จะขึ้นกับปริมาณและชนิดของฝุ่นละออง ซึ่งฝุ่นละอองแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โดยฝุ่นละอองที่มีรูปทรงสมมาตรสูงจะมีการกระเจิงรังสีอาทิตย์ได้ดี ส่วนรูปทรงที่มีความขรุขระสูงจะทำให้เกิดการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี เมื่อนำผลจากการกระเจิงและการดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองมารวมกันจะได้เป็นการลดทอนของรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง ซึ่งมีสมการดังนี้

$$D_{aer} = D_{ab} + D_{sc} \tag{3.27}$$

เมื่อ D_{aer} คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง (-)

D_{ab} คือ สัดส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลดทอนเมื่อถูกดูดกลืนโดยฝุ่นละออง (-)

D_{sc} คือ สัดส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลดทอนเมื่อถูกกระเจิงโดยฝุ่นละออง (-)

ในงานนี้ผู้ดำเนินงานได้ทำการหาสัดส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลดทอนเมื่อถูกดูดกลืนโดยฝุ่นละออง (D_{ab}) และสัดส่วนรังสีอาทิตย์ที่ลดทอนเมื่อถูกกระเจิงโดยฝุ่นละออง (D_{sc}) โดยใช้ข้อมูล single scattering albedo ที่ได้จากเครือข่ายการวัดฝุ่นละออง (AERONET) ขององค์การนาซ่า (NASA) มาเป็นอินพุทสำหรับการคำนวณ จากนั้นจะนำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนและกระเจิงที่ได้มาคำนวณเป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองตามสมการ (3.28) และสมการ (3.29) เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่อไป

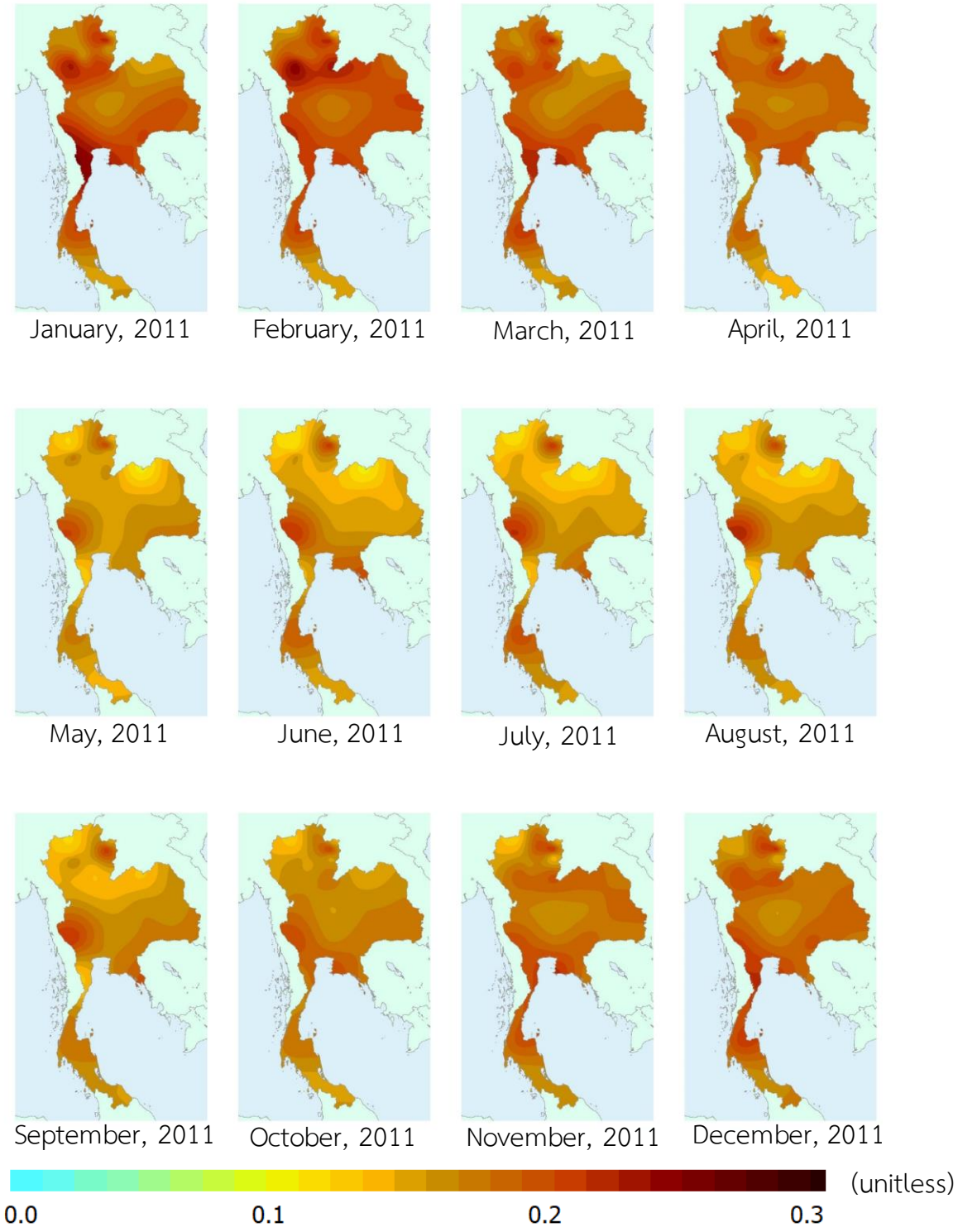
$$\rho_{aer} = D_{sc} D_{aer} \tag{3.28}$$

$$\alpha_{aer} = D_{ab} D_{aer} \tag{3.29}$$

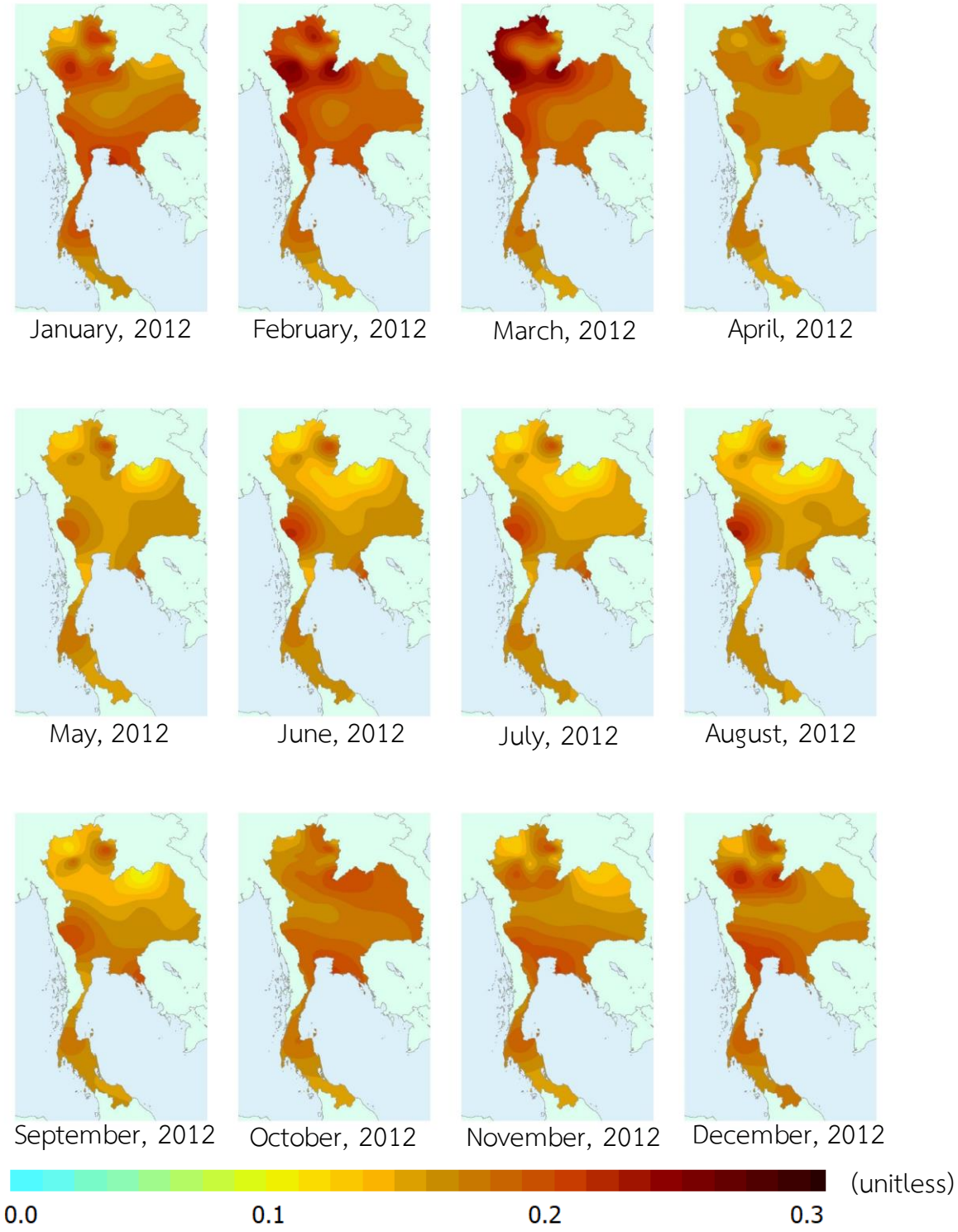
เมื่อ ρ_{aer} คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง (-)

α_{aer} คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง (-)

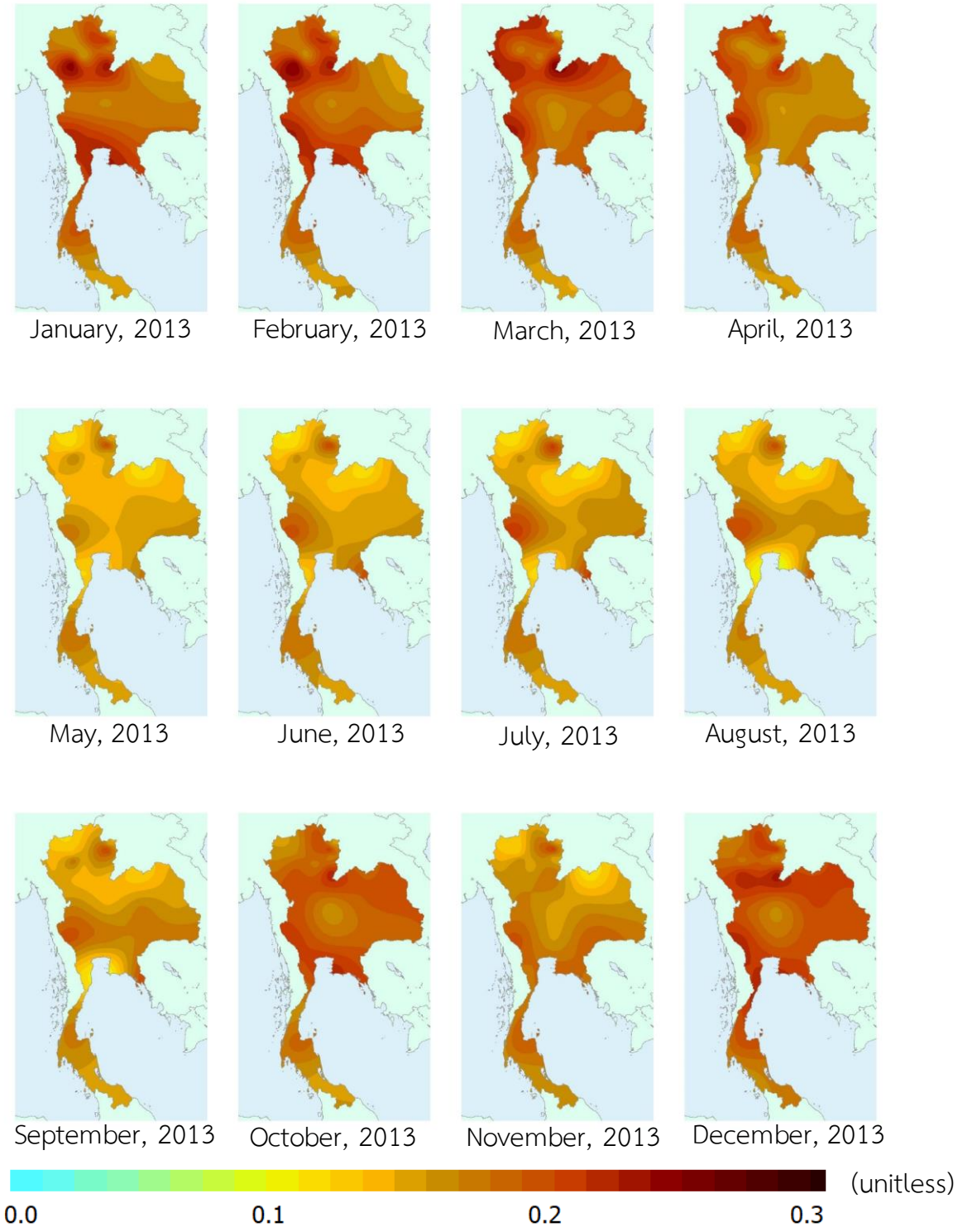
ผู้ดำเนินงานได้นำค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลทัศนวิสัยทั่วประเทศไทยมาคำนวณหาค่า ρ_{aer} และ α_{aer} ในช่วงปี ค.ศ. 2001 - 2020 ตัวอย่างของผลการคำนวณปี ค.ศ. 2011 - 2020 แสดงในรูปที่ 3.146 และ 3.147 ตามลำดับ



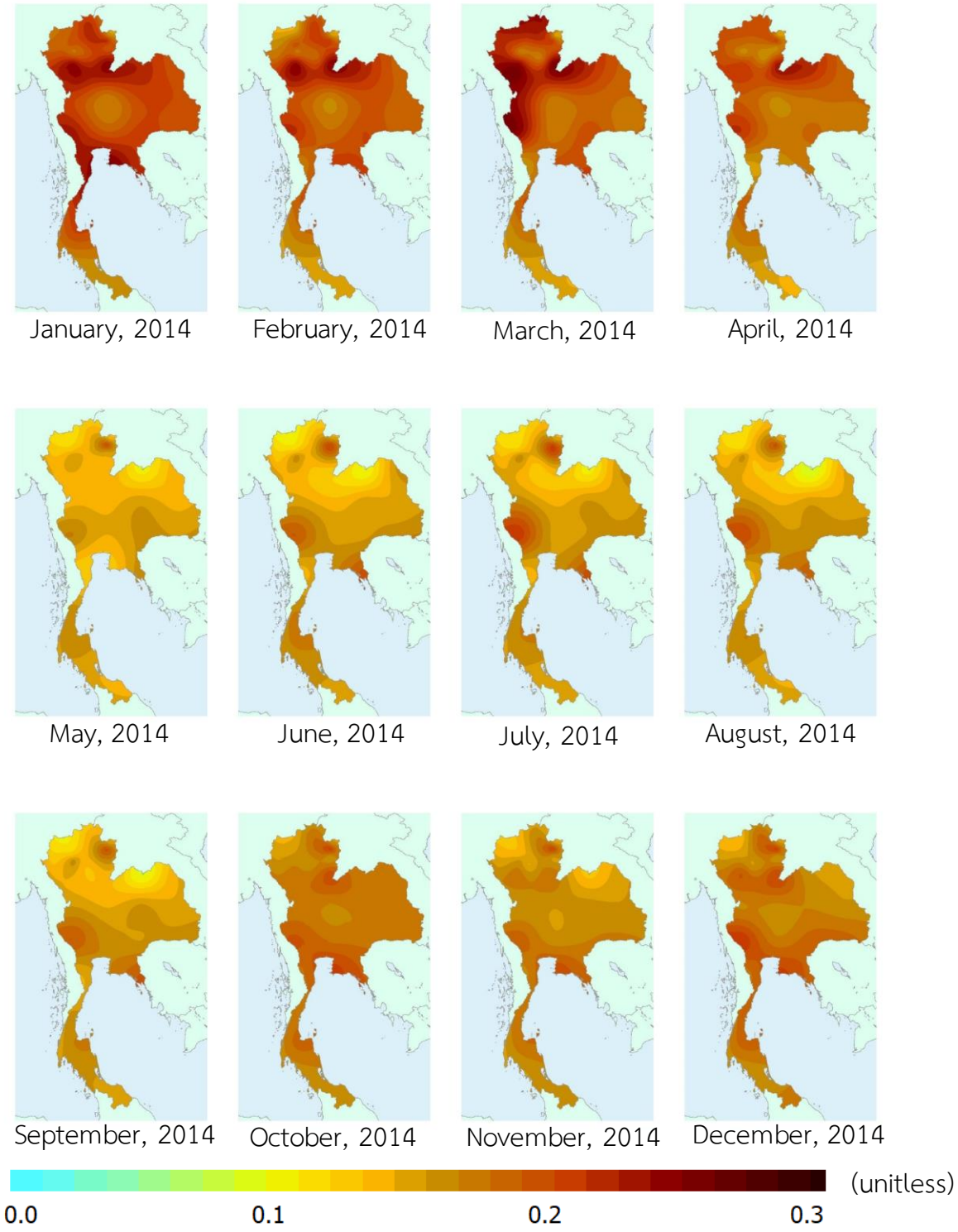
รูปที่ 3.146 ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์จากฝุ่นละออง


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

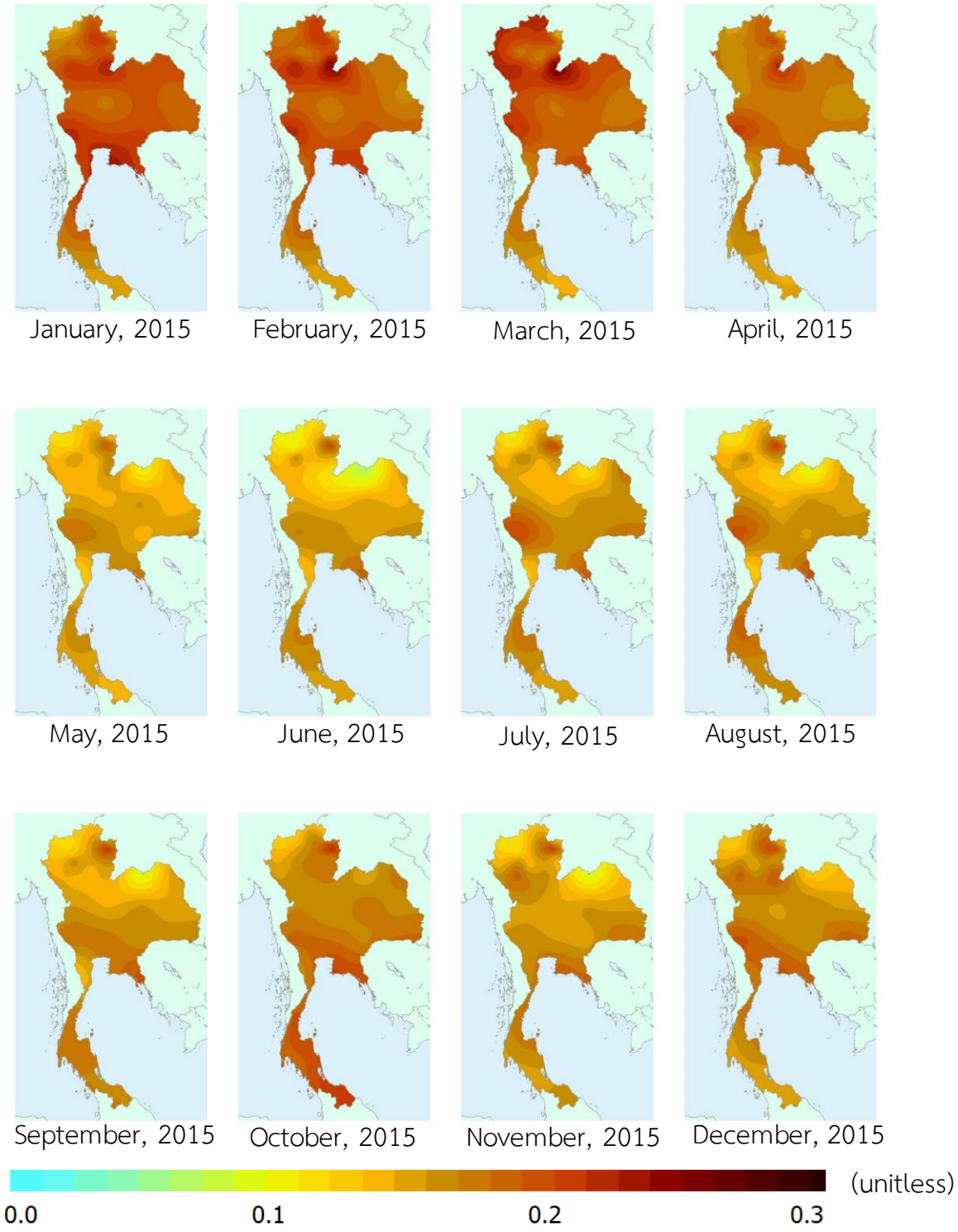
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

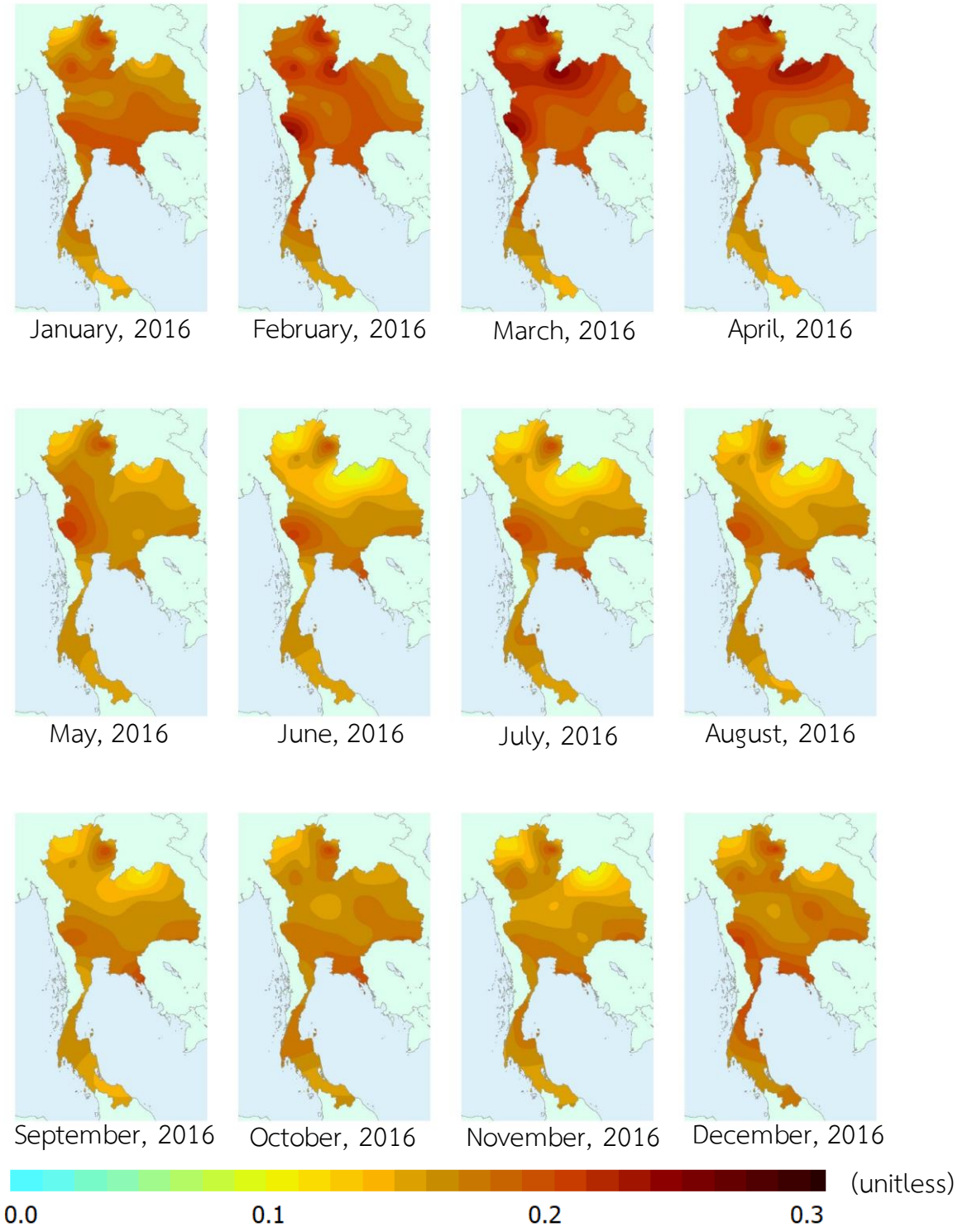
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

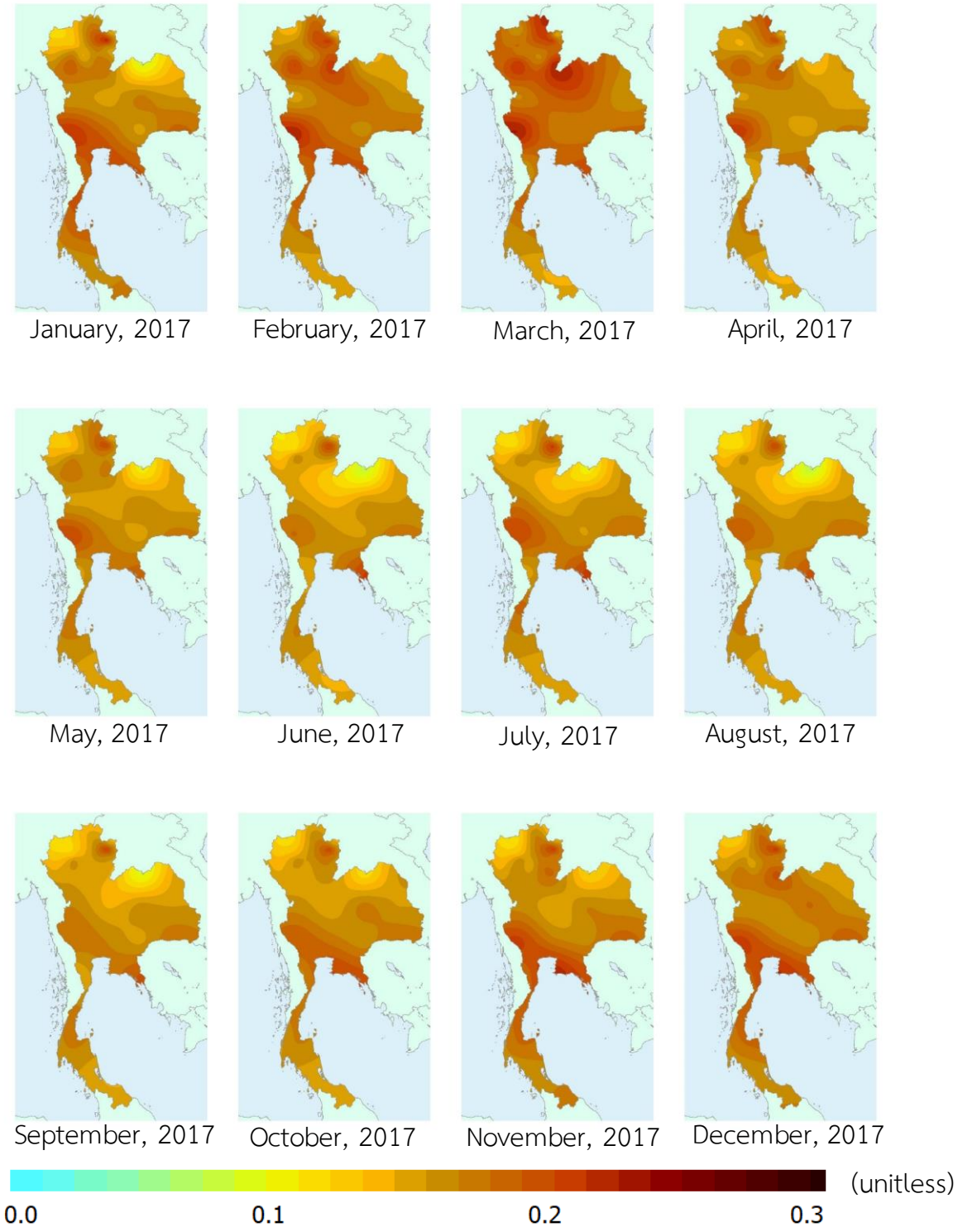
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

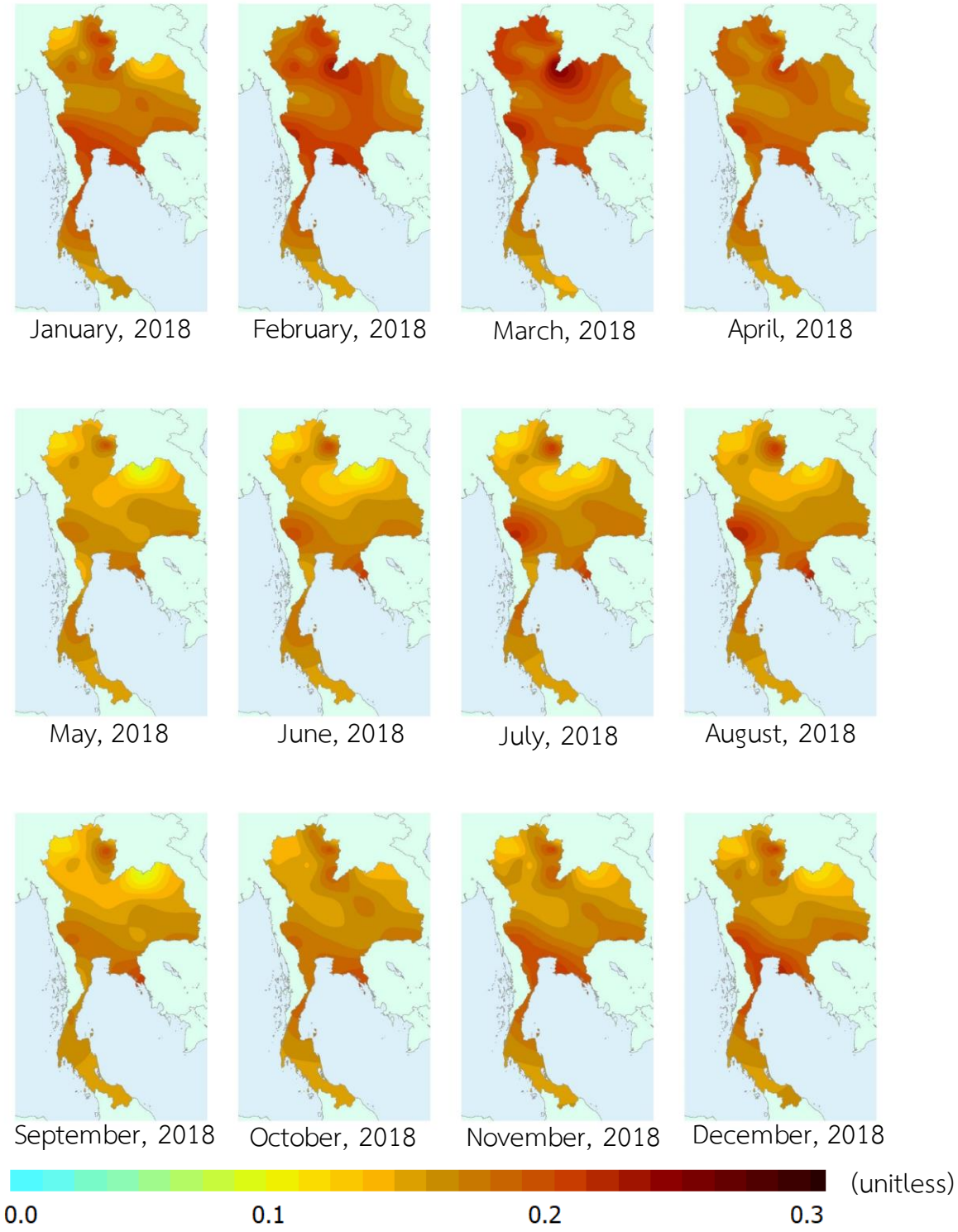
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

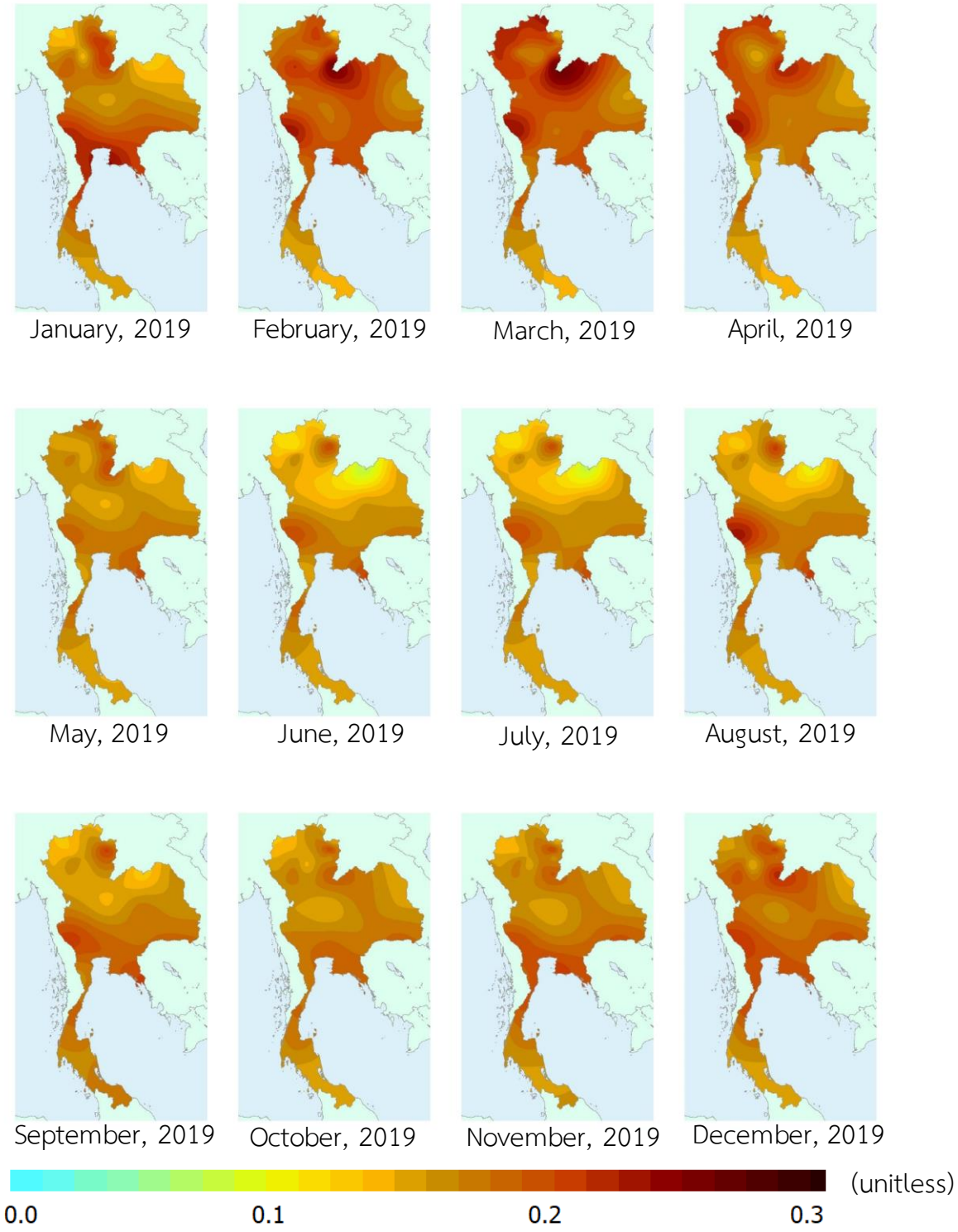
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

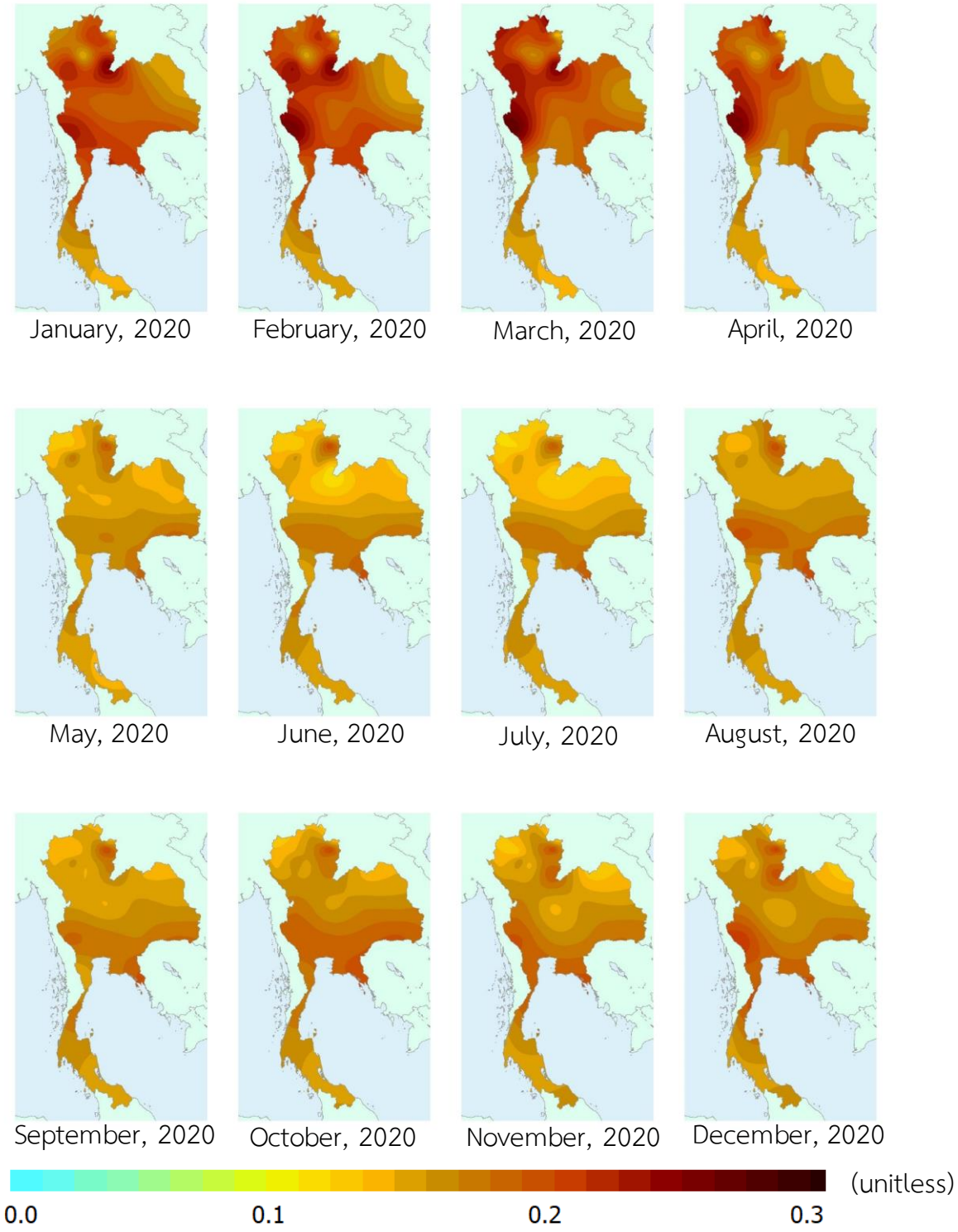
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

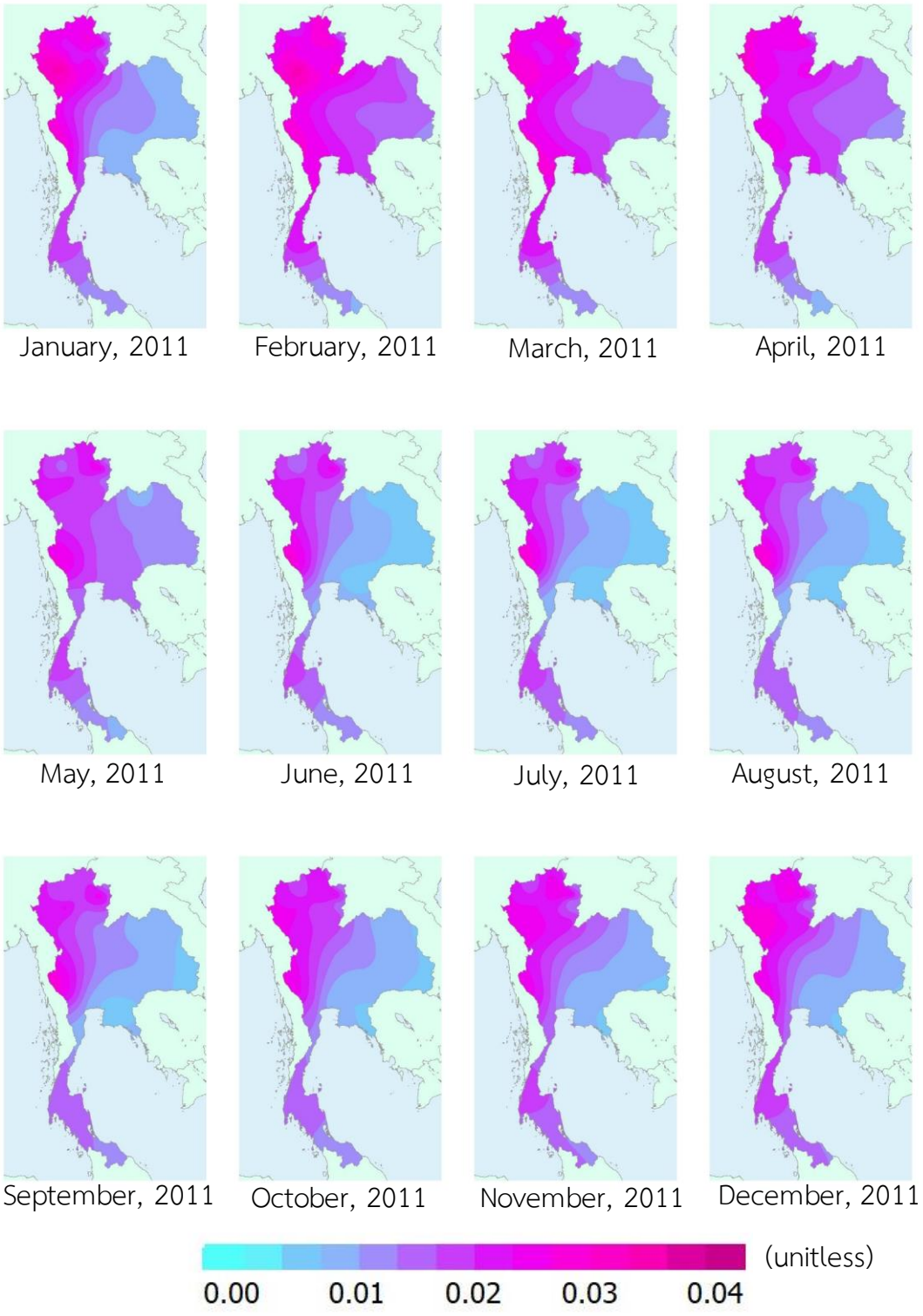
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

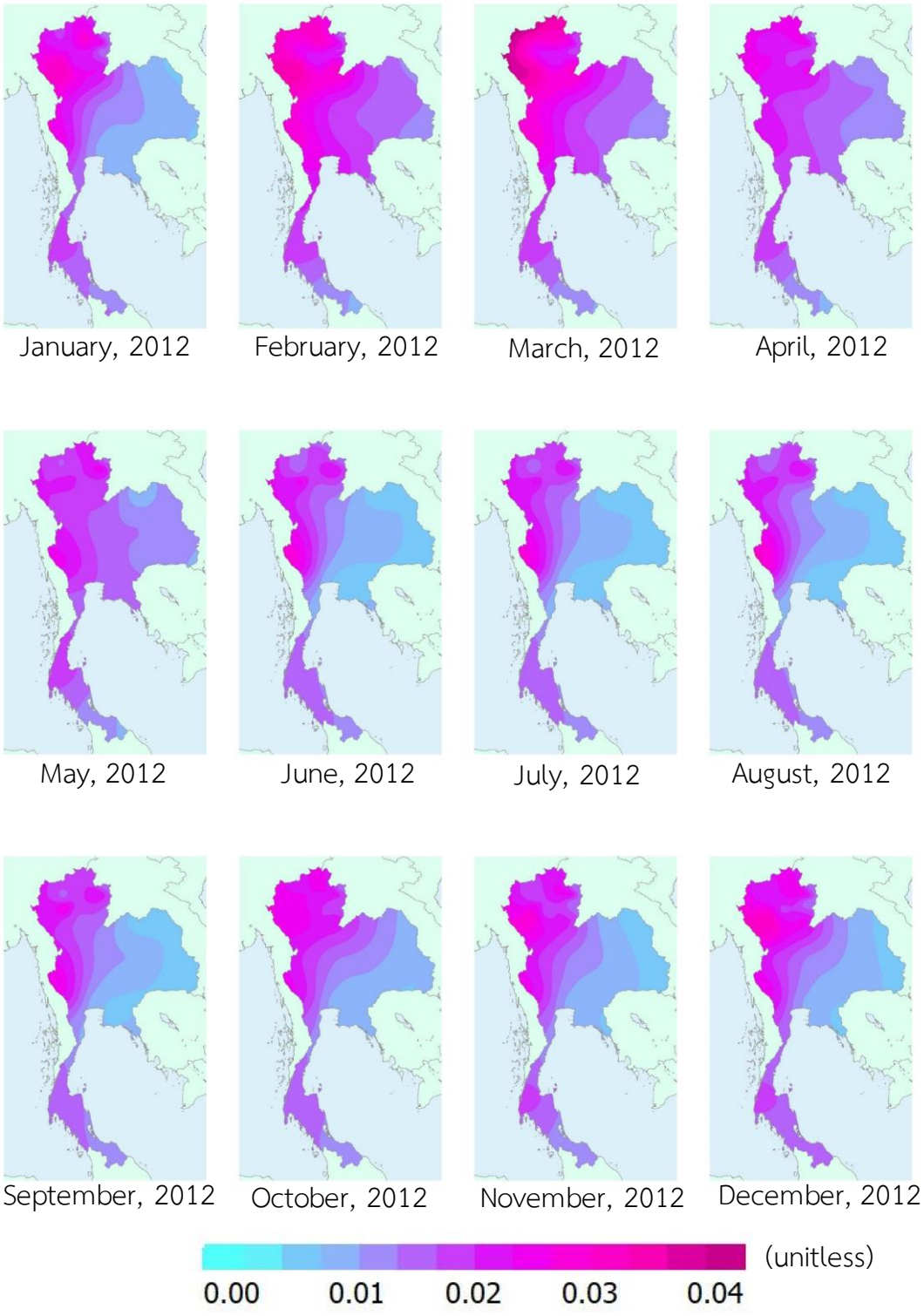
รูปที่ 3.146 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3

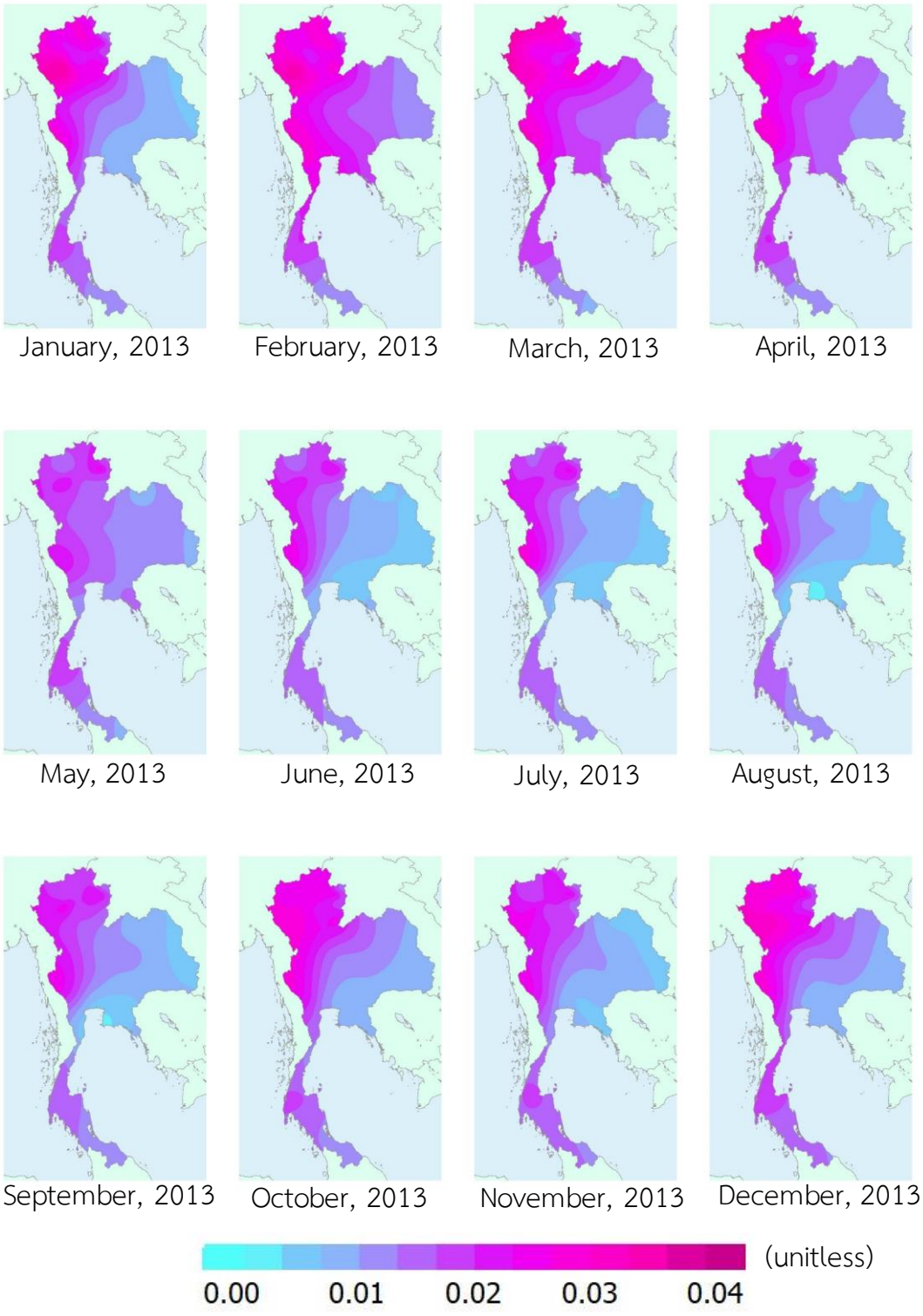
รูปที่ 3.146 (ต่อ)



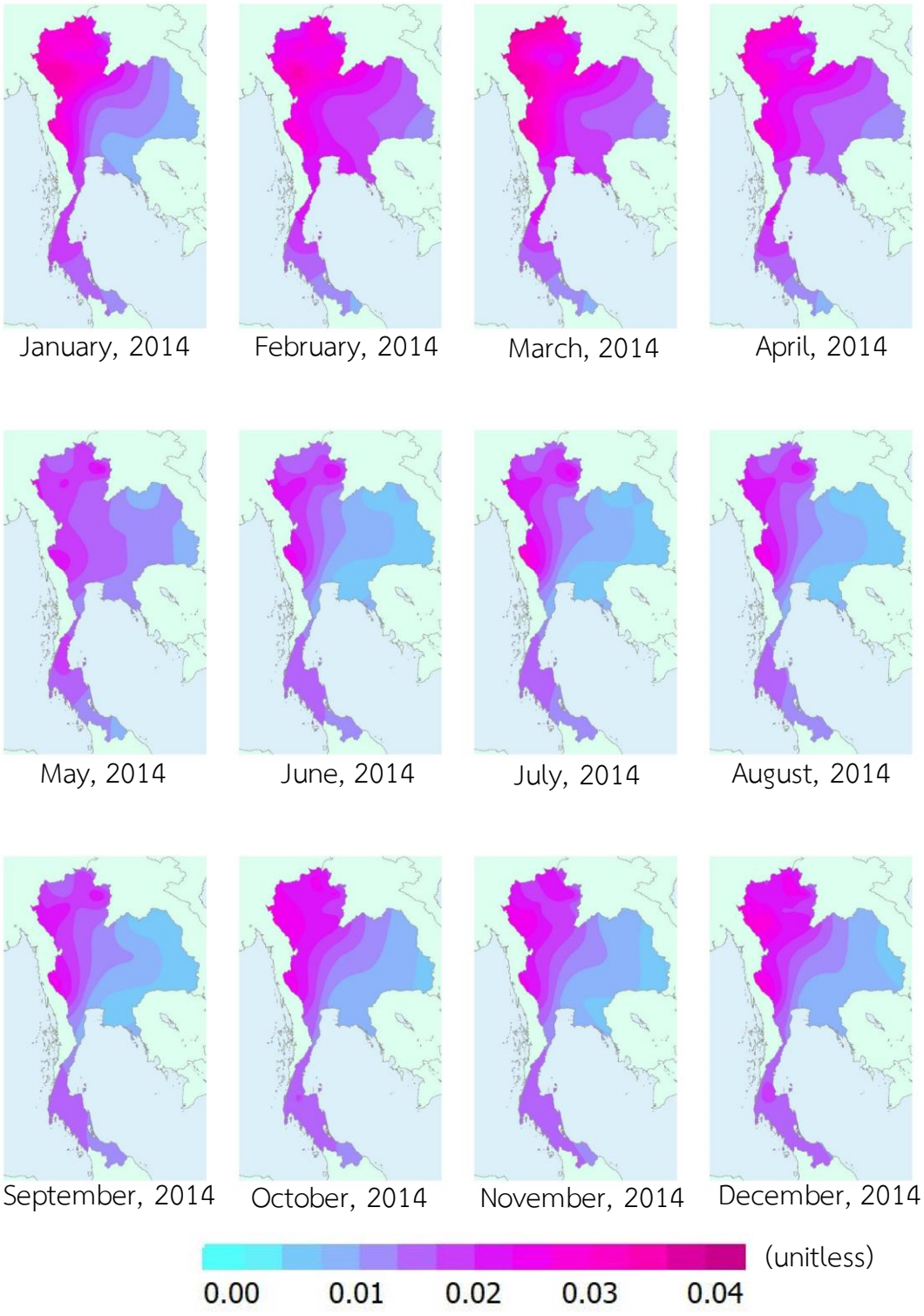
รูปที่ 3.147 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากฝุ่นละออง


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

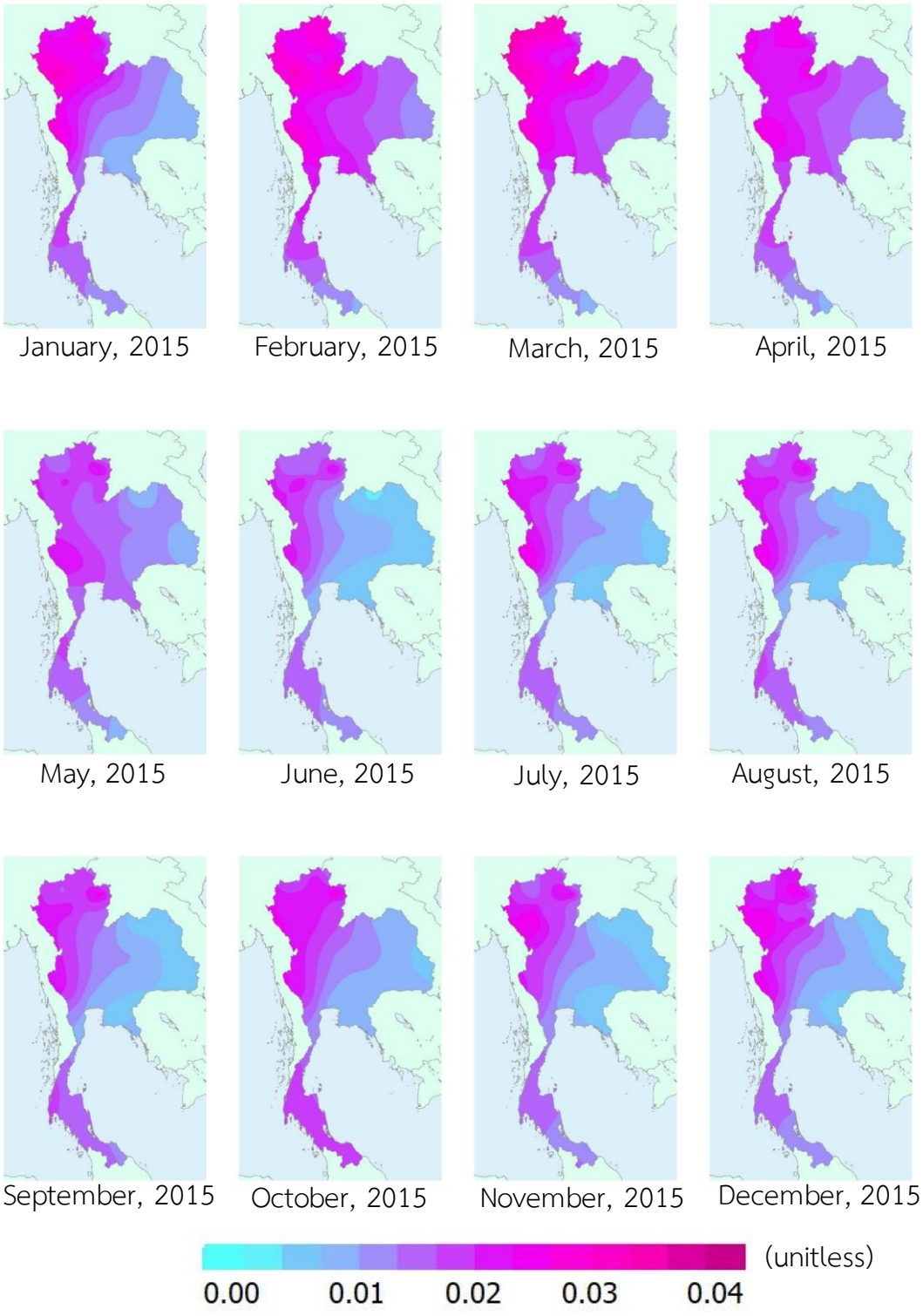
รูปที่ 3.147 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

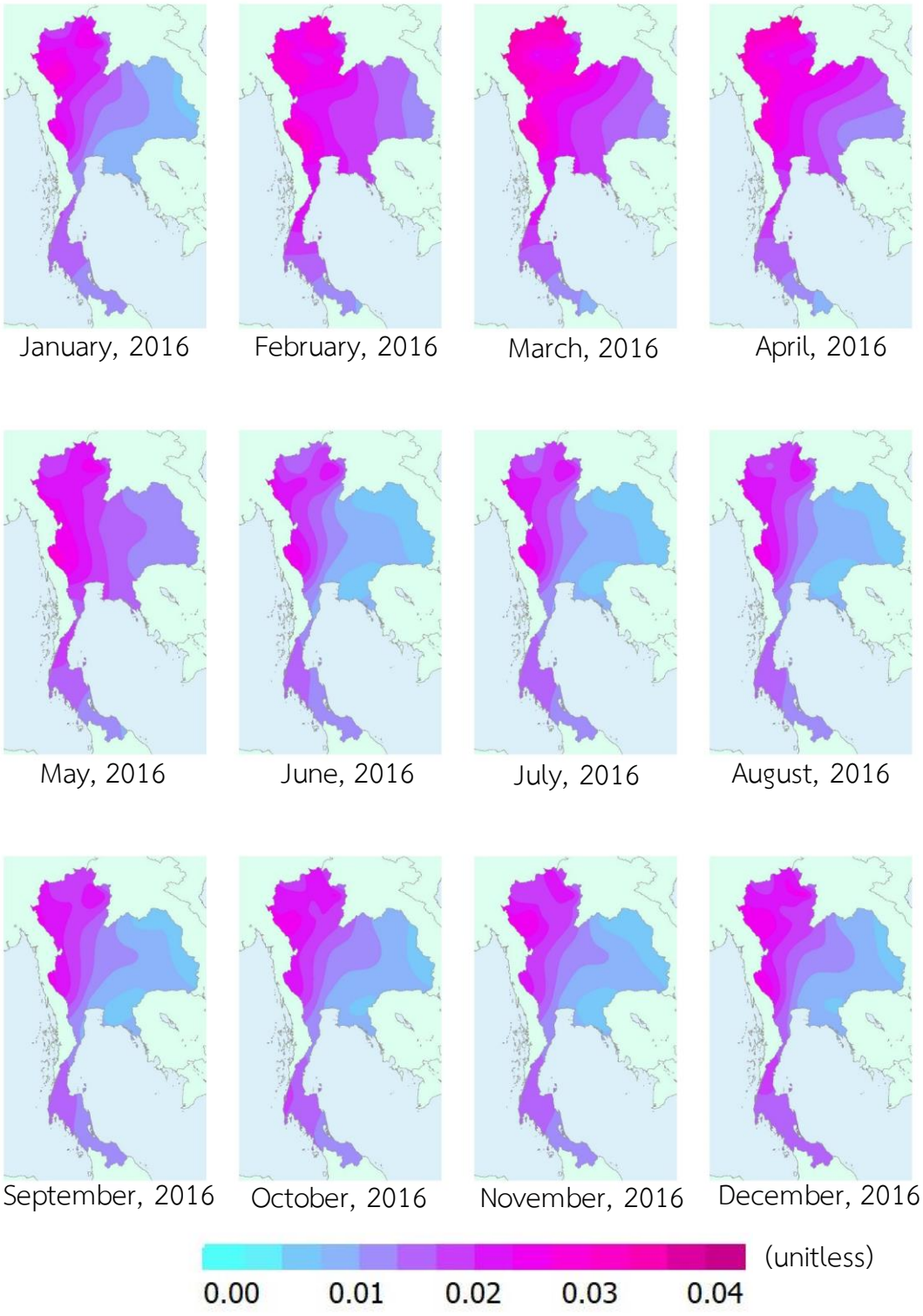
รูปที่ 3.147 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

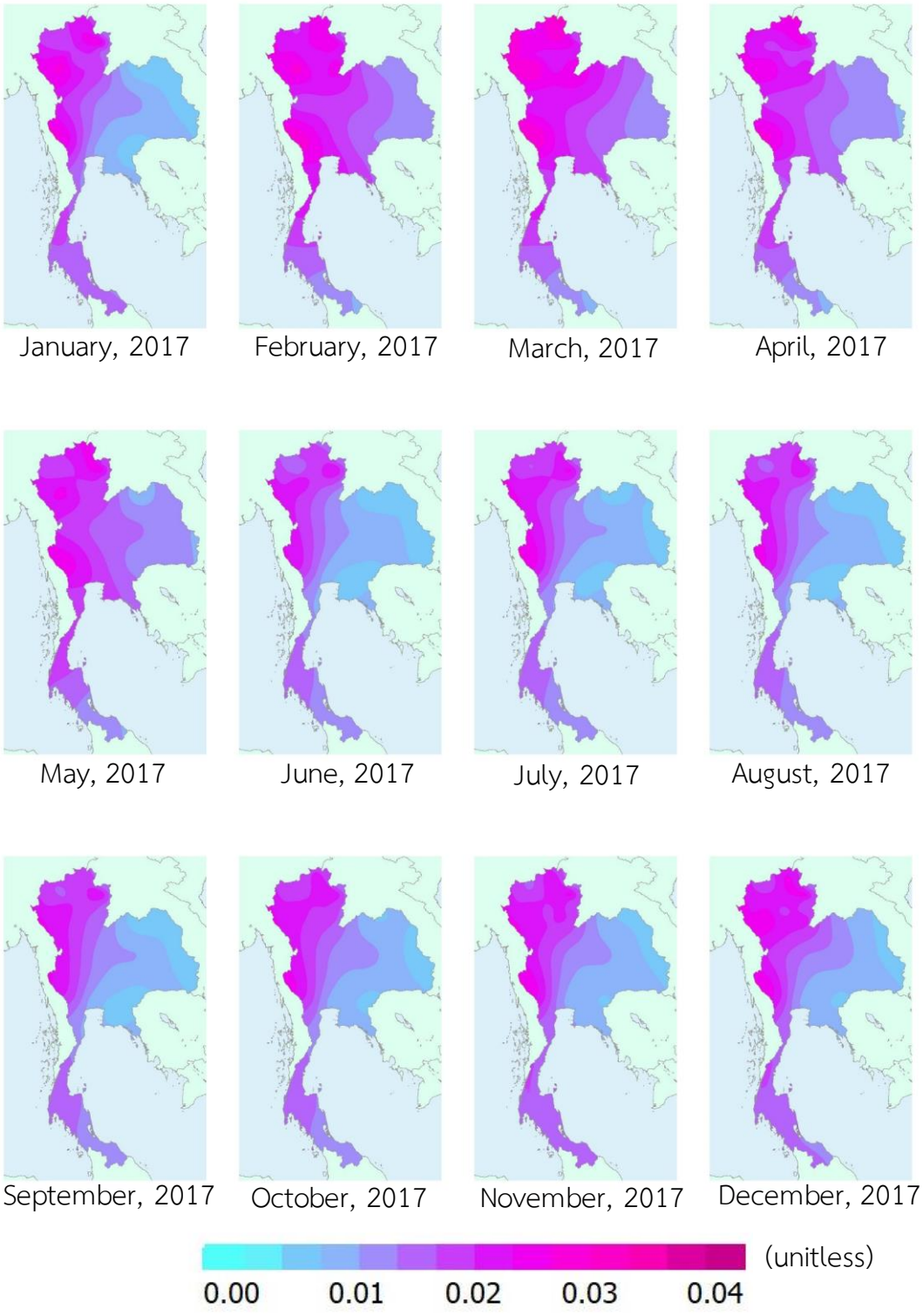
รูปที่ 3.147 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

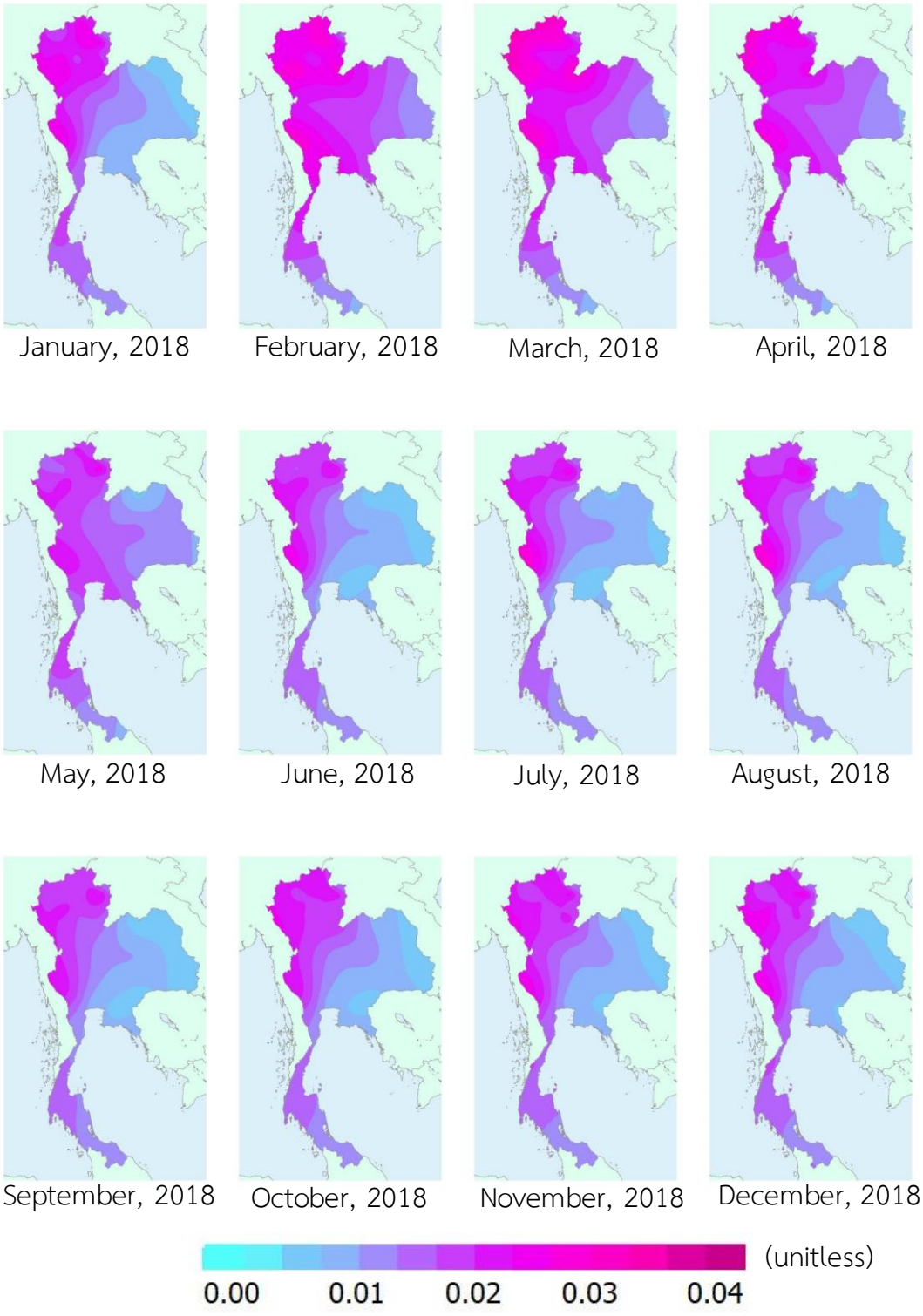
รูปที่ 3.147 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

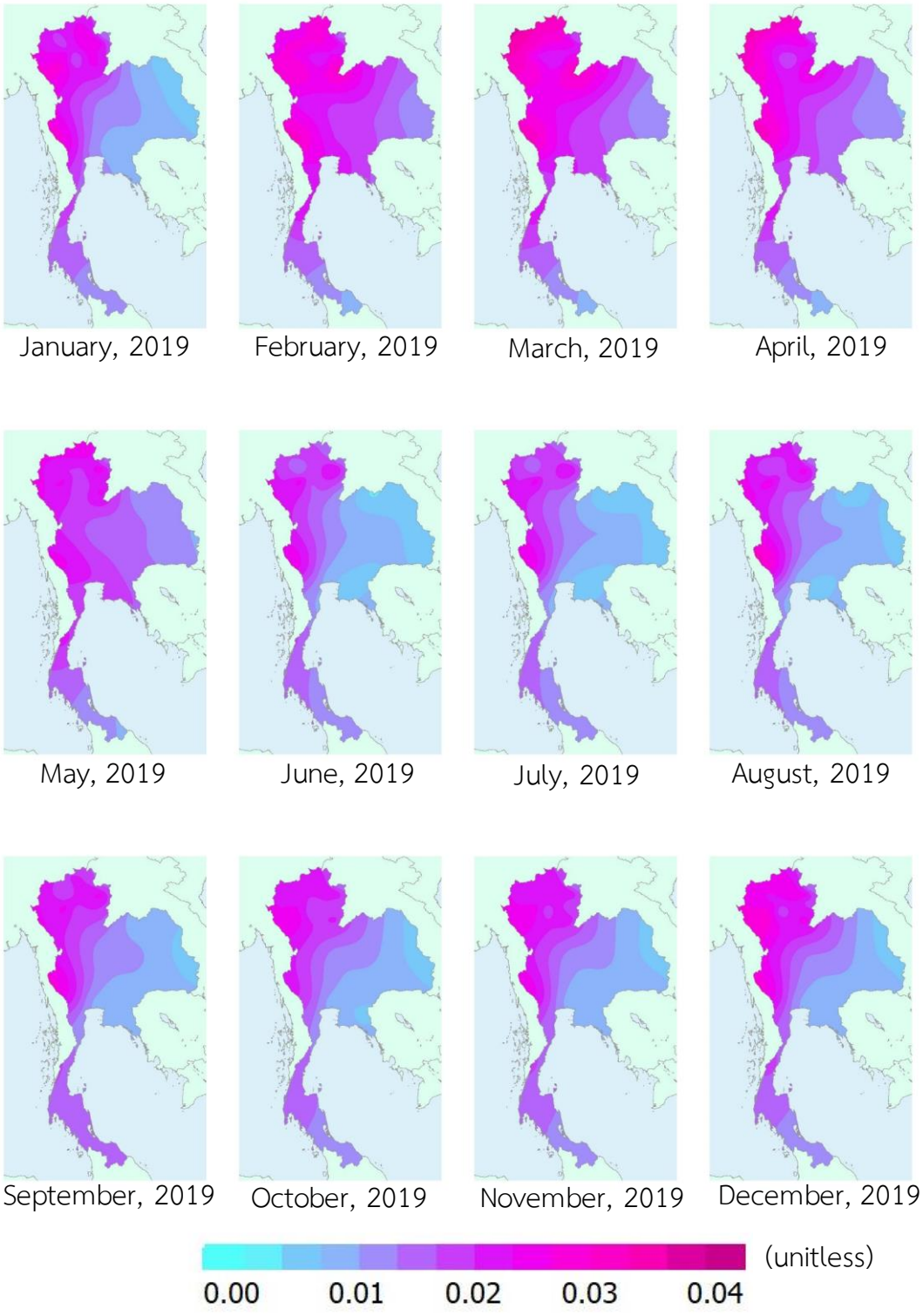
รูปที่ 3.147 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

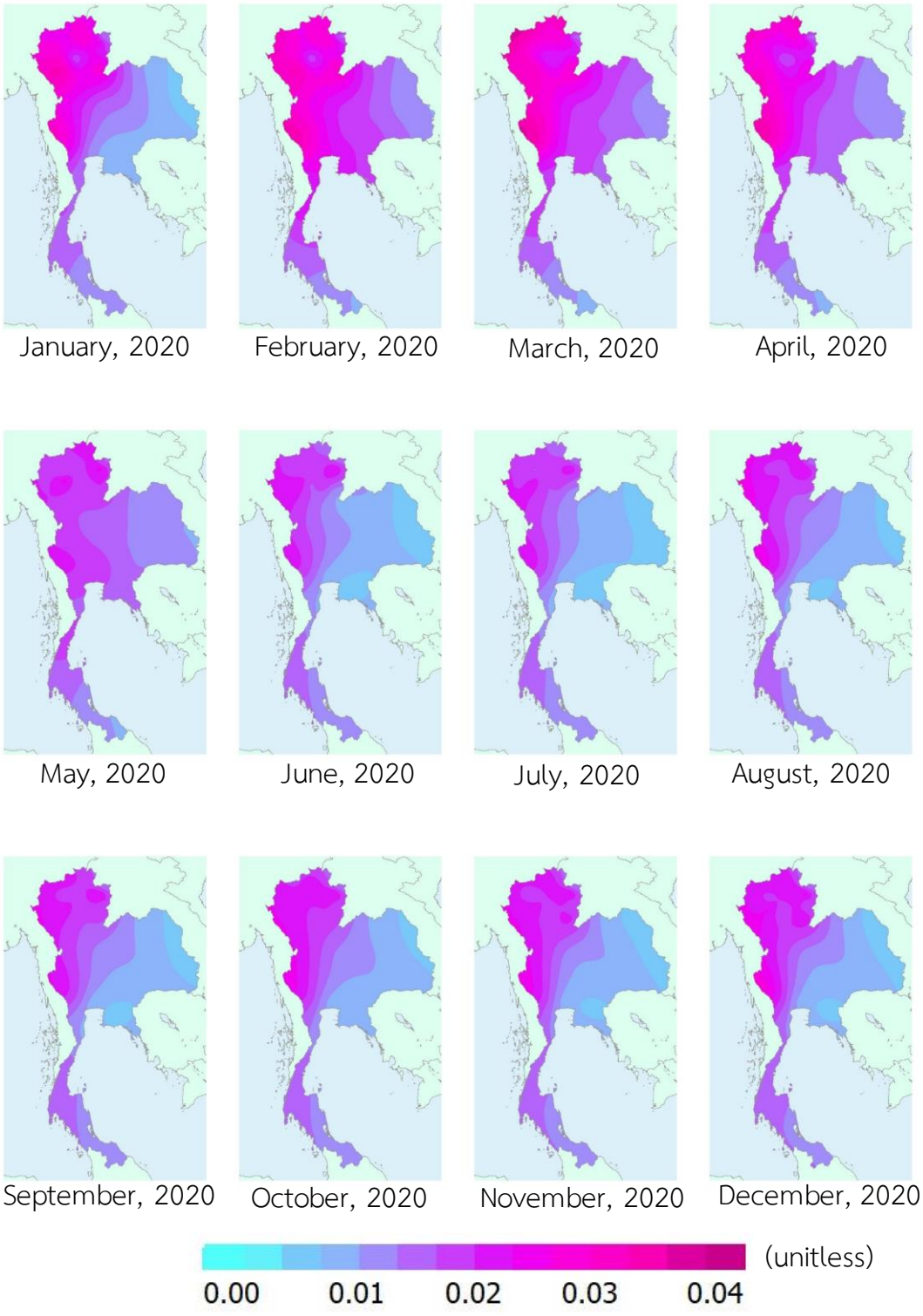
รูปที่ 3.147 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

รูปที่ 3.147 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

รูปที่ 3.147 (ต่อ)

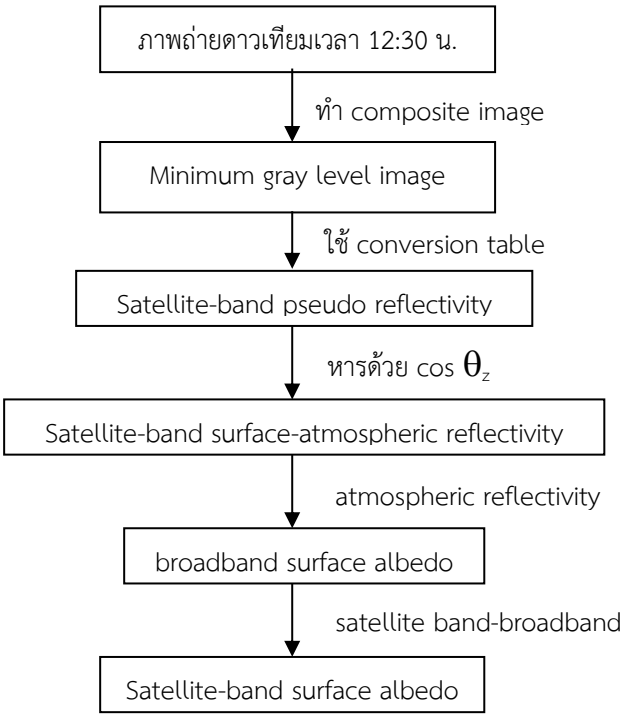

January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
(unitless)
0.00
0.01
0.02
0.03
0.04

รูปที่ 3.147 (ต่อ)

เมื่อพิจารณาแผนที่สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง (รูปที่ 3.146) จะพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.14 - 0.3 โดยมีค่าสูงในช่วงเดือนที่มีอากาศแห้งและมีค่าลดลงในช่วงฤดูฝน ส่วนสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง (รูปที่ 3.147) จะมีค่าน้อยกว่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงคืออยู่ในช่วง 0 - 0.04 เนื่องจากโดยปกติแล้วฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะกระเจิงแสงมากกว่าดูดกลืนแสง โดยจะเห็นว่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจะมีค่ามากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าวจะมีปริมาณฝุ่นละอองสะสมในบรรยากาศมากและมีฝนตกน้อย โดยเฉพาะทางภาคเหนือซึ่งมีการเผาไหม้ชีวมวล (biomass burning) ซึ่งฝุ่นเหล่านี้มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้มาก

3.4.2.4 การหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก

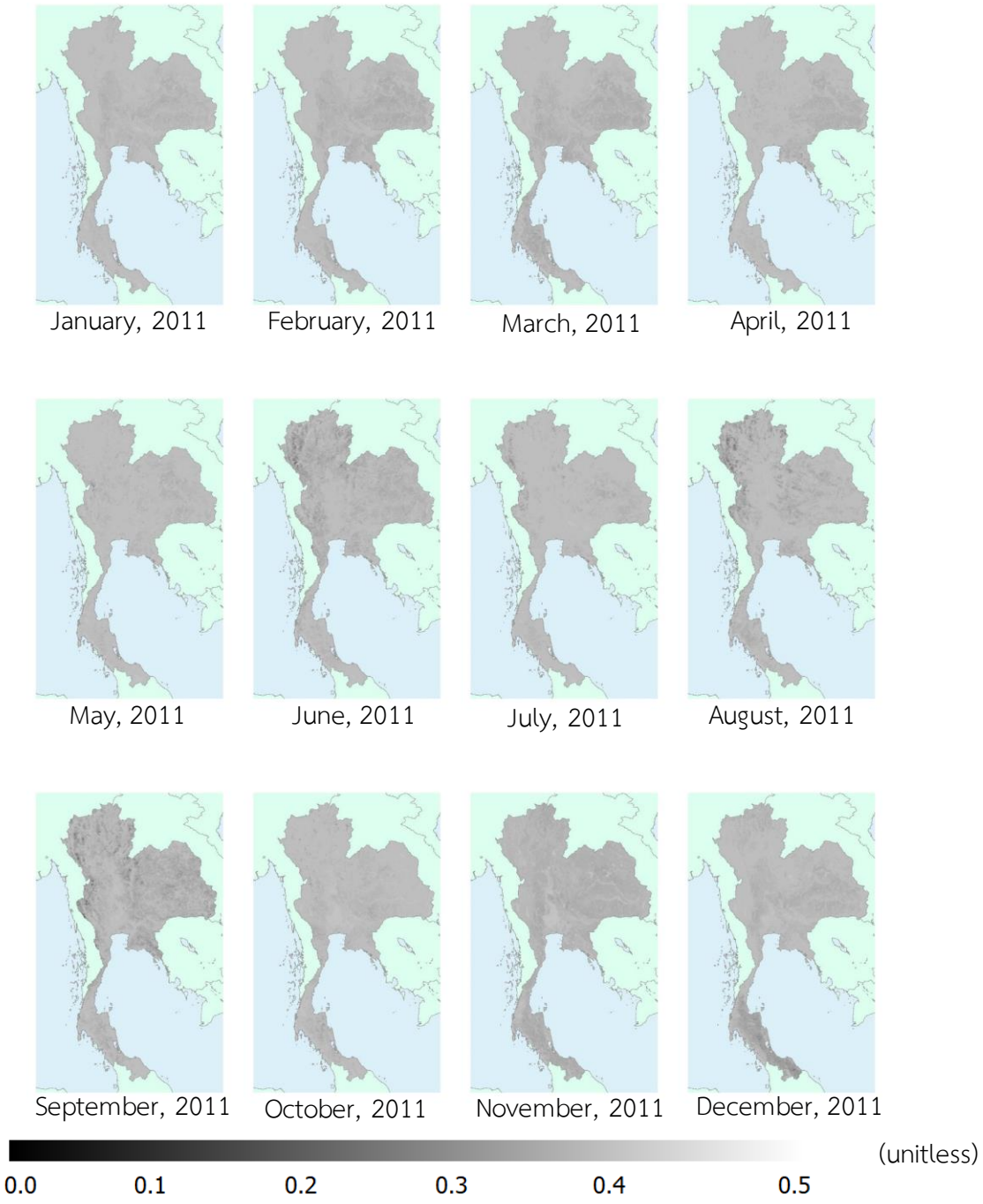
สัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวโลกคือ อัตราส่วนของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกต่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลก ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะเป็นตัวบอกว่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกและสะท้อนออกไปยังดาวเทียมมีมากน้อยเพียงใด ในการหาสัมประสิทธิ์ดังกล่าวผู้ดำเนินงานจะใช้ข้อมูลดาวเทียมที่เวลา 12:30 น. ตามเวลามาตรฐานประเทศไทย ซึ่งถือว่าเป็นภาพที่เกิดขึ้นขณะที่รังสีอาทิตย์ตกตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับพื้นผิวโลกบริเวณประเทศไทยมาเป็นข้อมูลพื้นฐาน โดยหลักการจะต้องนำภาพที่ปราศจากเมฆมาใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก แต่ในความเป็นจริงเราไม่สามารถหาภาพที่ปราศจากเมฆทั้งหมดทั่วประเทศได้ ในการสร้างภาพที่ปราศจากเมฆทั่วประเทศจะทำโดยการสร้างภาพผสม (composite image) ที่ประกอบด้วยภาพจากวันต่าง ๆ ตรงส่วนที่ปราศจากเมฆและเรียกภาพนี้ว่า “minimum gray level image” ทั้งนี้จะใช้สมมติฐานว่าการสะท้อนของพื้นผิวโลกในแต่ละวันภายใน 1 เดือน ไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยกระบวนการหาสัมประสิทธิ์นี้สามารถแสดงได้ดังแผนภูมิต่อไปนี้



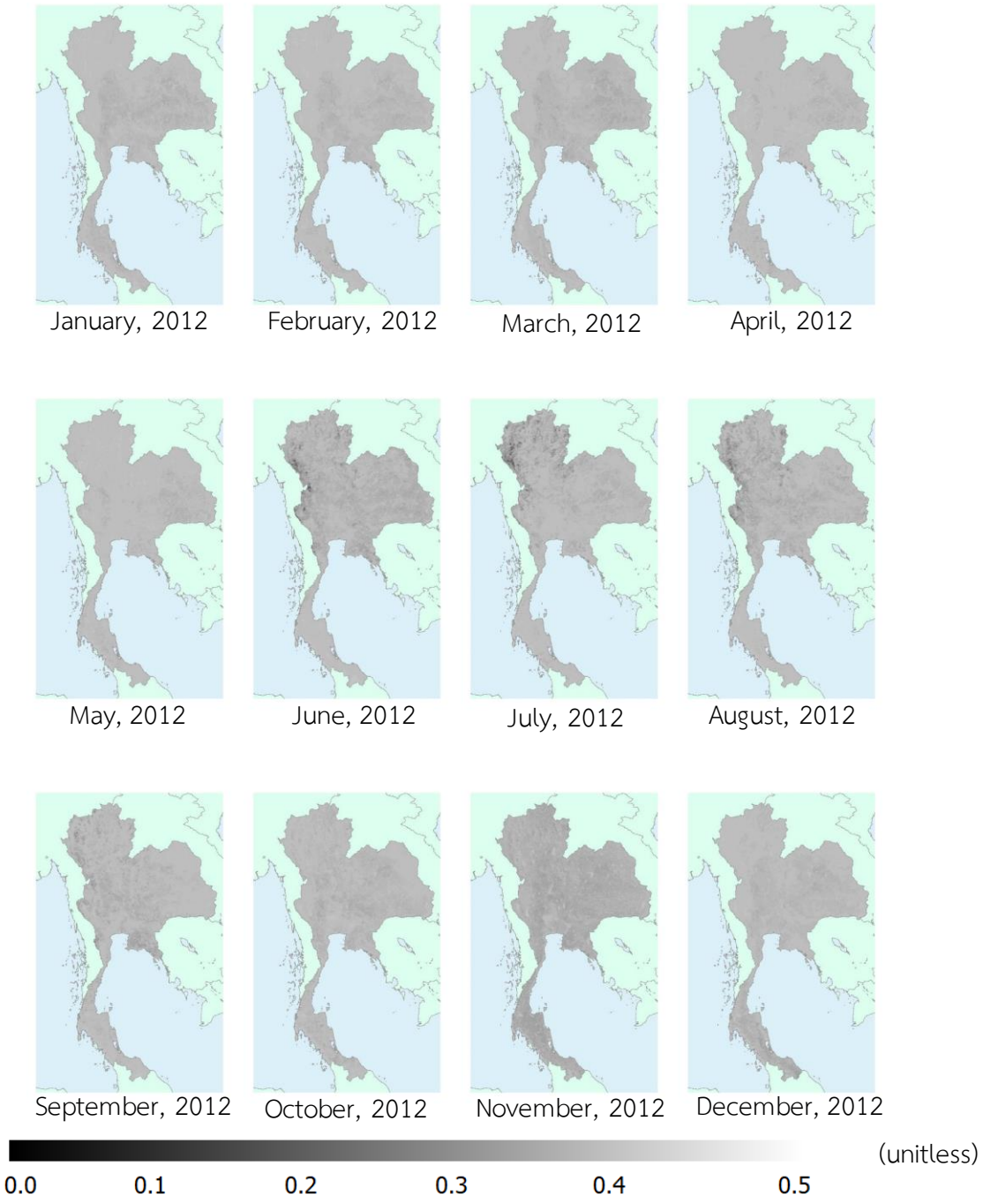
รูปที่ 3.148 แผนภูมิแสดงกระบวนการหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของผิวโลก

การสร้าง composite image ตามกระบวนการในแผนภูมิข้างต้นทำได้โดยนำภาพของแต่ละวันที่ตำแหน่งพิกเซลเดียวกันมาเปรียบเทียบกันตลอดทั้งเดือนและเลือกพิกเซลที่มีค่า gray level ต่ำสุด มาประกอบเป็นภาพ ตัวอย่าง composite image หรือ minimum gray level แสดงดังรูปที่ 3.149

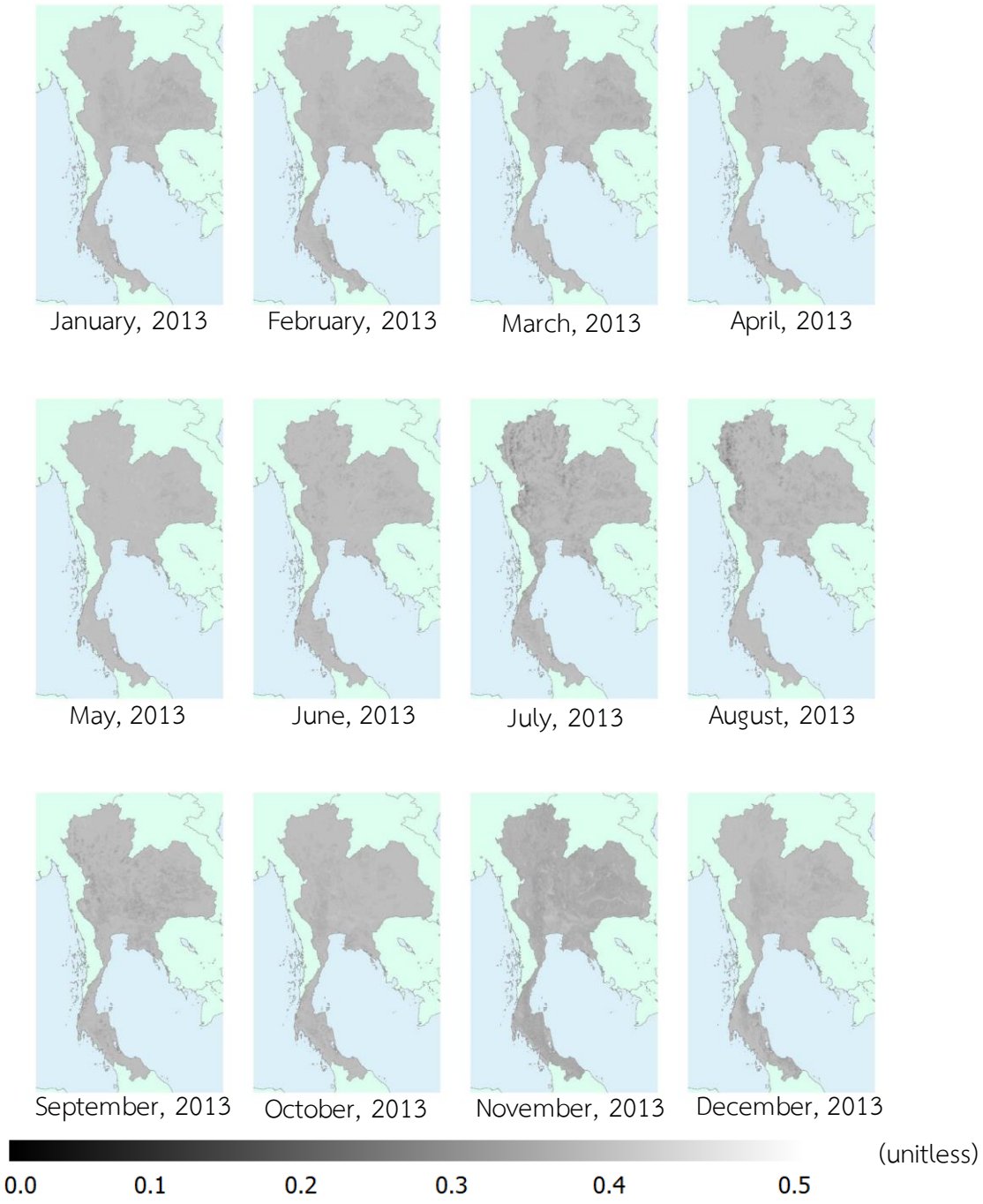
จากรูปจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกจะขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่ โดยทั่วไปพื้นที่ที่เป็นต้นไม้เขียวหรือพื้นหญ้าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำเมื่อเทียบกับพื้นที่ดิน ทราย หรือคอนกรีต นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงฤดูหนาวที่พื้นผิวแห้งการสะท้อนรังสีอาทิตย์จะสูงกว่าในช่วงฤดูฝนที่พื้นผิวชุ่มชื้น



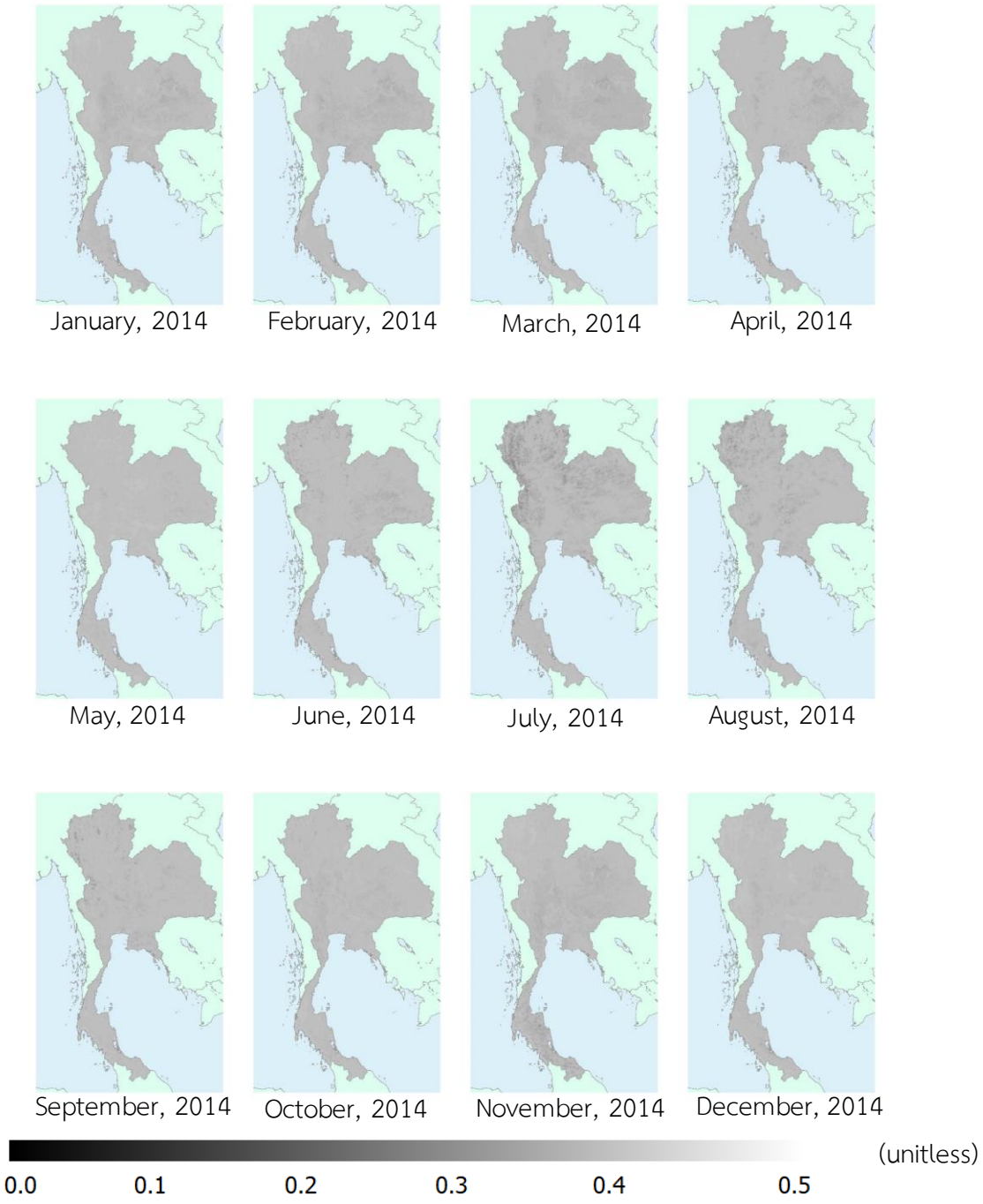
รูปที่ 3.149 Minimum gray level image จากภาพถ่ายดาวเทียม


January, 2012
February, 2012
March, 2012
April, 2012
May, 2012
June, 2012
July, 2012
August, 2012
September, 2012
October, 2012
November, 2012
December, 2012
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

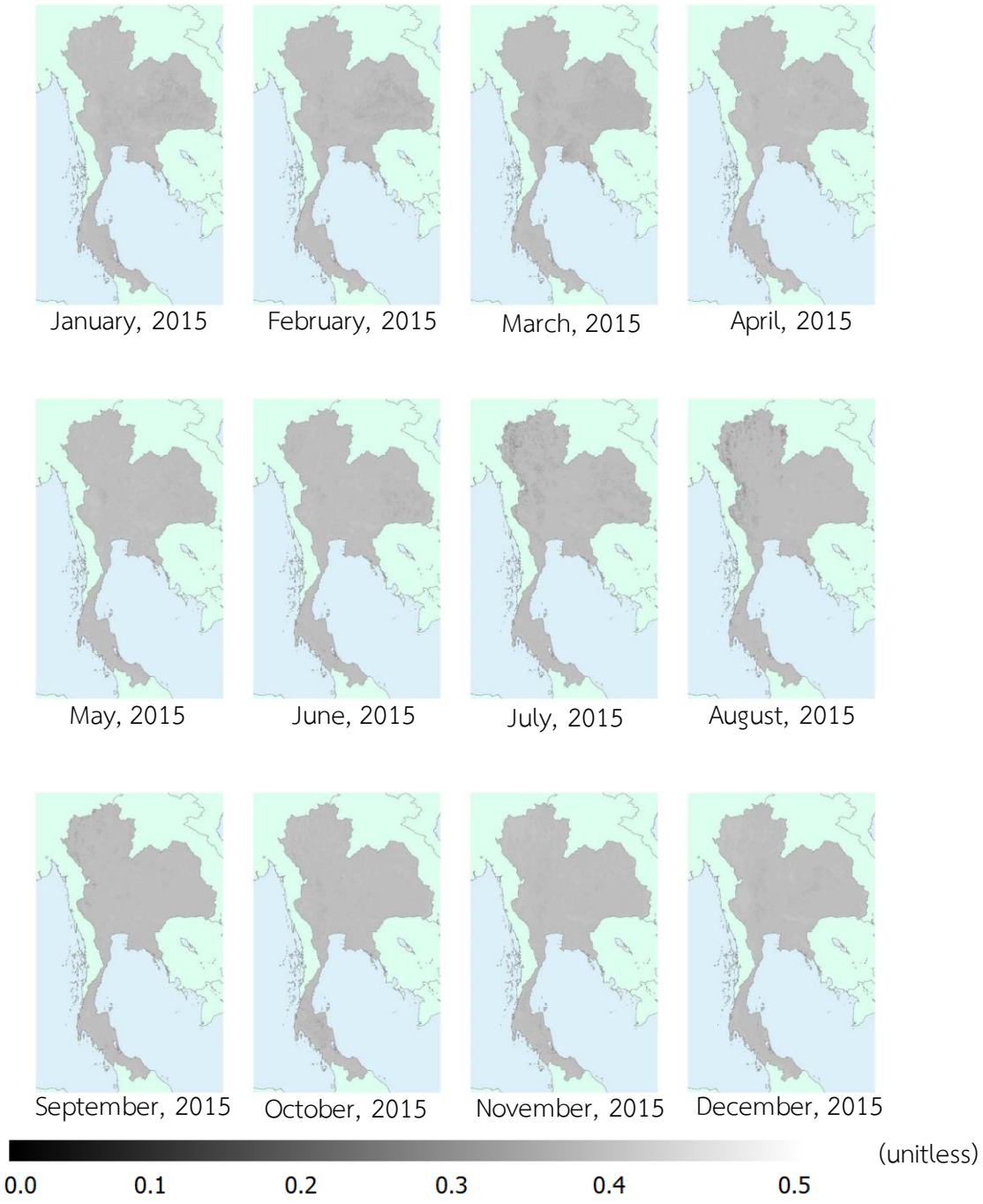
รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2013
February, 2013
March, 2013
April, 2013
May, 2013
June, 2013
July, 2013
August, 2013
September, 2013
October, 2013
November, 2013
December, 2013
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

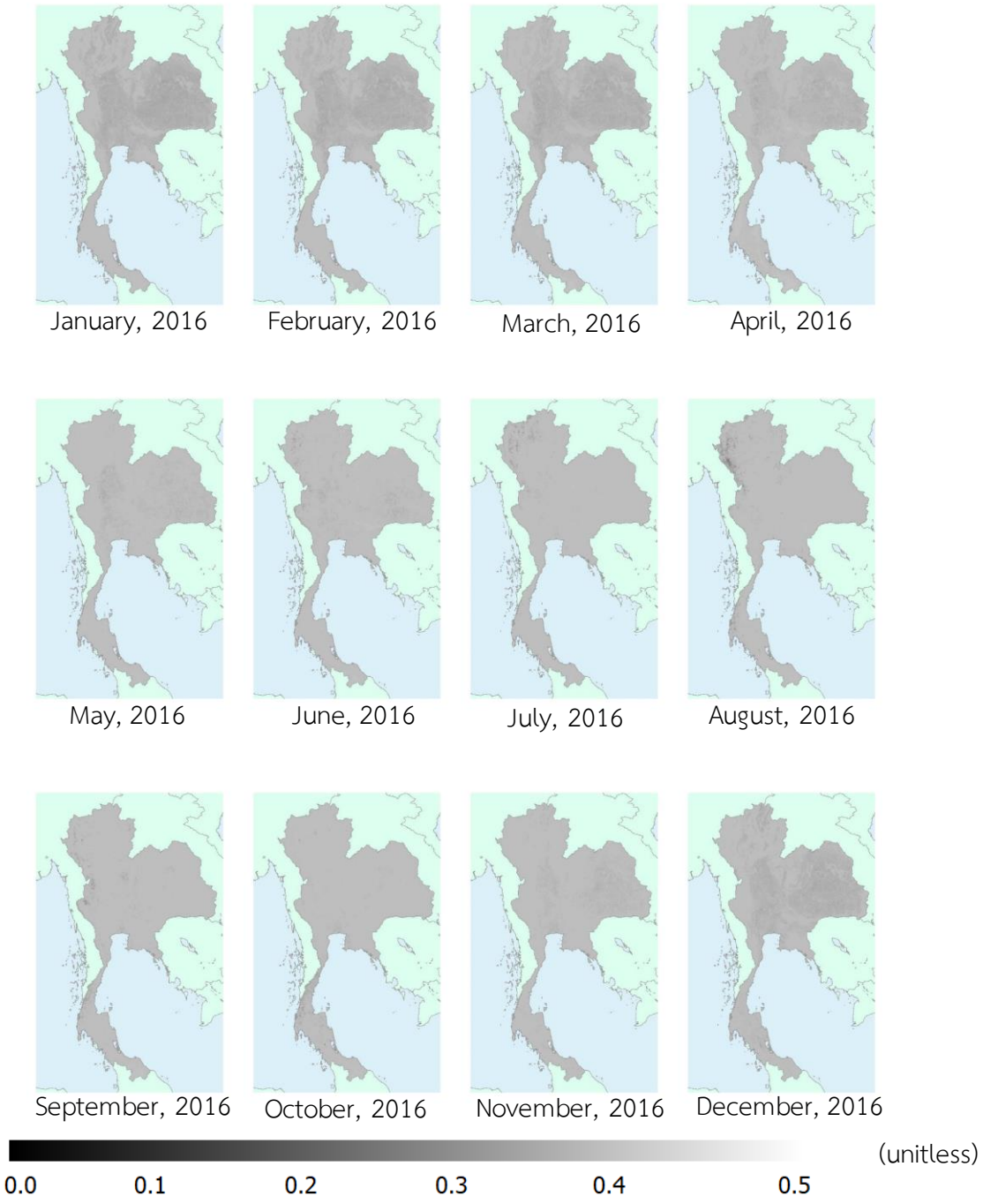
รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2014
February, 2014
March, 2014
April, 2014
May, 2014
June, 2014
July, 2014
August, 2014
September, 2014
October, 2014
November, 2014
December, 2014
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

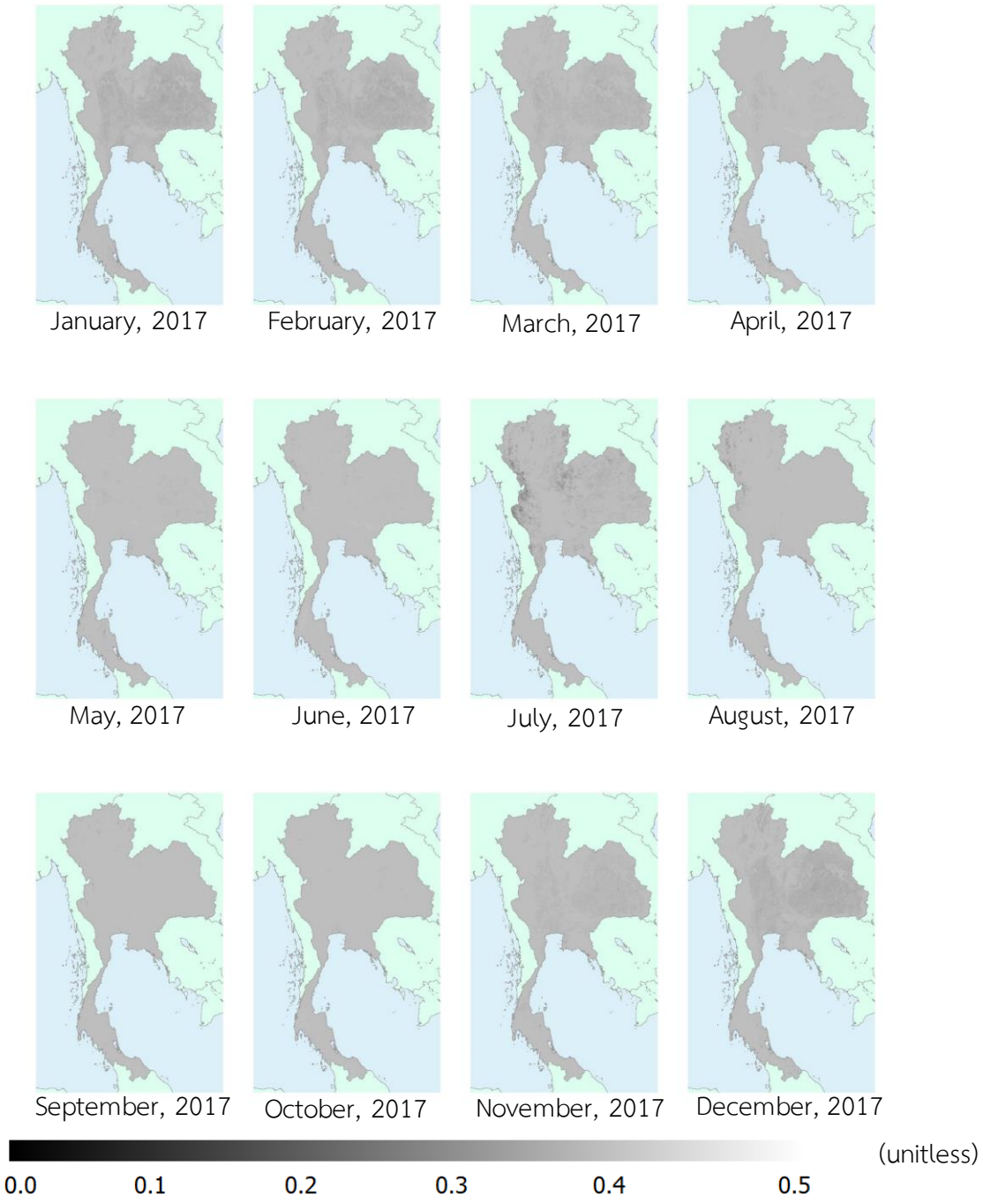
รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2015
February, 2015
March, 2015
April, 2015
May, 2015
June, 2015
July, 2015
August, 2015
September, 2015
October, 2015
November, 2015
December, 2015
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

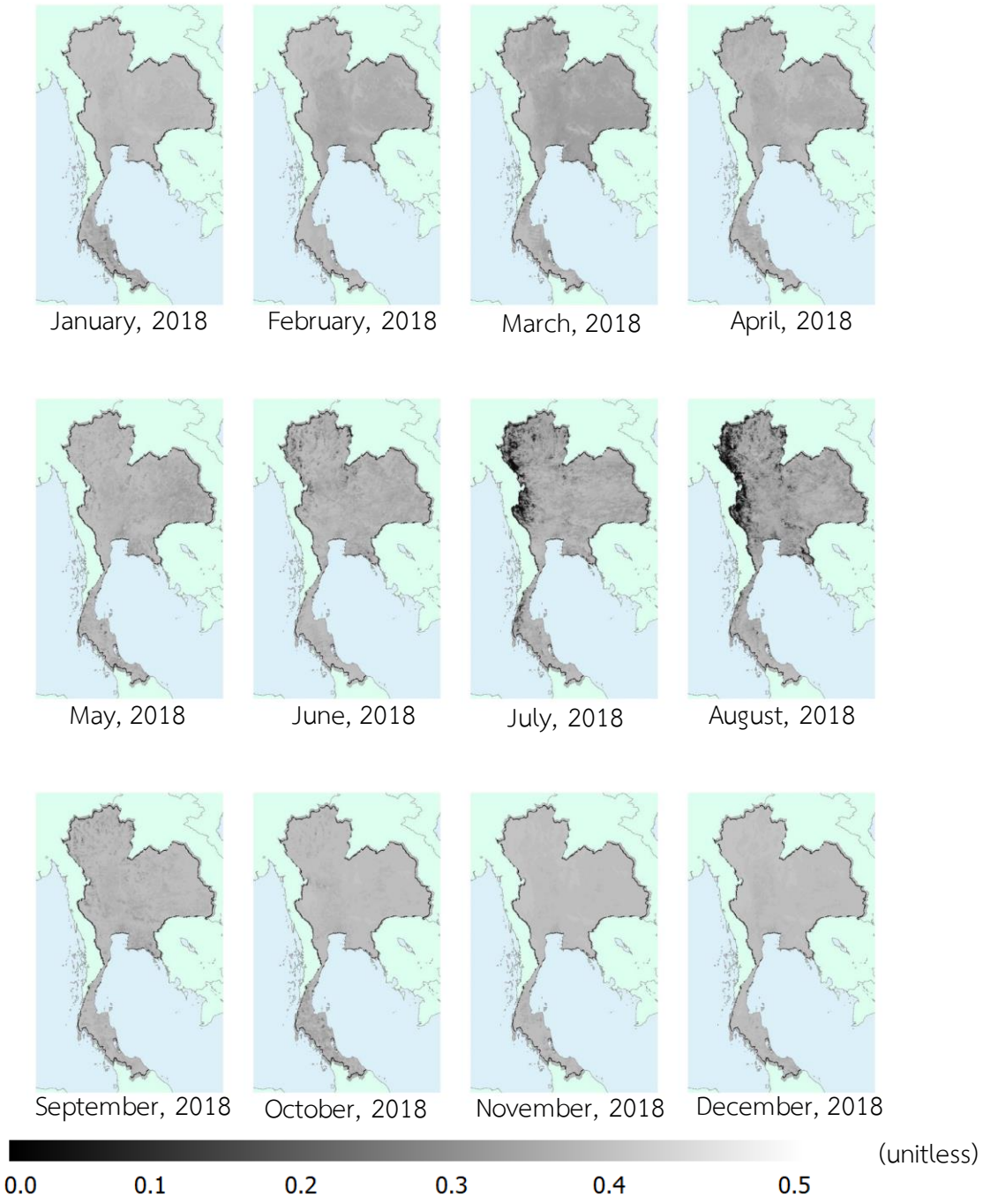
รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2016
February, 2016
March, 2016
April, 2016
May, 2016
June, 2016
July, 2016
August, 2016
September, 2016
October, 2016
November, 2016
December, 2016
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

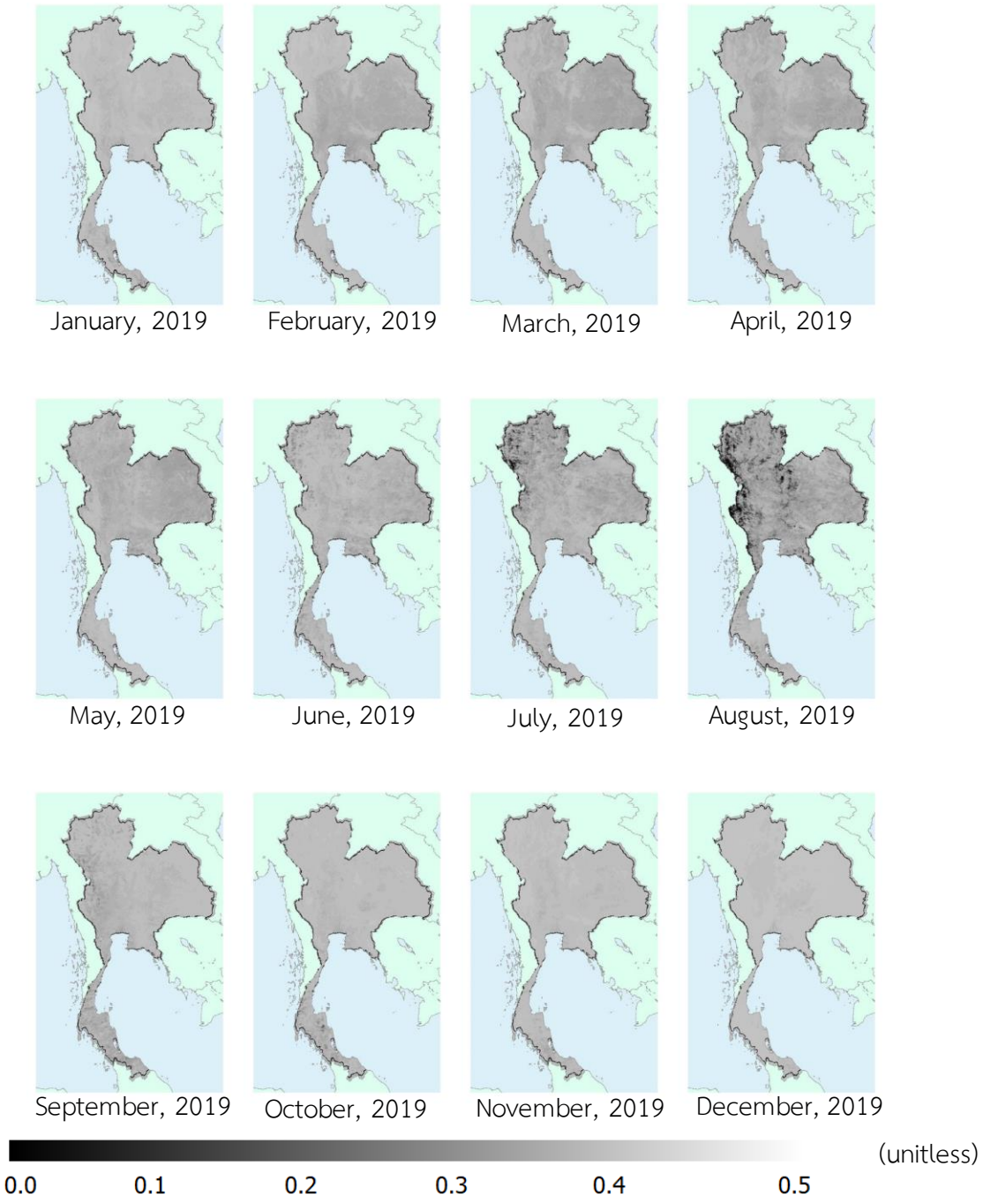
รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2017
February, 2017
March, 2017
April, 2017
May, 2017
June, 2017
July, 2017
August, 2017
September, 2017
October, 2017
November, 2017
December, 2017
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

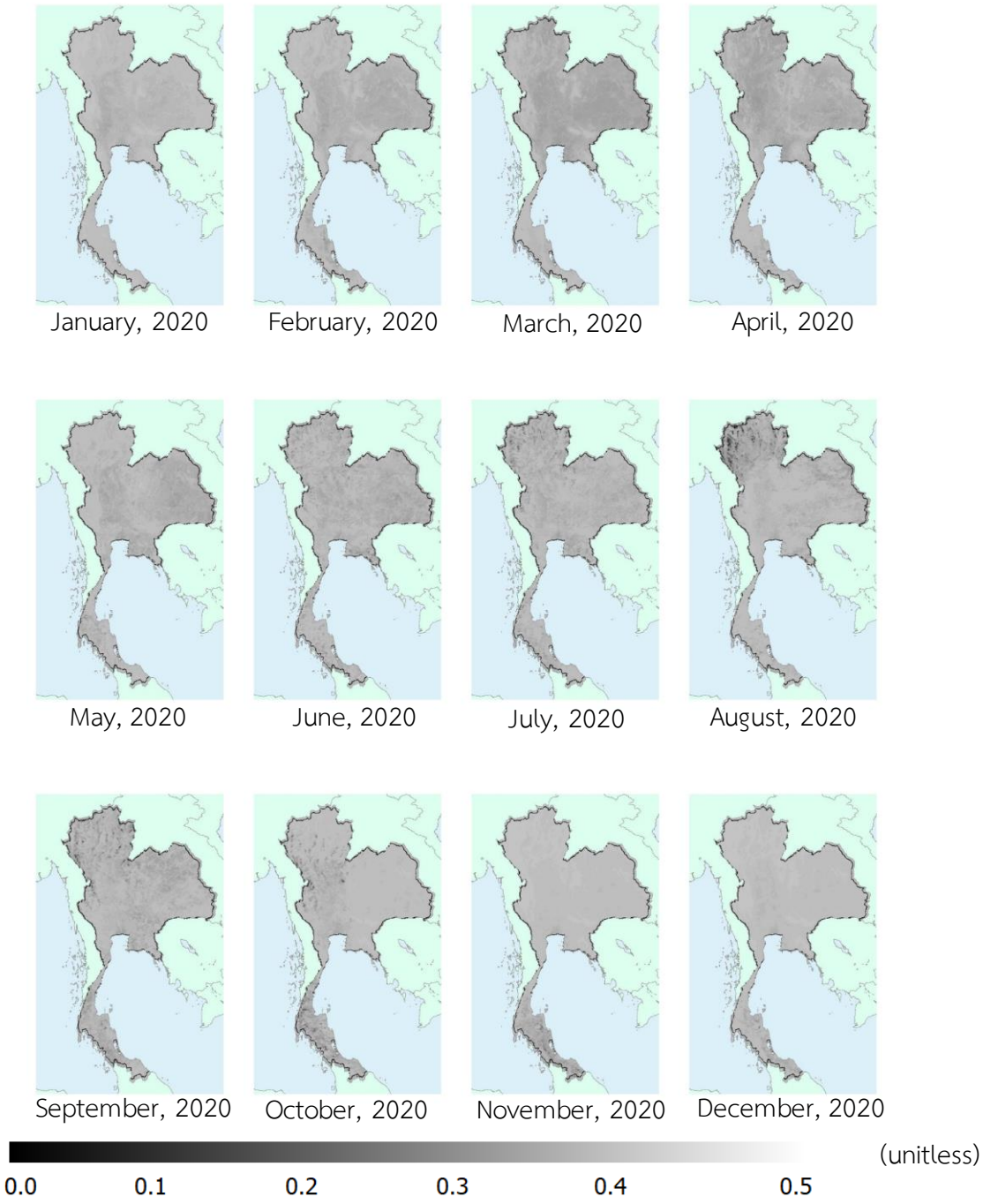
รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2018
February, 2018
March, 2018
April, 2018
May, 2018
June, 2018
July, 2018
August, 2018
September, 2018
October, 2018
November, 2018
December, 2018
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2019
February, 2019
March, 2019
April, 2019
May, 2019
June, 2019
July, 2019
August, 2019
September, 2019
October, 2019
November, 2019
December, 2019
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

รูปที่ 3.149 (ต่อ)


January, 2020
February, 2020
March, 2020
April, 2020
May, 2020
June, 2020
July, 2020
August, 2020
September, 2020
October, 2020
November, 2020
December, 2020
(unitless)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5

รูปที่ 3.149 (ต่อ)

3.4.3 การประมวลผล (process) และควบคุมคุณภาพข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินสำหรับใช้ในการทดสอบแบบจำลอง (ตาม TOR ข้อ 5.4(3))

ผู้ดำเนินงานได้รวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินของเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทั้ง 38 แห่ง ตั้งแต่เริ่มต้นติดตั้งจนถึงปี ค.ศ. 2020 ซึ่งข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ดังกล่าวจะมาเข้ากระบวนการประมวลผลและควบคุมคุณภาพเพื่อกำจัดข้อมูลที่ผิดปกติออกไป จากนั้นนำข้อมูลที่ควบคุมคุณภาพแล้วไปใช้สำหรับทดสอบแบบจำลอง โดยการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลสามารถดำเนินการได้ดังนี้

ผู้ดำเนินงานทำการเปรียบเทียบค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินกับค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อรังสีอาทิตย์ผ่านบรรยากาศโลกจะถูกโมเลกุลอากาศ ไอน้ำ เมฆ และฝุ่นละออง ดูดกลืนและกระเจิง ทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีค่าน้อยกว่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเสมอ โดยค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรวมรายชั่วโมง ($\mathrm{H_0}$) สามารถคำนวณได้จากสมการ (Iqbal, 1983)

$$\mathrm{H_0} = \frac{12\mathrm{I_{sc}}}{\pi}[1 + 0.033\cos(360\mathrm{d_n}/365)][\cos\emptyset\cos\delta(\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + (\frac{\pi}{180}(\omega_2 - \omega_1)\sin\emptyset\sin\delta)](3600) \quad (3.28)$$

เมื่อ $\mathrm{H_0}$ คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายชั่วโมง (J/m^2)

$\mathrm{I_{sc}}$ คือ ค่าคงที่รังสีอาทิตย์ (W/m^2)

$\mathrm{d_n}$ คือ ลำดับวันโดยนับจากวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ต้องการคำนวณ (-)

$\emptyset$ คือ ตำแหน่งละติจูดของสถานีที่ต้องการคำนวณค่า $\mathrm{H_0}$ (degree)

δ คือ มุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (solar declination) (degree)

ω_1 คือ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ที่ต้นชั่วโมงของช่วงเวลา 1 ชั่วโมงที่ต้องการคำนวณค่า $\mathrm{H_0}$ (degree)

ω_2 คือ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ที่ท้ายชั่วโมงของช่วงเวลา 1 ชั่วโมงที่ต้องการคำนวณค่า $\mathrm{H_0}$ (degree)

ในการตรวจสอบค่ารังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงที่ได้จากการวัด (H) ค่าที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขต่อไปนี้ถือว่าเป็นข้อมูลที่ผิดพลาด

$$\mathrm{H} < 0.90\mathrm{H_0} \quad (3.29)$$

เมื่อ $\mathrm{H_0}$ คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรวมรายชั่วโมง (J/m^2)

H คือ รังสีรวมรายชั่วโมงที่ได้จากกวัดภาคพื้นดิน (J/m^2)

3.4.4 การทดสอบแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (ตาม TOR ข้อ 5.4(4))

ผู้ดำเนินงานได้นำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ณ สถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจำนวน 38 แห่ง โดยในขั้นแรกผู้ดำเนินงานจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกและบรรยากาศรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (ρ'_{EA}) จากข้อมูลดาวเทียม เนื่องจากข้อมูลดาวเทียมเพียงพิกเซลเดียวไม่ครอบคลุมทรงกลมท้องฟ้าของผู้สังเกต (สถานีวัด) ผู้ดำเนินงานจึงใช้ข้อมูลจาก 9 พิกเซล ที่อยู่เหนือตำแหน่งพื้นที่ที่พิจารณาและมีสถานีวัดอยู่ที่พิกเซลศูนย์กลาง ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทรงกลมท้องฟ้า แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกและบรรยากาศรายวันเฉลี่ยต่อเดือนจาก 9 พิกเซล จากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ (α'_w) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน (α'_o) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวโลก (ρ'_G) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง (α'_{aer}) และสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง (ρ'_{aer}) โดยการคำนวณทั้งหมดใช้ข้อมูล ณ สถานีวัดแล้วนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ (3.13) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศ (ρ'_A) หลังจากนั้นจะใช้สมการ (3.15) ถึงสมการ (3.18) มาแปลงให้เป็นค่าในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (ρ_A) แล้วนำไปแทนค่าในสมการ (3.19) เพื่อคำนวณการส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศโลก (τ) ในขั้นสุดท้ายจะนำค่า τ ไปคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (H) โดยอาศัยสมการ (3.20) ค่าที่ได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดที่ตำแหน่งสถานีเดียวกันและในช่วงเวลาเดียวกัน โดยแสดงค่าความแตกต่างในรูปของค่า root mean square difference (RMSD) และ mean bias difference (MBD) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.30) และสมการ (3.31) ตามลำดับ

$$\mathrm{RMSD}(\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(\bar{H}_{model}-\bar{H}_{measure})^2}{N}}}{\frac{\sum_{i=1}^{N}\bar{H}_{measure}}{N}} \times 100 \qquad (3.30)$$

$$\mathrm{MBD}(\%) = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{N}(\bar{H}_{model}-\bar{H}_{measure})}{N}}{\frac{\sum_{i=1}^{N}\bar{H}_{measure}}{N}} \times 100 \qquad (3.31)$$

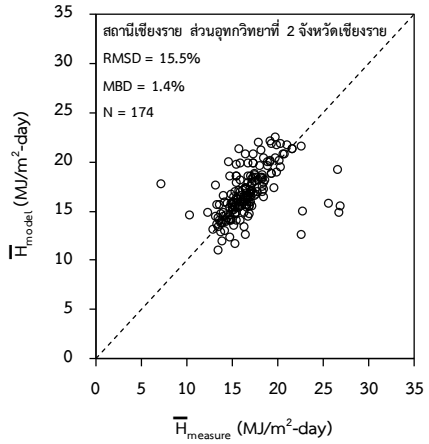
เมื่อ $\bar{H}_{model}$ คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกที่ได้จากแบบจำลอง (MJ/m^2-day)

$\bar{H}_{measure}$ คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกที่ได้จากการวัด (MJ/m^2-day)

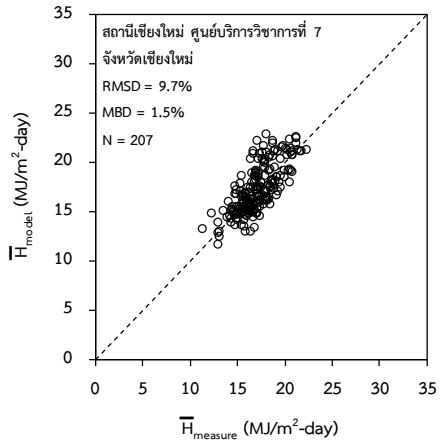
N คือ จำนวนชุดข้อมูล (-)

ค่า RMSD จะมีค่าเป็นบวกเสมอ ในกรณีอุดมคติที่ค่าจากการคำนวณจากแบบจำลองเท่ากับค่าที่ได้จากการวัดทั้งหมด จะได้ RMSD เท่ากับศูนย์ ดังนั้นแบบจำลองที่ดีจะต้องได้ค่า RMSD เข้าใกล้ศูนย์ สำหรับค่า MBD อาจจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ถ้าค่าเป็นบวกแสดงว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองจะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการวัด แต่ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวัด ดังนั้นแบบจำลองที่ดีจะต้องมีค่า MBD เข้าใกล้ศูนย์ (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

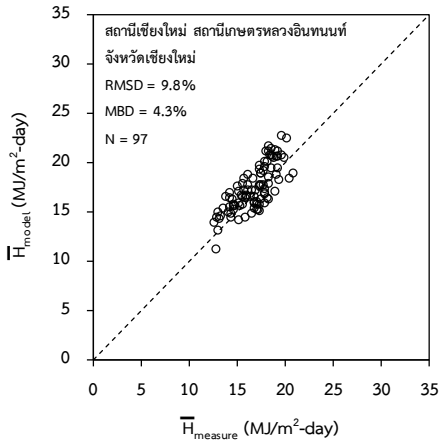
ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดแสดงในรูปที่ 3.150 - 3.188 และสรุปได้ดังตารางที่ 3.41



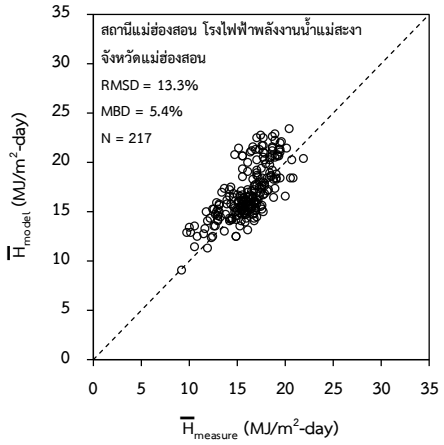
รูปที่ 3.150 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีเชียงราย ส่วนอุทกวิทยาที่ 2 จังหวัดเชียงราย



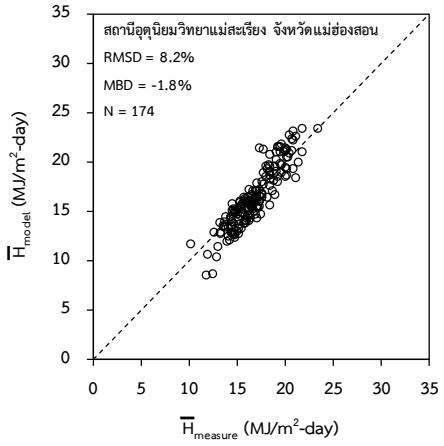
รูปที่ 3.151 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีเชียงใหม่ ศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่



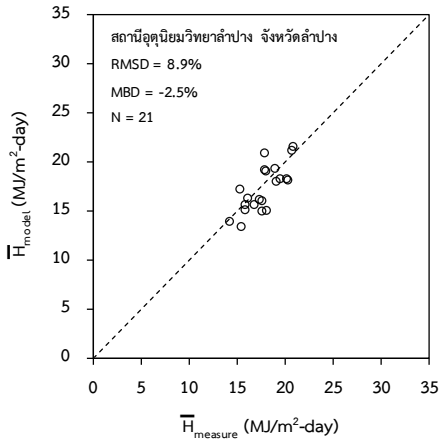
รูปที่ 3.152 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีเชียงใหม่ สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่



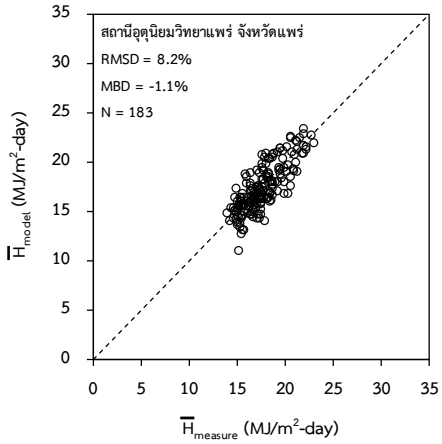
รูปที่ 3.153 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีแม่ฮ่องสอน โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน



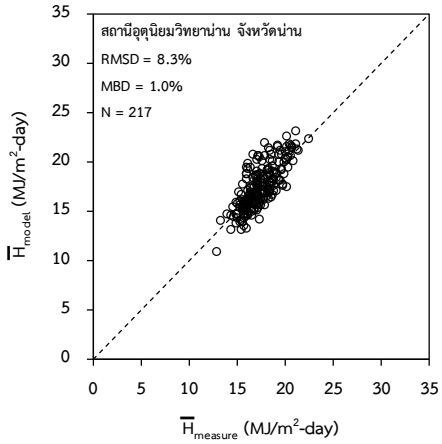
รูปที่ 3.154 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน



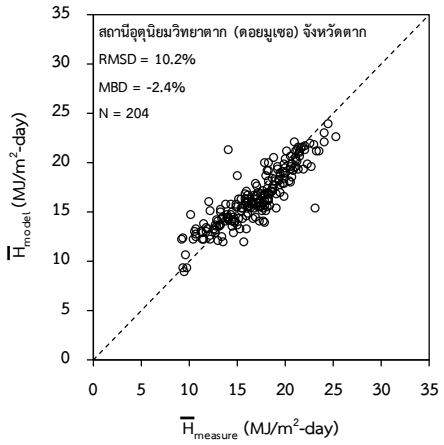
รูปที่ 3.155 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง จังหวัดลำปาง



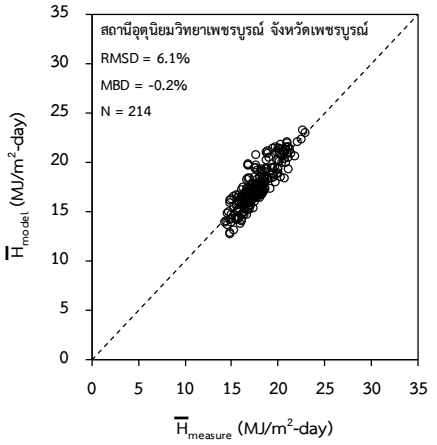
รูปที่ 3.156 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ จังหวัดแพร่



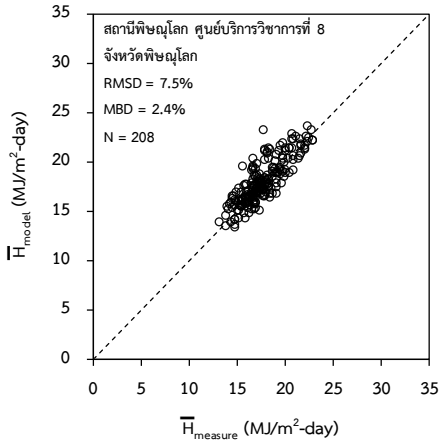
รูปที่ 3.157 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาน่าน จังหวัดน่าน



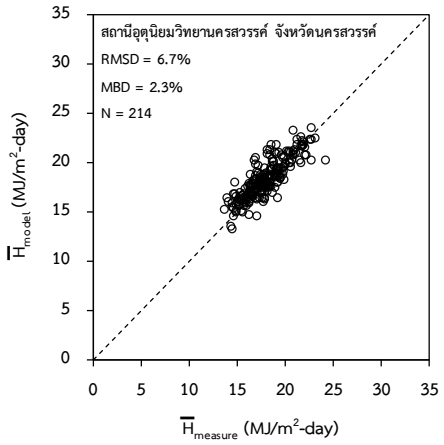
รูปที่ 3.158 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาตาก (ดอยมูเซอ) จังหวัดตาก



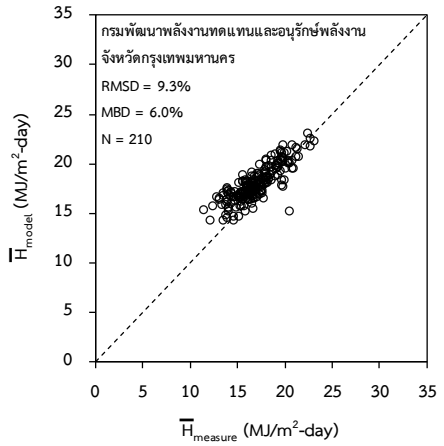
รูปที่ 3.159 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์



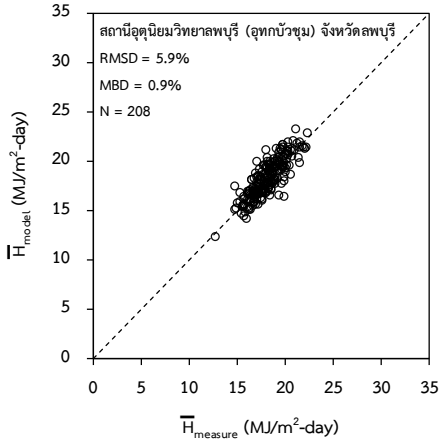
รูปที่ 3.160 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีพิษณุโลก ศูนย์บริการวิชาการที่ 8 จังหวัดพิษณุโลก



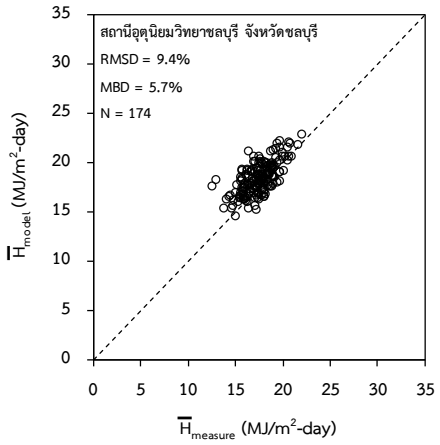
รูปที่ 3.161 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์



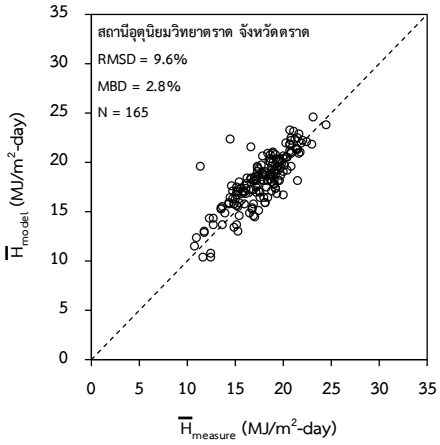
รูปที่ 3.162 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรุงเทพมหานคร



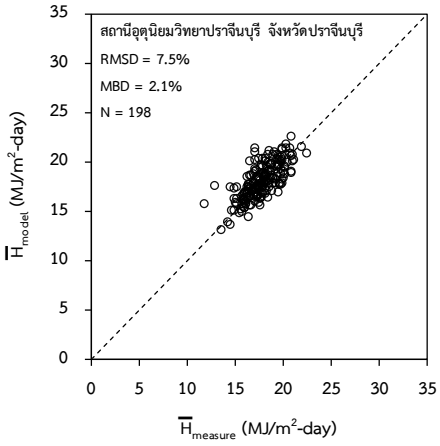
รูปที่ 3.163 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี (อุทกบัวชุม) จังหวัดลพบุรี



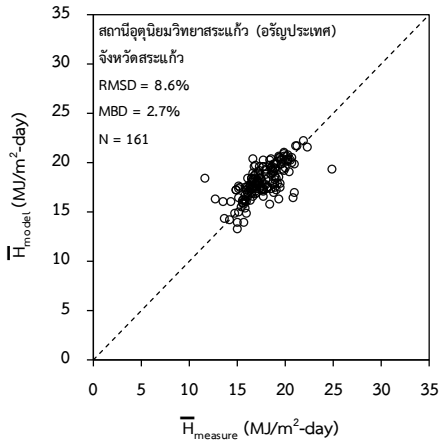
รูปที่ 3.164 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี จังหวัดชลบุรี



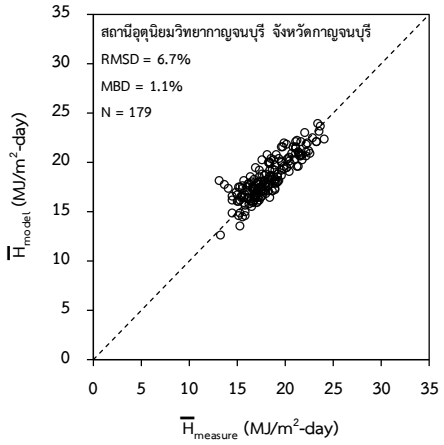
รูปที่ 3.165 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาตราด จังหวัดตราด



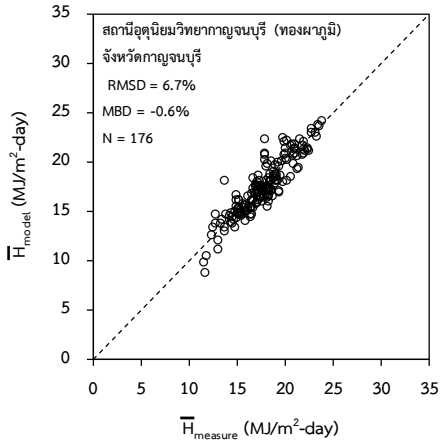
รูปที่ 3.166 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี



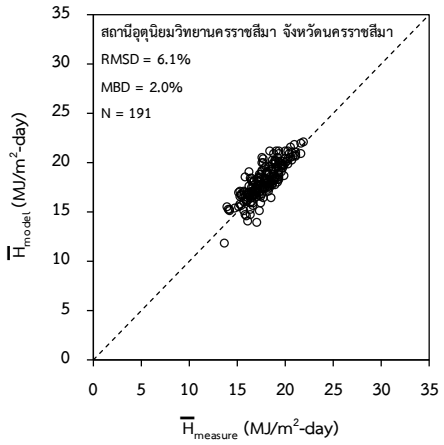
รูปที่ 3.167 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว (อรัญประเทศ) จังหวัดสระแก้ว



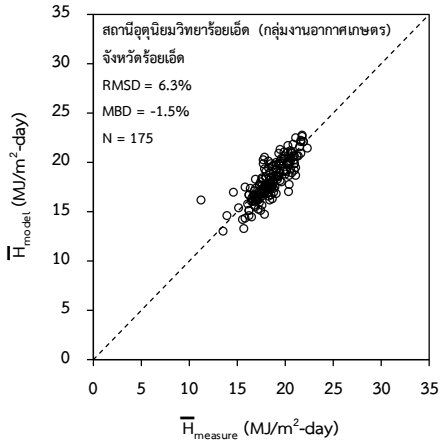
รูปที่ 3.168 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี



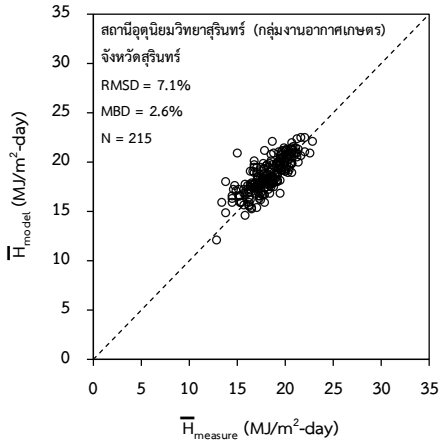
รูปที่ 3.169 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) จังหวัดกาญจนบุรี



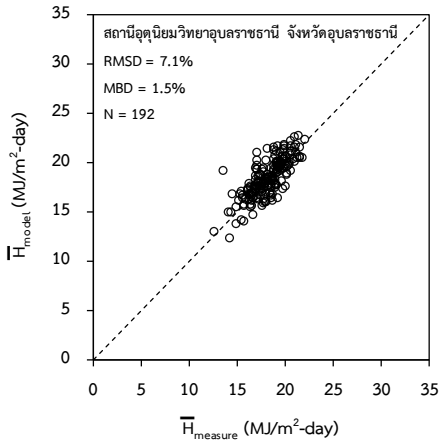
รูปที่ 3.170 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา



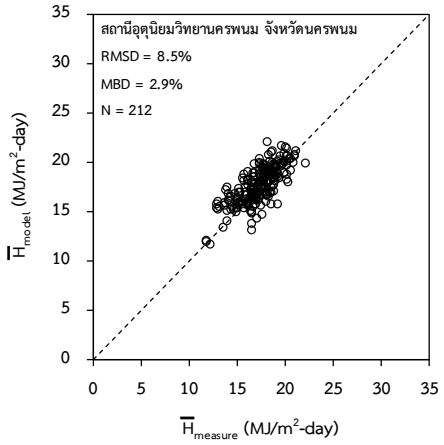
รูปที่ 3.171 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาร้อยเอ็ด (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดร้อยเอ็ด



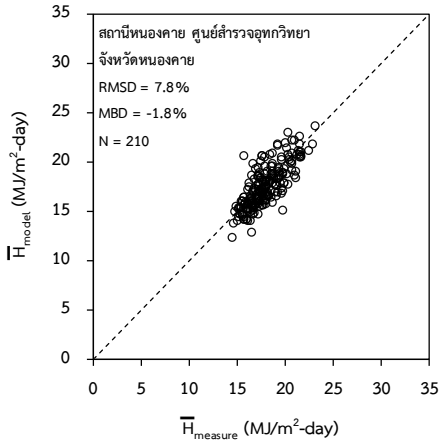
รูปที่ 3.172 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาสุรินทร์ (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดสุรินทร์



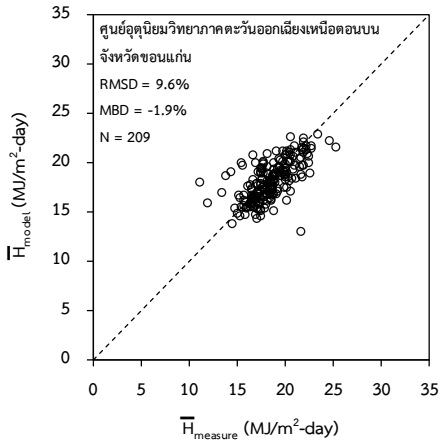
รูปที่ 3.173 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี



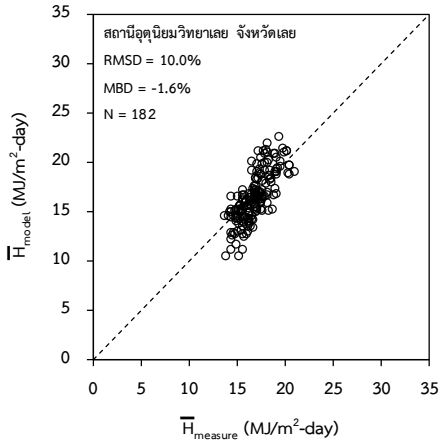
รูปที่ 3.174 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยานครพนม จังหวัดนครพนม



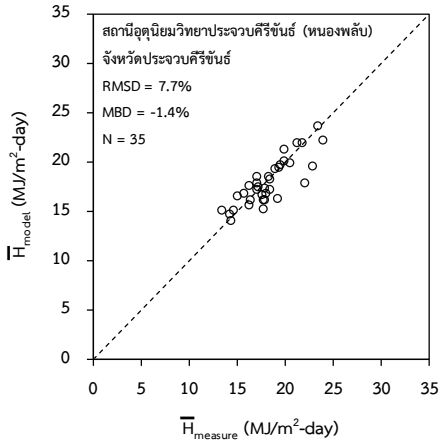
รูปที่ 3.175 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีหนองคาย ศูนย์สำรวจอุทกวิทยา จังหวัดหนองคาย



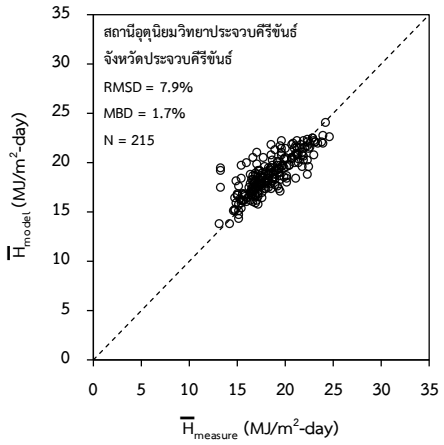
รูปที่ 3.176 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดขอนแก่น



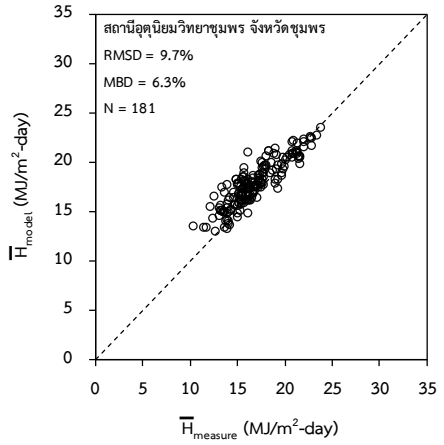
รูปที่ 3.177 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเลย จังหวัดเลย



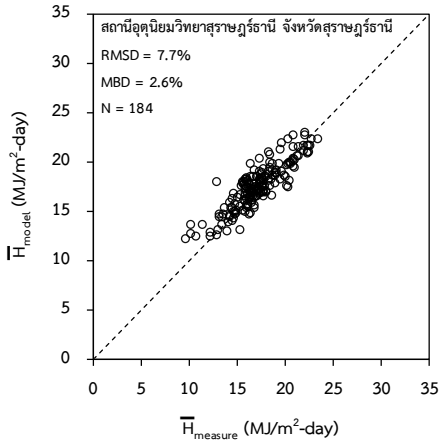
รูปที่ 3.178 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ (หนองพลับ) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



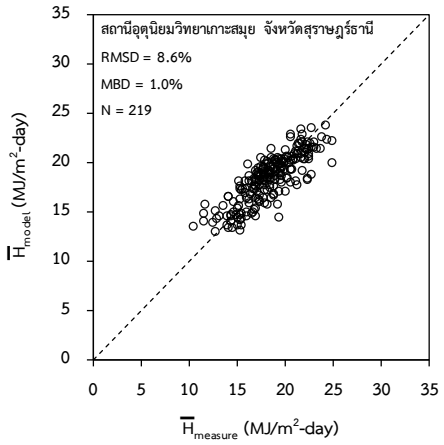
รูปที่ 3.179 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์



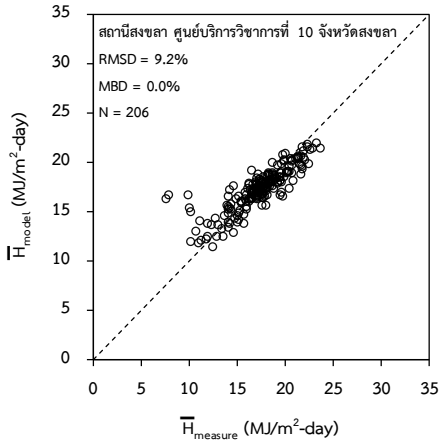
รูปที่ 3.180 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาชุมพร จังหวัดชุมพร



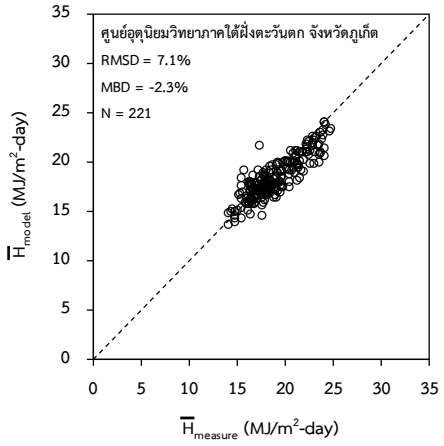
รูปที่ 3.181 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี



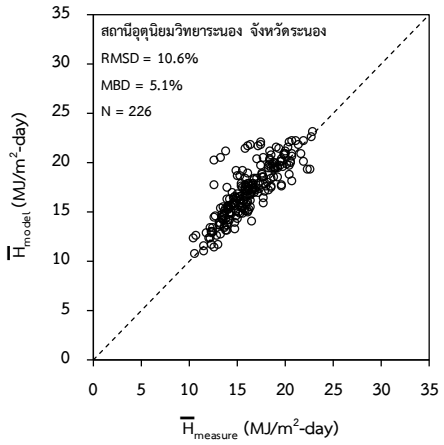
รูปที่ 3.182 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี



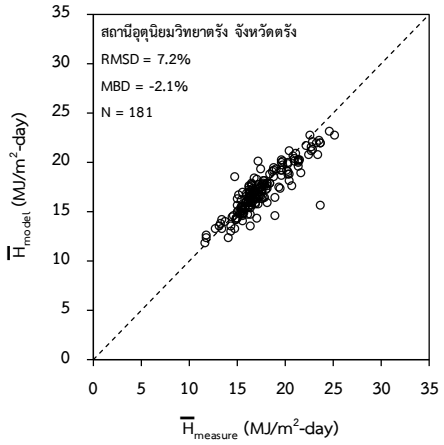
รูปที่ 3.183 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีสงขลา ศูนย์บริการวิชาการที่ 10 จังหวัดสงขลา



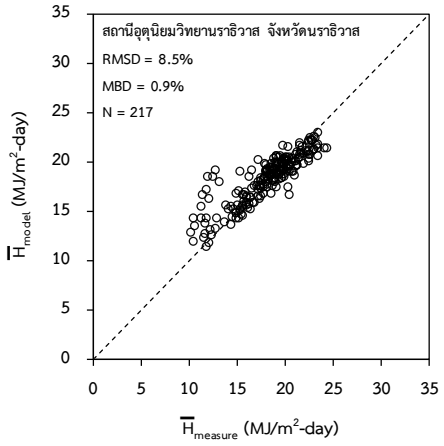
รูปที่ 3.184 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีภูเก็ต ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันตก จังหวัดภูเก็ต



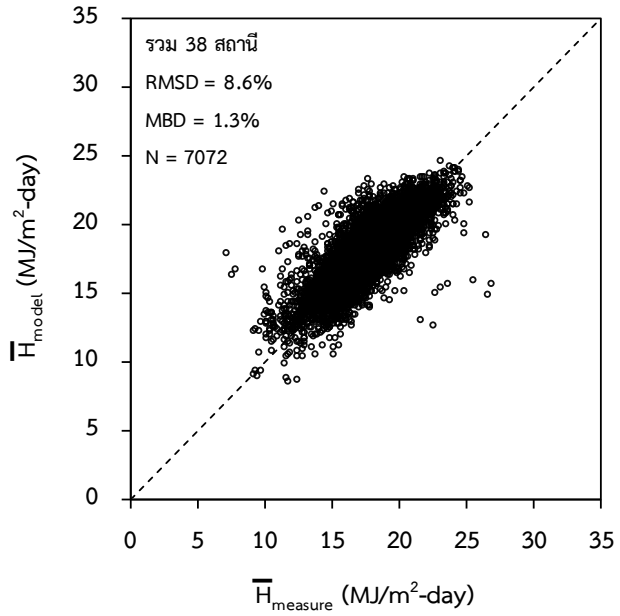
รูปที่ 3.185 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาระนอง จังหวัดระนอง



รูปที่ 3.186 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยาตรัง จังหวัดตรัง



รูปที่ 3.187 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยานราธิวาส จังหวัดนราธิวาส



รูปที่ 3.188 การเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดรวมทุกสถานี

ตารางที่ 3.41 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัด (เมื่อ RMSD คือ root mean square difference MBD คือ mean bias difference และ N คือ จำนวนข้อมูล)

ลำดับที่	สถานี	RMSD (%)	MBD (%)	N
ภาคเหนือ				
1.	สถานีเชียงราย ส่วนอุทกวิทยาที่ 2 จังหวัดเชียงราย	15.5	1.4	174
2.	สถานีเชียงใหม่ ศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่	9.7	1.5	207
3.	สถานีเชียงใหม่ สถานีเกษตรหลวงอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่	9.8	4.3	97
4.	สถานีแม่ฮ่องสอน โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงา จังหวัดแม่ฮ่องสอน	13.3	5.4	217
5.	สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	8.2	-1.8	174
6.	สถานีอุตุนิยมวิทยาลำปาง จังหวัดลำปาง	8.9	-2.5	21
7.	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ จังหวัดแพร่	8.2	-1.1	183

ลำดับที่	สถานี	RMSD (%)	MBD (%)	N
8.	สถานีอุตุนิยมวิทยาน่าน จังหวัดน่าน	8.3	1.0	217
9.	สถานีอุตุนิยมวิทยาตาก (ดอยมูเซอ) จังหวัดตาก	10.2	-2.4	204
10.	สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์	6.1	-0.2	214
11.	สถานีพิษณุโลก ศูนย์บริการวิชาการที่ 8 จังหวัดพิษณุโลก	7.5	2.4	208
12.	สถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์	6.7	2.3	214
ภาคกลาง ภาคตะวันออก และ ภาคตะวันตก				
13.	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรุงเทพมหานคร	9.3	6.0	210
14.	สถานีอุตุนิยมวิทยาลพบุรี (อุทกบัวชุม) จังหวัดลพบุรี	5.9	0.9	208
15.	สถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี จังหวัดชลบุรี	9.4	5.7	174
16.	สถานีอุตุนิยมวิทยาตราด จังหวัดตราด	9.6	2.8	165
17.	สถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี	7.5	2.1	198
18.	สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว (อรัญประเทศ) จังหวัดสระแก้ว	8.6	2.7	161
19.	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี	6.7	1.1	179
20.	สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) จังหวัดกาญจนบุรี	6.7	-0.6	176
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ				
21.	สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา	6.1	2.0	191
22.	สถานีอุตุนิยมวิทยาร้อยเอ็ด (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดร้อยเอ็ด	6.3	-1.5	175
23.	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุรินทร์ (กลุ่มงานอากาศเกษตร) จังหวัดสุรินทร์	7.1	2.6	215

ลำดับที่	สถานี	RMSD (%)	MBD (%)	N
24.	สถานีอุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี	7.1	1.5	192
25.	สถานีอุตุนิยมวิทยานครพนม จังหวัดนครพนม	8.5	2.9	212
26.	สถานีหนองคาย ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาจังหวัดหนองคาย	7.8	-1.8	210
27.	สถานีขอนแก่น ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดขอนแก่น	9.6	-1.9	209
28.	สถานีอุตุนิยมวิทยาเลย จังหวัดเลย	10.0	-1.6	182
ภาคใต้				
29.	สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ (หนองพลับ) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	7.7	-1.4	35
30.	สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	7.9	1.7	215
31.	สถานีอุตุนิยมวิทยาชุมพร จังหวัดชุมพร	9.7	6.3	181
32.	สถานีอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี	7.7	2.6	184
33.	สถานีอุตุนิยมวิทยาเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี	8.6	1.0	219
34.	สถานีสงขลา ศูนย์บริการวิชาการที่ 10 จังหวัดสงขลา	9.2	0.0	206
35.	สถานีภูเก็ต ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันตก จังหวัดภูเก็ต	7.1	-2.3	221
36.	สถานีอุตุนิยมวิทยาระนอง จังหวัดระนอง	10.6	5.1	226
37.	สถานีอุตุนิยมวิทยาตรัง จังหวัดตรัง	7.2	-2.1	181
38.	สถานีอุตุนิยมวิทยานราธิวาส จังหวัดนราธิวาส	8.5	0.9	217
รวมทุกสถานี		**8.6**	**1.3**	**7072**

จากผลการทดสอบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดของสถานีวัดทั้ง 38 แห่งในเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าจุดข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ตรงหรือใกล้เคียงกับเส้น 1:1 นั่นคือค่าที่ได้จากแบบจำลองเท่ากับค่าที่ได้จากการวัด โดยมีค่าความแตกต่างในรูป RMSD ในช่วง 5.9% ถึง 15.5% และ MBD ในช่วง -2.5% ถึง 6.3% และเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณรวมทุกสถานีจะได้ค่า RMSD เท่ากับ 8.6% และค่า MBD เท่ากับ 1.3% ซึ่งจะเห็นว่าทั้งค่า RMSD และ MBD มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันดี และค่า MBD ที่ได้มีค่าเป็นบวกแสดงว่าโดยเฉลี่ยแล้วค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดเล็กน้อย (1.3%) ซึ่งถือว่าผลการคำนวณมีความละเอียดถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

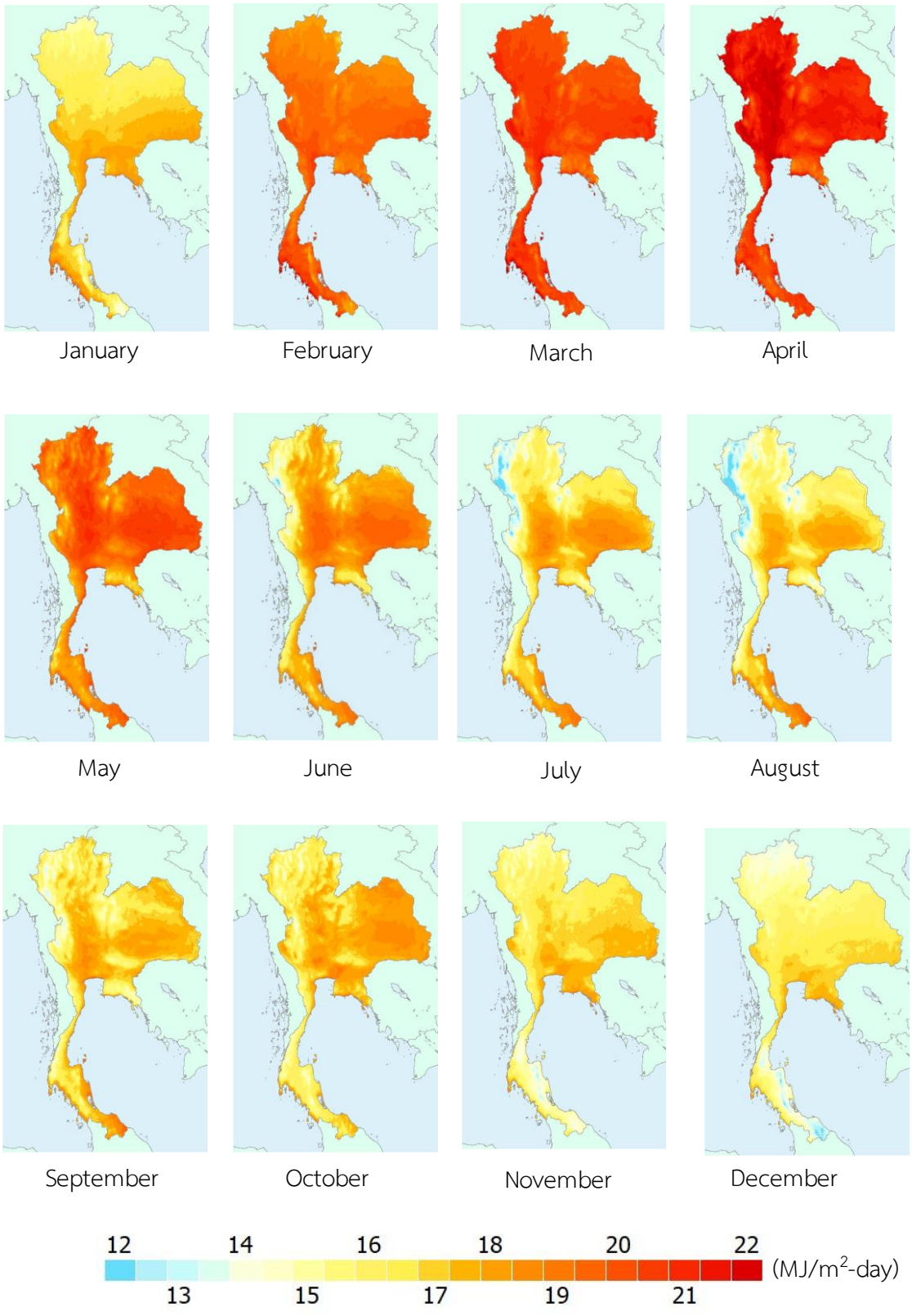
นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนในช่วงปี ค.ศ. 2005 – 2020 ที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานนี้กับข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูลของ ERA5 และ SARAH (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html) ณ ตำแหน่งสถานีวัดภาคพื้นดินจำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ สถานีกรุงเทพฯ สถานีสระแก้ว สถานีกาญจนบุรี สถานีอุบลราชธานี และสถานีหาดใหญ่ ซึ่งถือเป็นตัวแทนของข้อมูลในแต่ละภูมิภาค ผลที่ได้พบว่าข้อมูลที่ได้จากฐานข้อมูล ERA5 และ SARAH ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานนี้ โดยเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจาก ERA5 กับข้อมูลจากแบบจำลองของงานนี้พบว่ามีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD และ MBD เท่ากับ 8.6% และ 3.3% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจาก SARAH กับข้อมูลจากแบบจำลองพบว่ามีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD และ MBD เท่ากับ 10.7% และ 7.5% ตามลำดับ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในงานนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินมากกว่าเมื่อเทียบกับข้อมูลจากฐานข้อมูลทั้งสอง

3.4.5 การคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่คำนวณได้ทั่วประเทศ และนำเสนอในรูปแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแผนที่ดังกล่าวต้องอยู่ใน cylindrical map projection (ตาม TOR ข้อ 5.4(5))

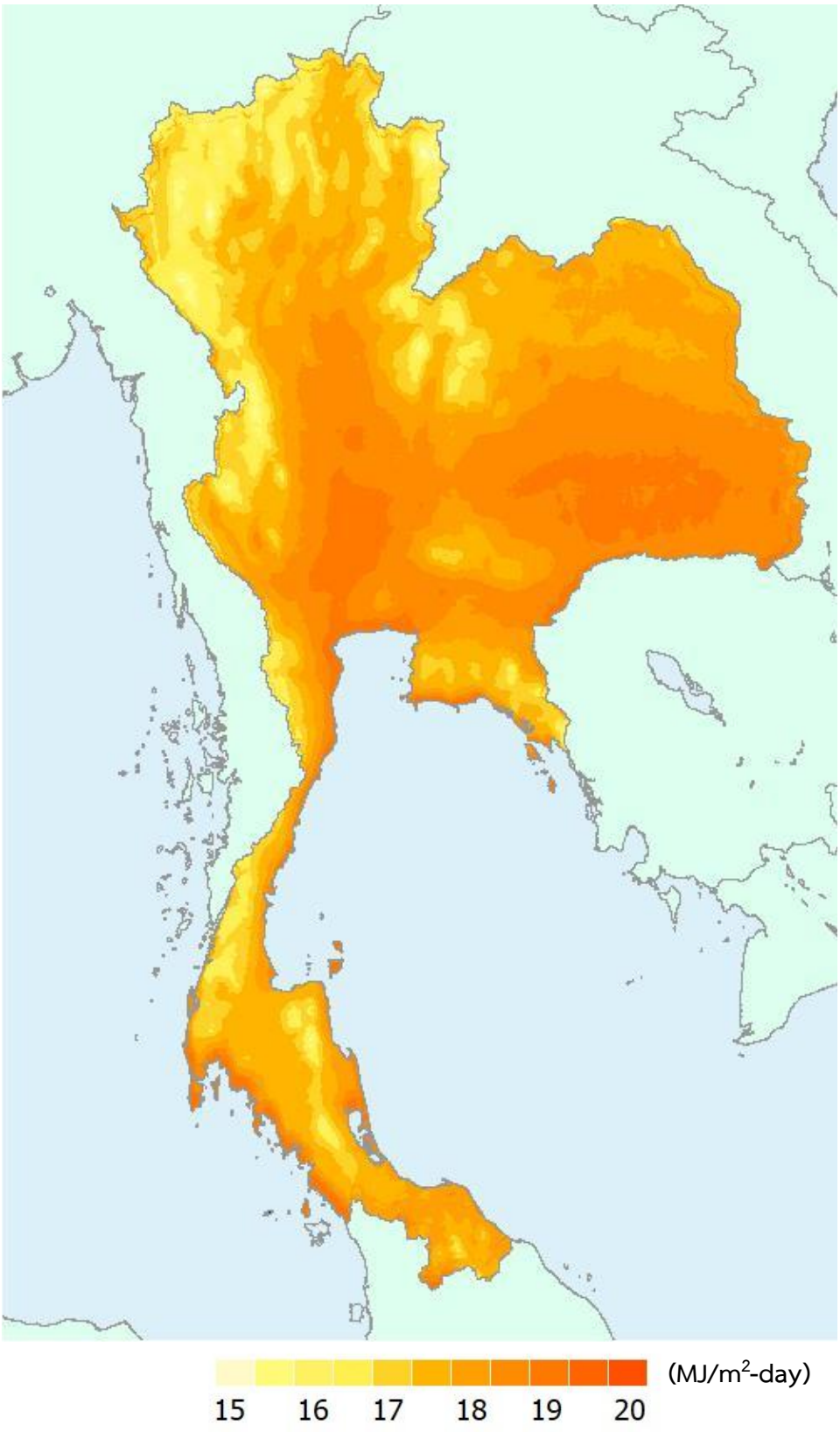
หลังจากที่ทำการทดสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองแล้ว ผู้ดำเนินงานได้เขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ตามแบบจำลอง โดยใช้อินพุทเป็นค่าสัมประสิทธิ์ทุกตัวของแบบจำลอง ณ ตำแหน่งทุกพิกเซลของข้อมูลดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทย ผลที่ได้จากการคำนวณจะเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ณ ตำแหน่งทุกพิกเซลของข้อมูลดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ประเทศ ในช่วงปี ค.ศ. 2001 - ค.ศ. 2020

ผู้ดำเนินงานได้นำค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่คำนวณได้ทั่วประเทศไทยมาจัดแสดงในรูปแผนที่ค่าเฉลี่ยรายเดือนระยะยาว โดยนำข้อมูลเดือนเดียวกันและที่พิกเซลเดียวกันของทุกปีมา

หาค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว จากนั้นจึงนำค่ามาแสดงในรูปของแผนที่ซึ่งมีแถบสีแสดงความเข้มรังสีอาทิตย์ ผลที่ได้นี้จะเรียกว่าแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์หรือแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผลการคำนวณค่าความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาวแสดงไว้ในรูปที่ 3.189 จากนั้นจะนำผลที่ได้มาหาเป็นค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปี ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.190



รูปที่ 3.189 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาว



รูปที่ 3.190 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี

จากรูปที่ 3.189 จะเห็นว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลาในรอบปีซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

สำหรับเดือนมกราคม ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์บริเวณตอนเหนือของประเทศมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับภาคอื่น ๆ ถึงแม้ว่าเดือนมกราคมเป็นช่วงฤดูหนาว สภาพท้องฟ้าโดยทั่วไปมีเมฆน้อย แต่ความเข้มรังสีอาทิตย์มิได้ขึ้นกับสภาพท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว หากยังขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนพื้นผิวโลก มุมดังกล่าวจะขึ้นกับละติจูดของตำแหน่งบนพื้นโลกและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในเดือนมกราคมดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าประมาณ 20° ทางซีกฟ้าใต้ ทำให้ค่ามุมตกกระทบรังสีอาทิตย์ในบริเวณทางตอนเหนือของประเทศมีค่ามากกว่าทางตอนใต้ของประเทศ โดยมีค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในช่วง 15 - 17 MJ/m^2-day แผ่เป็นบริเวณกว้างจนถึงภาคกลางตอนบน สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงกว่าภาคอื่น ๆ โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 18 - 19 MJ/m^2-day แผ่เป็นบริเวณกว้าง สำหรับภาคใต้ตอนบนและบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกจะมีการกระจายของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 16 - 17 MJ/m^2-day ทั้งนี้เนื่องจากด้านตะวันออกได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากกว่าด้านตะวันตก สำหรับภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันตกจะมีบางพื้นที่ เช่น บริเวณภูเก็ต พังงา และกระบี่ มีความเข้มรังสีอาทิตย์ช่วง 18 - 20 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนกุมภาพันธ์ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีค่าสูงกว่าเดือนมกราคม โดยทางตอนเหนือสุดของประเทศมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 17 - 19 MJ/m^2-day ส่วนบริเวณทางตอนกลางของประเทศ ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงขึ้นโดยจะอยู่ในช่วง 20 - 21 MJ/m^2-day บริเวณทางตอนใต้ของประเทศและภาคตะวันตกตอนใต้ซึ่งติดกับชายฝั่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ในช่วง 19 - 21 MJ/m^2-day เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีอิทธิพลน้อยลง ท้องฟ้ามีเมฆมากขึ้น

สำหรับเดือนมีนาคม ดวงอาทิตย์จะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า และเป็นช่วงฤดูร้อน พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศจึงได้รับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น โดยทางตอนใต้และตะวันตกของประเทศมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20 - 22 MJ/m^2-day ส่วนภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 20 - 22 MJ/m^2-day กระจายอยู่ทั่วบริเวณ และภาคเหนือมีความเข้มรังสีอาทิตย์แปรค่าอยู่ในช่วง 18 - 22 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนเมษายน มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์ตอนเที่ยงวันจะตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับพื้นผิวโลกทั่วทั้งประเทศ เนื่องจากช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงฤดูแล้งจะมีเมฆน้อย ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใส ทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงทั่วทั้งประเทศ โดยกระจายอยู่ในช่วง 18 - 22 MJ/m^2-day โดยเฉพาะทางภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ รังสีอาทิตย์มีความเข้มสูงกระจายอยู่ระหว่าง 20 - 23 MJ/m^2-day เนื่องจากเป็นบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรมากกว่าทางตอนเหนือของประเทศ บริเวณภาคเหนือยังคงมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงประมาณ 19 - 22 MJ/m^2-day ในขณะที่ภาคตะวันออกจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำประมาณ 17 - 20 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนพฤษภาคม ทั่วทั้งประเทศเริ่มได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากและบางวันมีฝนตก ทำให้บริเวณทั่วทั้งประเทศมีความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงจากเดือนเมษายนโดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีความเข้มรังสีอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 16 - 21 MJ/m^2-day ตลอดแนวเทือกเขาของภาคตะวันตกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงโดยจะอยู่ในช่วง 15 - 19 MJ/m^2-day ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันตกของประเทศมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 15 - 18 MJ/m^2-day เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างมาก แต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังคงมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 18 - 20 MJ/m^2-day เพราะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อย สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังคงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างน้อย ทำให้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูงประมาณ 20 - 22 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนมิถุนายน อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีผลต่อความเข้มรังสีอาทิตย์ในบริเวณต่าง ๆ ของประเทศสูงขึ้น ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมและมีฝนตกมาก ทำให้ทั่วทั้งประเทศได้รับรังสีอาทิตย์ลดลงจากเดือนพฤษภาคม โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศกระจายอยู่ในช่วง 15 - 21 MJ/m^2-day สำหรับบริเวณเงาฝนในเขตภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศในจังหวัดสิงห์บุรี ร้อยเอ็ด มหาสารคาม สุรินทร์ บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ และจังหวัดใกล้เคียงยังมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20 - 22 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนกรกฎาคม พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีเมฆและฝนกระจายอยู่ทั่วประเทศซึ่งเป็นผลทำให้ค่ารังสีอาทิตย์ลดลง กล่าวคือมีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 14 - 20 MJ/m^2-day โดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตกของประเทศซึ่งติดกับเทือกเขาตะนาวศรี และภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำประมาณ 13 - 17 MJ/m^2-day โดยบริเวณความเข้มรังสีอาทิตย์สูง 18 - 20 MJ/m^2-day จะปรากฏเป็นหย่อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สำหรับเดือนสิงหาคม พื้นที่ทั่วประเทศยังคงอยู่ในอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศมีค่าลดลงจากเดือนกรกฎาคม โดยการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วทั้งประเทศอยู่ในช่วง 13 - 19 MJ/m^2-day แต่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงคือมีค่าอยู่ในช่วง 18 - 20 MJ/m^2-day ส่วนทางภาคตะวันตกที่ติดกับเทือกเขาและภาคใต้ฝั่งภาคตะวันตกของประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทำให้มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำสุดในรอบปีอยู่ที่ค่าประมาณ 12 - 17 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนกันยายน ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตัวมาอยู่ที่ศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่พื้นที่ทั่วประเทศยังถูกปกคลุมด้วยเมฆอันเนื่องมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้พื้นที่ทุกภาคของประเทศยังคงมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ กล่าวคือส่วนใหญ่มีค่ากระจายอยู่ในช่วง 14 - 19 MJ/m^2-day มีเพียงบริเวณพื้นที่เล็ก ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในจังหวัดร้อยเอ็ด มหาสารคาม และกาฬสินธุ์ ซึ่งเป็นบริเวณเงาฝนที่แห้งแล้งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 19 - 21 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนตุลาคม ประเทศไทยจะเริ่มได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ปริมาณฝนลดลงและท้องฟ้าแจ่มใส แต่เป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปอยู่ทางใต้ของเส้น

ศูนย์สูตรท้องฟ้าทำให้รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าลดลงจากเดือนกันยายน แต่ด้วยสภาพท้องฟ้าที่แจ่มใส จึงทำให้การกระจายรังสีอาทิตย์ของภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 17 - 19 MJ/m^2-day ส่วนบริเวณอื่น ๆ ของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนไม่ต่างกับเดือนกันยายน ยกเว้นทางภาคเหนือตอนบนและภาคใต้ของประเทศที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนลดลงเป็น 14 - 17 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างมาก ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จึงมีค่าน้อยกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก ในขณะที่ภาคเหนือได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้าจะมีสภาพของฟ้าหลัว ซึ่งทำให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้รับมีค่าน้อยอยู่ในช่วง 13 - 17 MJ/m^2-day สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์คล้ายคลึงกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 18 - 19 MJ/m^2-day

สำหรับเดือนธันวาคม ดวงอาทิตย์เคลื่อนตัวไปอยู่ทางตอนใต้ของเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามากที่สุด ทำให้รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบมีค่าต่ำสุด ถึงแม้ว่าท้องฟ้าจะมีสภาพแจ่มใส แต่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกบริเวณประเทศไทยยังคงมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลงจากเดือนพฤศจิกายนโดยเป็นผลมาจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ กล่าวคือทางตอนใต้ รังสีอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 12 - 16 MJ/m^2-day ส่วนบริเวณอื่นของประเทศค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 17 - 19 MJ/m^2-day โดยทางภาคเหนือตอนบนของประเทศ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 13 - 16 MJ/m^2-day

สำหรับการกระจายของรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี (รูปที่ 3.190) จะเห็นว่าการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของทุกภาคทั่วประเทศไทยมีลักษณะคล้ายคลึงกัน กล่าวคือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วง 16 - 20 MJ/m^2-day โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีพื้นที่ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20 - 22 MJ/m^2-day ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง จากการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีของประเทศไทยพบว่ามีค่าเท่ากับ 17.5 MJ/m^2-day

3.4.6 การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย จากข้อมูลแผนที่ที่ได้ (ตาม TOR ข้อ 5.4(6))

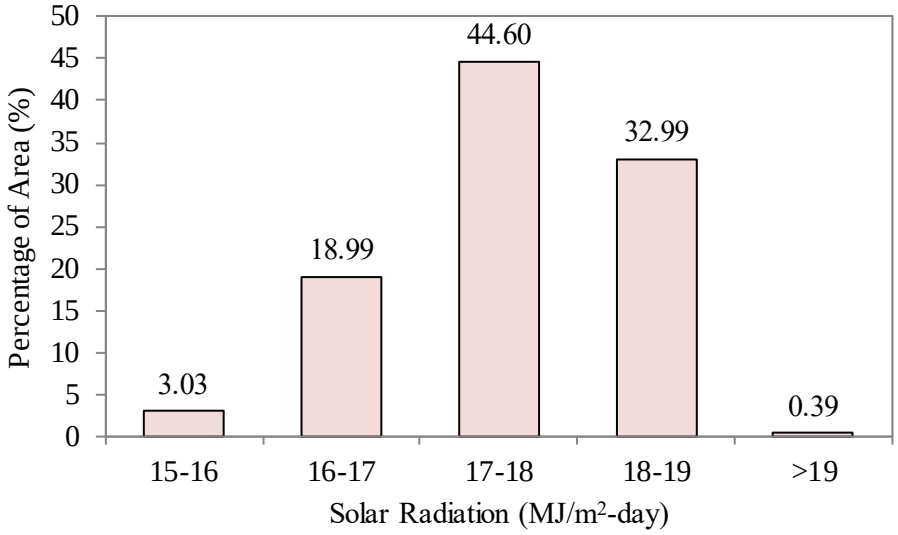
พลังงานหมุนเวียน (renewable energy) คือพลังงานที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายกระบวนการทั้งในทางตรงและทางอ้อม อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ในอดีตมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีตามธรรมชาติในชีวิตประจำวัน เมื่อสังคมมนุษย์มีการพัฒนาไปสู่ยุคอุตสาหกรรม ความต้องการพลังงานในด้านต่าง ๆ มีเพิ่มขึ้นจึงมีการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น ๆ เพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะ

พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil) ที่อยู่ในรูปของน้ำมันถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและวัฏจักรตามธรรมชาติ อีกทั้งเป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัดซึ่งถ้าใช้อย่างต่อเนื่องก็จะหมดไปอย่างรวดเร็วในอนาคต

นับตั้งแต่เกิดวิกฤตพลังงานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1973 เป็นต้นมา จนถึงปัจจุบันทั้งโลกกำลังมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งจากปริมาณประชากรและการพัฒนาที่เพิ่มขึ้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้ทำการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากพลังงานฟอสซิล ในปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์บางอย่างได้รับการพัฒนาจนกระทั่งสามารถนำมาใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ การทำน้ำอุ่นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อีกหลายชนิดที่อยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัยและพัฒนาโดยคาดว่าจะสามารถจะนำมาใช้ได้ในอนาคต อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมต่อการใช้งาน เราจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่ใช้งานด้วย

สำหรับประเทศไทย ปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ยทั้งปีสามารถแสดงได้ด้วยแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 3.190 จากรูปจะเห็นว่าบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงซึ่งมีค่าเฉลี่ยแปรค่าอยู่ในช่วง 18 - 20 MJ/m^2-day จะอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะกระจายลดหลั่นกันไปทางทิศเหนือ ตะวันออกและตะวันตกของประเทศตามแนวเทือกเขาตะนาวศรี โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ทางภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตก และภาคใต้แถบติดชายแดนประเทศพม่า โดยจะแปรค่าอยู่ในช่วง 15 - 18 MJ/m^2-day

ผู้ดำเนินงานได้นำค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (รูปที่ 3.190) ในทุกพิกเซลของพื้นที่ของประเทศไทยมาทำการแจกแจงความถี่ (frequency distribution) โดยแบ่งช่วงของความถี่เป็นช่วงละ 1 MJ/m^2-day ดังรูปที่ 3.191



รูปที่ 3.191 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีอาทิตย์ที่ระดับต่าง ๆ

จากรูปจะเห็นว่าระดับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีที่อยู่ในช่วง 15 - 16 MJ/m^2-day มีเพียงประมาณ 3.03% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ ซึ่งจะกระจายตัวอยู่ตามบริเวณเขาหรือสันเขาแนวฝั่งตะวันตกค่อนไปทางตอนเหนือของประเทศไทยโดยมีบางส่วนอยู่บริเวณภูเขาที่มีความสูงค่อนข้างสูงในส่วนอื่น ๆ ของประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มการก่อตัวของเมฆค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี ดังนั้นบริเวณนี้อาจจะไม่เหมาะแก่การนำไปพัฒนาเพื่อผลิตพลังงานทดแทนแต่จะมีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกหรือพัฒนาเป็นพื้นที่อยู่อาศัยเนื่องจากเป็นบริเวณพื้นที่ที่ได้รับความชุ่มชื้นตลอดทั้งปี

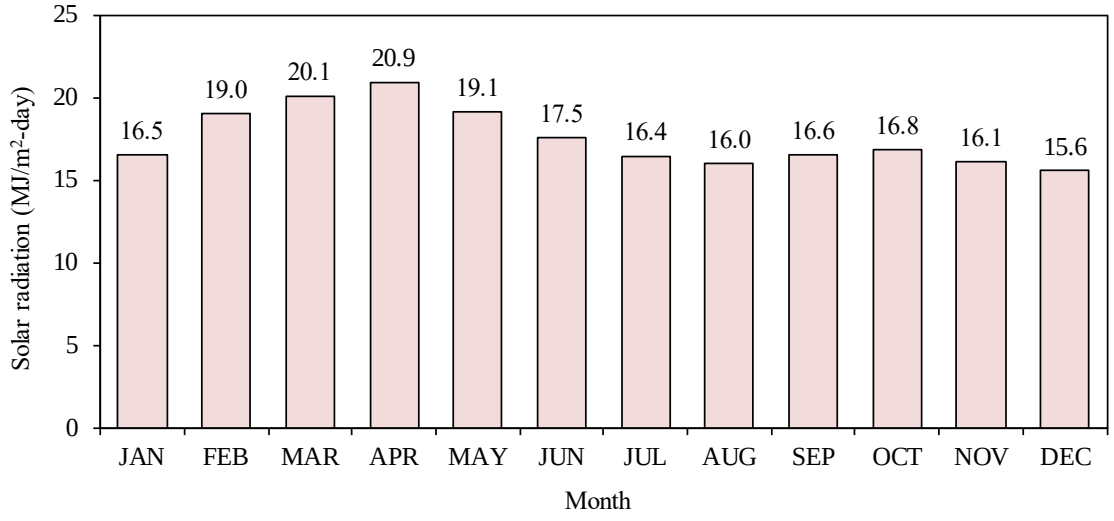
สำหรับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 16 - 17 MJ/m^2-day ซึ่งมีศักยภาพสูงขึ้นแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ระดับต่ำ ส่วนใหญ่ (คิดเป็น 18.99%) จะอยู่ในพื้นที่ภูเขาเช่นเดียวกันแต่จะมีความสูงลดลงมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณเขาฝั่งตะวันตกในแนวติดพม่านับตั้งแต่จังหวัดกาญจนบุรี ตาก แม่ฮ่องสอน ซึ่งมีความแปรปรวนของสภาพอากาศค่อนข้างสูงหรือมีเมฆค่อนข้างมากในช่วงเวลาประมาณเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม ทำให้มีฝนตกชุกหนาแน่นเป็นเวลาหลายสัปดาห์ การพัฒนาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือผู้ที่ลงทุนที่บริเวณนี้จะต้องรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีความแปรปรวนสูง

ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 17 - 18 MJ/m^2-day คิดเป็น 44.6% ของพื้นที่ในประเทศไทย มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่สูงในระดับที่เป็นค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทย สามารถใช้ในการลงทุนด้านพลังงานทดแทนและการใช้ประโยชน์ในครัวเรือน ซึ่งพื้นที่ที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับนี้จะกระจายตัวอยู่โดยส่วนใหญ่ในบริเวณที่ราบสูงทางตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และมีบางส่วนอยู่ในพื้นที่ห่างจากชายฝั่งตะวันออกทางตอนใต้ของประเทศไทย

สำหรับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีอยู่ในช่วง 18 - 19 MJ/m^2-day จะมีประมาณ 32.99% ของพื้นที่ประเทศไทย จัดเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงเป็นพิเศษสำหรับการลงทุนในด้านพลังงานทดแทน ซึ่งมีการกระจายตัวเป็นวงกว้างในพื้นที่ราบ เนื่องจากบริเวณที่ราบดังกล่าวอยู่ห่างจากแนวสันเขาจึงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมในฤดูกาลต่าง ๆ ค่อนข้างน้อย ทำให้ตลอดทั้งปีมีความเข้มรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงในระดับที่ไม่มาก บริเวณดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่โดยประมาณดังนี้ ในแถบภาคกลางครอบคลุมพื้นที่ สุพรรณบุรี ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง อยุธยา เป็นต้น พื้นที่ราบในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างตั้งแต่ นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ จนถึงอุบลราชธานี เป็นต้น และทางตอนใต้บริเวณชายฝั่งตะวันออกและบริเวณเกาะต่าง ๆ ที่อยู่ในทะเล

สำหรับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีอยู่ในช่วงมากกว่า 19 MJ/m^2-day จะเป็นพื้นที่ความเข้มสูงมากคิดเป็น 0.39% ซึ่งอยู่บริเวณติดชายฝั่งในบริเวณตอนกลางของประเทศตั้งแต่ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี จากฝั่งตะวันตกจนถึงฝั่งตะวันออกที่ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณนี้ไม่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมในฤดูกาลต่าง ๆ มากนัก ทำให้ตลอดทั้งปีได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างมาก และประกอบกับพื้นที่อยู่ติดกับทะเลจึงทำให้ได้รับผลการสะท้อนของรังสีอาทิตย์ที่ได้จากน้ำทะเลบางส่วนด้วย อย่างไรก็ตามการพัฒนาพื้นที่สำหรับการส่งเสริมพลังงานทดแทนจะค่อนข้างมีผลกระทบเนื่องจากเป็นแหล่งเศรษฐกิจท่องเที่ยว หากมีการลงทุนเกิดขึ้นจำเป็นต้องมีการศึกษาเชิงพื้นที่อย่างละเอียด

นอกจากนี้ในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องทราบการแปรค่าในรอบปีของความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วย ในงานนี้ผู้ดำเนินงานจึงได้ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบทุกพื้นที่ทั่วประเทศจากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบปี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.192



รูปที่ 3.192 การแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ

จากรูปที่ 3.192 จะเห็นว่าปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ในประเทศไทยจะแปรค่าในรอบปีอยู่ในช่วงระหว่าง 15 - 21 MJ/m^2-day โดยมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม (16.5 MJ/m^2-day) และสูงสุดในเดือนเมษายน (20.9 MJ/m^2-day) จากนั้นประเทศไทยจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาความชื้นจากทะเลอันดามันทำให้ประเทศไทยมีเมฆมากและมีฝนส่งผลให้ความเข้มแสงอาทิตย์ค่อย ๆ ลดลง จนถึงเดือนสิงหาคม ในเดือนกันยายนจะเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูกาลเข้าสู่อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนตุลาคม (16.8 MJ/m^2-day) ซึ่งพัดพาอากาศหนาวเย็นทำให้เกิดความกดอากาศสูงแผ่กำลังลงมาจากภาคเหนือของประเทศไทยเมื่อเจอกับความชื้นจะก่อตัวเป็นเมฆประกอบกับทิศทางของการโคจรของโลกจะหันด้านทิศใต้เข้าหาดวงอาทิตย์ทำให้ประเทศไทยได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์ลดลง (15.6 MJ/m^2-day) เมื่อเข้าสู่ช่วงเดือนมกราคมอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะลดกำลังลงทำให้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ไทยได้รับเพิ่มขึ้นอีกครั้ง

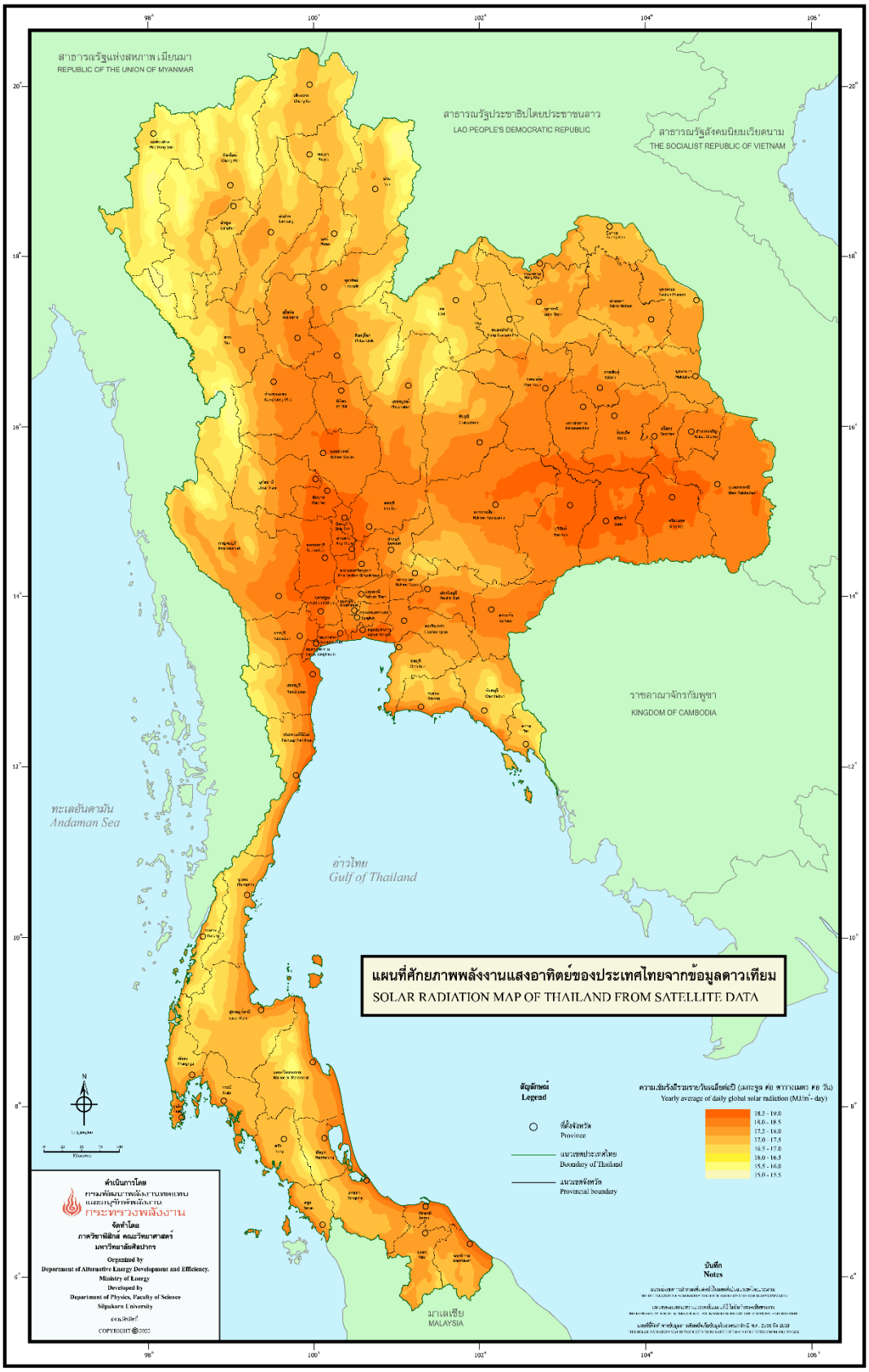
ที่ผ่านมามีโครงการวิจัยที่ได้ดำเนินการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ. 2542 พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยมีค่า 18.2 MJ/m^2-day ในปี พ.ศ. 2553 พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยมีค่า 18.0 MJ/m^2-day และในปี พ.ศ. 2560 พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยมีค่า 17.6 MJ/m^2-day สำหรับความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยในรายงานวิจัยนี้มีค่า 17.5 MJ/m^2-day จะเห็นว่าค่าศักยภาพความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่าลดลงทั้งนี้ส่วนหนึ่งอาจมาจากปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อนที่ส่งผลให้สภาวะอากาศโลกมีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศแห้งสามารถรับปริมาณความชื้นได้เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ลดทอนแสงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงยังพื้นโลก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนสำหรับประเทศไทยจะเห็นว่ามีค่าสูงและเหมาะแก่การนำมาใช้งานเป็นพลังงานทางเลือก

3.5 การจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลที่ได้ (ตาม TOR ข้อ 5.5)

ผู้ดำเนินงานนำข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือนระยะยาวระหว่างปี ค.ศ. 2001 - 2020 ที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่พัฒนาขึ้นมาจัดแสดงในรูปของแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับอ่านค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในหน่วย MJ/m^2-day และจัดเก็บในรูปแบบของตัวแปรอะเรย์ 2 มิติ และแปลงข้อมูลดังกล่าวเป็นค่าระดับสีในสเกล RGB โดยแบ่งออกเป็น 9 ระดับสี จากโทนสีเหลืองอ่อนไปถึงสีส้ม ซึ่งสอดคล้องกับช่วงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระหว่าง 15 MJ/m^2-day ถึง 19 MJ/m^2-day จากนั้นจึงนำภาพสีที่ได้มาซ้อนทับกับเส้นแนวเขตแผนที่ประเทศไทยที่แสดงขอบเขตของจังหวัดและประเทศ ซึ่งอ้างอิงแนวเขตจากฐานข้อมูล WGS87 ของโปรแกรม ArcGIS นอกจากนี้ยังได้แสดงกรอบตำแหน่งแนวเส้นละติจูด ลองจิจูด และระยะทางมาตราส่วนลงบนแผนที่ โดยแผนที่ที่ได้นี้มีมาตราส่วน 1:2,000,000 km ซึ่งมีความละเอียดเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการวางแผนหรือกำหนดพื้นที่สำหรับงานที่

เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ อาทิ การตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการจัดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

หลังจากขั้นตอนการซ้อนทับเส้นขอบเขตประเทศไทยและจังหวัดแล้ว ผู้ดำเนินงานจึงนำภาพแผนที่ดังกล่าวมาพิมพ์รายชื่อจังหวัดและข้อความประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญ ทั้งในรูปแบบภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังแสดงในรูปที่ 3.193 จากนั้นผู้ดำเนินงานจึงนำภาพแผนที่ที่ได้จากการจัดทำดังกล่าวไปแปลงให้เป็นรูปภาพโปสเตอร์ขนาด A0 สำหรับจัดพิมพ์บนกระดาษแข็งเคลือบผิวมันจำนวน 100 แผ่น เพื่อใช้สำหรับเผยแพร่ต่อไป



รูปที่ 3.193 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีระยะยาว โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2001 – 2020

3.6 การจัดทำข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ออนไลน์ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้โดยง่ายและสื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้โดยสะดวก (ตาม TOR ข้อ 5.6)

ผู้ดำเนินงานได้จัดทำฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์เผยแพร่ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถค้นหาข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่สนใจได้โดยง่ายผ่านทางหน้าเว็บไซต์และสื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่อยู่บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ที่สามารถใช้งานได้แม้ไม่มีอินเทอร์เน็ต รายละเอียดในการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

3.6.1 การพัฒนาฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ต

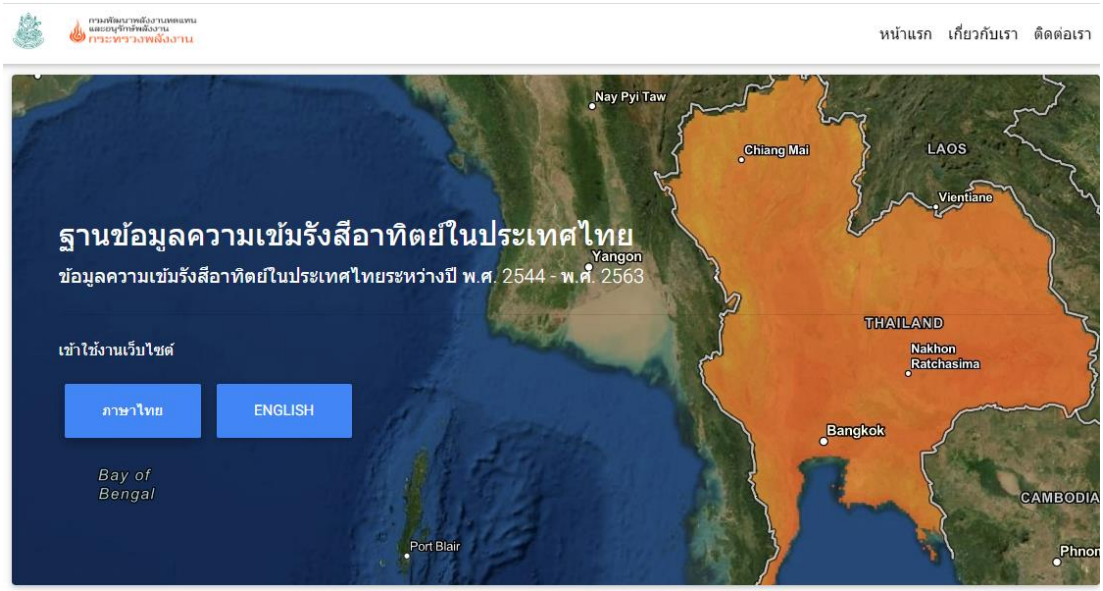
เมื่อผู้ดำเนินงานจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตามกระบวนการข้างต้นเรียบร้อยแล้ว จะทำการแปลงข้อมูลแผนที่ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบ shape file ซึ่งมีระบบพิกัดที่สามารถแสดงผลผ่านโปรแกรมทางด้านภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) ตัวอย่างเช่น ArcGIS เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้งานโปรแกรมทางภูมิศาสตร์สารสนเทศค่อนข้างมีความจำกัดเนื่องจากเป็นโปรแกรมขนาดใหญ่จึงต้องการหน่วยความจำคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผลมาก และการคัดเลือกหรือการแสดงผลข้อมูลเพื่อนำมาใช้งานค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นผู้ใช้งานที่ต้องการทราบข้อมูลที่ ณ พิกัดที่สนใจจึงต้องมีความรู้ในระดับที่ค่อนข้างสูงในการใช้งานโปรแกรมประเภทนี้ ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงได้ทำการพัฒนาฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้ใช้งานข้อมูลเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่ายและไม่ต้องใช้ความรู้ในระดับสูงเพื่อให้สะดวกต่อการนำข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานในพื้นที่ที่สนใจ สำหรับระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นเว็บไซต์ที่สามารถแสดงผลได้ในทุก ๆ คอมพิวเตอร์ที่ระบบปฏิบัติการมีเว็บเบราว์เซอร์รองรับ รวมถึงรองรับการใช้งานเว็บไซต์ในอุปกรณ์เคลื่อนที่อีกด้วย

ระบบฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นในงานนี้มีโครงสร้างหลักเป็น 2 ส่วน ได้แก่

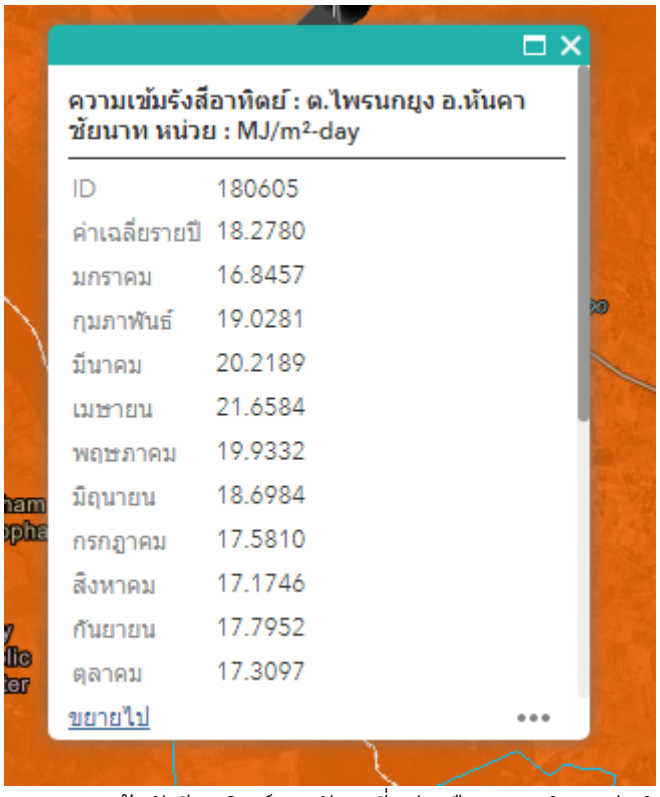
1) ระบบฐานข้อมูลแผนที่ ระบบฐานข้อมูลแผนที่จะประกอบไปด้วย ไฟล์ข้อมูลแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์แบบเวกเตอร์ (shape file) ซึ่งประกอบด้วยแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่คำนวณจากแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเป็นแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาวของเดือนมกราคม – ธันวาคม จำนวน 12 แผนที่ และแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีระยะยาวจำนวน 1 แผนที่ รวมเป็น 13 แผนที่ แผนที่ทั้งหมดถูกจัดให้อยู่ในพิกัด World Geodetic System 1984 (WGS-84) แล้วทำการประมวลผล และซ้อนทับด้วยชั้น (layer) ของแผนที่ของขอบเขตการปกครองระดับตำบล ถนน และลำคลอง จาก Web Map Service (WMS) จาก ArcGIS Server (รุ่น 10.2.2) ที่ติดตั้งอยู่ที่สำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร

2) ระบบแสดงผลแผนที่ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ผู้ดำเนินงานได้ทำการพัฒนา Web Application สำหรับแสดงแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศ (รูปที่ 3.194) ซึ่งเว็บไซต์ดังกล่าวมีระบบ Interactive กับผู้ใช้งานซึ่งสามารถเลือกค้นหาสถานที่เพื่อดูค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ สามารถแสดงผลส่งออกข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ของทุกเดือนเป็นไฟล์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ (รูปที่ 3.195) ในงานนี้ผู้ดำเนินงานได้พัฒนาเว็บไซต์ดังกล่าวด้วยภาษา php เวอร์ชั่น 7 โดยมีการใช้งานร่วมกับฐานข้อมูล MySQL สำหรับ

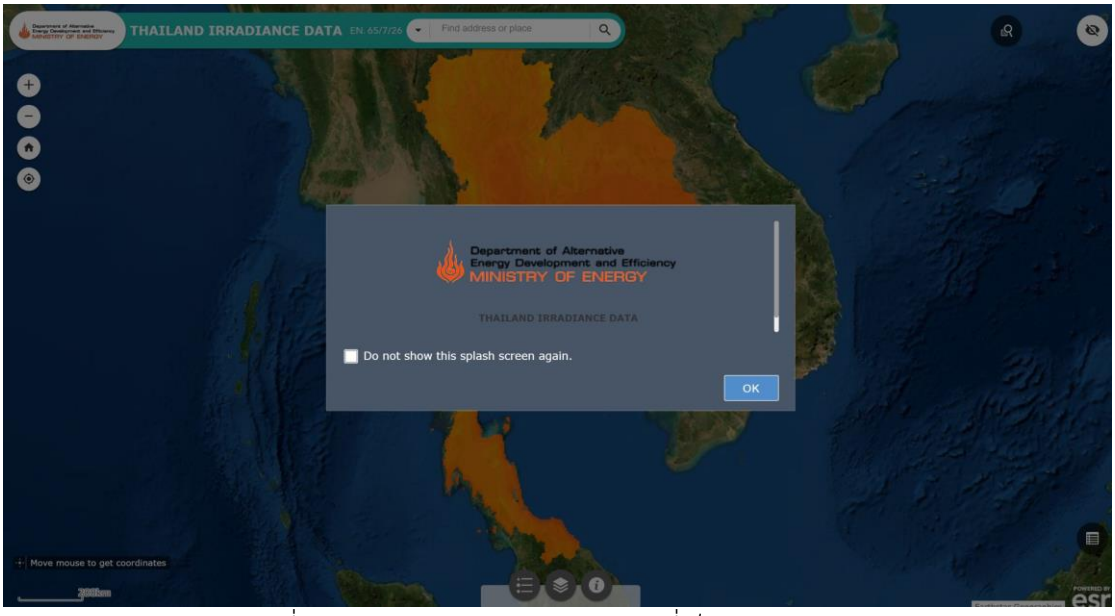
บันทึกข้อมูล นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานยังได้ทำการสร้างเว็บไซต์เป็นระบบสองภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสลับเปลี่ยนภาษาได้ตามต้องการ (รูปที่ 3.196)



3.194 เว็บไซต์แสดงผลความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศ



รูปที่ 3.195 ตัวอย่างข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ณ ตำแหน่งตำบลไพรนกยูง อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท



รูปที่ 3.196 ตัวอย่างการแสดงผลแผนที่เป็นภาษาอังกฤษ

3.6.2 การพัฒนาสื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้โดยสะดวก

ผู้ดำเนินงานได้จัดเตรียมสื่อคอมพิวเตอร์ไว้สองประเภทด้วยกันคือ ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยระยะยาวในระดับตำบลที่บรรจุอยู่ในไฟล์เอ็กเซลล์ (Excel) และโปรแกรมฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สามารถติดตั้งไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถสืบค้นได้แม้ไม่มีอินเทอร์เน็ต

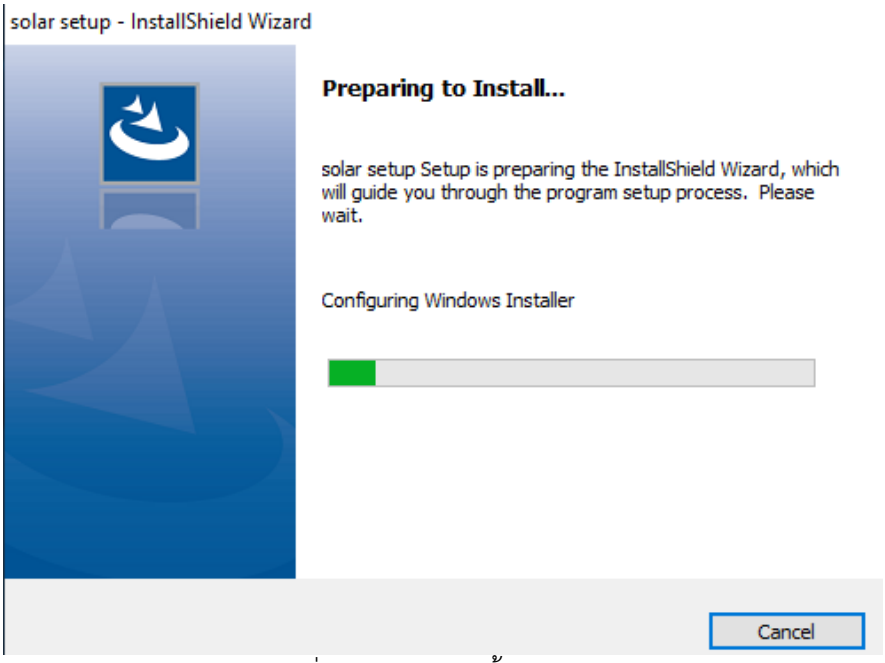
สำหรับการพัฒนาโปรแกรมฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์สำเร็จรูปซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการค้นหาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศนั้นเป็นโปรแกรมแบบติดตั้งสำเร็จบนเครื่องคอมพิวเตอร์ (stand alone) ที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษา Visual Basic

ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีคอมพิวเตอร์ซึ่งมีคุณสมบัติขั้นต่ำดังนี้

- มีระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows: XP, Vista, Windows 10 หรือ Windows 11
- มีหน่วยความจำแรมอย่างน้อย 2 GB
- มีพื้นที่ในฮาร์ดไดรฟ์อย่างน้อย 1 GB

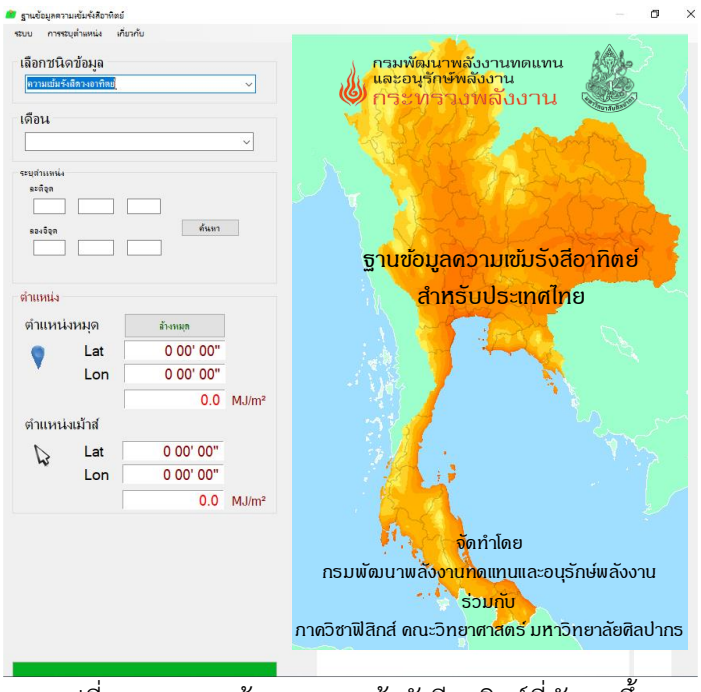
โดยต้องทำการติดตั้ง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) ใส่แผ่น CD หรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่มีโปรแกรมฐานข้อมูล
2) ทำการ run ไฟล์ “SETUP.EXE” ภายในแฟ้ม “โปรแกรมฐานข้อมูล”
3) เครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลเพื่อติดตั้งส่วนประกอบหลักเช่น .NET framework หากคอมพิวเตอร์ไม่มีอินเทอร์เน็ตโปรแกรมการติดตั้งจะหยุด (สามารถติดตั้งด้วยตนเองได้ โดยผู้ดำเนินงานได้คัดลอกไฟล์ที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งไว้ในแผ่น CD-ROM ของฐานข้อมูลด้วยเช่นกัน) เมื่อทำการติดตั้งแล้วเสร็จจะมีไอคอนชื่อ “Solar Data 65” ปรากฏที่หน้าจอเดสก์ท็อป

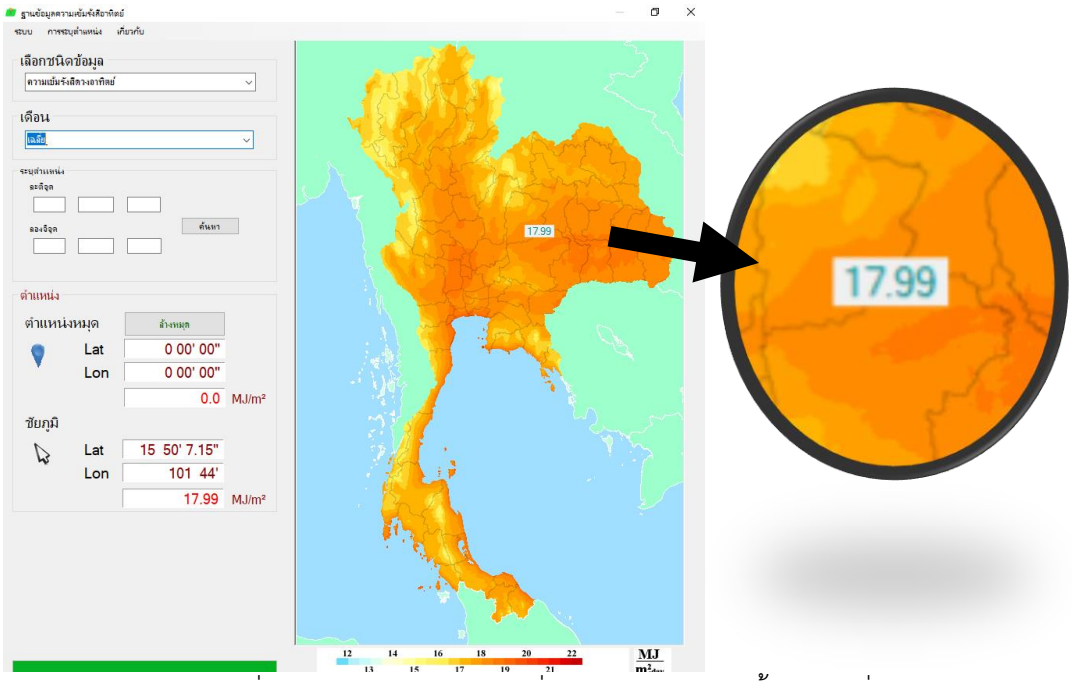


รูปที่ 3.197 การติดตั้งโปรแกรม

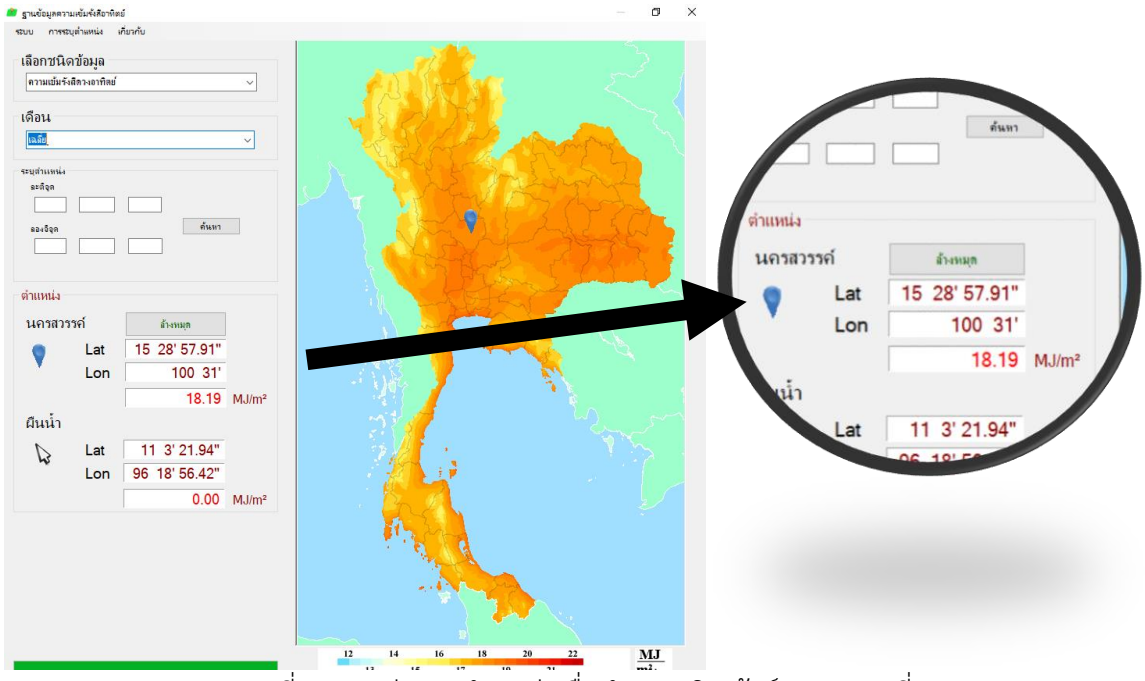
โปรแกรมฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์นี้ สามารถแสดงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในรูปแผนที่รายเดือนและค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะยาว ซึ่งผู้ใช้งานสามารถระบุตำแหน่งเพื่อค้นหาปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วยข้อมูลพิกัดตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ต้องการทราบ หรือใช้เมาส์ (mouse) ชี้และเลือกไปยังตำแหน่งที่ต้องการบนแผนที่ จะได้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ปรากฏที่หน้าจอเป็นตัวเลขและแสดงตำแหน่งที่ปรากฏบนแผนที่



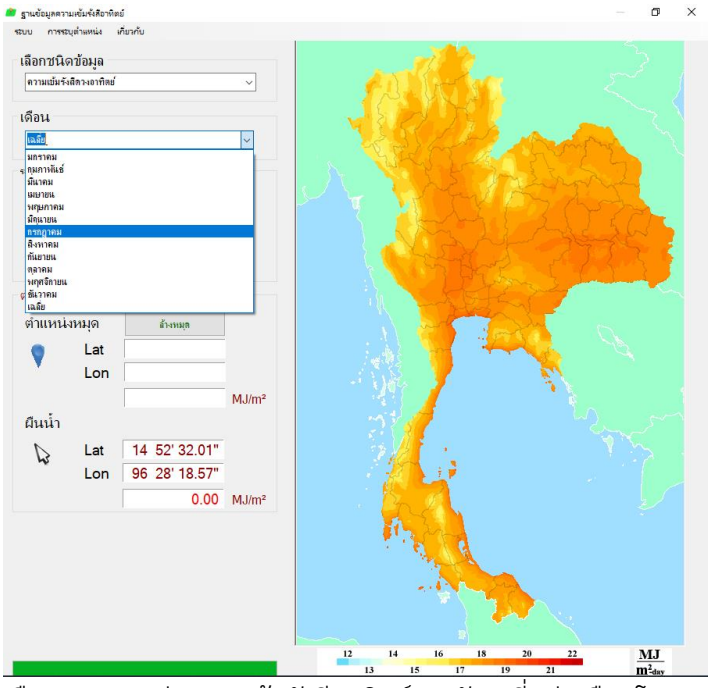
รูปที่ 3.198 ฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.199 ลักษณะปรากฏเมื่อใช้เม้าส์พอยเตอร์ชี้บนแผนที่



รูปที่ 3.200 ค่าและตำแหน่งเมื่อทำการคลิกเม้าส์ลงบนแผนที่



รูปที่ 3.201 ผู้ใช้งานเลือกแสดงผลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยแยกเป็นเดือนต่าง ๆ ได้จากเมนู

3.7 การจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ โดยมีรูปแบบและเนื้อหาตามแนวปฏิบัติทั่วไปของรายงานทางวิชาการทางวิทยาศาสตร์ (ตาม TOR ข้อ 5.7)

ผู้ดำเนินงานได้จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ขึ้นตามแนวปฏิบัติทางวิชาการทางวิทยาศาสตร์ โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บท ได้แก่ บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงเหตุผลและความจำเป็นของการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย ซึ่งนำไปสู่วัตถุประสงค์ของงานนี้ บทที่ 2 หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นหลักการ ทฤษฎี และความรู้เกี่ยวกับรังสีอาทิตย์ การลดทอนรังสีอาทิตย์เนื่องจากบรรยากาศ และการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก รวมถึงงานวิจัยที่ทำการคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ด้วยวิธีการต่าง ๆ บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและผล ซึ่งอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้ได้แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานด้านต่าง ๆ และการจัดทำแผนที่และฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการเผยแพร่สู่สาธารณะ บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ เป็นการกล่าวถึงผลการดำเนินงานในภาพรวมและข้อเสนอแนะ และส่วนสุดท้ายเป็นเอกสารอ้างอิงที่รวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในงานนี้

บทที่ 4
สรุป

รายงานฉบับนี้นำเสนอรายละเอียดและขั้นตอนการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย โดยผู้ดำเนินงานได้จัดหาข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดินที่จำเป็นต้องใช้ให้ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยในระหว่างปี ค.ศ. 2001 – 2020 ได้แก่ 1) ข้อมูลการสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลกจากดาวเทียม GMS-5 GOES-9 MTSAT และ Himawari เพื่อใช้หาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเมฆ บรรยากาศ และพื้นผิวโลก 2) ข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม TOMS/Earth Probe และ OMI/Aura เพื่อใช้คำนวณสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์เนื่องจากโอโซนในบรรยากาศ 3) ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในการคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยไอน้ำ 4) ข้อมูลทัศนวิสัยสำหรับคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง 5) ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจำนวน 38 แห่งทั่วประเทศ เพื่อนำมาใช้ประกอบการสร้างและทดสอบแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ และ 6) ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการหาสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ สำหรับข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินซึ่งจะนำมาใช้ในการสร้างและทดสอบแบบจำลอง จำเป็นต้องมีความถูกต้องแม่นยำสูง ผู้ดำเนินงานจึงเดินทางไปตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดรังสีอาทิตย์ที่สถานีวัดทั้ง 38 แห่ง ซึ่งพบว่าทั้งหัววัดรังสีอาทิตย์ สายสัญญาณ อุปกรณ์บันทึกข้อมูล และอุปกรณ์รับส่งข้อมูลของทุกสถานีอยู่ในสถานะปกติพร้อมใช้งาน ในการซ่อมบำรุงผู้ดำเนินงานได้ทำความสะอาดหัววัด เปลี่ยนสารดูดความชื้นและแบตเตอรี่สำรองไฟ รวมถึงการสังเกตสภาพแวดล้อมซึ่งพบว่ามีเพียงหนึ่งสถานีที่มีสิ่งบดบังรังสีอาทิตย์จึงได้ดำเนินการย้ายสถานที่ตั้งของเครื่องวัดไปในตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานทำการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ของทั้ง 38 แห่ง โดยใช้วิธีการสอบเทียบแบบภายนอกอาคารตาม ISO9847:1992 และได้ใบรับรองผลการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งค่าการตอบสนองของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการสอบเทียบนี้จะนำไปใช้ในการแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ในส่วนของการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศ ผู้ดำเนินงานใช้แบบจำลองที่คำนึงถึงกระบวนการสะท้อน การดูดกลืนและการกระเจิงรังสีอาทิตย์ เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ ได้แก่ โอโซน ไอน้ำ ฝุ่นละออง เมฆ โมเลกุลอากาศ พื้นผิวโลก และการสะท้อนกลับไปมาระหว่างบรรยากาศและพื้นผิวโลก จากนั้นจึงได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ. 2001 – 2020 ซึ่งผลการทดสอบแบบจำลองโดยการนำความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ณ ตำแหน่งสถานีวัด 38 แห่ง ที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดตั้งแต่เริ่มทำการวัดจนถึงปี ค.ศ. 2020 พบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพดี โดยมีค่า RMSD และ MBD ในช่วง 5.9-15.5% และ -2.5-6.3% ตามลำดับ จากนั้นคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนระยะยาวและค่าเฉลี่ยรายปีระยะ

ยาว แล้วนำเสนอในรูปของแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ จากแผนที่พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในประเทศไทยมีการแปรค่าตามฤดูกาลโดยมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม (16.5 MJ/m^2-day) จนถึงค่าสูงสุดในเดือนเมษายน (20.9 MJ/m^2-day) และลดลงจนถึงเดือนธันวาคม (15.6 MJ/m^2-day) การแปรค่านี้เป็นผลมาจากอิทธิพลของลมมรสุมในประเทศและตำแหน่งของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ สำหรับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าอยู่ในช่วง 15 - 22 MJ/m^2-day และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.5 MJ/m^2-day โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ (44.60%) ได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 17 - 18 MJ/m^2-day ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากงานนี้กับงานก่อนหน้านี้พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของฝุ่นละอองและไอน้ำในบรรยากาศ

ในการนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ ผู้ดำเนินงานได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีระยะยาว (ค.ศ. 2001 - 2020) เป็นโปสเตอร์กระดาษแข็งเคลือบผิวมันขนาด A0 จำนวน 100 แผ่น ซึ่งแสดงถึงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยมีการกำหนดตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ขอบเขตของประเทศและจังหวัด และระยะทางบนแผนที่ นอกจากนี้ได้จัดทำข้อมูลรังสีอาทิตย์ออนไลน์ผ่านสื่ออินเทอร์เน็ตที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้โดยง่ายและสื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้โดยสะดวก

ข้อเสนอแนะ

1. ความคุ้มค่าของการทำโครงการ

ในงานนี้เป็นการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการทางวิชาการเพื่อให้ได้ข้อมูลแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ระยะยาว 20 ปี ที่มีความทันสมัยและมีความถูกต้อง จากผลการดำเนินงานที่ได้พบว่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเล็กน้อยทั้งในเชิงปริมาณและเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตามเพื่อความถูกต้องของข้อมูลและการนำไปใช้งาน รวมถึงการลงทุนทางเศรษฐกิจจำเป็นต้องทำการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ 5 ปี

ในการดำเนินการดังกล่าวจะเห็นว่ากรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมีศักยภาพในการดำเนินงานเนื่องจากมีประสบการณ์ในการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 และมีเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศจำนวน 38 แห่ง ซึ่งถือเป็นเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดและมีข้อมูลยาวนานที่สุดในประเทศไทย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ดำเนินการดูแล ซ่อมบำรุง และสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน สำหรับการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ทุก ๆ 1 ปี สามารถดำเนินการได้ที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับหน่วยงานอื่นในประเทศไทย เช่น สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (GISTDA) ซึ่งมีข้อมูลดาวเทียมไทยโซตแต่ข้อมูลดังกล่าวไม่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาแบบจำลองคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ภายใต้โครงการนี้ เนื่องจากมีข้อมูลเพียง 1 ค่าในรอบ 26 วัน ซึ่งไม่เพียงพอต่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีอาทิตย์ในรอบวัน อีกทั้งในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณหาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินมาร่วมในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำมากที่สุดด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมีความจำเป็นอย่างยิ่ง และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมีศักยภาพและความพร้อมในการจัดทำแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากงานนี้จะเป็นประโยชน์และช่วยสร้างความเชื่อมั่นในการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น การวิจัย การใช้พลังงานทดแทน การลงทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น นอกจากนี้ในการดำเนินงานได้มีการพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการประมวลผลข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ และการซ่อมบำรุงและสอบเทียบหัววัดความเข้มรังสีอาทิตย์ สำหรับในด้านเศรษฐกิจ แผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับหาพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการผลิตพลังงานทดแทน ส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถคัดเลือกที่ตั้งสถานีผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม

2. การนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้

ข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เป็นข้อมูลที่สำคัญที่นำไปประยุกต์ในงานต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในด้านการเกษตร วิศวกรรม งานวิจัย และการลงทุน เป็นต้น ตัวอย่างของการนำข้อมูลไปใช้งานมีดังต่อไปนี้

- การออกแบบและการลงทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบทำความเย็นด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- งานออกแบบอาคารสถานที่
- การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ และการทำนายสภาพอากาศและสภาพภูมิอากาศ
- การเกษตร การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชพรรณและการควบคุมโรคติดต่อ
- การระเหยของน้ำ การชลประทาน การบริหารจัดการน้ำ
- งานวิจัยเกี่ยวกับการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น มะเร็งผิวหนัง โรคผิวหนังเรื้อรัง

สำหรับประเทศไทย ผู้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ประกอบการและบริษัทเอกชนด้านโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งนำข้อมูลไปใช้ในการประกอบการลงทุนการคำนวณผลการคุ้มทุน นอกจากนี้นักวิจัยและนักศึกษาที่ทำงานวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน ระบบทำความร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และการพัฒนาแบบจำลองคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ ก็นำข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ไปใช้เป็นอินพุทในการประเมินศักยภาพของงานด้านต่าง ๆ ด้วย

จากความสำคัญของข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ดังที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าแผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ทราบถึงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและสะดวก รวมถึงสามารถดาวน์โหลดข้อมูลที่สนใจเพื่อนำไปใช้งานได้

3. ด้านข้อมูลวัดภาคพื้นดิน

3.1 การดูแลสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์

ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ จำเป็นต้องมีความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือที่สุดคือข้อมูลที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินซึ่งเป็นการวัดปริมาณรังสีอาทิตย์โดยตรงตามสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการวัดรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน โดยต้องให้ความรู้เกี่ยวกับรังสีอาทิตย์และการดูแลซ่อมบำรุงเครื่องวัดรังสีอาทิตย์แก่เจ้าหน้าที่ผู้ดูแลสถานีวัด ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ดังกล่าวจำเป็นต้องดูแลสภาพแวดล้อมของสถานีวัด เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ เครื่องบันทึกข้อมูล เครื่องรับส่งข้อมูล รวมถึงไฟสำรองต่าง ๆ ให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง โดยลักษณะการดูแลสามารถแบ่งออกเป็นการดูแลรายวัน รายสัปดาห์หรือรายเดือน และรายปี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- รายวัน
    1. ทำความสะอาดโดมแก้ว ซึ่งควรดำเนินการในช่วงเช้าของแต่ละวันเพื่อชะล้างหยดน้ำและฝุ่นละอองที่เกาะโดมแก้ว
    2. ตรวจสอบหยดน้ำควบแน่นอยู่ภายในโดมแก้ว
    3. เช็คสัญญาณศักย์ไฟฟ้าที่ได้ว่าอยู่ในย่านที่เหมาะสม
    4. เช็คระบบบันทึกและรับส่งข้อมูล
- รายสัปดาห์หรือรายเดือน
    1. ตรวจสอบเวลาของระบบให้ตรงกับเวลามาตรฐานท้องถิ่น
    2. ตรวจสอบสารดูดความชื้น
    3. ตรวจสอบระดับน้ำ (spirit level)
    4. ตรวจสอบระบบสำรองไฟและแบตเตอรี่
    5. ตรวจสอบสายสัญญาณ
    6. ตรวจสอบสภาพแวดล้อม ไม่ให้มีสิ่งบดบังรังสีอาทิตย์
- รายปี

    สอบเทียบเครื่องวัดรังสีอาทิตย์

ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ หากพบว่าความผิดปกติเกิดขึ้นควรเร่งดำเนินการแก้ไขเพื่อป้องกันการขาดหายไปของข้อมูล

3.2 การเพิ่มสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์

ในการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่และถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินในกระบวนการสร้างแบบจำลองและการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง โดยเมื่อพิจารณาตำแหน่งปัจจุบันของสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ทั่วประเทศจะเห็นว่าตำแหน่งของสถานีวัดต่าง ๆ มีระยะห่างกันมากกว่า 100 km ซึ่งเมื่อเทียบกับระยะพิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียมแล้วจะเห็นว่ามีความแตกต่างโดยประมาณ 30 พิกเซล เทียบกับระยะกึ่งกลางพิกเซล ดังนั้นผู้ดำเนินงานจึงเสนอให้มีการเพิ่มสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ใกล้กันมากขึ้น โดยพิจารณาพื้นที่ดังนี้

1) เพิ่มสถานีวัดในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง รวมถึงเกาะและชายฝั่ง ที่มีความเข้มรังสีรวมสูง เพื่อหาพื้นที่ที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง เพื่อให้เป็นศูนย์กลางการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนและเพื่อตอบสนองแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศที่กำหนดนโยบายจะใช้พลังงานทดแทนประมาณ 30% ในปี พ.ศ. 2579 ซึ่งหลังจากนี้ควรมีการคัดเลือกและประเมินศักยภาพการลงทุนต่อพื้นที่เทียบกับราคาพื้นที่และเงื่อนไขปัจจัยอื่น ๆ เพื่อคำนวณความคุ้มทุนต่อไป

2) เพิ่มสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ในบริเวณหุบเขา หรือร่องเขา หรือหมู่บ้านชาวเขา เช่น พื้นที่บริเวณภาคเหนือของประเทศ เพื่อประโยชน์ในเชิงวิชาการในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับใช้คำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่ที่มีความสลับซับซ้อนในเชิงความสูงต่ำของพื้นที่ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแหล่งพลังงานให้ชุมชนกลุ่มน้อยหรือชาวเขาห่างไกลโดยไม่ต้องพึ่งสายส่งไฟฟ้าที่มีงบประมาณในการก่อสร้างสูง โดยอาจนำมาใช้ในการจำแนกหรือเลือกประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะใช้ในบริเวณนั้น ๆ หรือใช้เพื่อการคำนวณปริมาณแผงเซล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งานในหมู่บ้าน ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานเอกชนที่จะพิจารณาลงทุนเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยที่แยกลงทุนเพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขันได้

เอกสารอ้างอิง

เสริม จันทร์ฉาย, รังสีอาทิตย์, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2560.

เสริม จันทร์ฉาย, จินดา แก้วเขียว และปิยะศักดิ์ ประดิษฐ์วงศ์, การศึกษาแบบจำลองและลักษณะทางสถิติของรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย รายงานวิจัย, สำนักงานคณะกรรมวิจัยแห่งชาติ, 2545.

Alonso-Montesinos, J., Batlles, F.J., Bosch, J.L., 2015. Beam, diffuse and global solar irradiance estimation with satellite imagery, Energy Conversion and Management, 105, 1205-1212.

Andrews, D.G. (2010). An introduction to atmospheric physics. Cambridge University Press.

Bird, R.E., Hulstrom, R.L. 1981. A Simplified Clear Sky Model for Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surfaces, SERI/TR-642-761, Golden, CO: Solar Energy Research Institute.

Bounoua, Z., Chahidi, L.O., Mechaqrane, A., 2021. Estimation of daily global solar radiation using empirical and machine-learning methods: A case study of five Moroccan locations, Sustainable Materials and Technologies, 28, e00261.

Cano, D., Monget, J.M., Albuisson, M., Guillard, M., Regas, N., Wald, L., 1986. A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data, Solar Energy 37, 31-39.

Charuchittipan, D., Choosri, P., Janjai, S., Buntoung, S., Nunez, M., Thongrasmee, W., 2018. A semi-empirical model for estimating diffuse solar near infrared radiation in Thailand using ground- and satellite-based data for mapping applications, Renewable Energy 117, 175-183.

Chen, J., Zhu, W., Yu, Q., 2021. Estimating half-hourly solar radiation over the Continental United States using GOES-16 data with iterative random forest, Renewable Energy 178, 916-929.

Chen, J., Zhu, W., Yu, Q., 2022. High-spatiotemporal-resolution estimation of solar energy component in the United States using a new satellite-based model, Journal of Environmental Management 302, 114077.

Cole, R. J., 1976. Direct solar radiation data as input into mathematical models describing the thermal performance of buildings – II, Development of relationships, Buildings and Environment 11, 181-186.

Czeplak, G., Noia, M., Ratto, C.F., 1991. An assessment of a statistical method to estimate solar irradiance at the earth's surface from geostationary Satellite data, Renewable Energy 1(5/6), 737-743.

Dedieu, G., Deschamps, P.Y., Kerr, Y.H., 1987. Satellite estimation of solar irradiance at the surface of the Earth and Surface albedo using a physical model applied to METEOSAT data, Journal of Climate and Applied Meteorology 26, 79-87.

Fritz, S., Rao, P., Weinstein, M., 1964. Satellite measurements of reflected solar energy and the energy received at the ground, Journal of Atmospheric Science 21, 141-151.

Frulla, L.A., Gagliardini, P.A., Gallegos, H.G., Lopardo, R., Tarpley, J.D., 1988. Incident solar radiation on Argentina from the geostationary satellite GOES: Comparison with ground measurements, Solar Energy 41(1), 61-69.

Frulla, L.A., Gallegos, H.G., Gagliardini, P.A., Atienza, G., 1990. Analysis of satellite measured insolation in Brazil, Solar and Wind Technology 7(5), 501-509.

Gautier, C., Iak, G., Masse, S., 1980. A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data, Journal of Applied Meteorology 36, 1005-1012.

Gueymard, C. 1994. Analysis of Monthly Average Atmospheric Precipitable Water and Turbidity in Canada and Northern United States. Solar Energy 53(1), 57-71.

Iqbal, M., 1983. An Introduction to Solar Radiation, Academic Press, New York.

Islam, Md.R., Exell, R.B.H., 1996. Solar radiation mapping from satellite image using a low cost system, Solar Energy 56(3), 225-237.

ISO9847. (1992). ISO-International Organization for Standardization: Solar energy – Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer. ISO Standard 9847:1992.

Janjai, S., Laksanaboonsong, J., Nunez, M., Thongsathitya, A., 2005. Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment, Solar Energy 78, 739-751.

Janjai, S., Masiri, I., Pattarapanitchai, S., Laksanaboonsong J., 2013. Mapping global solar radiation from long-term satellite data in the tropics using an improved model, International Journal of Photoenergy 11, 1-12.

Janjai, S., Pankaew, P., Laksanaboonsong, J., Kitichantaropas, P., 2011. Estimation of solar radiation over Cambodia from long-term satellite data, Renewable Energy 36, 1214-1220.

Jiang, H., Lu, N., Qin, J., Tang, W., Yao, L., 2019. A deep learning algorithm to estimate hourly global solar radiation from geostationary satellite data, Renewable and Sustainable Energy Reviews 114, 109327.

Karaman, Ö. A., Ağır, T.T., Arsel, İ., 2021. Estimation of solar radiation using modern methods, Alexandria Engineering Journal 60(2), 2447-2455.

Lefèvre, M., Oumbe, A., Blanc, P., Espinar, B., Gschwind, B., Qu, Z., Wald, L., Schroedter-Homscheidt, M., Hoyer-Klick, C., Arola, A., Benedetti, A., Kaiser, J. W., and Morcrette, J.-J., 2013. McClear : a new model estimating downwelling solar radiation at ground level in clear-sky conditions, Atmospheric Measurement Technique 6, 2403–2418.

Malik, A.Q., Mufti, A., 1991. Application of geostationary satellite data for determining solar radiations over Pakistan, Renewable Energy 1(3/4), 455-461.

Malik, A.Q., Mufti, A., Hiser, H.W., Veziroglu, N.T., 1998. Solar mapping Pakistan using visible images from geostationary satellites, Renewable Energy 13(1), 1-16.

Mefti, A., Adance, A., Bouroubi, M.Y., 2008. Satellite approach based on cloud cover classification: Estimation of hourly global solar radiation from meteosat images, Energy Conversion and Management 49, 652-659.

Mosalam, M.A.S., Hassen, A.H., 1990. Solar Energy distribution over Egypt using cloudiness from METEOSAT Photo, Solar Energy 45(6), 345-351.

Moser, W., Rachke, E., 1984. Incident solar radiation over Europe from METEOSAT data, Journal of Climate and Applied Meteorology 23, 166-170.

Nunez, M., 1990. Solar energy statistics for Australian capital regions, Solar Energy 44(6), 343-354.

Nunez, M., Hart, T.L., Kalma, J.D., 1984. Estimating solar radiation in a tropical environment using satellite data, Journal of climatology 4, 573-285.

Otani, K., Tsuda, I., Kurokawa, K., 1995. Remote sensing of available solar energy resources in eastern Asia, Proceedings of ASEAN Energy Technology Conference, 28-29 August, 1995, 306-312.

Pfeifroth, U., Kothe, S., Müller, R., Trentmann, J., Hollmann, R., Fuchs, P., Werscheck, M. 2017. Surface Radiation Data Set - Heliosat (SARAH) - Edition 2, Satellite Application Facility on Climate Monitoring, DOI:10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V002.

Pierrehumbert, C.L., 1972. Precipitable water statistics; Australian monthly statistics of precipitable water between surface and 400 mb and at 2300 GMT, 1958-1969. Technical Report of Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.

Rigollier C., M. Lefèvre, L. Wald, 2004. The method Heliosat-2 for deriving shortwave solar radiation from satellite images. Solar Energy 77(2), 159-16.

Schukze-Kegel, D., Heidt, F.D., 1996. Mapping of global radiation with meteosat, Solar Energy 58(1-3), 77-90.

Sengupta, M., Habte, A., Gotseff, P., Weekley, A., Lopez, A., Molling, C., Heidinger, A. 2014. Physics-Based GOES Satellite Product for Use in NREL's National Solar Radiation Database: Preprint. 9 pp. NREL/CP-5D00-62237.

Smith, W., 1966. Note on the relationship between total precipitable water and surface dew point, Journal of Applied Meteorology 5, 726 -727.

Sorapipatana, C., Exell, R.H.B., 1989. Mesoscale mapping of daily insolation over Southeast Asia from satellite data, Solar and Wind Technology 6(1), 59-69.

Sorapipatana, C., Exell, R.H.B., Borel, D. A., 1988. Bispectral method for determining global solar radiation from meteorological satellite data, Solar and Wind Technology 5(3), 321-327.

Tarpley, J.D., 1979. Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data, Journal of Applied Meteorology 18, 1172-1181.

Zarzalejo, L.F., Polo, J., Martin, L., Ramirez, L., Espinar, B., 2009. A new statistical approach for deriving global solar radiation from satellite images, Solar Energy 83, 480-484.

Zhang, T., Stackhouse, Jr. P.W., Cox, S.J., Mikovitz, J.C., 2020. The uncertainty of the BSRN monthly mean Global 1 and Global 2 fluxes due to missing hourly means with and without quality-control and an examination through validation of the NASA GEWEX SRB datasets. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 255, 107272.