



การศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จากข้อมูลวัดที่สถานีนครปฐม



โดย
นางสาวสุนิษา แวกอู่

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จากข้อมูลวัดที่สถานีนครปฐม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A STUDY OF SOLAR RADIATION SPECTRUM FROM DATA COLLECTED AT
NAKHON PATHOM STATION



By
MISS Sunisa KHAKHU

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (PHYSICS)

Department of PHYSICS

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2019

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

60306204 : ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : สเปกตรัมรังสีตรง, สเปกตรัมรังสีกระจาย, สเปกตรัมรังสีรวม, สภาพท้องฟ้าทั่วไป,
แบบจำลองสเปกตรัมรังสีรวม

นางสาว สุนิษา แยกอยู่: การศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จากข้อมูลวัดที่สถานีนครปฐม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงภายใต้สภาพ
ท้องฟ้าปราศจากเมฆ 3 แบบจำลอง และทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีกระจาย
ภายใต้สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ 3 แบบจำลอง โดยการนำค่าของสเปกตรัมที่คำนวณได้จาก
แบบจำลองดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดที่สถานีนครปฐม (13.82°N , 100.04°E) ผล
การเปรียบเทียบพบว่าแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) มีสมรรถนะดีที่สุดของทั้งสเปกตรัมรังสี
ตรงแล้วสเปกตรัมรังสีกระจาย หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้สร้างแบบจำลอง
สเปกตรัมรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าทั่วไป การสร้างแบบจำลองดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้ดัชนีเมฆที่คำนวณได้
จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อแสดงผลของเมฆ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของ
แบบจำลองที่ได้ โดยการใช้แบบจำลองคำนวณค่าสเปกตรัมรังสีรวมและเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก
การวัดที่สถานีนครปฐม ผลที่ได้พบว่าค่าสเปกตรัมที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดค่อนข้าง
สอดคล้องกัน โดยมีความแตกต่างในรูป root mean square difference (RMSD) เท่ากับ 12.7%
และ mean bias difference (MBD) เท่ากับ -8.7% เมื่อเทียบกับการวัด สุดท้ายผู้วิจัยได้นำเสนอผล
การแจกแจงความถี่ของปริมาณเมฆและลักษณะของสเปกตรัมที่ได้จากข้อมูลที่สถานีนครปฐม

60306204 : Major (PHYSICS)

Keyword : direct solar spectral, diffuse solar spectral, global spectrum, all-sky condition, global spectrum model

MISS SUNISA KHAKHU : A STUDY OF SOLAR RADIATION SPECTRUM FROM DATA COLLECTED AT NAKHON PATHOM STATION THESIS ADVISOR : PROFESSOR SERM JANJAI, Ph.D.

In this work, the performance of three direct solar spectral models under clear sky condition and three diffuse solar spectral model under clear sky condition were investigated. The spectral values calculated from the model were compared with those obtained from the measurements at Nakhon Pathom station (13.82°N , 100.04°E). It was found that the models proposed by Brine & Iqbal (1983) performance best for both direct and diffuse spectra. Then these models for clear sky condition were used to formulate a global spectrum model for all-sky condition. Satellite-derived cloud index was incorporated in the model to account for the effect of clouds. The performance of the model was tested against the independent data set collected at Nakhon Pathom station. It was found that the spectral value estimated by the model and those obtained from the measurements are in reasonable agreement with the discrepancy in terms of root mean square difference (RMSD) of 12.7% and mean bias difference (MBD) of -8.7%, with respect to mean measured spectrum. Finally, the statistical distribution of cloud cover and solar spectrum for different cloud cover at Nakhon Pathom station were also presented in this research.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต โดยผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนผู้ช่วยวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์จากห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ รวมถึงขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ติดตั้งเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ และเครื่องมืออื่น ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในงานวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักผู้ให้คำแนะนำด้านวิชาการ และช่วยหาทุนวิจัย เครื่องมือ อุปกรณ์ และข้อมูล ที่ใช้สำหรับดำเนินการวิจัย อีกทั้งขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รุ่งรัตน์ วัฒตล ซึ่ง เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมผู้ให้คำปรึกษาและแนวคิดในการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิรติ เกิดศิริ ที่ได้กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์และนักวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์จากห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับงานวิจัย และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ คุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดาและมารดา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณที่ได้ช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

สุณิษา แยกสู

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ถ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3. สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4. ขอบเขตของการศึกษา.....	2
บทที่ 2.....	3
หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1. สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (spectral solar irradiance).....	3
2.1.1. สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก.....	3
2.1.2. สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาถึงพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าทั่วไป.....	4
2.1.2.1. การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศ.....	5
2.1.2.2. การลดทอนสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	6
2.1.2.3. การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ.....	8
2.1.2.4. การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน.....	10

2.1.2.5 การดูคลื่นรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ.....	11
2.1.2.6 ผลกระทบของเมฆต่อรังสีอาทิตย์.....	12
2.2 การหาค่าดัชนีเมฆ (n) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	14
2.3 การวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือที่ติดตั้งภาคพื้นดิน.....	16
2.3.1 การวัดสเปกตรัมรังสีรวม.....	16
2.3.2 การวัดสเปกตรัมรังสีตรง.....	17
2.3.3 การวัดสเปกตรัมรังสีกระจาย.....	18
2.4 แบบจำลองจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3.....	25
วิธีดำเนินการและผลการวิจัย.....	25
3.1 ทดสอบแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ.....	25
3.1.1 การเตรียมข้อมูลทดสอบแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจาก เมฆ.....	25
3.1.1.1 ข้อมูลสภาพท้องฟ้า.....	25
3.1.1.2 ข้อมูลฝุ่นละออง.....	27
3.1.1.3 ข้อมูลปริมาณไอน้ำ.....	31
3.1.1.4 ข้อมูลปริมาณโอโซน.....	31
3.1.2 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากเครื่องวัด.....	32
3.1.2.1 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรง.....	32
3.1.2.2 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจาย.....	38
3.1.3 การทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง.....	43
3.1.3.1 การทดลองสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรง.....	43
3.1.3.2 การทดลองสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีกระจาย.....	50
3.2 การพัฒนาแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป.....	57

3.2.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง	57
3.2.1.1 การเตรียมข้อมูลวัตถุดิบ	57
3.2.1.2 การเตรียมข้อมูลการเตรียมข้อมูลดาวเทียม	58
3.2.1.3 การเตรียมค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านขององค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศ ..	61
3.2.2 การพัฒนาแบบจำลอง	69
3.2.3 การทดสอบแบบจำลอง	71
3.3 การศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของจังหวัดนครปฐม.....	75
3.3.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของจังหวัดนครปฐม	76
3.3.1.1 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์	76
3.3.1.2 ข้อมูลสภาพท้องฟ้า.....	77
3.3.2 ศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ตามสภาพท้องฟ้าของจังหวัดนครปฐม.....	78
บทที่ 4	126
สรุปผล.....	126
รายการอ้างอิง.....	2
ประวัติผู้เขียน.....	4



สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1	สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมาตรฐาน ASTM E-490	3
รูปที่ 2.2	แผนภูมิการลดทอนของรังสีอาทิตย์	4
รูปที่ 2.3	การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการกระเจิงสเปกตรัมรังสี อาทิตย์โดยโมเลกุล อากาศ ที่มวลอากาศและความยาวคลื่นต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.4	การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองที่แต่ละความยาว คลื่นโดยที่บรรยากาศมีค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (β) เท่ากับ 0.2 และเลขชี้กำลังอังสตรอม(α) เท่ากับ 1.3 ที่ค่ามวลอากาศ (m_a) ต่าง ๆ.....	8
รูปที่ 2.5	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ ในกรณีที่มวลอากาศเท่ากับ 1 และบรรยากาศ มีไอน้ำ 2 เซนติเมตร (ดัดแปลงจาก Iqbal,1983).....	9
รูปที่ 2.6	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโอโซนที่มวลอากาศและความยาวคลื่นต่าง ๆ.....	11
รูปที่ 2.7	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ที่แต่ละความยาว คลื่น ที่มวล อากาศเท่ากับ 1 (ดัดแปลงจาก Iqbal,1983)	12
รูปที่ 2.8	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของเมฆที่ประกอบด้วยหยดน้ำเล็ก ๆ ที่มีรัศมี เป็น 20 ไมครอน ที่แต่ละความยาวคลื่น.....	13
รูปที่ 2.9	วงโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite)	14
รูปที่ 2.10	ตัวอย่างข้อมูลภาพจากดาวเทียม MTSAT-1R	15
รูปที่ 2.11	เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีรวมซึ่งตั้งอยู่บนพื้นระนาบ	16
รูปที่ 2.12	ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัด ในเวลา 12:00 น. วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2017	17
รูปที่ 2.13	เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่มีการติดต่อบังคับแสงด้านบนไปติดตั้งบนเครื่อง ติดตาม ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun tracker).....	17
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัด ในเวลา 12:00 น. วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2015.....	18

รูปที่ 2.15 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีกระจายที่มีลูกบอลบังรังสีตรงที่ติดอยู่กับเครื่องเครื่อง ติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun tracker).....	19
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัด ในเวลา 12:00 น. วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2015	19
รูปที่ 3.1 กล้องถ่ายภาพท้องฟ้าอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร.....	26
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายท้องฟ้าทั่วไปจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ a) ท้องฟ้าปราศจากเมฆ b) ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน และ c) เมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า	26
รูปที่ 3.3 เครื่อง cimel sunphotometer.....	27
รูปที่ 3. 4 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015.....	28
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015.....	28
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015.....	29
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015.....	29
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 675 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015.....	30
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015.....	30
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลการแปรค่าปริมาณไอน้ำในรอบวันที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015	31
รูปที่ 3.11 ข้อมูลโอโซนที่ได้จากดาวเทียม OMI/AURA ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2015.....	32
รูปที่ 3. 12 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ EKO spectroradiometer รุ่น MS-710 ที่มีการ ติดต่อบังคับแสงด้านบนไปติดตั้งบนเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อวัดสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์.....	33

รูปที่ 3.13 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมกราคม ปี 2015.....	33
รูปที่ 3.14 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2015.....	34
รูปที่ 3.15 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมีนาคม ปี 2015	34
รูปที่ 3.16 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนเมษายน ปี 2015	35
รูปที่ 3.17 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนพฤษภาคม ปี 2015	35
รูปที่ 3.18 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมิถุนายน ปี 2015.....	36
รูปที่ 3.19 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนกรกฎาคม ปี 2015	36
รูปที่ 3.20 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนพฤศจิกายน ปี 2015	37
รูปที่ 3.21 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนธันวาคม ปี 2015.....	37
รูปที่ 3.22 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ EKO spectroradiometer รุ่น MS-710 ที่มีลูกบอลบังรังสีตรงที่ติดอยู่กับเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ (sun tracker) เพื่อวัดสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์	38
รูปที่ 3.23 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมกราคม ปี 2015	39
รูปที่ 3.24 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมีนาคม ปี 2015	39
รูปที่ 3.25 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนเมษายน ปี 2015.....	40

รูปที่ 3.26 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือน ของเดือนพฤษภาคม ปี 2015.....	40
รูปที่ 3.27 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือน ของเดือนมิถุนายน ปี 2015.....	41
รูปที่ 3.28 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือน ของเดือนกรกฎาคม ปี 2015.....	41
รูปที่ 3.29 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือน ของเดือนพฤศจิกายน ปี 2015.....	42
รูปที่ 3.30 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือน ของเดือนธันวาคม ปี 2015	42
รูปที่ 3.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้ จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 9:00 น. ของ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2015... 44	44
รูปที่ 3.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้ จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 10:00 น. ของ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2015 44	44
รูปที่ 3.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้ จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 11:00 น. ของ วันที่ 14 มกราคม 2015 ... 45	45
รูปที่ 3.34 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้ จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 12:00 น. ของ วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2015 45	45
รูปที่ 3.35 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้ จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 13:00 น. ของ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2015 46	46
รูปที่ 3.36 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้ จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 14:00 น. ของ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2015 46	46
รูปที่ 3.37 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้ จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 15:00 น. ของ วันที่ 15 มกราคม 2015 ... 47	47
รูปที่ 3.38 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) ($I_{b\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสี อาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{b\lambda,meas}$).....	47

รูปที่ 3.39 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Bird (1984) ($I_{b\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{b\lambda,meas}$)	48
รูปที่ 3.40 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Gueymard (2001) ($I_{b\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดโดย เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{b\lambda,meas}$)	48
รูปที่ 3.41 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 9:00 น. ของ วันที่ 4 เมษายน 2015.....	50
รูปที่ 3.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 10:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015.....	51
รูปที่ 3.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 11:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015.....	51
รูปที่ 3.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 12:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015.....	52
รูปที่ 3.45 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 13:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015.....	52
รูปที่ 3.46 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 14:00 น. ของ วันที่ 4 เมษายน 2015.....	53
รูปที่ 3.47 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 15:00 น. ของ วันที่ 4 เมษายน 2015.....	53

รูปที่ 3.48 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) ($I_{d\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{d\lambda,meas}$) 54

รูปที่ 3.49 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Bird (1984) ($I_{d\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{d\lambda,meas}$)..... 54

รูปที่ 3. 50 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Gueymard (2001) ($I_{d\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{d\lambda,meas}$)..... 55

รูปที่ 3. 51 (a) แสดงลักษณะของเครื่อง pyrhelimeter รุ่น CH1 ของบริษัท Kipp&Zonen และ (b) เครื่องวัดสเปกตรัม spectroradiometer รุ่น MS -710 ของบริษัท EKO และตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดภาคพื้นดินที่จังหวัดนครปฐม 58

รูปที่ 3.52 ตัวอย่างข้อมูลภาพจากดาวเทียม MTSAT-1R..... 59

รูปที่ 3.53 ภาพดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย 60

รูปที่ 3.54 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมในภาพถ่ายแบบผิวทรงกระบอกที่หาพิกัดแล้ว 60

รูปที่ 3.55 เครื่อง cimel sunphotometer ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีวัดภาคพื้นดินที่จังหวัดนครปฐม 62

รูปที่ 3.56 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017 63

รูปที่ 3.57 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017 63

รูปที่ 3.58 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017 64

รูปที่ 3.59 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 675 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017 64

รูปที่ 3.60 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017 65

รูปที่ 3.61 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณไอน้ำเฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบวัน จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017	66
รูปที่ 3.62 ข้อมูลปริมาณโอโซนของวันที่ 1 มกราคม 2017 ที่ได้จากดาวเทียม OMI/AURA (Ozone Monitoring Instrument).....	67
รูปที่ 3.63 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลก๊าซต่าง ๆ ที่แต่ละความยาวคลื่นของวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2016	68
รูปที่ 3.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดกับรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและดัชนีเมฆ ของสถานีวัดจังหวัดนครปฐม	69
รูปที่ 3.65 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 9:00 น. ของ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2017	71
รูปที่ 3.66 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 10:00 น. ของ วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2017	72
รูปที่ 3.67 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 11:00 น. ของ วันที่ 23 มกราคม 2017	72
รูปที่ 3.68 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 12:00 น. ของ วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2017	73
รูปที่ 3.69 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 13:00 น. ของ วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2017	73
รูปที่ 3.70 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 14:00 น. ของ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2017	74
รูปที่ 3.71 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 15:00 น. ของ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2017.....	74

รูปที่ 3. 72 ผลการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองกับการวัดโดยเครื่องมือภาคพื้นดิน	75
รูปที่ 3.73 สเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น.....	75
รูปที่ 3. 74 เครื่อง spectroradiometer รุ่น MS -710 ของบริษัท EKO ที่ติดตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	76
รูปที่ 3. 75 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมจากอาทิตย์ที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง spectroradiometer ในช่วงความยาวคลื่น 350- 950 นาโนเมตร ของวันที่ 7 มีนาคม 2017 เวลา 12:00 น.	77
รูปที่ 3. 76 ภาพถ่ายท้องฟ้าที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมโดยการแบ่งท้องฟ้าเป็น 10 ส่วน	78
รูปที่ 3. 77 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนมกราคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	113
รูปที่ 3. 78 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนกุมภาพันธ์ ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	114
รูปที่ 3. 79 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนมีนาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	115
รูปที่ 3.80 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนเมษายน ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	116
รูปที่ 3. 81 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนพฤษภาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	117
รูปที่ 3. 82 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนมิถุนายน ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	118
รูปที่ 3. 83 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนกรกฎาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	119
รูปที่ 3. 84 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนสิงหาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	120
รูปที่ 3. 85 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนกันยายน ที่เวลา 8:00-16:00 น.....	121

รูปที่ 3. 86 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าใน
เดือนตุลาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น..... 122

รูปที่ 3. 87 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าใน
เดือนพฤศจิกายน ที่เวลา 8:00-16:00 น..... 123

รูปที่ 3. 88 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าใน ...
เดือนธันวาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น. 124



สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า RMSD และ MBD จากการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงรายชั่วโมงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆกับค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน 49

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า RMSD และ MBD จากการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายรายชั่วโมงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองสเปกตรัมรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆกับค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน 55

ตารางที่ 3. 3 แสดงผลค่าทางสถิติ t-Stat และ P-value จากการ regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดบนพื้นราบ (**I_b**)กับรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (**I_c**) และดัชนีเมฆ 69

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 8:00 น. ของเดือนมกราคม 79

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 9:00 น. ของเดือนมกราคม 83

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 10:00 น. ของเดือนมกราคม 86

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 11:00 น. ของเดือนมกราคม 90

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 12:00 น. ของเดือนมกราคม 93

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 13:00 น. ของเดือนมกราคม 97

ตารางที่ 3.10 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 14:00 น. ของเดือนมกราคม 101

ตารางที่ 3.11 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 15:00 น.ของเดือนมกราคม 105

ตารางที่ 3.12 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 16:00 น.ของเดือนมกราคม
..... 109



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกจะประกอบด้วยรังสีความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยแต่ละความยาวคลื่นจะมีความเข้มที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเรียกความเข้มในแต่ละความยาวคลื่นในรูปของกราฟหรือตารางว่า สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (solar radiation spectrum) และถ้าทำการรวมความเข้มทุกความยาวคลื่นจะได้ค่าความเข้มรังสีในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (broadband solar radiation) ซึ่งความเข้มดังกล่าวนี้จะสามารถวัดได้ด้วยไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) ที่ติดตั้งตามสถานีวัดรังสีอาทิตย์ต่าง ๆ

เนื่องจากอุปกรณ์ด้านพลังงานแสงอาทิตย์บางอย่าง เช่น โซลาร์เซลล์และผิวเลือกรังสี (selective surface) ของตัวรับรังสีอาทิตย์ (solar collector) มีความสามารถในการรับรังสีอาทิตย์แต่ละความยาวคลื่นไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับความเข้มรังสีอาทิตย์แต่ละความยาวคลื่นหรือสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ ซึ่งตามหลักการแล้วการหาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จะสามารถหาได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรเรดิโอมิเตอร์ (spectroradiometer) แต่เครื่องมือดังกล่าวมีราคาแพง ทำให้การวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในประเทศไทยมีน้อยมาก ส่งผลให้มีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการใช้งาน และเนื่องจากรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากบรรยากาศและพื้นผิวโลกสามารถตรวจวัดได้ด้วยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลดังกล่าวมีค่าขึ้นกับสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอที่จะสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์และศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปโดยใช้ข้อมูล ณ ตำแหน่งสถานีนครปฐม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ด้านพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

1.2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

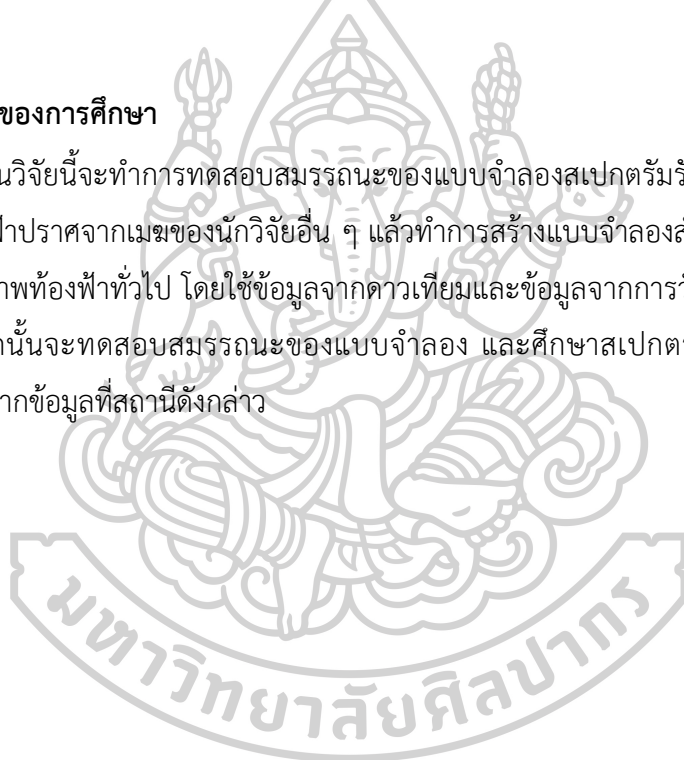
- 1) ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงและรังสีกระจายของนักวิจัยอื่น ๆ
- 2) สร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณสเปกตรัมรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าทั่วไป
- 3) การศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่สถานีนครปฐมในสภาพท้องฟ้าทั่วไป

1.3. สมมติฐานของการศึกษา

เมื่อรังสีอาทิตย์เดินทางมาถึงพื้นผิวโลก บางส่วนจะผ่านบรรยากาศมาถึงพื้นผิวโลก แต่บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับออกไปสู่อวกาศภายนอก ซึ่งรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนออกไปนั้นจะสามารถตรวจวัดได้ด้วยดาวเทียม ส่วนของรังสีอาทิตย์ที่เดินทางผ่านบรรยากาศมาถึงพื้นผิวโลกจะถูกดูดกลืนและกระเจิงโดยองค์ประกอบของบรรยากาศที่จะทำให้สเปกตรัมรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถคำนวณได้จากปริมาณขององค์ประกอบของบรรยากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน จากข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกและการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จะทำให้สามารถสร้างแบบจำลองเพื่อหาค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงและรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆของนักวิจัยอื่น ๆ แล้วทำการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณสเปกตรัมรังสีรวมในสภาพท้องฟ้าทั่วไป โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมและข้อมูลจากการวัดภาคพื้นดินที่สถานีวัดนครปฐม จากนั้นจะทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง และศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปจากข้อมูลที่สถานีดังกล่าว



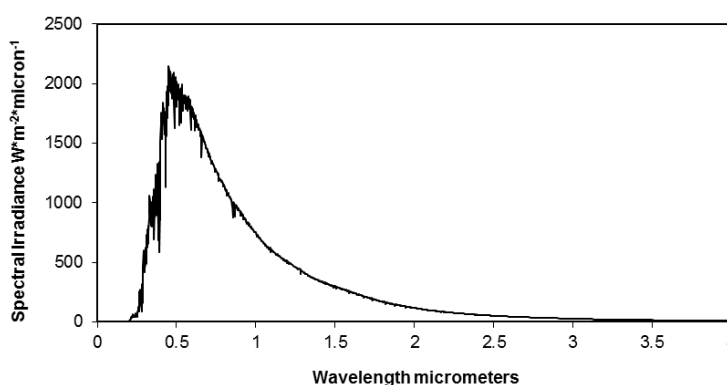
บทที่ 2

หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (spectral solar irradiance)

2.1.1 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

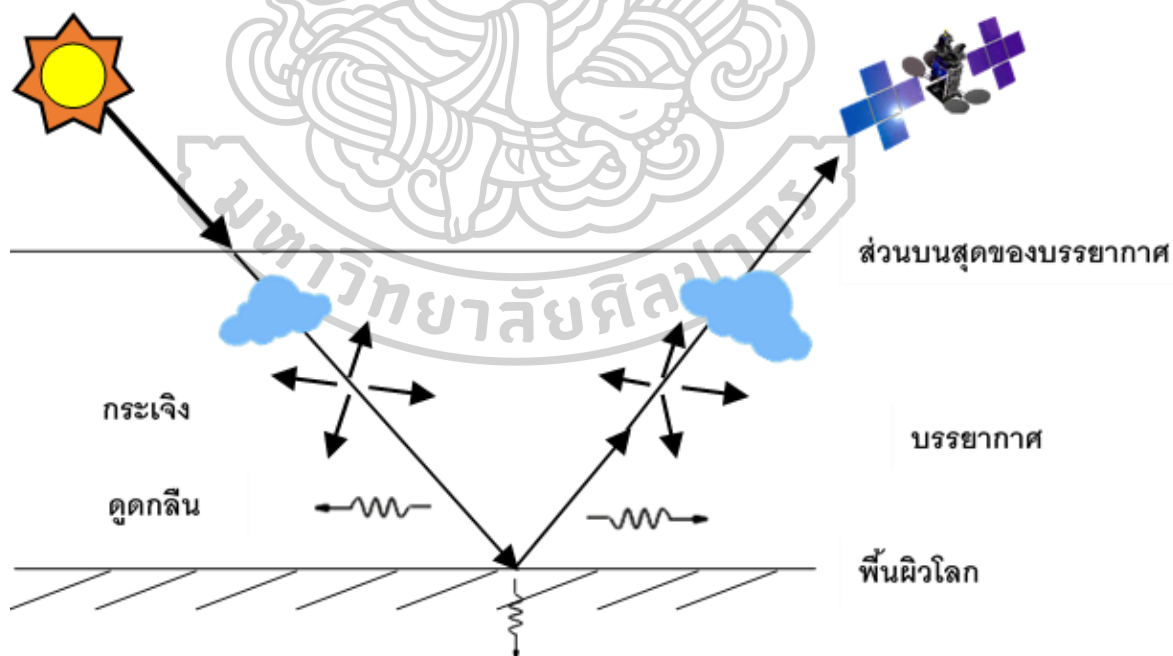
รังสีที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่รังสีแกมมาจนถึงคลื่นวิทยุ โดยที่แต่ละความยาวคลื่นจะมีความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ซึ่งความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ นี้คือ สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ โดยข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์เป็นข้อมูลสำคัญที่จะใช้ในการออกแบบและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ หรืออุปกรณ์ในงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ มีความสามารถในการรับและตอบสนองต่อรังสีอาทิตย์ในความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากัน และที่สำคัญสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกยังเป็นข้อมูลสำคัญที่จะใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมาถึงพื้นผิวโลก ดังนั้นจากความสำคัญของสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่กล่าวมานี้ ทำให้ที่ผ่านมาจึงมีนักวิทยาศาสตร์พยายามหาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก โดยสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมาตรฐานที่ยอมรับกันในปัจจุบัน คือ สเปกตรัม ASTM E-490 (ASTM, 2000) (ASTM) โดยผลรวมของพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ จากสเปกตรัมได้ค่าคงที่รังสีอาทิตย์เป็น 1366.1 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นของสมาคมทดสอบและวัสดุของสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials (ASTM)) โดยแสดงบางส่วนได้ดังกราฟในรูปที่ 2.1 และสำหรับสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นสามารถหาได้จากเว็บไซต์ <https://redc.nrel.gov/solar//spectra/am1.5/>



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมาตรฐาน ASTM E-490

2.1.2 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาถึงพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าทั่วไป

สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาถึงพื้นผิวโลกจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า ซึ่งจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน และเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า ซึ่งสำหรับงานด้านพลังงานรังสีอาทิตย์นั้น ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะต้องเป็นข้อมูลในสภาพท้องฟ้าทั่วไป คือ บางเวลาไม่มีเมฆปกคลุม และบางเวลาอาจจะมีเมฆปกคลุมบางส่วนหรือทั้งหมด โดยสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาถึงพื้นผิวโลกในขณะที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆนั้นจะมีค่าสูงสุด จึงสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆได้ โดยสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาถึงพื้นผิวโลกประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ สเปกตรัมรังสีตรง และสเปกตรัมรังสีกระจาย และถ้ารวมทั้ง 2 ส่วนนี้เข้าด้วยกันจะเรียกว่าสเปกตรัมรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ โดยสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาถึงพื้นผิวโลกจะพิจารณาจากสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่จะเดินทางมาถึงพื้นผิวโลก ซึ่งจะมีบางส่วนถูกลดทอนโดยการกระเจิงและดูดกลืนโดยองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ ส่วนที่มากกระทบพื้นผิวโลกจะมีบางส่วนที่ถูกสะท้อนโดยพื้นผิวโลกผ่านบรรยากาศออกไปยังอวกาศภายนอกอีกครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเราสามารถวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนออกสู่อวกาศภายนอกได้ด้วยดาวเทียม



รูปที่ 2.2 แผนภูมิการลดทอนของรังสีอาทิตย์

โดยความลึกเชิงแสงของบรรยากาศจะเป็นพารามิเตอร์ที่บอกความสามารถของตัวกลางในการลดทอนรังสีอาทิตย์ที่เดินทางผ่านตัวกลางโดยกระบวนการดูดกลืนและการกระเจิง ซึ่งจะทำให้ค่าของสเปกตรัมรังสีรวมจากดวงอาทิตย์มีค่าน้อยลง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปัจจัยองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศที่มีผลต่อการลดทอนรังสีอาทิตย์ เพื่อที่จะทำให้เราสามารถหาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกได้

2.1.2.1 การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศ

ลอร์ดเรย์ลีย์ (Lord Rayleigh) ได้เสนอทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณการกระเจิงแสงของวัตถุทรงกลม ซึ่งสามารถนำมาใช้กับกรณีที่รังสีอาทิตย์ที่เดินทางผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกที่จะถูกโมเลกุลอากาศกระเจิง ซึ่งเป็นโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ โดยจะเรียกว่าการกระเจิงแบบเรย์ลีย์ (Rayleigh scattering) ซึ่งการบอกสมบัติของโมเลกุลอากาศที่ลดทอนรังสีอาทิตย์โดยการกระเจิงนั้นจะนิยมบอกในรูปของความลึกเชิงแสง โดยจากทฤษฎีการกระเจิงแบบเรย์ลีย์ ความลึกเชิงแสงของโมเลกุลอากาศจะเป็นผลจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์สัมพันธ์กับความยาวคลื่น (Brine & Iqbal, 1983) ตามสมการ

$$\tau'_{R\lambda} = 0.008735\lambda^{-4.08} \quad (2.1)$$

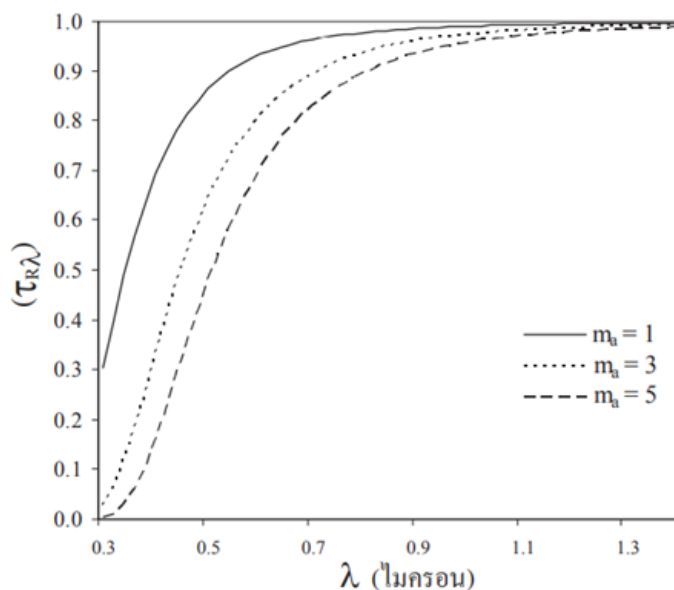
เมื่อ $\tau'_{R\lambda}$ คือ ความลึกเชิงแสงจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศ (-)
 λ คือ ความยาวคลื่น (ไมครอน)

การลดทอนรังสีอาทิตย์จากการกระเจิงโดยโมเลกุลอากาศสามารถแสดงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (transmittance) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความลึกเชิงแสงกับมวลอากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน (Leckner, 1978)

$$\tau_{R\lambda} = \exp(0.008735\lambda^{-4.08}m_a) \quad (2.2)$$

เมื่อ $\tau_{R\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์โดยโมเลกุลอากาศ (-)
 m_a คือ มวลอากาศ (-)

ซึ่งเมื่อทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์โดยโมเลกุลอากาศกับความยาวคลื่นที่มวลอากาศต่าง ๆ จะได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการกระเจิงสเปกตรัมรังสีอาทิตย์โดยโมเลกุลอากาศ ที่มวลอากาศและความยาวคลื่นต่าง ๆ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า การกระเจิงรังสีอาทิตย์จะมีผลมากที่ความยาวคลื่นสั้น ๆ โดยจะเห็นว่า ที่ความยาวคลื่นมากกว่า 1 ไมครอน การกระเจิงโดยโมเลกุลอากาศจะมีผลน้อยมาก และจากกราฟนี้ยังแสดงให้เห็นว่า ที่ความยาวคลื่นสั้นซึ่งเป็นแสงสีน้ำเงิน ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจะมีค่าต่ำ แสดงว่า แสงส่วนใหญ่ที่ความยาวคลื่นนี้จะถูกกระเจิงจึงทำให้มองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน

2.1.2.2 การลดทอนสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฝุ่นละออง คือ อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ โดยทั่วไปแล้วฝุ่นละอองในบรรยากาศจะมีขนาดตั้งแต่ 0.1 - 1000 ไมครอน ซึ่งจะมีรูปทรงและองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง (Brine & Iqbal, 1983) โดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งฝุ่นละอองในบรรยากาศได้เป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นละอองจากกิจกรรมของมนุษย์ และฝุ่นละอองธรรมชาติ ตัวอย่างฝุ่นละอองจากกิจกรรมมนุษย์ เช่น ฝุ่นละอองที่เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงฟอสซิลต่าง ๆ และการเผาชีวมวล และตัวอย่างฝุ่นละอองธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากภาคพื้นดิน และละอองเกลือ เป็นต้น

โดยเมื่อรังสีอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศซึ่งทั่วไปแล้วจะมีฝุ่นละอองอยู่ รังสีอาทิตย์จะถูกฝุ่นละอองกระเจิงทำให้เกิดรังสีกระจาย และบางส่วนจะถูกฝุ่นละอองดูดกลืน โดยสัดส่วนการกระเจิง

และการดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับชนิดของฝุ่นละออง และเนื่องจากความสามารถในการลดทอนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองจะเกิดทั้งกระบวนการดูดกลืนและการกระเจิง การแยกสัดส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลดลงจากแต่ละกระบวนการจึงทำได้ยาก อังสตรอม (Ångström, 1929) จึงเสนอวิธีการบอกความสามารถในการลดทอนรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง ซึ่งใช้เป็นการวัดเชิงแสงของฝุ่นละอองซึ่งเป็นฟังก์ชันของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (turbidity coefficient) และตัวเลขยกกำลังของความยาวคลื่น (wavelength exponent) ตามสมการ

$$\tau'_{\text{aer},\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (2.3)$$

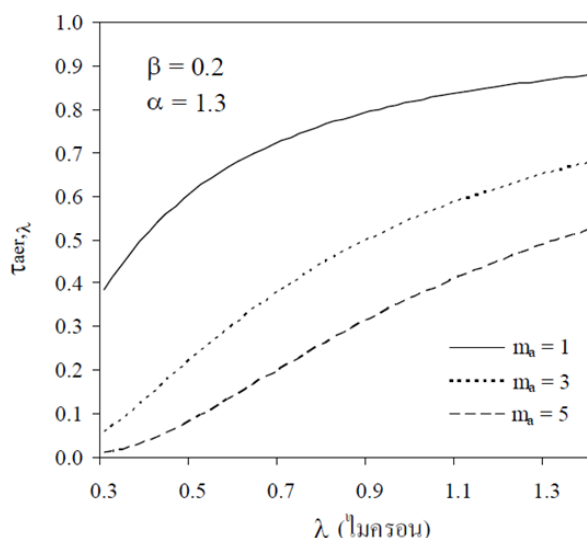
- เมื่อ $\tau'_{\text{aer},\lambda}$ คือ ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (-)
 β คือ สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient) (-)
 α คือ ตัวเลขยกกำลังของอังสตรอม (Angstrom's wavelength coefficient) (-)
 λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีอาทิตย์ (ไมครอน)

ถ้าพิจารณาเป็นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ จะสามารถเขียนสมการสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง ซึ่งจะอาศัยความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้มาจากสมการของอังสตรอม (Ångström, 1929)

$$\tau_{\text{aer},\lambda} = \exp(\beta \lambda^{-\alpha} m_a) \quad (2.4)$$

- เมื่อ $\tau_{\text{aer},\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง
 m_a คือ มวลอากาศ (-)

ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง ($\tau_{\text{aer},\lambda}$) และความยาวคลื่น ได้ดังรูปที่ 2.4 โดยจะเห็นว่าในความยาวคลื่นที่มาก ฝุ่นละอองนั้นจะมีผลต่อการส่งผ่านของรังสีอาทิตย์น้อย



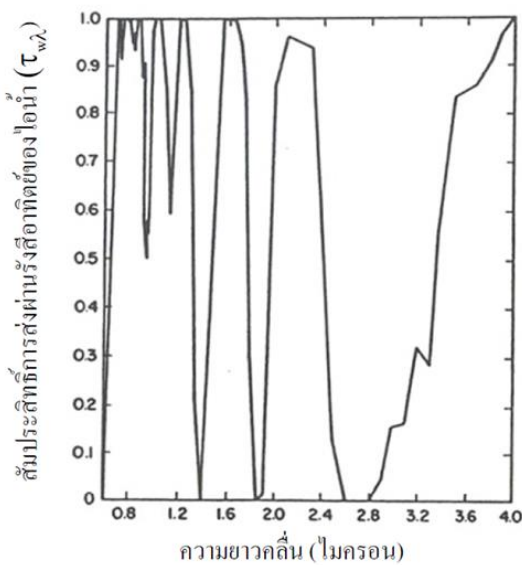
รูปที่ 2.4 การแปรค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองที่แต่ละความยาวคลื่น โดยที่บรรยากาศมีค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (β) เท่ากับ 0.2 และเลขชี้กำลังอังสตรอม (α) เท่ากับ 1.3 ที่ค่ามวลอากาศ (m_a) ต่าง ๆ

2.1.2.3 การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ

ไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศ คือ น้ำที่อยู่ในสถานะของก๊าซ ซึ่งจะแทรกตัวอยู่ในช่วงว่างระหว่างโมเลกุลของก๊าซอื่น ๆ ในบรรยากาศ โดยไอน้ำจะสามารถเปลี่ยนสถานะไปเป็นของเหลวหรือของแข็งได้ โดยจะขึ้นอยู่กับสภาวะของบรรยากาศที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยการเปลี่ยนสถานะนี้จะมีการดูดและการคายความร้อน ซึ่งจะส่งผลต่อสมดุลของพลังงานในบรรยากาศ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วไอน้ำในบรรยากาศเกิดจากการระเหยจากทะเลและมหาสมุทร การระเหยของน้ำที่ผิวดินและการคายน้ำของพืช ที่จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และวิธีการบอกปริมาณไอน้ำในงานด้านรังสีอาทิตย์นิยมบอกในรูปของความสูงของน้ำในคอลัมน์ของอากาศ (precipitable water) ที่มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

เมื่อรังสีอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศจะมีบางส่วนที่ถูกดูดกลืนและกระเจิงด้วยไอน้ำ ทำให้รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบลงมาถึงพื้นผิวโลกลดลง โดยรังสีอาทิตย์จะถูกลดทอนโดยการกระเจิงของไอน้ำน้อยมากเมื่อเทียบกับการดูดกลืน ดังนั้นการคำนวณรังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศโดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาเฉพาะผลจากการดูดกลืนของไอน้ำเท่านั้น ซึ่งไอน้ำจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เป็นแถบความยาวคลื่น (wavelength band) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรด รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไปจะขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในบรรยากาศและมวลอากาศ โดยที่ผล

ของการดูดกลืนนี้สามารถแสดงได้ในรูปของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ ตัวอย่างของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่กรณีของบรรยากาศมีไอน้ำที่บอกในรูปของความสูงของน้ำในคอลัมน์ของอากาศเท่ากับ 2 เซนติเมตร แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่า ไอน้ำมีบทบาทสำคัญต่อการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของไอน้ำ ในกรณีที่มวลอากาศเท่ากับ 1 และบรรยากาศมีไอน้ำ 2 เซนติเมตร (ดัดแปลงจาก (Brine & Iqbal, 1983))

การคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกจะต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ที่แต่ละความยาวคลื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำและสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ (Extinction coefficient) ของไอน้ำ และสามารถคำนวณได้ดังสมการของเลคเนอร์ (Leckner, 1978) ดังนี้

$$\tau_{w\lambda} = \exp[-0.2385k_w w m_r / (1 + 20.07k_{w\lambda} w m_r)^{0.45}] \quad (2.5)$$

- เมื่อ $\tau_{w\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของไอน้ำที่ความยาวคลื่น λ (-)
 $k_{w\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ (เซนติเมตร⁻¹)
 m_r คือ มวลอากาศ (-)

2.1.2.4 การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน

โอโซนเป็นก๊าซส่วนใหญ่ที่อยู่ในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ และมีอยู่เล็กน้อยในชั้นโทรโพสเฟียร์ โดยโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์นั้นจะเกิดจากปฏิกิริยาที่จะทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอม (O) แล้วไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจน (O₂) เกิดเป็นโอโซน (O₃) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะถูกเรียกว่า ปฏิกิริยาโฟโตดิสโซซิเอชัน (photodissociation reaction) แล้วโอโซนในชั้นนี้จะถูกทำลายเพื่อให้เกิดความสมดุล ด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิส (photolysis) คือ โมเลกุลของโอโซนจะถูกชนด้วยโฟตอนของรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้สลายตัวไปเป็นโมเลกุลของออกซิเจนและอะตอมของออกซิเจน การบอกปริมาณของโอโซนจะนิยมบอกในรูปของความสูงของโอโซนในคอลัมน์บรรยากาศที่มีพื้นที่ฐาน 1 หน่วย ซึ่งจะคล้ายกับการบอกปริมาณไอน้ำ

จากโครงสร้างในระดับพลังงานของโมเลกุลของโอโซน จึงทำให้โอโซนสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้เป็นแถบความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งเป็น 3 แถบด้วยกัน คือ แถบฮาร์ตลีย์ (Hartley band) แถบฮักกินส์ (Huggins band) และแถบแชปปูซซ์ (Chappuis band) ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.22-0.295 ไมครอน, 0.32-0.65 ไมครอน และในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.45-0.65 ไมครอน โดยในแถบฮาร์ตลีย์จะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้สูงสุด ตามลำดับ ซึ่งจากแถบการดูดกลืนเหล่านี้จะทำให้รังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี หรือช่วงความยาวคลื่น 0.28-0.32 ไมครอน และในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่างถูกโอโซนดูดกลืนเล็กน้อย ซึ่งคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซนจะสามารถบอกได้ในรูปของความลึกเชิงแสงของโอโซนได้ (Vigroux, 1953) ดังสมการที่ 2.6 ดังแสดง

$$\tau'_{o,\lambda} = -k_{o\lambda} \ell \quad (2.6)$$

เมื่อ $\tau'_{o,\lambda}$ คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (-)

$k_{o\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ของโอโซน (เซนติเมตร⁻¹)

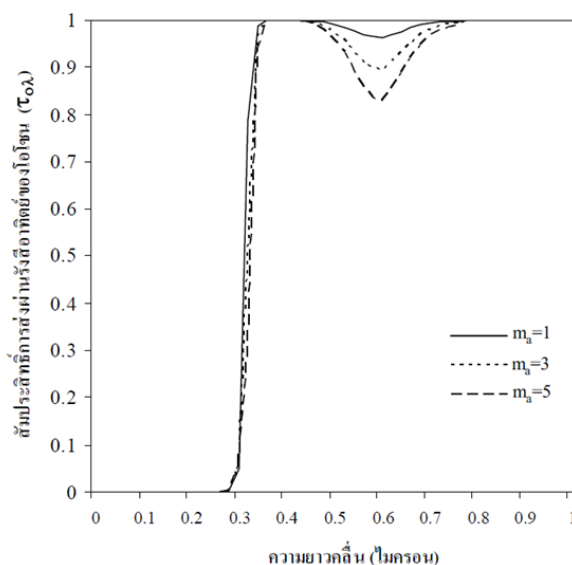
ℓ คือ ปริมาณโอโซน (เซนติเมตร)

ในการพิจารณาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยโอโซน นอกจากจะขึ้นกับความลึกเชิงแสงของโอโซนแล้วยังขึ้นกับมวลอากาศที่รังสีอาทิตย์เดินทางผ่าน (Vigroux, 1953) ดังสมการ

$$\tau_{o\lambda} = \exp(-k_{o\lambda} \ell m_a) \quad (2.7)$$

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

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโอโซนที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะเป็นดังกราฟรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโอโซนที่มวลอากาศและความยาวคลื่นต่าง ๆ

2.1.2.5 การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ

โมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ในที่นี้ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และออกซิเจน (O_2) โดยอาจจะรวมไปถึงก๊าซอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นต้น เนื่องจากก๊าซดังกล่าวมีหลายชนิด ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการคำนวณรังสีอาทิตย์ จึงจะทำการพิจารณาการส่งผ่านรังสีอาทิตย์ด้วยสัมประสิทธิ์เพียงตัวเดียว สามารถเขียนได้ตามสมการของเลคเนอร์ (Leckner, 1978)

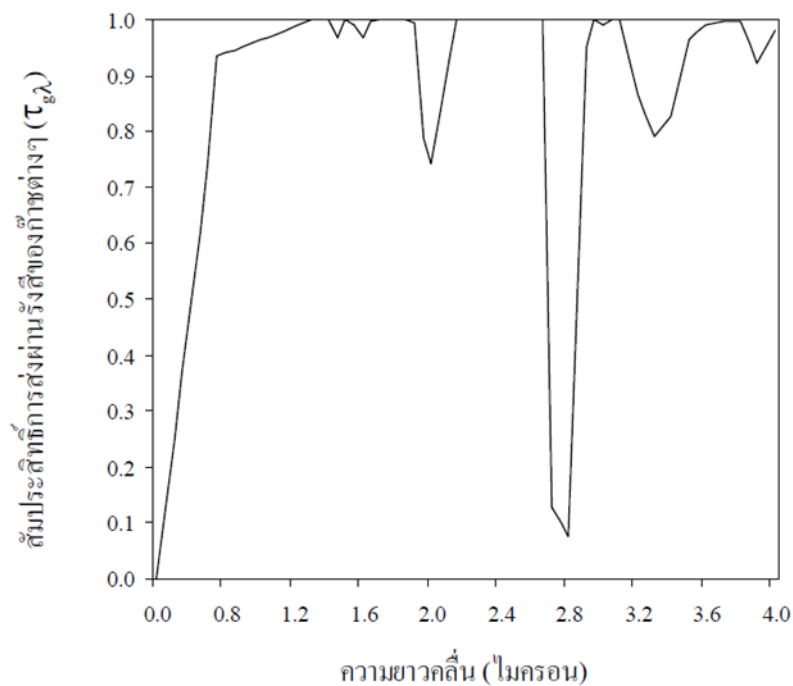
$$\tau_{g\lambda} = \exp[-1.41k_{g\lambda}m_a/(1 + 118.93k_{g\lambda}m_a)^{0.45}] \quad (2.8)$$

เมื่อ $\tau_{g\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลก๊าซต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น λ (-)

$k_{g\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลก๊าซต่าง ๆ (เช่น cm^{-1})

m_a คือ มวลอากาศ (-)

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลก๊าซต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 โดยจะแสดงให้เห็นว่าการดูดกลืนของโมเลกุลก๊าซส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงอินฟราเรด ซึ่งมีการดูดกลืนมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 2.8 ไมครอนและที่ความยาวคลื่นใกล้เคียง

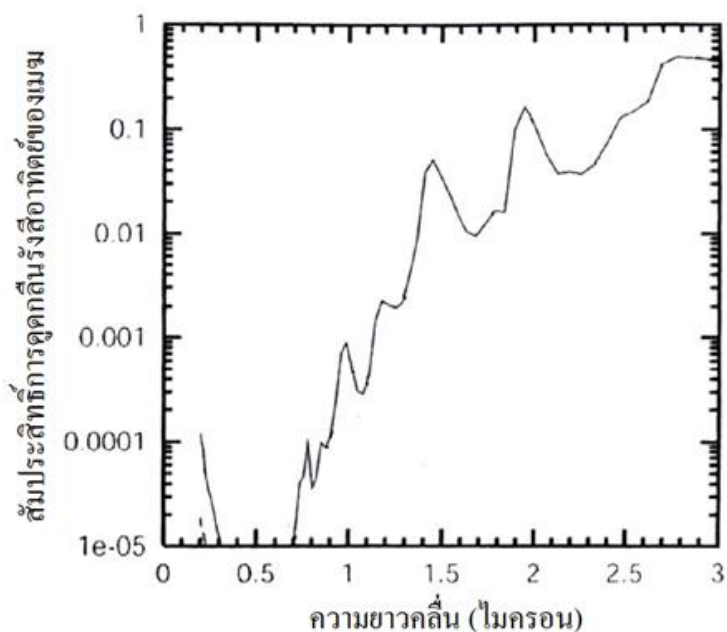


รูปที่ 2.7 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ที่แต่ละความยาวคลื่น ที่มวลอากาศเท่ากับ 1 (ดัดแปลงจาก (Brine & Iqbal, 1983))

2.1.2.6 ผลกระทบของเมฆต่อรังสีอาทิตย์

เมฆจะประกอบด้วยหยดน้ำเล็ก ๆ (water droplet) หรือ ผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) หรือทั้งสองอย่างผสมกัน โดยเราสามารถแบ่งเมฆตามระดับความสูงได้เป็น 3 ระดับ คือ เมฆชั้นต่ำ เมฆชั้นกลาง และเมฆชั้นสูง ซึ่งเมฆชั้นต่ำจะอยู่ที่ความสูงต่ำกว่า 2 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก เมฆชั้นกลางจะอยู่ที่ 2-7 กิโลเมตร และเมฆชั้นสูงจะอยู่ที่สูงกว่า 7 กิโลเมตรขึ้นไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเมฆชั้นต่ำและเมฆชั้นกลางจะประกอบด้วยละอองน้ำเป็นส่วนใหญ่ แต่เมฆชั้นสูงจะประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง

ผลกระทบของเมฆต่อรังสีอาทิตย์คือ เมฆจะมีผลสำคัญต่อการลดลงของรังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก โดยจะกระเจิงรังสีอาทิตย์บางส่วนออกไปนอกบรรยากาศและบางส่วนลงมาพื้นผิวโลก โดยจะอยู่ในรูปของรังสีกระจาย และเมฆจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตและในช่วงแสงสว่างน้อยมาก แต่เมฆจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ในช่วงอินฟราเรดได้มาก (Stephens, Paltridge, & Platt, 1978) ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของเมฆที่แต่ละความยาวคลื่นจะแสดงไว้ดังรูปที่ 2.8

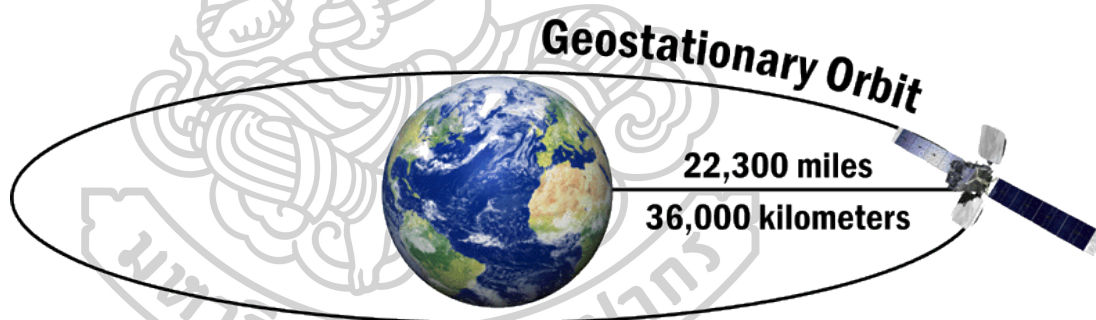


รูปที่ 2.8 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของเมฆที่ประกอบด้วยหยดน้ำเล็ก ๆ ที่มีรัศมีเป็น 20 ไมครอน ที่แต่ละความยาวคลื่น

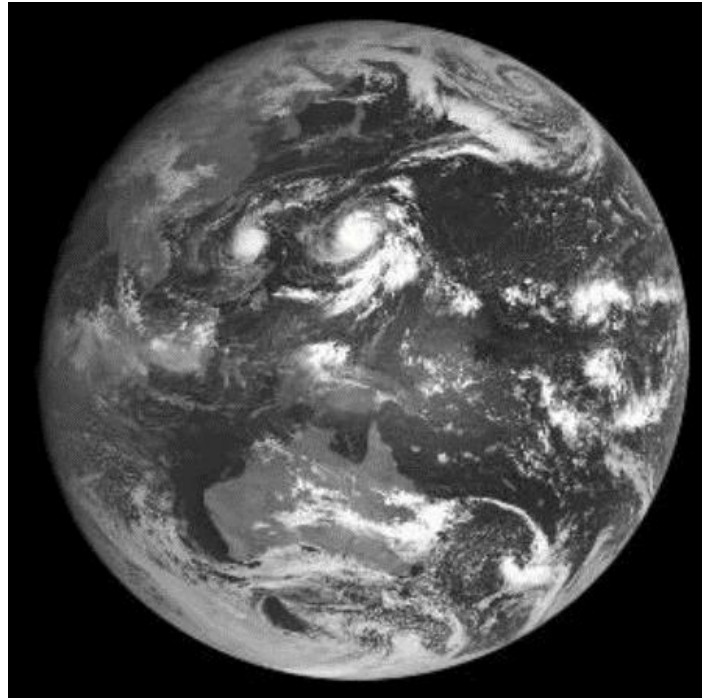
ผลของเมฆนั้นส่วนใหญ่จะพิจารณาจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า (cloud cover) ซึ่งได้จากการสังเกตการณ์ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป โดยจะทำการประมาณด้วยสายตาว่าหากแบ่งท้องฟ้าเป็น 10 ส่วนแล้วขณะนั้นมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าทั้งหมดกี่ส่วน นอกจากนั้นยังสามารถพิจารณาได้จากค่าดัชนีเมฆ ที่ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงของบรรยากาศและพื้นผิวโลก ซึ่งจะได้มาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยค่าดัชนีเมฆจะเป็นตัวบอกรูปภาพการปกคลุมของเมฆในแต่ละพิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียมที่พิจารณา โดยจะมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้า ดัชนีเมฆมีค่าเท่ากับ 0 นั้นคือ พิกเซลนั้นจะปราศจากเมฆ

2.2 การหาค่าดัชนีเมฆ (n) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ในการหาค่าดัชนีเมฆ (n) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในงานนี้จะกล่าวถึงข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา โดยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาสามารถแบ่งตามวงโคจรได้เป็น 2 ชนิด คือ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรค้างฟ้า (geostationary meteorological satellite) และ ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรใกล้ขั้วโลก (near polar orbiting meteorological satellite) โดยในการหาค่าดัชนีเมฆจะใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรค้างฟ้า ซึ่งเป็นดาวเทียมที่ใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 24 ชั่วโมง โดยจะโคจรไปพร้อม ๆ กับการหมุนรอบตัวเองของโลก ทำให้ตำแหน่งดาวเทียมจะสัมพันธ์กับตำแหน่งบนพื้นโลกในบริเวณเดิมเสมอ ดาวเทียมชนิดนี้จะอยู่ในตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรของโลกที่ความสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตร ดังตัวอย่างรูปวงโคจรของดาวเทียมที่แสดงดังรูปที่ 2.9 ดังนั้นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จะครอบคลุมซีกหนึ่งของโลก ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นตัวอย่างภาพจากดาวเทียม MTSAT-1R โดยทั่วไปข้อมูลที่ใช้จะเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่าง ซึ่งปกติแล้วจะทำการบันทึกภาพของโลกชั่วโมงละ 1 ภาพ แต่ในปัจจุบันดาวเทียมรุ่นใหม่สามารถบันทึกภาพได้หลายภาพต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถบันทึกภาพได้ทุก ๆ 15 นาที



รูปที่ 2.9 วงโคจรของดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite)



รูปที่ 2. 10 ตัวอย่างข้อมูลภาพจากดาวเทียม MTSAT-1R

โดยในการหาค่าดัชนีเมฆจะนำค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (ρ'_{EA}) ของภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละชั่วโมงมาทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำสุด (ρ'_{min}) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุด (ρ'_{max}) แล้วคำนวณค่าดัชนีเมฆ (n) ตามสมการที่ 2.9 (Cano et al., 1986)

$$n = \frac{\rho'_{EA} - \rho'_{min}}{\rho'_{max} - \rho'_{min}} \quad (2.9)$$

เมื่อ n คือ ดัชนีเมฆ (-)

(ρ'_{EA}) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก

(ρ'_{min}) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำสุด

(ρ'_{max}) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุด

2.3 การวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือที่ติดตั้งภาคพื้นดิน

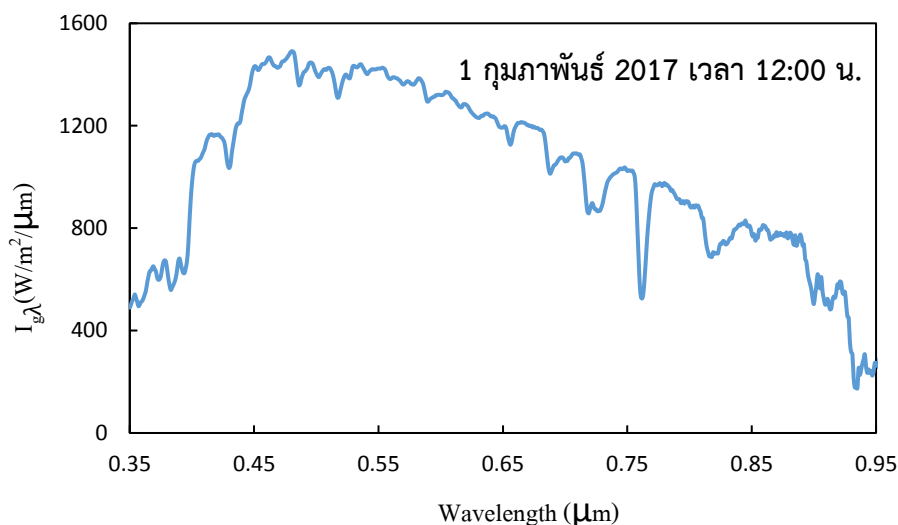
สเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมาถึงพื้นผิวโลกจะถูกเรียกว่า สเปกตรัมรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเกิดจากการรวมกันจาก 2 ส่วน คือ สเปกตรัมรังสีตรง และสเปกตรัมรังสีกระจาย ซึ่งในการใช้เครื่องมือภาคพื้นดินทำการวัดสเปกตรัมนี้ก็สามารถแยกวัดทั้ง 3 ส่วน ได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 การวัดสเปกตรัมรังสีรวม

การวัดสเปกตรัมรังสีรวมสามารถทำได้โดยการนำเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ไปติดตั้งบนพื้นระนาบ โดยพื้นที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์นั้นจะต้องไม่มีเงาของสิ่งก่อสร้างหรือต้นไม้มาบังเงาเครื่องมือที่ติดตั้งทั้งวัน แล้วทำการต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อตั้งโปรแกรมให้เครื่องทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งเครื่องสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แสดงในตัวอย่างนี้จะสามารถวัดสเปกตรัมรังสีตรงในช่วงความยาวคลื่น 350 – 950 นาโนเมตร โดยรูปเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 2.11 และตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2. 11 เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีรวมซึ่งตั้งอยู่บนพื้นระนาบ



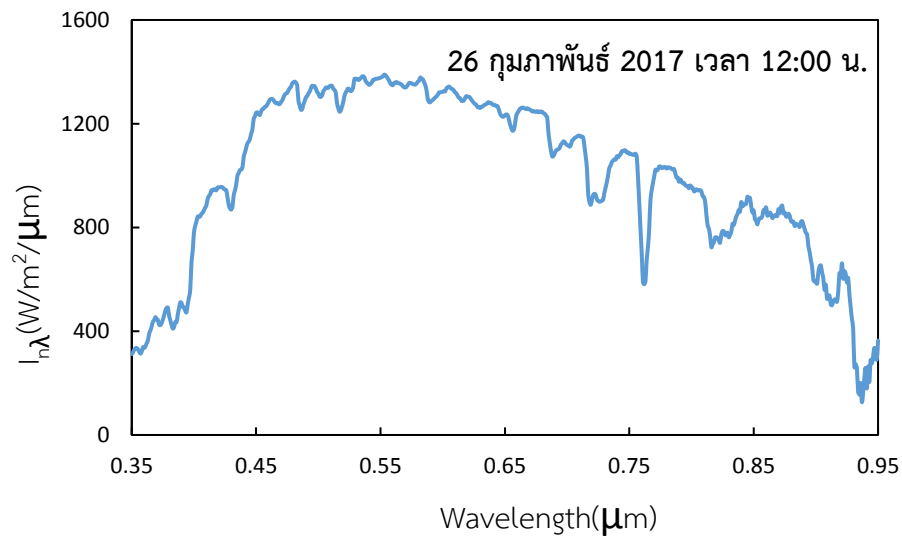
รูปที่ 2. 12 ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัด ในเวลา 12:00 น. วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2017

2.3.2 การวัดสเปกตรัมรังสีตรง

การวัดสเปกตรัมรังสีตรง สามารถทำได้โดยการนำเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่มีการติดท่อบังคับแสงด้านบนไปติดตั้งบนเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ (sun tracker) แล้วทำการต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อตั้งโปรแกรมให้เครื่องทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งเครื่องสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แสดงในตัวอย่างนี้จะสามารถวัดสเปกตรัมรังสีตรงในช่วงความยาวคลื่น 350 – 950 นาโนเมตร โดยรูปเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 2.13 และตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่มีการติดท่อบังคับแสงด้านบนไปติดตั้งบนเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ (sun tracker)



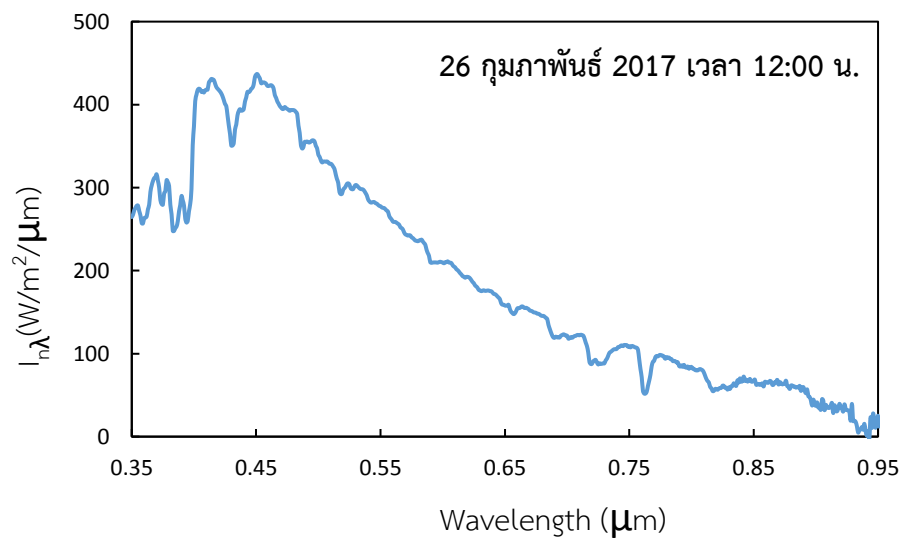
รูปที่ 2. 14 ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัด ในเวลา 12:00 น. วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2015

2.3.3 การวัดสเปกตรัมรังสีกระจาย

การวัดสเปกตรัมรังสีกระจายสามารถทำได้โดยการใช้ลูกบอลบังรังสีตรงที่จะตกกระทบมาถึงเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ ดังนั้นเครื่องมือจะวัดได้เฉพาะสเปกตรัมรังสีกระจาย โดยลูกบอลจะถูกติดตั้งอยู่กับอุปกรณ์ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อให้ลูกบอลสามารถบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ได้ทั้งวัน แล้วทำการต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อตั้งโปรแกรมให้เครื่องทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งเครื่องสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แสดงในตัวอย่างนี้สามารถวัดสเปกตรัมรังสีกระจายในช่วงความยาวคลื่น 350 – 950 นาโนเมตร โดยรูปเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 2.15 และตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีกระจายที่มีลูกบอลบังรังสีตรงที่ติดอยู่กับเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun tracker)



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัด ในเวลา 12:00 น. วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2015

2.4 แบบจำลองจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากข้อมูลการแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่แต่ละความยาวคลื่น หรือข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นั้นเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาและวิจัยวัสดุที่ใช้ในงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ซึ่งใช้เป็นเครื่อง spectroradiometer นั้นมีราคาแพง และไม่สามารถติดตั้งครอบคลุมในหลายพื้นที่ ทำให้ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยทำการพัฒนาแบบจำลองประเภทต่าง ๆ ที่จะสามารถใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมาถึงพื้นผิวโลกได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดูอย่างแบบจำลองดังนี้

Brine & Iqbal (1983) ได้เสนอแบบจำลอง ซึ่งเป็นแบบจำลองทางฟิสิกส์ซึ่งดัดแปลงให้ง่าย (simplified physical model) เพื่อใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยในแบบจำลองจะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการลดทอนขององค์ประกอบในบรรยากาศที่อยู่เป็นชั้น ๆ คือ จากการกระเจิงของโมเลกุลอากาศและฝุ่นละออง รวมไปถึงจากการดูดกลืนของโอโซน ไอน้ำ และก๊าซต่าง ๆ เป็นพารามิเตอร์ที่ป้อนเข้าไปในแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สเปกตรัมรังสีตรง สเปกตรัมรังสีกระจาย และสเปกตรัมรังสีรวม ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

สเปกตรัมรังสีตรง

$$I_{n\lambda} = I_{o\lambda} \tau_{R\lambda} \tau_{aer,\lambda} \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} \quad (2.10)$$

สเปกตรัมรังสีกระจาย

$$I_{d\lambda} = I_{dR\lambda} + I_{d,aer,\lambda} + I_{d,m\lambda} \quad (2.11)$$

$$I_{dR\lambda} = I_{o\lambda} \cos\theta_z \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} \tau_{aer,\lambda} (1 - \tau_{R\lambda}) F_r \quad (2.12)$$

$$I_{d,aer,\lambda} = I_{no\lambda} \cos\theta_z \tau_{R\lambda} \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} (1 - \tau_{aer,\lambda}) \omega_0 F_a \quad (2.13)$$

$$I_{d,m,\lambda} = (I_{dR\lambda} + I_{d,aer,\lambda} + I_{n\lambda} \cos\theta_z) \rho_{G\lambda} \rho_{a\lambda} / (1 - \rho_{G\lambda} \rho_{a\lambda}) \quad (2.14)$$

เมื่อ $I_{n\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีตรงบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสีที่พื้นผิวโลก (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)

- $I_{o\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
- $I_{d\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจาย (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
- $I_{dR\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจายจากการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
- $I_{d,aer,\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจายจากการกระเจิงของฝุ่นละออง (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
- $I_{d,m,\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจายที่เกิดจากการกระเจิงระหว่างพื้นโลกและชั้นบรรยากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
- F_r คือ สัดส่วนของรังสีที่กระเจิงไปข้างหน้าโดยโมเลกุลอากาศ ซึ่งคิดเป็น 0.5
- ω_0 คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงครั้งแรกของฝุ่นละออง (-)
- F_a คือ สัดส่วนของรังสีที่กระเจิงไปข้างหน้าต่อรังสีที่ถูกกระเจิงทั้งหมด (-)
- $\rho_{g\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลก ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (-)
- $\rho_{a\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศ ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (-)

Bird (1984) ได้เสนอแบบจำลองชื่อ “SPCTRAL” สำหรับใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยในแบบจำลองจะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการลดทอนขององค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ คือจากโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง โอโซน ไอน้ำ และโมเลกุลก๊าซ เป็นพารามิเตอร์หลักที่ป้อนเข้าไปในแบบจำลอง (Bird, 1984) โดยแบบจำลองนี้จะสามารถใช้สำหรับสเปกตรัมรังสีตรงและสเปกตรัมรังสีกระจายได้ดังนี้

สเปกตรัมรังสีตรง

$$I_{n\lambda} = I_{o\lambda} \tau_{R\lambda} \tau_{aer,\lambda} \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} \quad (2.15)$$

สเปกตรัมรังสีกระจาย

$$I_{d\lambda} = (I_{dR\lambda} + I_{d,aer,\lambda}) C_{\lambda} + I_{dm\lambda} \quad (2.16)$$

$$\dot{I}_{dR\lambda} = \dot{I}_{o\lambda} \cos\theta_z \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} \tau_{aer,\lambda} (1 - \tau_{R\lambda}) F_r \quad (2.117)$$

$$\dot{I}_{d,aer,\lambda} = \dot{I}_{no\lambda} \cos\theta_z \tau_{R\lambda} \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} (1 - \tau_{aer,\lambda}) \omega_0 F_a \quad (2.18)$$

$$\dot{I}_{d,m,\lambda} = (\dot{I}_{dR\lambda} + \dot{I}_{nd,aer,\lambda} + \dot{I}_{n\lambda} \cos\theta_z) \rho_{G\lambda} \rho_{a\lambda} / (1 - \rho_{G\lambda} \rho_{a\lambda}) \quad (2.19)$$

เมื่อ	$\dot{I}_{n\lambda}$	คือ สเปกตรัมรังสีตรงบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสีที่พื้นผิวโลก (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
	$\dot{I}_{on\lambda}$	คือ สเปกตรัมรังสีจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
	$\dot{I}_{d\lambda}$	คือ สเปกตรัมรังสีกระจาย (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
	$\dot{I}_{dR\lambda}$	คือ สเปกตรัมรังสีกระจายจากการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
	$\dot{I}_{d,aer,\lambda}$	คือ สเปกตรัมรังสีกระจายจากการกระเจิงของฝุ่นละออง (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
	$\dot{I}_{d,m,\lambda}$	คือ สเปกตรัมรังสีกระจายที่เกิดจากการกระเจิงระหว่างพื้นโลกและชั้นบรรยากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
	C_λ	คือ ค่าแฟกเตอร์ปรับแก้ที่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นกับมุมเซนิตดวงอาทิตย์
	F_r	คือ สัดส่วนของรังสีที่กระเจิงไปข้างหน้าโดยโมเลกุลอากาศ ซึ่งคิดเป็น 0.5
	ω_0	คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงครั้งแรกของฝุ่นละออง (-)
	F_a	คือ สัดส่วนของรังสีที่กระเจิงไปข้างหน้าต่อรังสีที่ถูกกระเจิงทั้งหมด
	$\rho_{g\lambda}$	คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลก ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ (-)
	$\rho_{a\lambda}$	คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศ ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (-)

Gueymard (2001) ได้พัฒนาแบบจำลองที่สามารถใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีตรงและสเปกตรัมรังสีกระจายจากอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ในแบบจำลองจะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการลดทอนขององค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ คือ จากโมเลกุลอากาศ ผุ่นละออง โอโซน ไอน้ำ โมเลกุลก๊าซต่าง ๆ ซึ่งแบบจำลองนี้มีการพิจารณาสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการดูดกลืนโดยก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และในแบบจำลองนี้ยังมีการใช้ค่าอุณหภูมิและความดันที่พื้นผิวโลกเป็นอินพุทหลักที่ป้อนเข้าไปด้วย (Gueymard, 2001) โดยรายละเอียดของแบบจำลองแสดงดังนี้

สเปกตรัมรังสีตรง

$$I_{n,\lambda} = I_{o\lambda} E_o \tau_{R\lambda} \tau_{aer,\lambda} \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} \tau_{no_2\lambda} \quad (2.20)$$

สเปกตรัมรังสีกระจาย

$$I_{d\lambda} = I_{dR\lambda} + I_{d,aer,\lambda} + I_{d,m\lambda} \quad (2.21)$$

$$I_{dR\lambda} = I_{o\lambda} E_o \cos\theta_z \tau_{w\lambda} \Gamma_{o\lambda} \tau_{g\lambda} \tau_{aa,\lambda} (1 - \tau_{R\lambda}^{0.9}) F_r \quad (2.22)$$

$$I_{d,aer,\lambda} = I_{no\lambda} E_o \cos\theta_z \Gamma_{o\lambda} \tau_{g\lambda} \tau_{w\lambda} \tau_{aa,\lambda} \tau_{r\lambda}^{1.5} (1 - \tau_{as,\lambda}) F_s \quad (2.23)$$

$$I_{d,m,\lambda} = (I_{dR\lambda} + I_{d,aer,\lambda} + I_{n\lambda} \cos\theta_z) \rho_{G\lambda} \rho_{a\lambda} / (1 - \rho_{G\lambda} \rho_{a\lambda}) \quad (2.24)$$

เมื่อ $I_{n,\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีตรงบนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสีที่พื้นผิวโลก (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)

$I_{on\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)

E_o คือ ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

$I_{d\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจาย (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)

$I_{dR\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจายจากการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)

- $\dot{I}_{d,aer,\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจายจากการกระเจิงของฝุ่นละออง (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
- $\dot{I}_{d,m,\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีกระจายที่เกิดจากการกระเจิงระหว่างพื้นโลกและชั้นบรรยากาศ (วัดต่อตารางเมตรต่อไมครอน)
- $\tau_{aa,\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองที่คิดเฉพาะการดูดกลืนเท่านั้น (-)
- $\tau_{as,\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละอองที่คิดเฉพาะการกระเจิงเท่านั้น (-)
- F_r คือ สัดส่วนของรังสีที่กระเจิงไปข้างหน้าโดยโมเลกุลอากาศ ซึ่งคิดเป็น 0.5
- F_s คือ สัดส่วนของรังสีที่กระเจิงไปข้างหน้าต่อรังสีที่ถูกกระเจิงทั้งหมด
- $\rho_{g\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลก ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (-)
- $\rho_{a\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของบรรยากาศ ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ (-)

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า แบบจำลองที่ถูกเสนอไว้ก่อนหน้านี้เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ แต่ในการใช้งานอุปกรณ์ทางด้านรังสีอาทิตย์และงานอื่น ๆ ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้งานในสภาพท้องฟ้าทั่วไป ซึ่งเป็นท้องฟ้าที่พบเห็นในทุกวัน คือบางเวลาเป็นสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ และบางเวลาอาจจะมีเมฆปกคลุมบางส่วนหรือปกคลุมทั้งหมด จึงไม่สามารถนำแบบจำลองที่มีการเสนอไว้ก่อนหน้านี้มาใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปได้ อีกทั้งในประเทศไทยมีการศึกษาและการทำการวิจัยเกี่ยวกับสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ค่อนข้างน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในประเทศไทยและทำการศึกษาแบบจำลองต่าง ๆ ที่กล่าวมา แล้วทำการเลือกว่าแบบจำลองใดเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาเป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปสำหรับพื้นที่ประเทศไทยได้ โดยรายละเอียดการศึกษาจะกล่าวไว้ในบทต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการและผลการวิจัย

ในงานนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆของนักวิจัยต่าง ๆ ที่ได้มีการเสนอไว้แล้วในก่อนหน้านี้นี้ คือ โดยนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินจากสถานีวัดที่นครปฐม เพื่อทำการหาแบบจำลองที่ดีที่สุดที่จะใช้ในการประยุกต์และพัฒนาเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป แล้วทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น และนอกจากนั้นแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสเปกตรัมรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 350-950 นาโนเมตร โดยผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่สถานีวัด จังหวัดนครปฐม

3.1 ทดสอบแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

3.1.1 การเตรียมข้อมูลทดสอบแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

3.1.1.1 ข้อมูลสภาพท้องฟ้า

ในการทดสอบแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ จะต้องมีการพิจารณาสภาพท้องฟ้า โดยในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำภาพถ่ายสภาพท้องฟ้าที่ได้จากการบันทึกโดยกล้องถ่ายภาพท้องฟ้าอัตโนมัติที่แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ซึ่งสภาพท้องฟ้าทั่วไปจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky) ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) และเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า (overcast sky) ดังตัวอย่างภาพถ่ายสภาพท้องฟ้าทั้ง 3 แบบ ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 กล้องถ่ายภาพท้องฟ้าอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายท้องฟ้าทั่วไปจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ a) ท้องฟ้าปราศจากเมฆ
b) ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน และ c) เมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า

ก่อนทดสอบแบบจำลองผู้วิจัยจะต้องทำการคัดเลือกช่วงเวลาที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งจะมีลักษณะของสภาพท้องฟ้าดังแสดงใน รูปที่ 3.2 a) โดยในส่วนของ การทดสอบแบบจำลองนี้จะใช้ข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าในปี 2015 มาทำการคัดเลือก

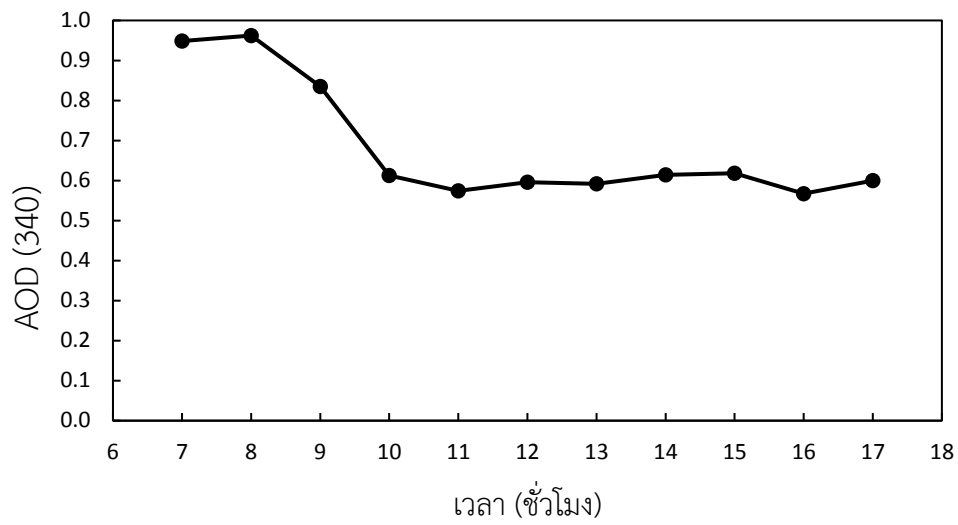
3.1.1.2 ข้อมูลฝุ่นละออง

ในการทดสอบแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลฝุ่นละอองจากเครื่อง cimel sunphotometer ดังตัวอย่างรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดรังสีตรง โดยจะต้องเลือกวัดที่ความยาวคลื่นที่ไม่มีการดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากไอน้ำและก๊าซต่าง ๆ ซึ่งเครื่อง cimel sunphotometer จะวัดรังสีตรงที่ความยาวคลื่น 340, 380, 440, 500, 675, 870 และ 1020 นาโนเมตร แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการวัดนี้ไปประมวลผลเพื่อทำการหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)

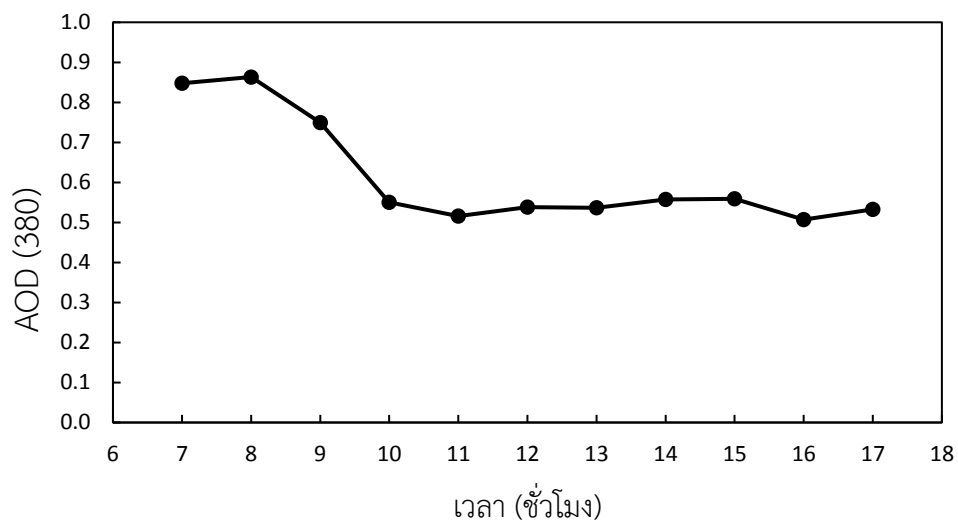


รูปที่ 3.3 เครื่อง cimel sunphotometer

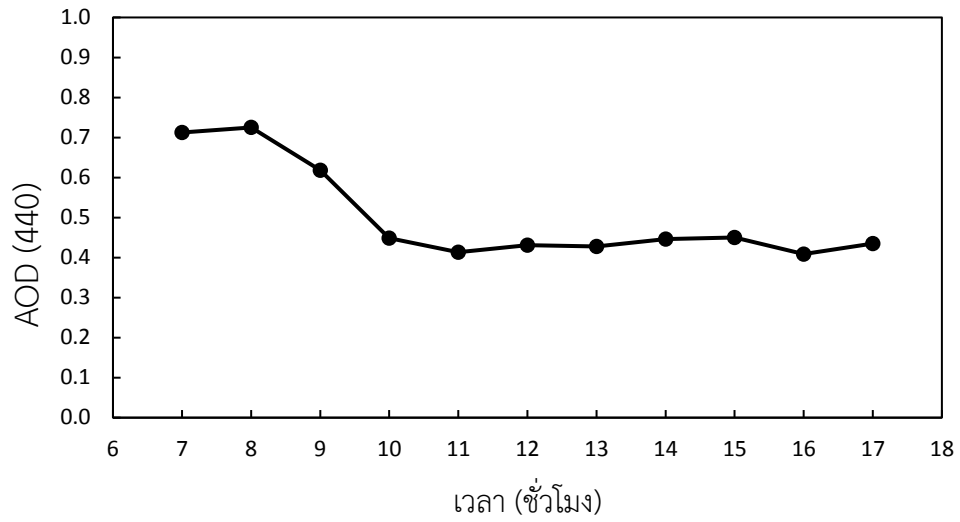
โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 380, 440, 500, 675 และ 870 นาโนเมตร ซึ่งตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่แต่ละความยาวคลื่นที่ได้จากข้อมูลการวัดรังสีตรงจากเครื่อง cimel sunphotometer จะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.4 – 3.9 โดยในการทดสอบแบบจำลองผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลฝุ่นละอองของปี ค.ศ. 2015 มาใช้ในการคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการดูดกลืนของฝุ่นละออง



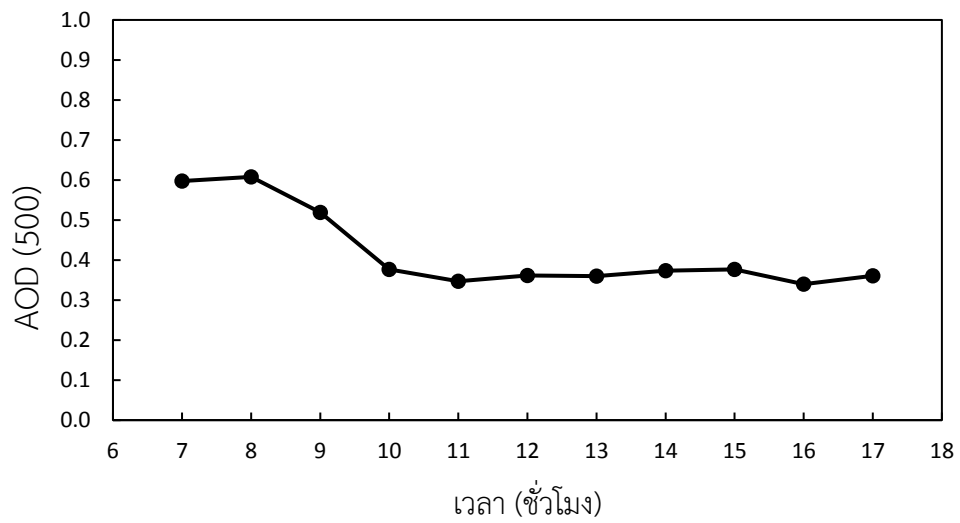
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015



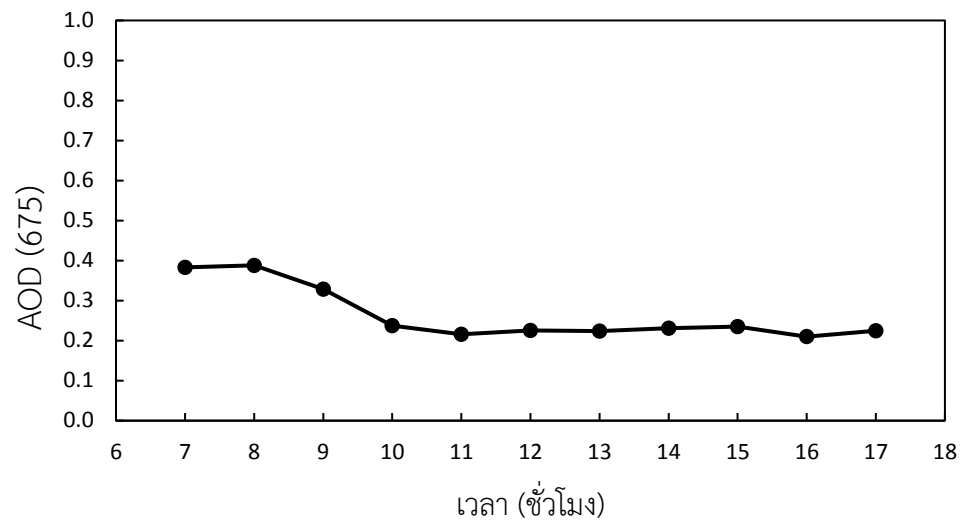
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015



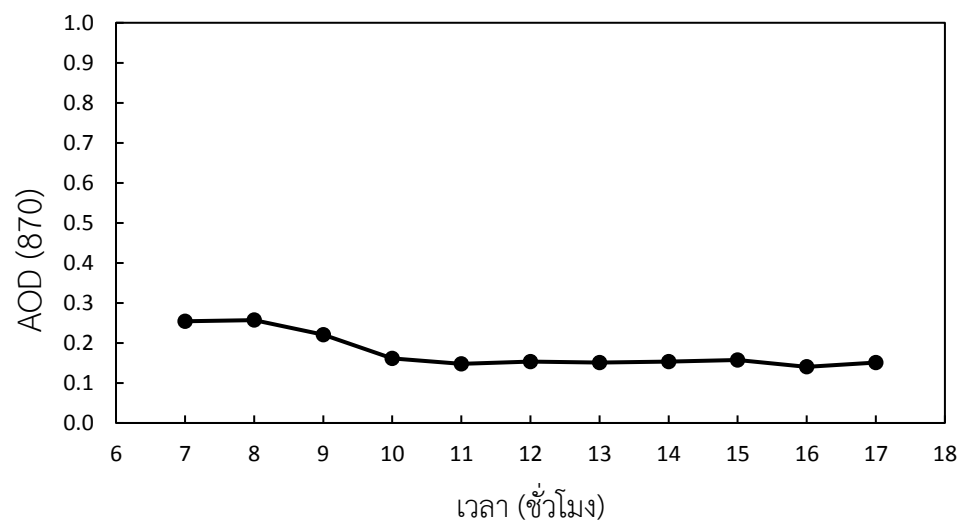
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015



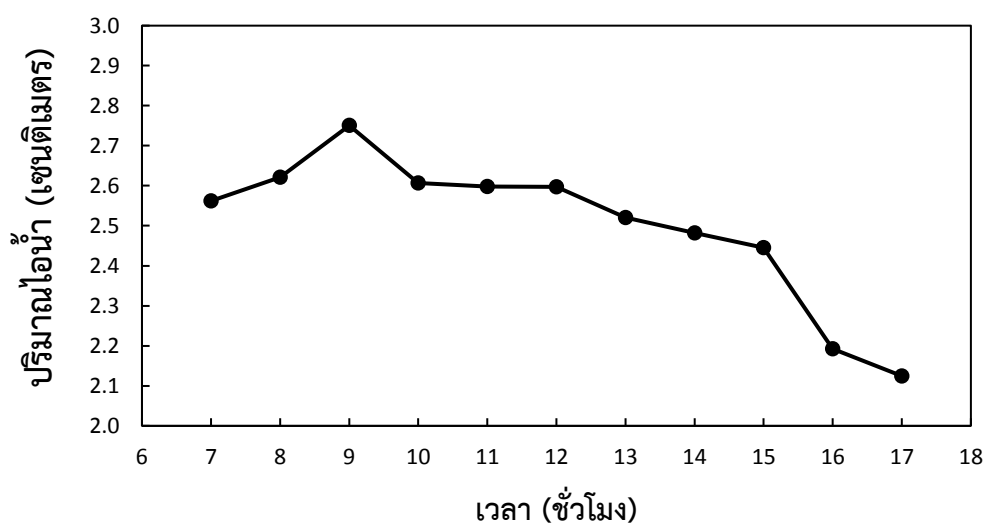
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 675 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015

3.1.1.3 ข้อมูลปริมาณไอน้ำ

ในงานนี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณไอน้ำ ซึ่งบอกอยู่ในรูปปริมาณรวมทั้งคอลัมน์บรรยากาศในหน่วยเซนติเมตร ของปี ค.ศ. 2015 จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่ติดตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม มาใช้ในการคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ เนื่องจากการดูดกลืนของไอน้ำ ซึ่งตัวอย่างข้อมูลปริมาณไอน้ำในรอบวันที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer จะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.10



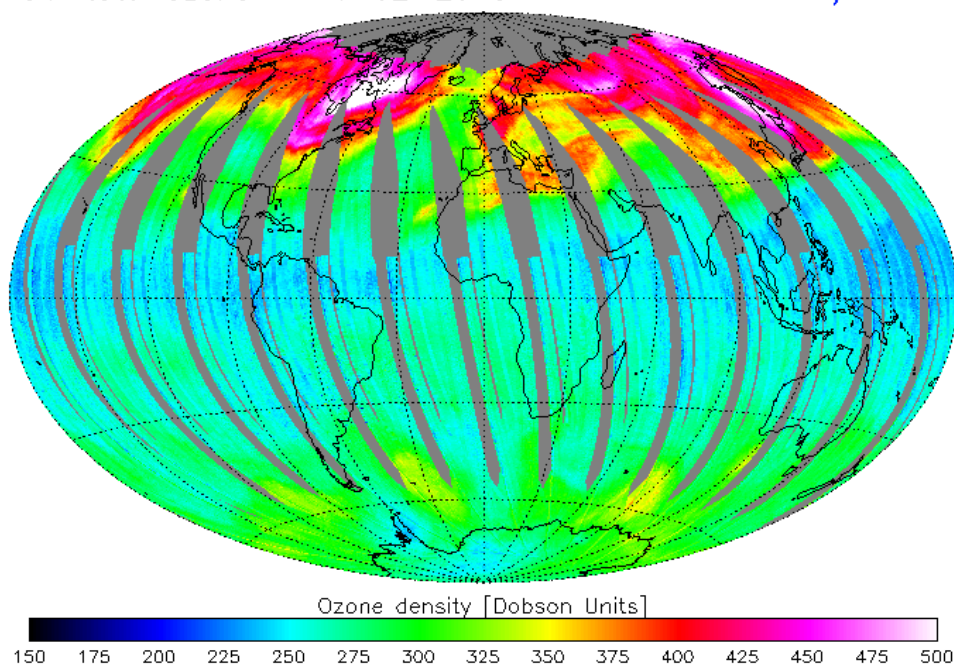
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลการแปรค่าปริมาณไอน้ำในรอบวันที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer วันที่ 5 กุมภาพันธ์ 2015

3.1.1.4 ข้อมูลปริมาณโอโซน

ในงานนี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณโอโซนจากดาวเทียม OMI/AURA (ozone monitoring instrument) ซึ่งปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียมดังกล่าวนี้จะมี 1 ค่าต่อวันคือจะมีค่าในช่วงเที่ยงวัน ตามเวลาท้องถิ่นของประเทศไทย โดยจะครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของโลก ซึ่งตัวอย่างข้อมูลโอโซนที่ได้จากดาวเทียม OMI/AURA ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2015 แสดงไว้ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นปริมาณโอโซนที่ได้มาจะบอกอยู่ในหน่วย ดอบสัน (DU) หรือจะเท่ากับปริมาณโอโซนที่อยู่ในรูปโอโซนทั้งหมดในคอลัมน์บรรยากาศ ซึ่งจะมีหน่วยเป็นเซนติเมตรคูณอยู่กับ 1000 โดยในงานนี้ใช้ข้อมูลในปี ค.ศ.2015 มาใช้ในการคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการดูดกลืนของโอโซน

OMI total ozone 14-02-2015

KNMI/NASA



รูปที่ 3.11 ข้อมูลโอโซนที่ได้จากดาวเทียม OMI/AURA ในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2015

3.1.2 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากเครื่องวัด

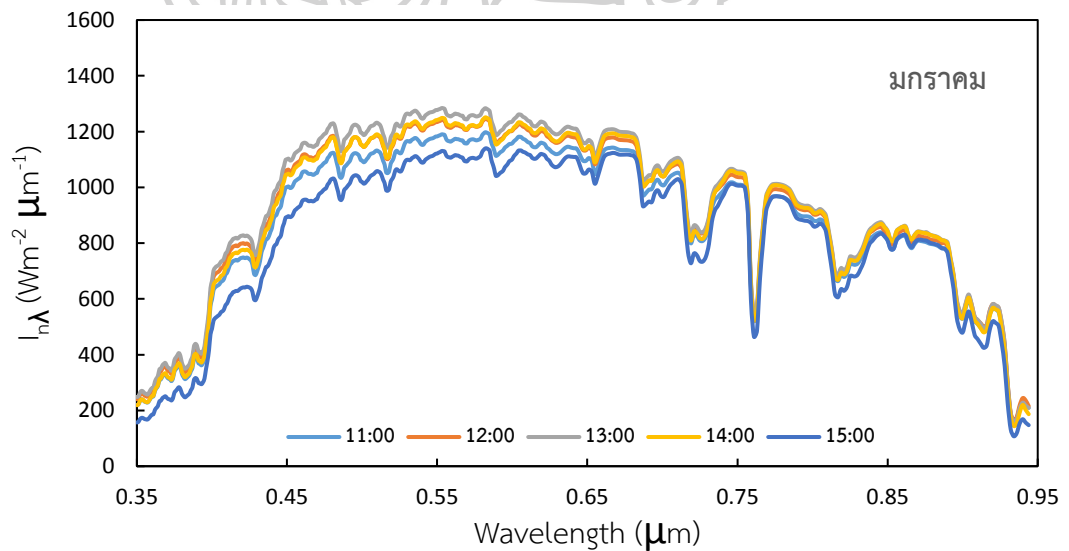
ในงานนี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงและกระจายจากดวงอาทิตย์ ที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัดสเปกตรัม EKO spectroradiometer รุ่น MS-710 ซึ่งติดตั้งที่มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม (13.82°N , 100.04°E) มาใช้ในการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง โดยนำข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงและกระจายที่ได้จากการวัด มาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมรังสีตรงและกระจายที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ซึ่งในงานนี้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดใน ปี 2015 มาใช้ในการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง

3.1.2.1 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรง

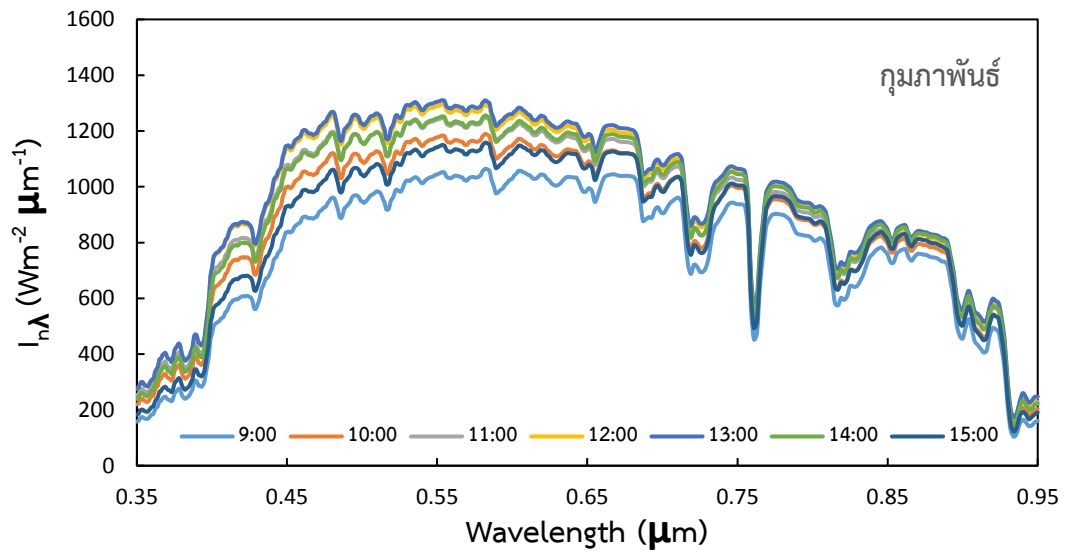
ในการวัดสเปกตรัมรังสีตรงจะใช้เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่มีการติดต่อบังคับแสงด้านบน แล้วนำเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ไปติดตั้งบนเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ (sun tracker) แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.12 แล้วทำการต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อตั้งโปรแกรมให้เครื่องทำการบันทึกข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 350 – 950 นาโนเมตร และจะมีการตั้งค่าให้ทำการบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที โดยตัวอย่างของข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จะแสดงเป็นข้อมูลรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนดังรูปที่ 3.13-3.21



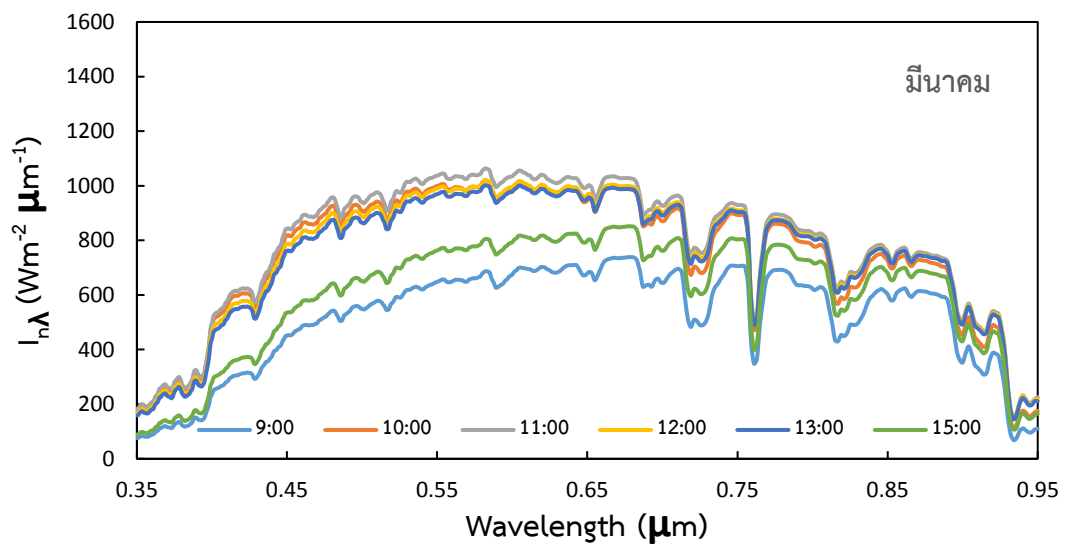
รูปที่ 3.12 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ EKO spectroradiometer รุ่น MS-710 ที่มีการติดตั้งบังคับแสงด้านบนไปติดตั้งบนเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อวัดสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์



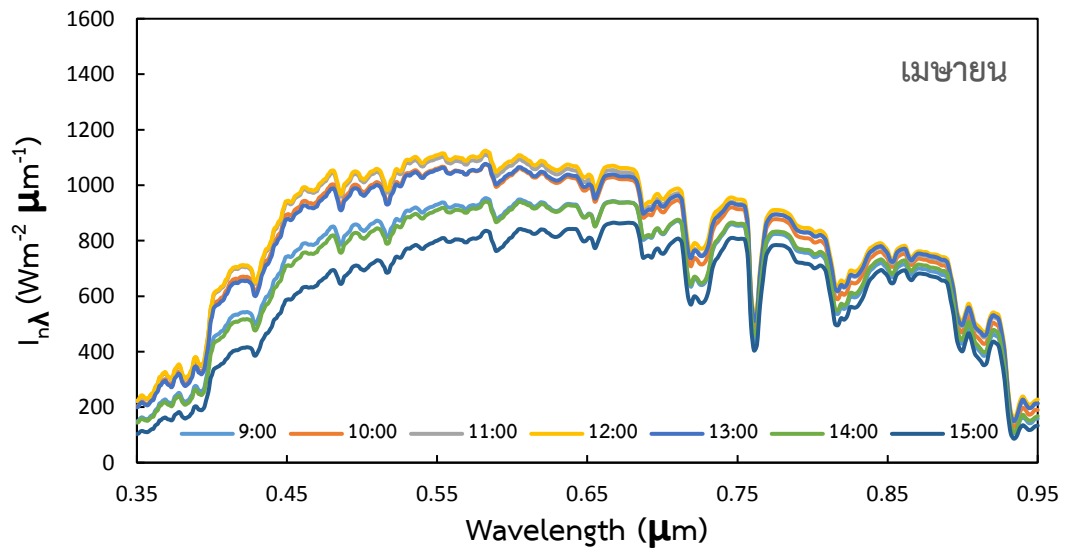
รูปที่ 3.13 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมกราคม ปี 2015



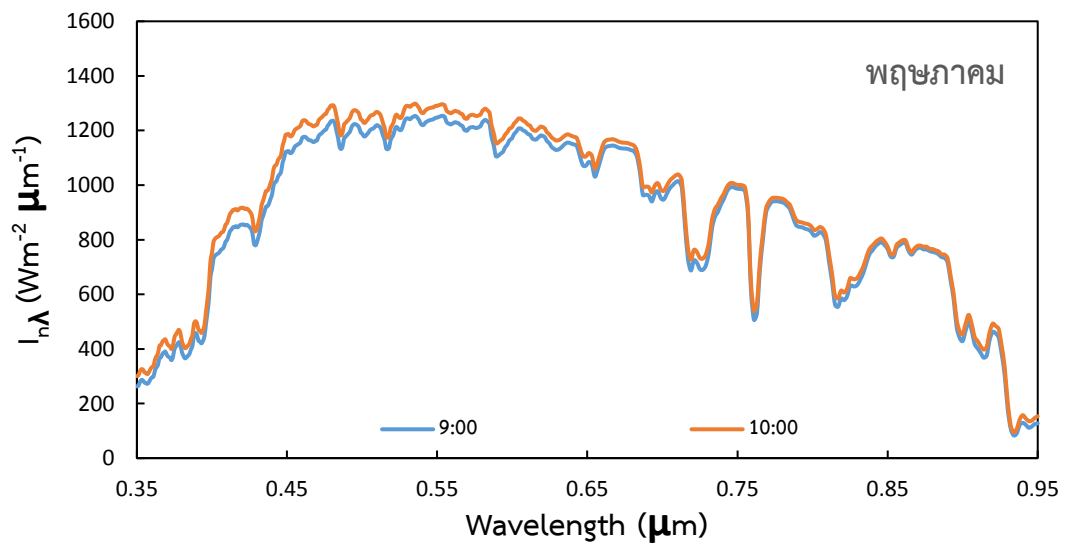
รูปที่ 3.14 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2015



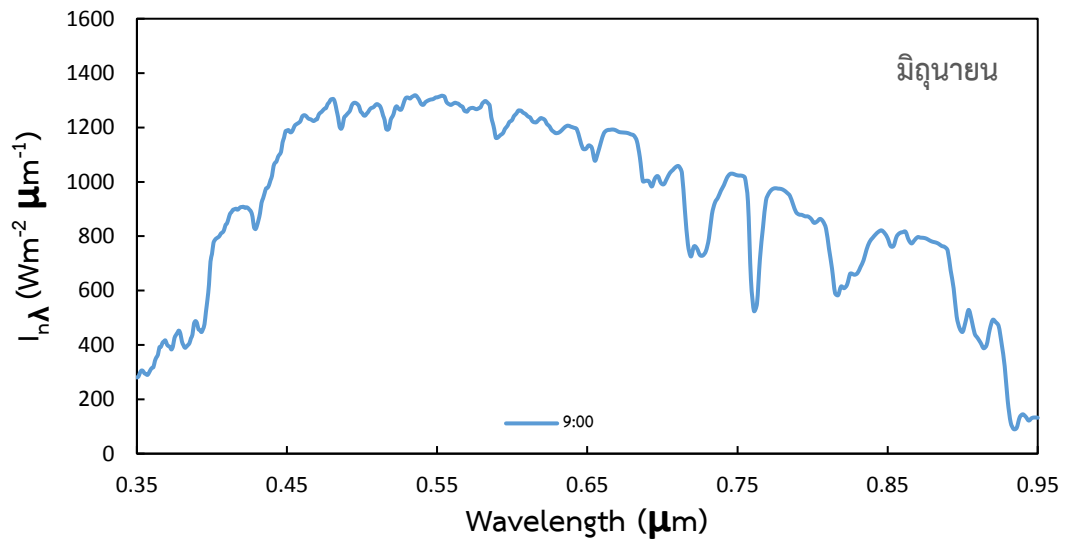
รูปที่ 3.15 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมีนาคม ปี 2015



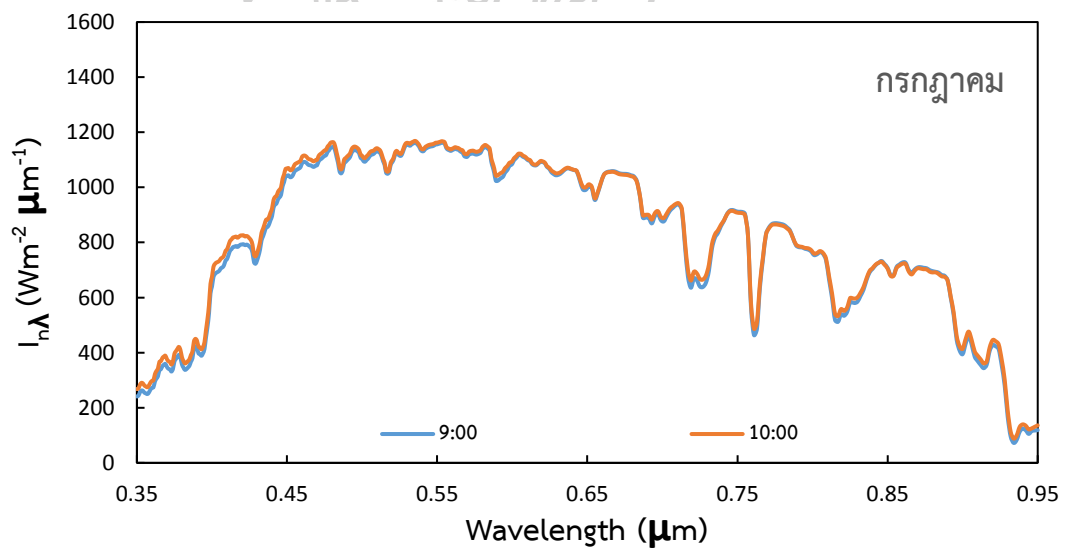
รูปที่ 3.16 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนเมษายน ปี 2015



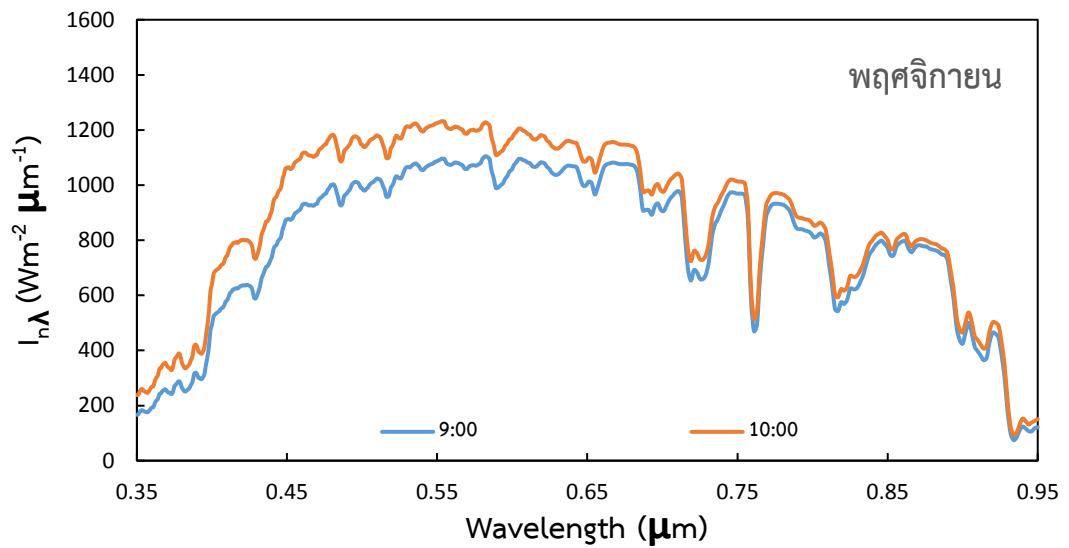
รูปที่ 3.17 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนพฤษภาคม ปี 2015



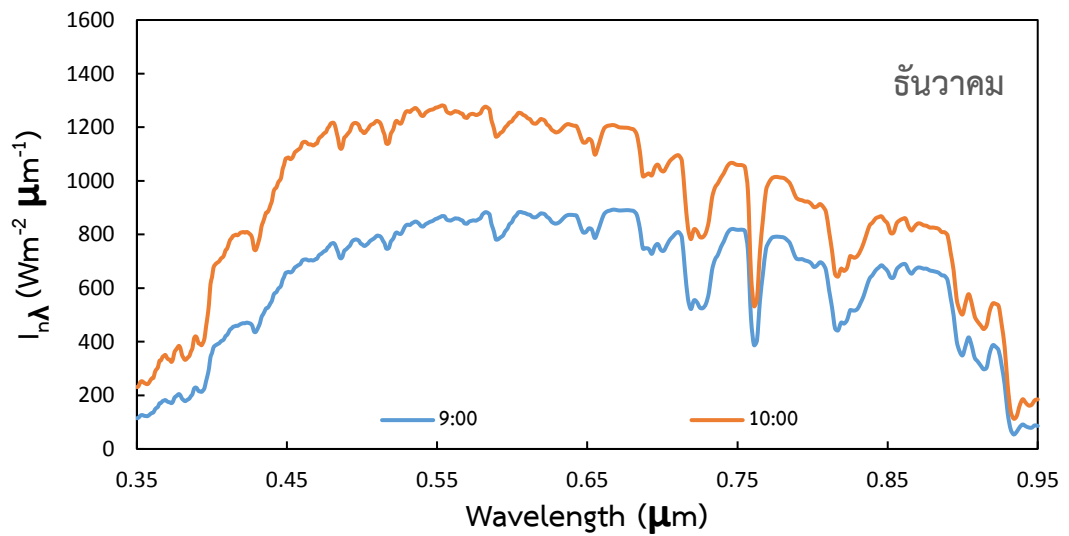
รูปที่ 3.18 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมิถุนายน ปี 2015



รูปที่ 3.19 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนกรกฎาคม ปี 2015



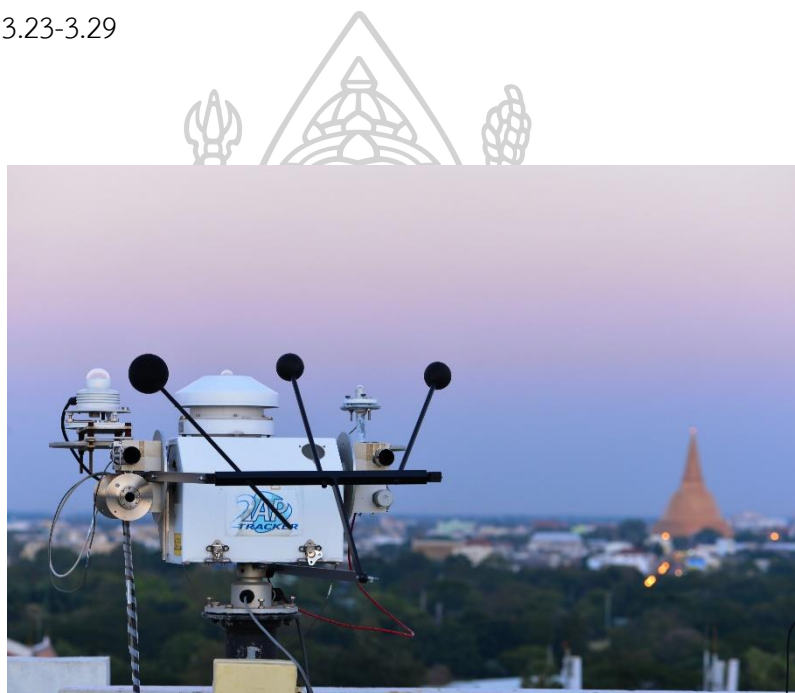
รูปที่ 3.20 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนพฤศจิกายน ปี 2015



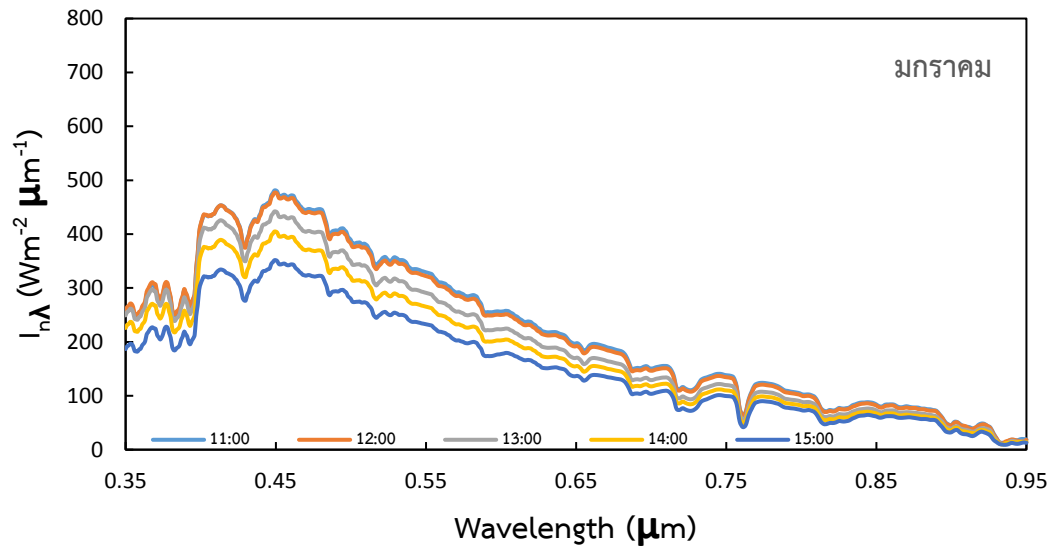
รูปที่ 3.21 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนธันวาคม ปี 2015

3.1.2.2 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจาย

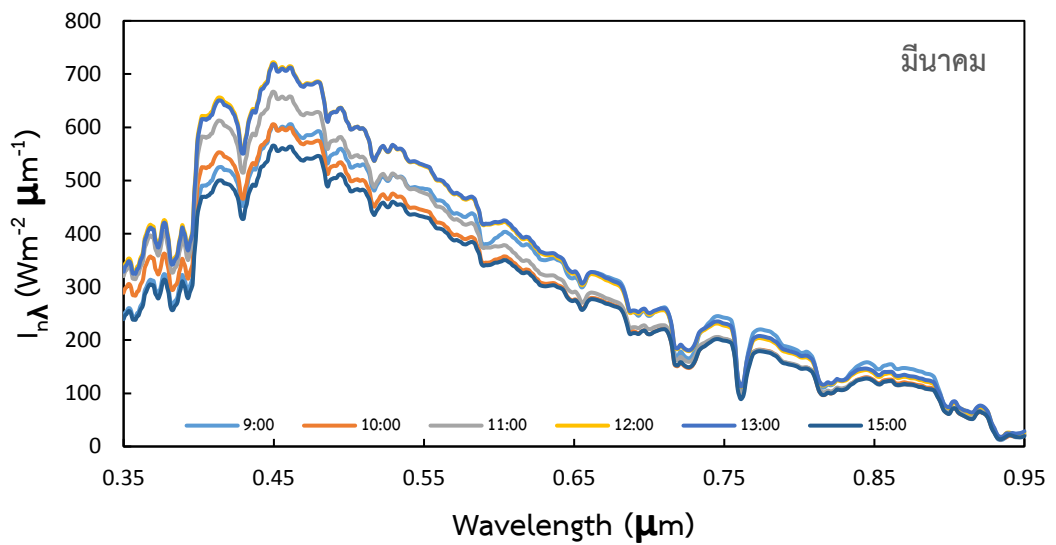
ในส่วนของการวัดสเปกตรัมรังสีกระจายมีการใช้ลูกบอลในการบังรังสีตรง โดยลูกบอลจะถูกติดตั้งอยู่กับเครื่องติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์เพื่อให้สามารถบังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่ให้ตกกระทบมายังเครื่องมือวัดสเปกตรัมได้ โดยแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.22 แล้วทำการต่อเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อตั้งโปรแกรมให้เครื่องทำการบันทึกข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 350 – 950 นาโนเมตร และจะตั้งค่าให้ทำการบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที เช่นเดียวกัน ซึ่งตัวอย่างของข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ จะแสดงเป็นข้อมูลรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนดังรูปที่ 3.23-3.29



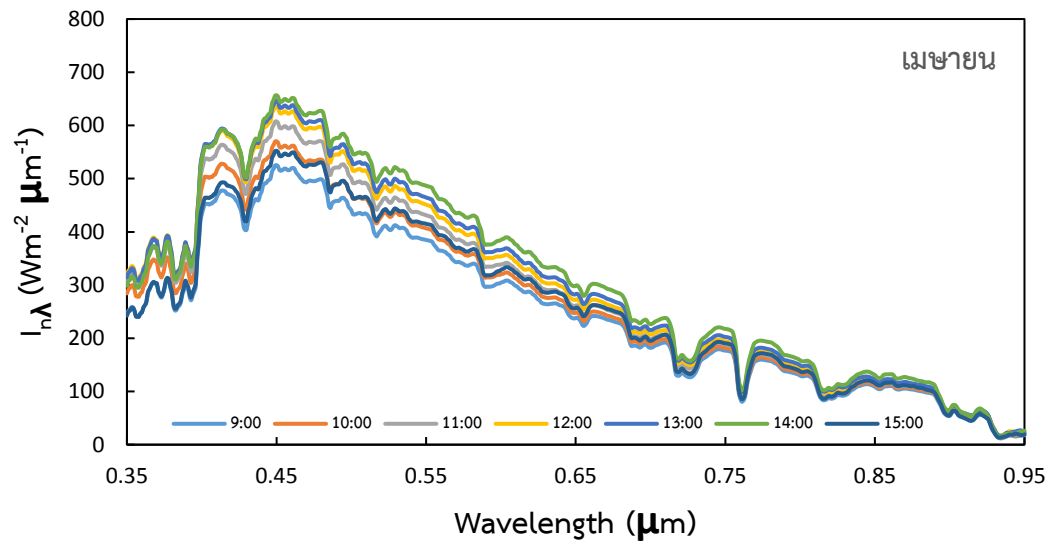
รูปที่ 3.22 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ EKO spectroradiometer รุ่น MS-710 ที่มีลูกบอลบังรังสีตรงที่ติดอยู่กับเครื่องติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ (sun tracker) เพื่อวัดสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์



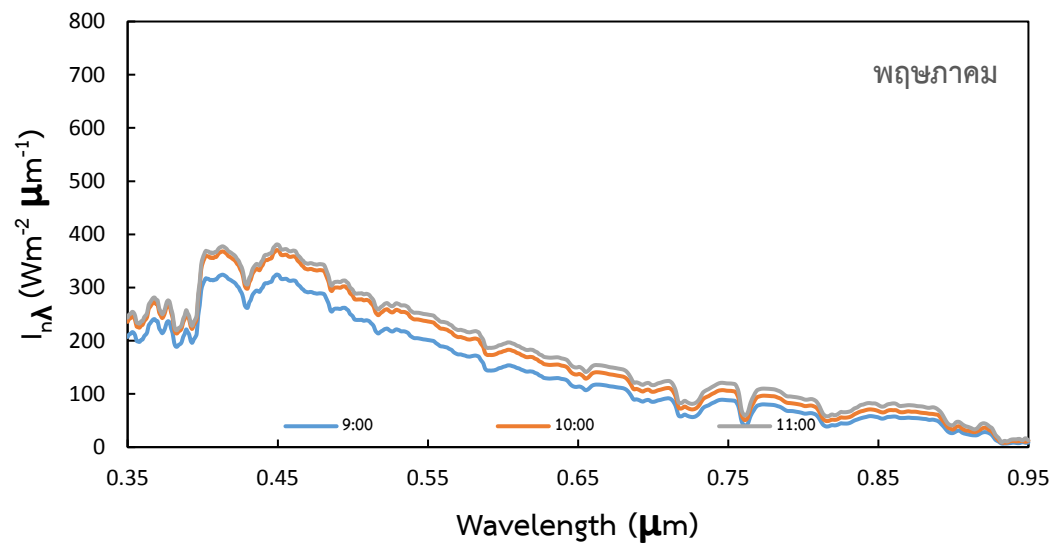
รูปที่ 3.23 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมกราคม ปี 2015



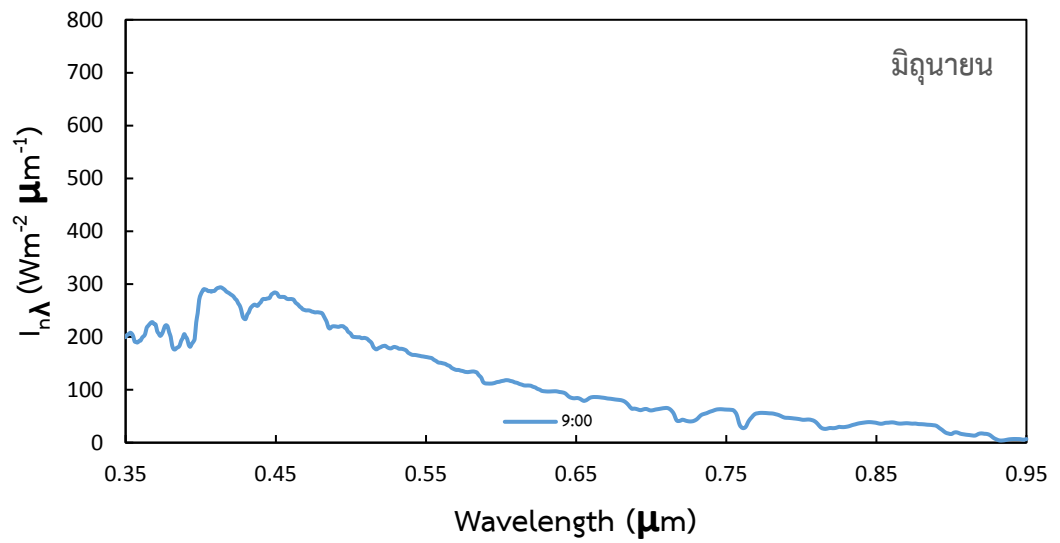
รูปที่ 3.24 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนมีนาคม ปี 2015



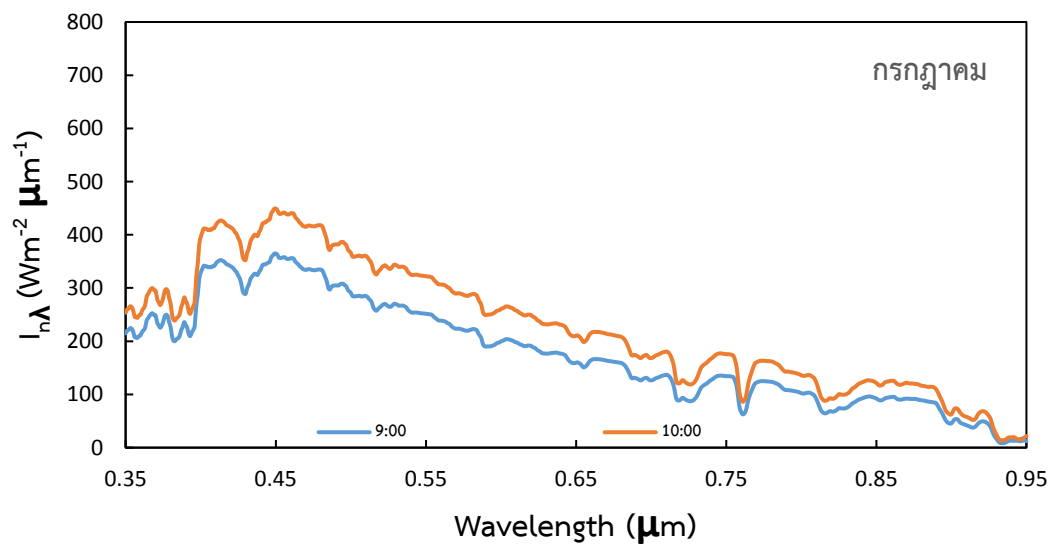
รูปที่ 3.25 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนเมษายน ปี 2015



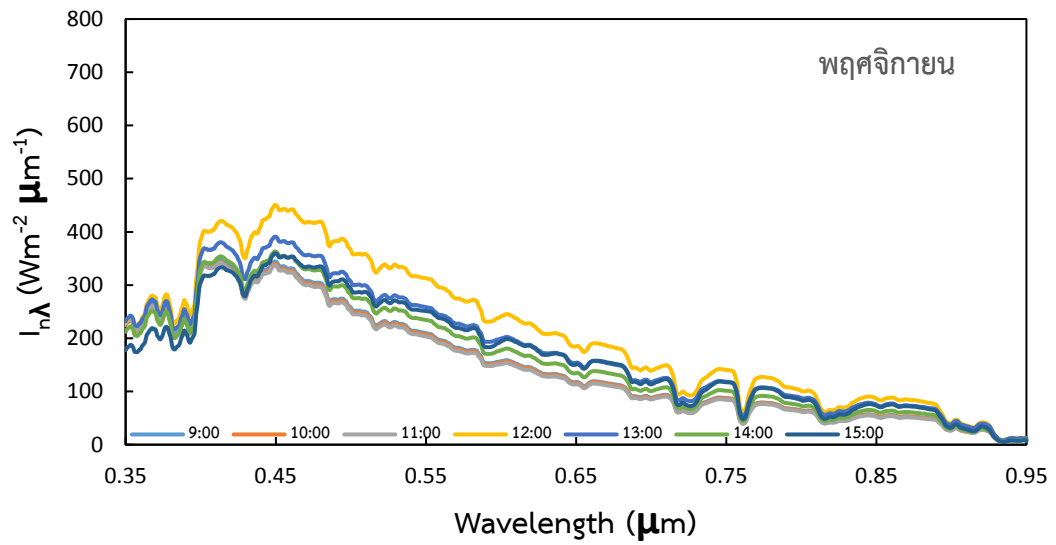
รูปที่ 3.26 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนพฤษภาคม ปี 2015



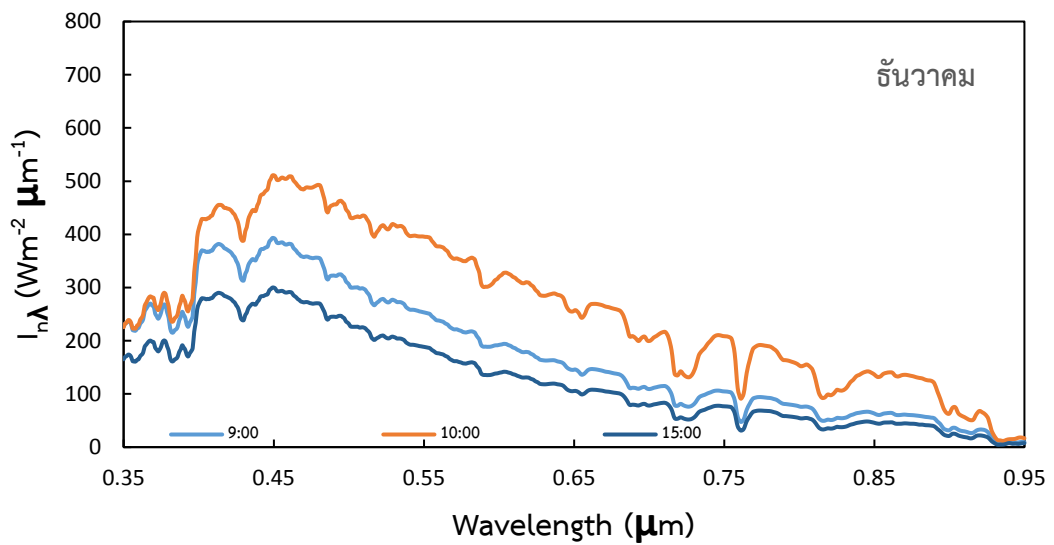
รูปที่ 3.27 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือน
ของเดือนมิถุนายน ปี 2015



รูปที่ 3.28 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือน
ของเดือนกรกฎาคม ปี 2015



รูปที่ 3.29 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนพฤศจิกายน ปี 2015



รูปที่ 3.30 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนธันวาคม ปี 2015

3.1.3 การทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง

3.1.3.1 การทดลองสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรง

ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งทำการคัดเลือกช่วงเวลาที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆโดยพิจารณาจากข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าที่สอดคล้องกับข้อมูล AOD ที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) มาคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองดังกล่าวเปรียบเทียบกับข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของปี ค.ศ. 2015 (80 ชุดข้อมูล) ที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ EKO spectroradiometer ที่สถานีวัดภาคพื้นดินที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม โดยในการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงที่ทำการวัด ตั้งแต่เวลา 9:00 -15:00 น. ผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบผลในรูปของค่าทางสถิติ คือ ค่า root mean square difference (RMSD) และค่า mean bias difference (MBD) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 จากนั้นผู้วิจัยจะทำการหาแบบจำลองที่เหมาะสมกับประเทศไทยที่สุดสำหรับการประยุกต์และพัฒนาต่อเป็นแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่สามารถใช้คำนวณได้ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป

$$\text{RMSD} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(I_{\text{model}} - I_{\text{meas}})}{N}}{\sum_{i=1}^N \frac{I_{\text{meas}}}{N}} \quad (3.1)$$

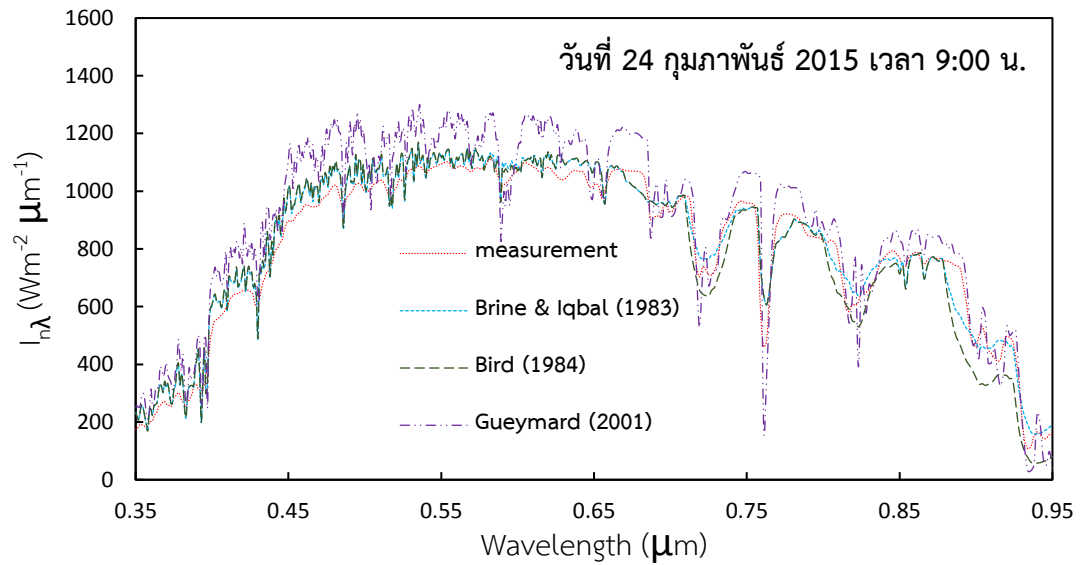
$$\text{MBD} = \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{(I_{\text{model}} - I_{\text{meas}})^2}{N}}}{\sum_{i=1}^N \frac{I_{\text{meas}}}{N}} \quad (3.2)$$

โดยที่ I_{model} คือ ค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ($\text{W}/\text{m}^2\text{-nm}$)

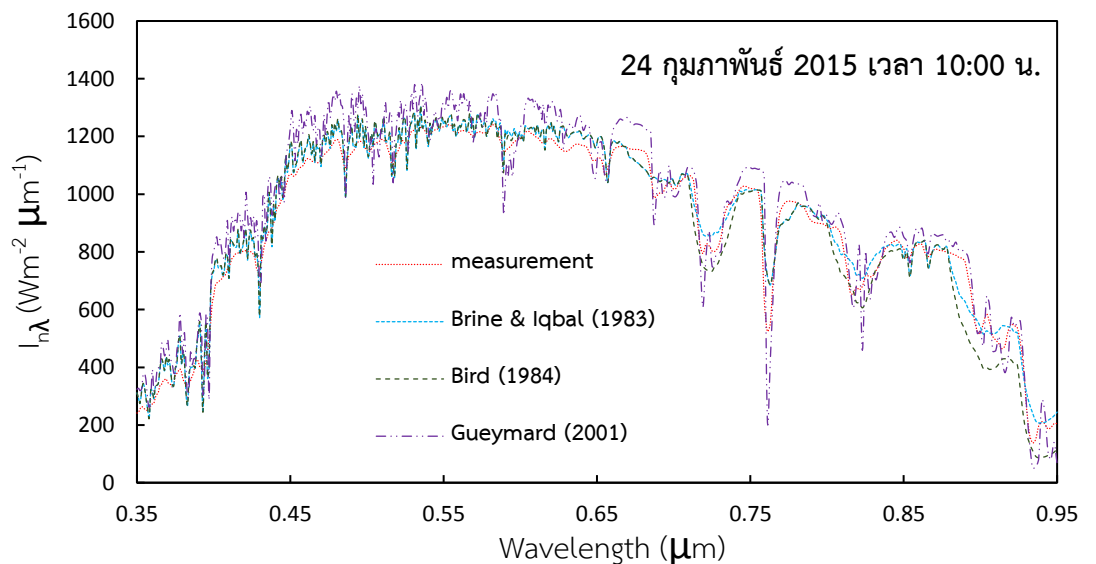
I_{meas} คือ ค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัด ($\text{W}/\text{m}^2\text{-nm}$)

N คือ จำนวนข้อมูล

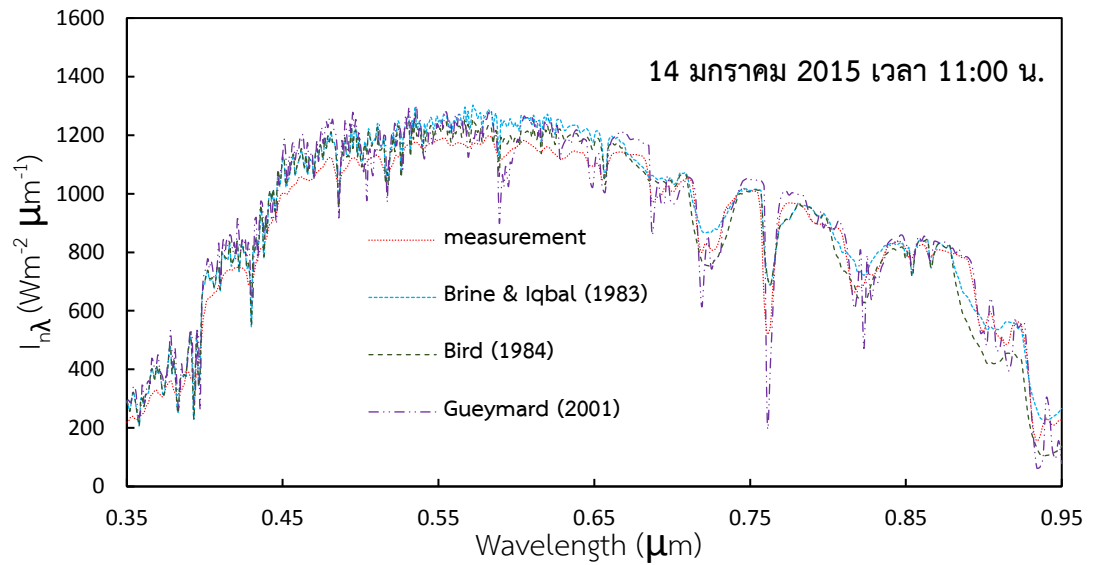
ตัวอย่างการเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีตรงรายชั่วโมงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ทำการศึกษากับค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดินจะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.31 – 3.37



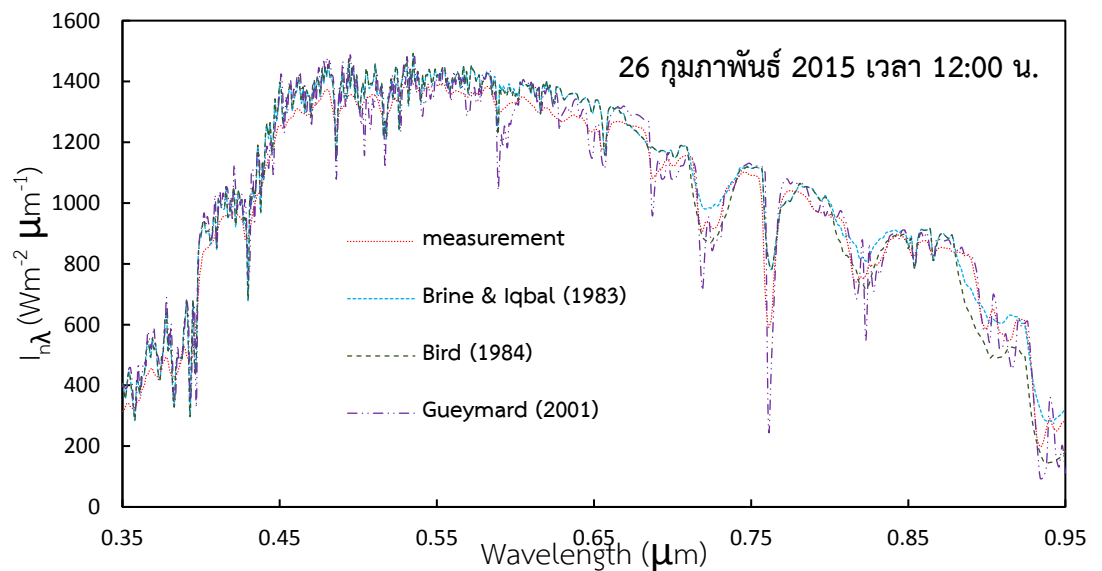
รูปที่ 3.31 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 9:00 น. ของ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2015



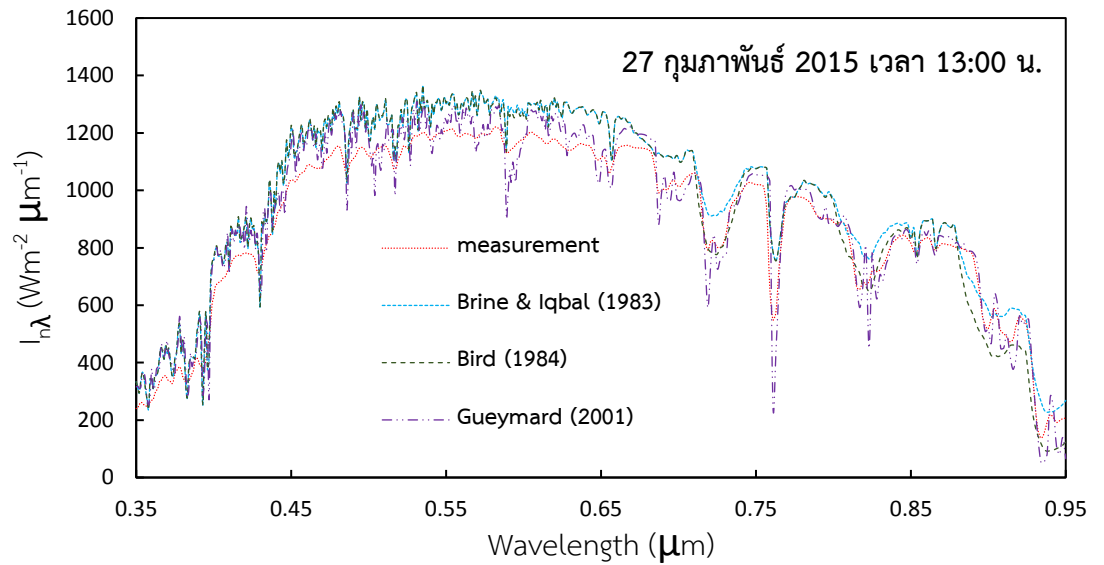
รูปที่ 3.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 10:00 น. ของ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2015



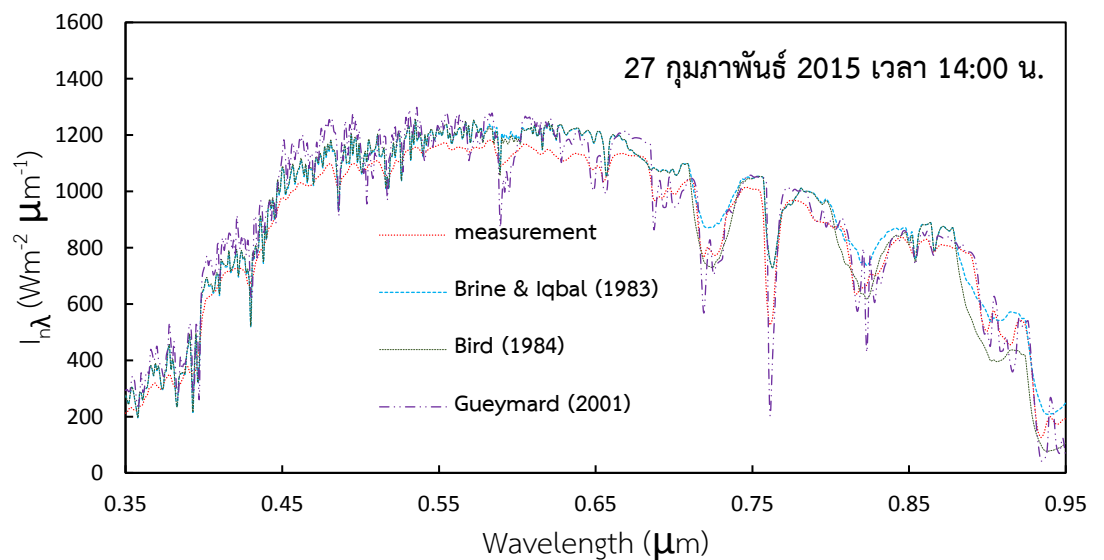
รูปที่ 3.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 11:00 น. ของ วันที่ 14 มกราคม 2015



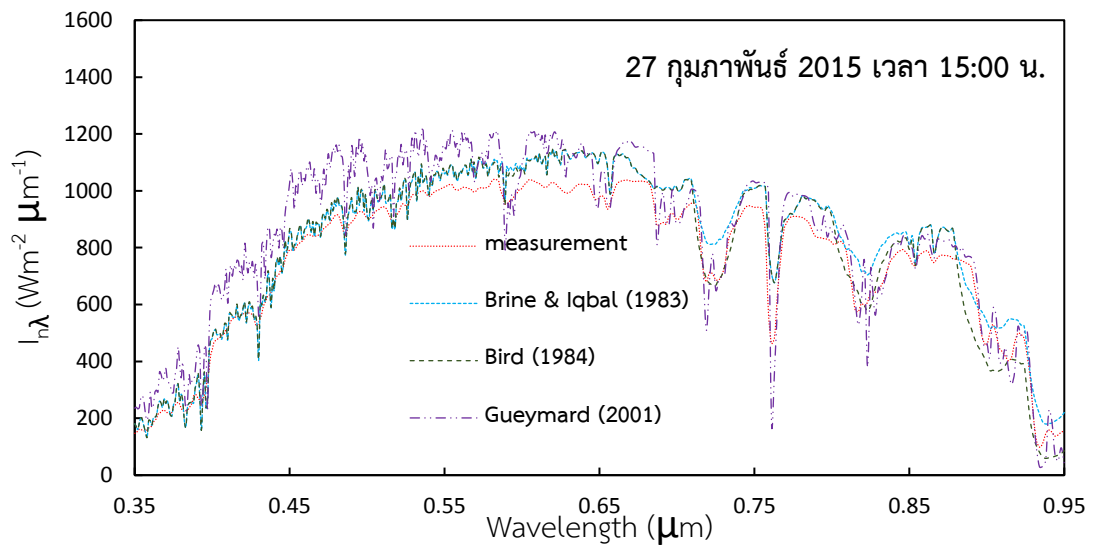
รูปที่ 3.34 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 12:00 น. ของ วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2015



รูปที่ 3.35 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 13:00 น. ของ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2015

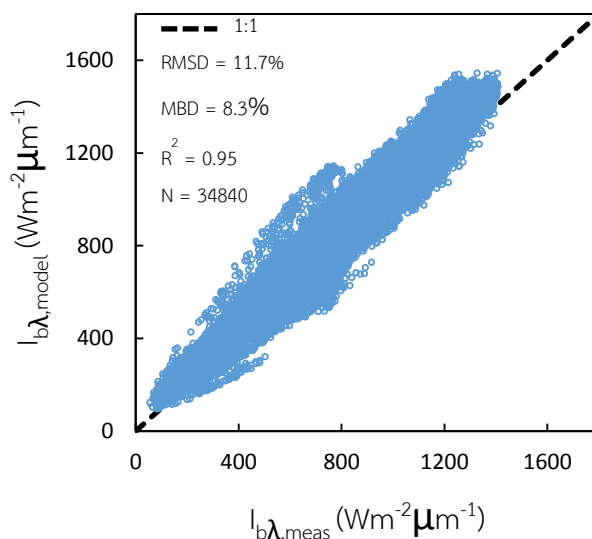


รูปที่ 3.36 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 14:00 น. ของ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2015

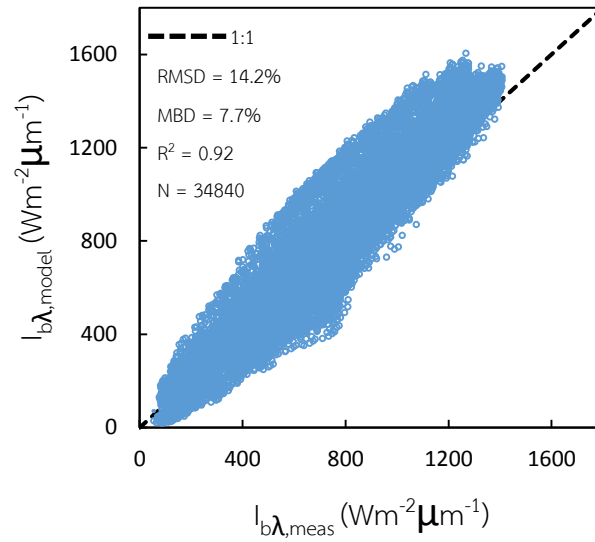


รูปที่ 3.37 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 15:00 น. ของ วันที่ 15 มกราคม 2015

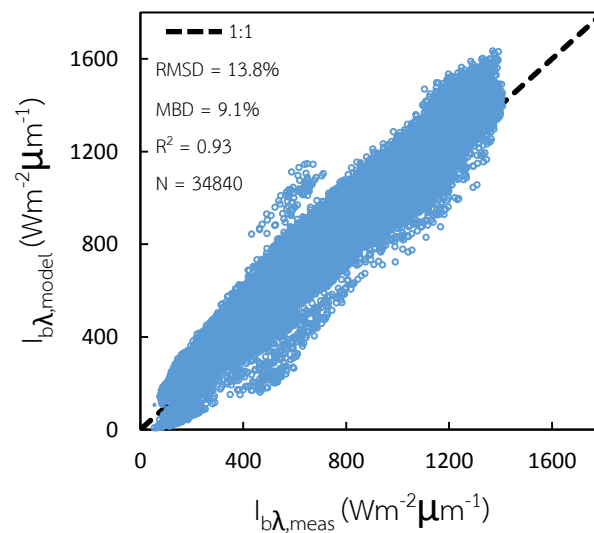
โดยผลการเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) กับค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดของปี ค.ศ. 2015 แสดงดังรูปที่ 3.38 - 3.40



รูปที่ 3.38 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) ($I_{b\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{b\lambda,meas}$)



รูปที่ 3.39 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Bird (1984) ($I_{b\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{b\lambda,meas}$)



รูปที่ 3.40 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Gueymard (2001) ($I_{b\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{b\lambda,meas}$)

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า RMSD และ MBD จากการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงรายชั่วโมงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆกับค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน

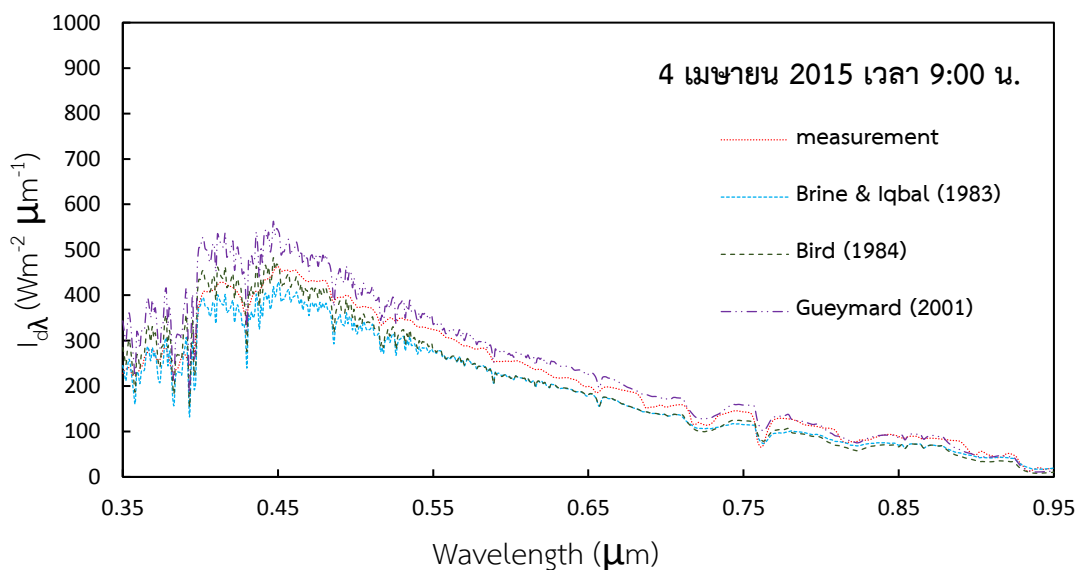
แบบจำลอง	RMSD (%)	MBD (%)
Brine & Iqbal (1983)	11.8	8.3
Bird (1984)	14.2	7.7
Gueymard (2001)	13.8	9.1

จากการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) โดยทำการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองเทียบกับค่าสเปกตรัมรังสีตรงที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมภาคพื้นดิน ที่เวลา 9:00 – 15:00 น. โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากันแล้วทั้ง 3 แบบจำลองมีค่า RMSD และ MBD อยู่ในช่วง 11.7-14.1 % และ 7.70-9.0 % ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัด พบว่าแบบจำลอง Brine & Iqbal (1983) ให้ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดได้ดีที่สุด คือ มีค่า RMSD และ MBD เท่ากับ 11.7 % และ 8.3 % ตามลำดับ

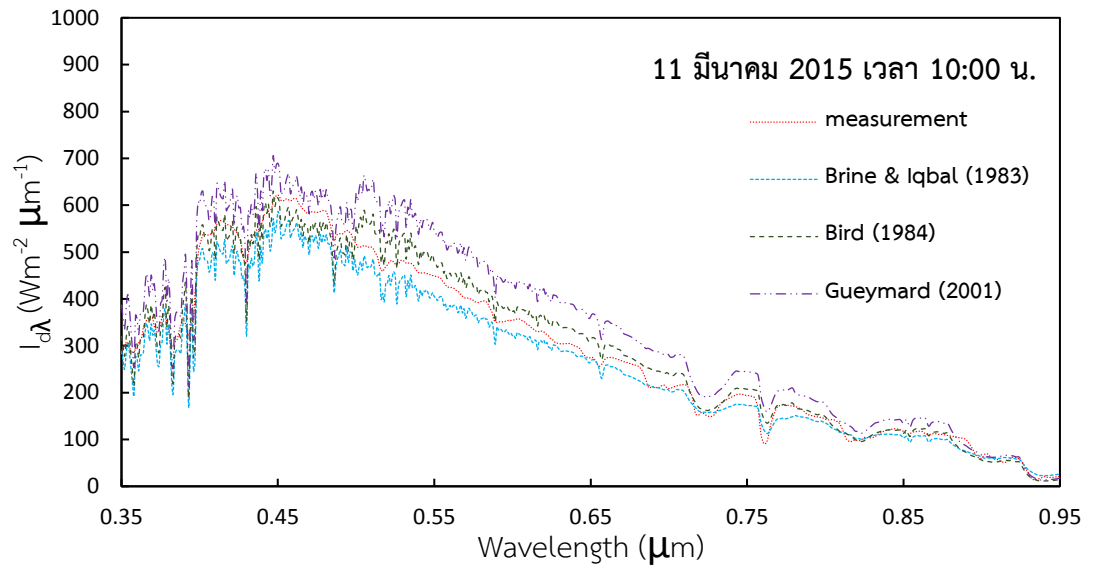


3.1.3.2 การทดลองสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีกระจาย

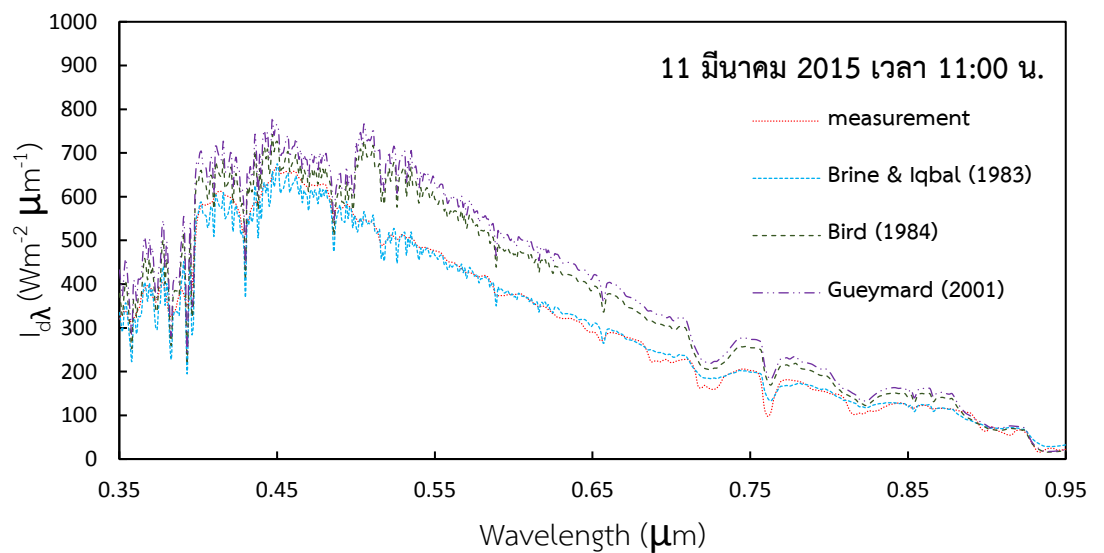
ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งทำการคัดเลือกช่วงเวลาท้องฟ้าปราศจากเมฆโดยพิจารณาจากข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าที่สอดคล้องกับข้อมูล AOD ที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) มาคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่กล่าวมานี้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายของปี ค.ศ. 2015 (72 ชุดข้อมูล) ที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ EKO spectroradiometer ที่สถานีวัดภาคพื้นดินที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม โดยในการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดนี้จะใช้ข้อมูลรายชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 9:00 -15:00 น. ซึ่งจะแสดงผลอยู่ในรูปของค่าทางสถิติ คือ ค่า RMSD และ MBD ตัวอย่างการเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายรายชั่วโมงที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.41 – 3.47



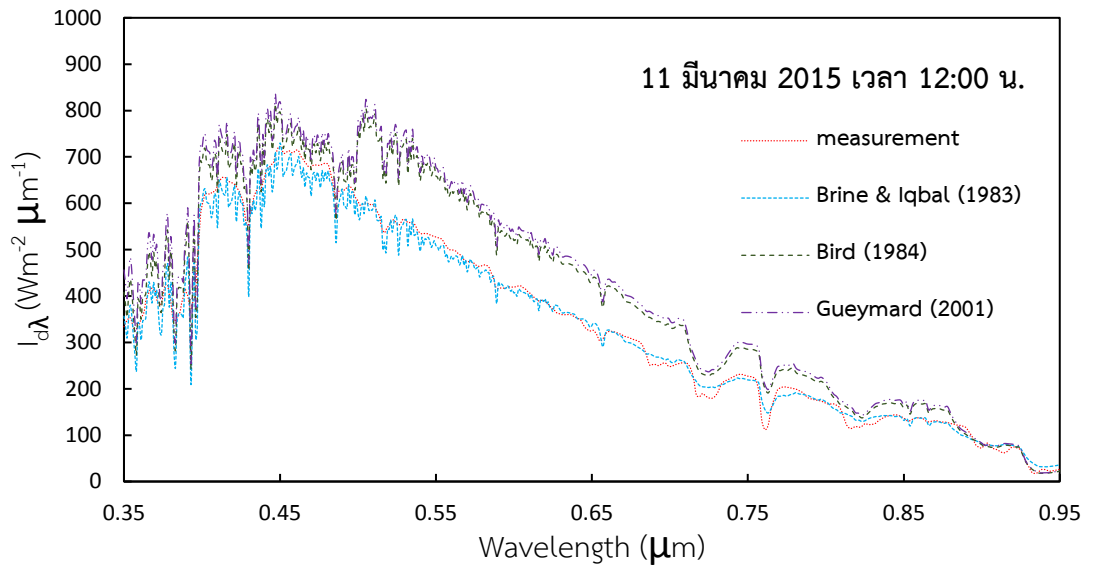
รูปที่ 3.41 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 9:00 น. ของ วันที่ 4 เมษายน 2015



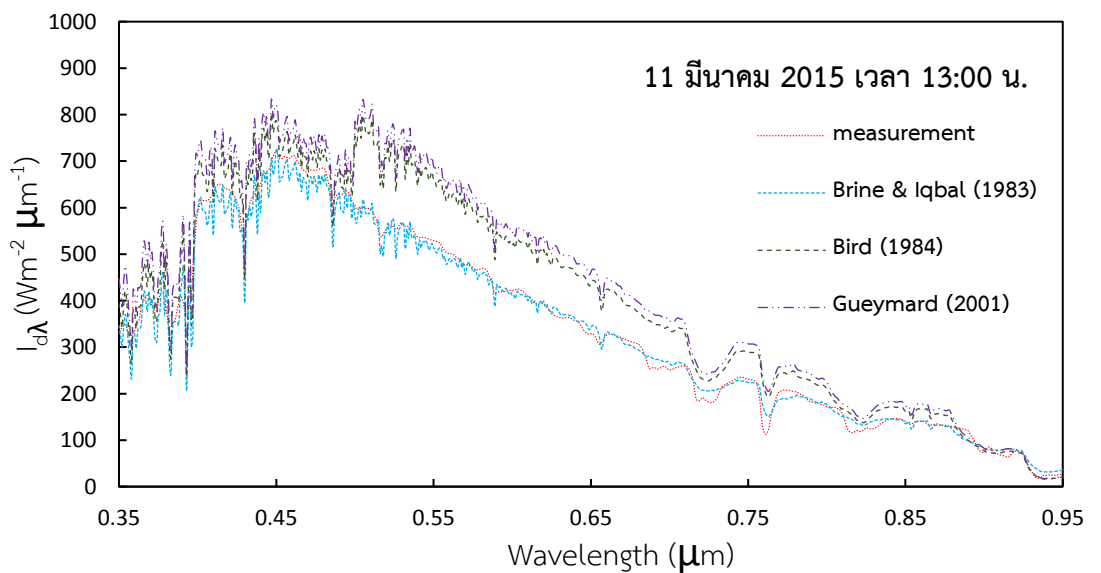
รูปที่ 3.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 10:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015



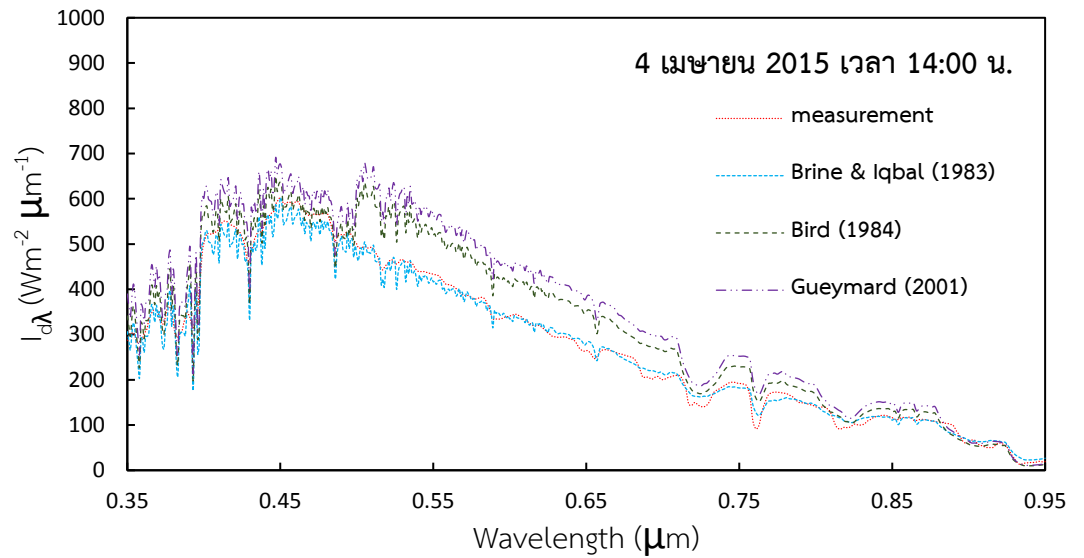
รูปที่ 3.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 11:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015



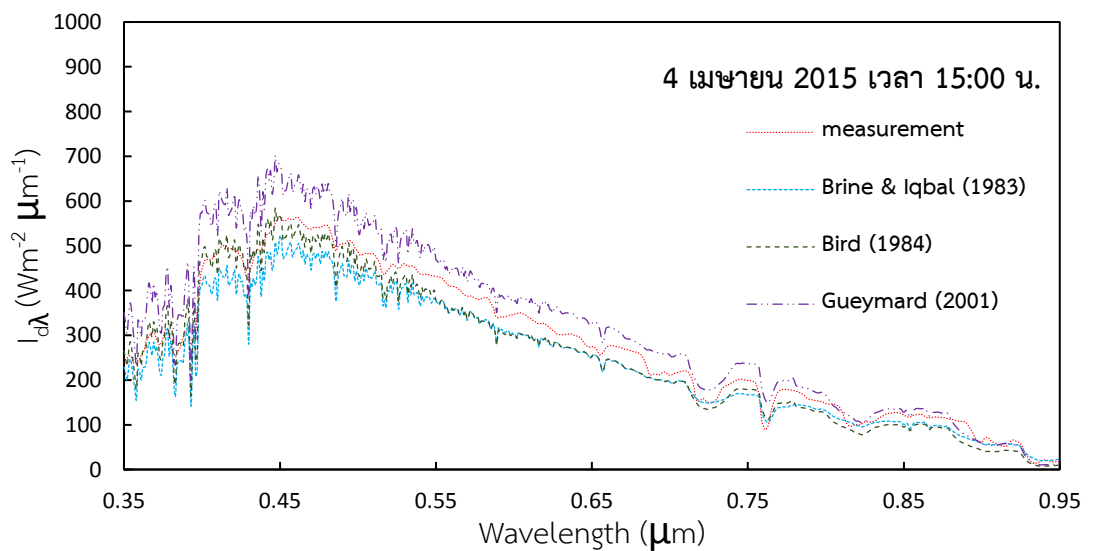
รูปที่ 3.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 12:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015



รูปที่ 3.45 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 13:00 น. ของ วันที่ 11 มีนาคม 2015

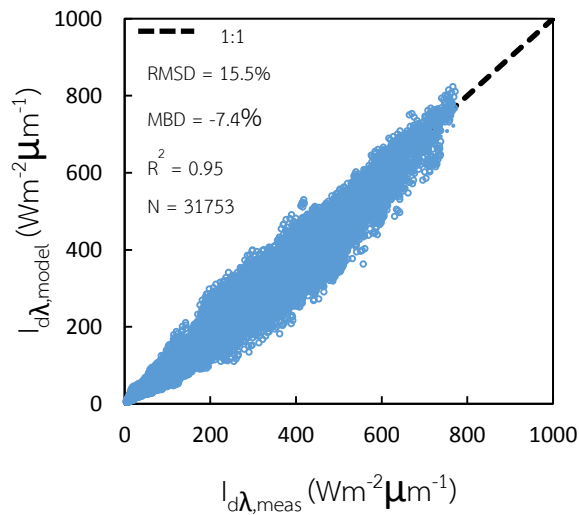


รูปที่ 3.46 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 14:00 น. ของ วันที่ 4 เมษายน 2015

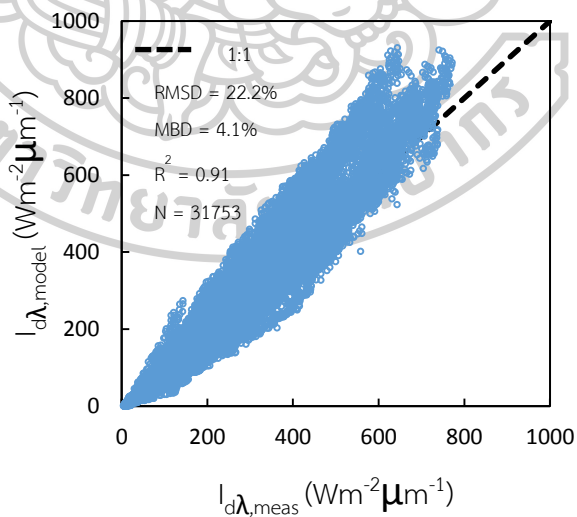


รูปที่ 3.47 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 15:00 น. ของ วันที่ 4 เมษายน 2015

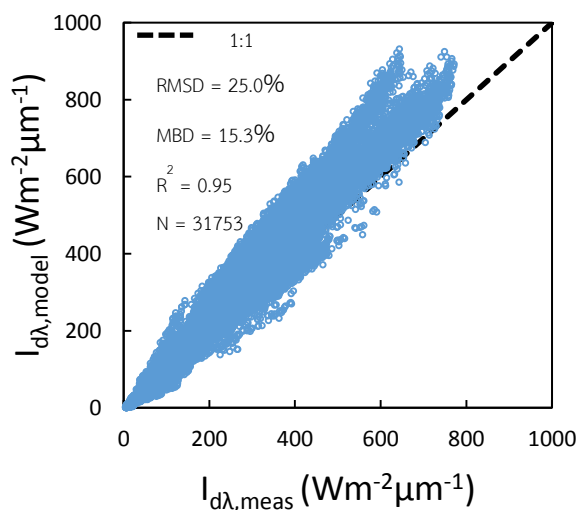
โดยผลการเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) กับค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดของปี ค.ศ. 2015 แสดงดังรูปที่ 3.48 – 3.50



รูปที่ 3.48 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) ($I_{d\lambda, model}$) และสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{d\lambda, meas}$)



รูปที่ 3.49 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Bird (1984) ($I_{d\lambda, model}$) และสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{d\lambda, meas}$)



รูปที่ 3. 50 การเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองของ Gueymard (2001) ($I_{d\lambda,model}$) และสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน ($I_{d\lambda,meas}$)

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า RMSD และ MBD จากการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายรายชั่วโมงที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองสเปกตรัมรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆกับค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ภาคพื้นดิน

แบบจำลอง	RMSD (%)	MBD (%)
Brine & Iqbal (1983)	15.5	-7.4
Bird (1984)	22.2	4.1
Gueymard (2001)	25.0	15.3

จากการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยผู้วิจัยได้ทำการเลือกแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) โดยทำการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองเทียบกับค่าสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดสเปกตรัมภาคพื้นดิน ที่เวลา 9:00 – 15:00 น. โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากันแล้วทั้ง 3 แบบจำลองมีค่า RMSD

และ MBD อยู่ในช่วง 15.5-25.0 % และ -7.4-15.3 % ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลอง Brine & Iqbal (1983) ให้ผลการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดได้ดีที่สุด คือ มีค่า RMSD และ MBD เท่ากับ 15.5 และ -7.4 % ตามลำดับ สำหรับแบบจำลองของ Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) นั้นมีค่าพารามิเตอร์หลายตัวที่ไม่รู้ค่า ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านั้นใช้ได้กับเฉพาะแหล่งจึงทำให้การคำนวณซับซ้อนขึ้นมากกว่าแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) และทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อมาทดสอบสมรรถนะกับพื้นที่อื่น



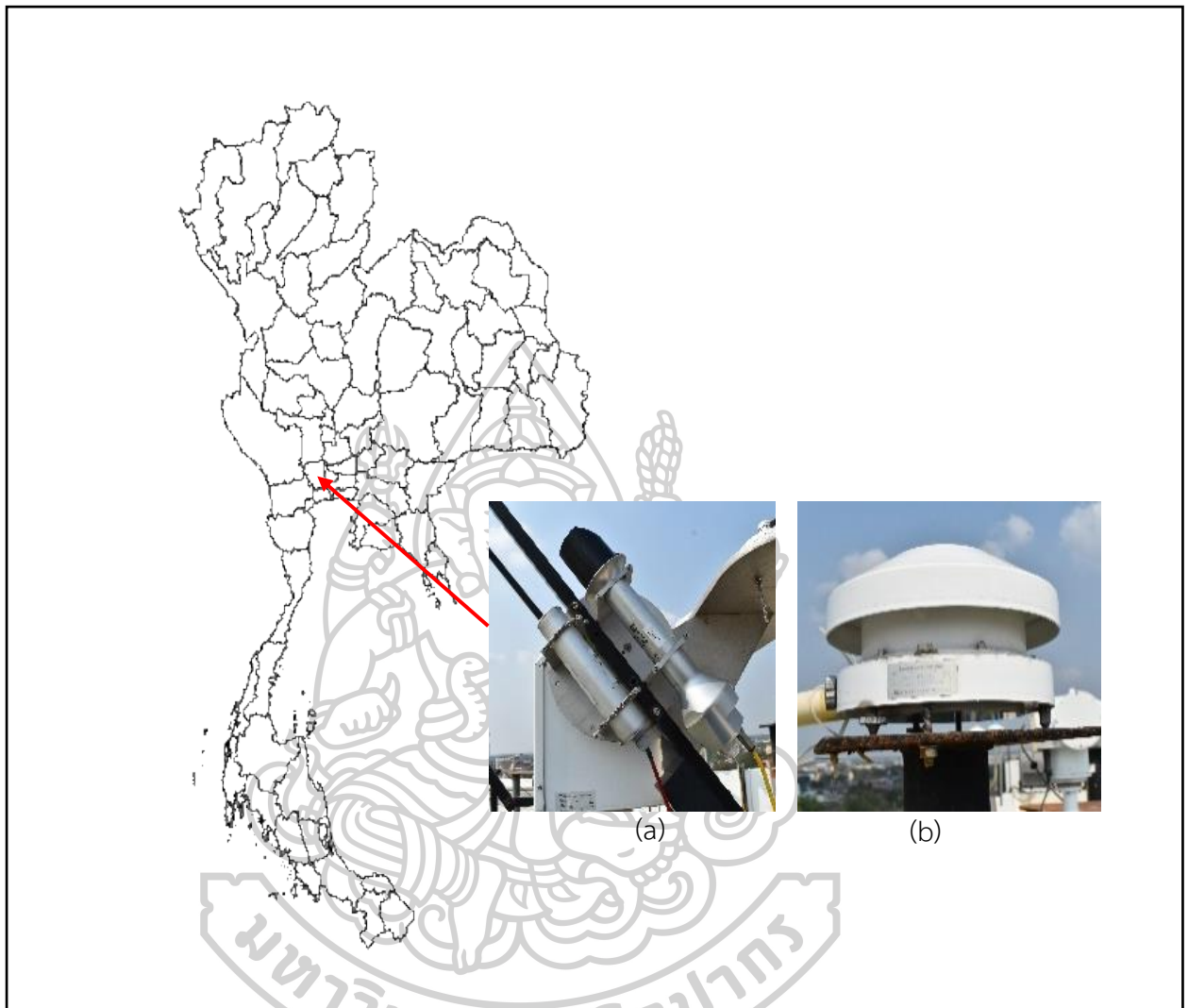
3.2 การพัฒนาแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป

เนื่องจากแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่มีนักวิจัยต่าง ๆ เสนอไว้แล้วในก่อนหน้านี้ นั้นเป็นแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการคำนวณในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆเท่านั้น ดังนั้นในงานนี้ ผู้วิจัยจึงได้เลือกแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการคำนวณในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ได้ทำการทดสอบสมรรถนะแล้วให้ผลที่ดีที่สุด คือ แบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) มาทำการประยุกต์และพัฒนาเป็นแบบจำลองสเปกตรัมเพื่อใช้คำนวณหาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปสำหรับจังหวัดนครปฐม โดยจะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองกับข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีรวม EKO spectroradiometer ที่สถานีวัดภาคพื้นดินจังหวัดนครปฐม ซึ่งในการดำเนินการมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

3.2.1.1 การเตรียมข้อมูลวัดภาคพื้นดิน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในปี ค.ศ. 2016 โดยแบ่งเป็นข้อมูลรังสีตรงรายชั่วโมงซึ่งวัดโดยใช้เครื่อง pyrliometer รุ่น CH1 ของบริษัท Kipp&Zonen และข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากเครื่องวัดสเปกตรัม spectroradiometer รุ่น MS -710 ของบริษัท EKO โดยเครื่องมือทั้งสองนี้ติดตั้งอยู่ที่สถานีวัดที่จังหวัดนครปฐม ตั้งอยู่ใน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N , 100.04°E) โดยลักษณะของเครื่องวัดและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.51

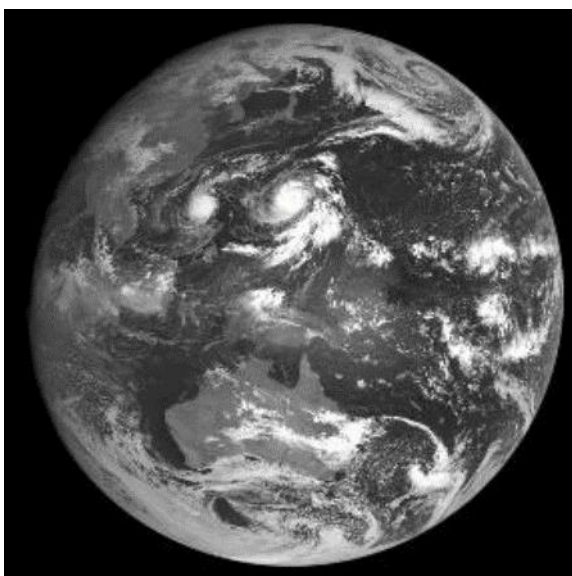


รูปที่ 3. 51 (a) แสดงลักษณะของเครื่อง pyr heliometer รุ่น CH1 ของบริษัท Kipp&Zonen และ (b) เครื่องวัดสเปกตรัม spectroradiometer รุ่น MS -710 ของบริษัท EKO และ ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดภาคพื้นดินที่จังหวัดนครปฐม

3.2.1.2 การเตรียมข้อมูลการเตรียมข้อมูลดาวเทียม

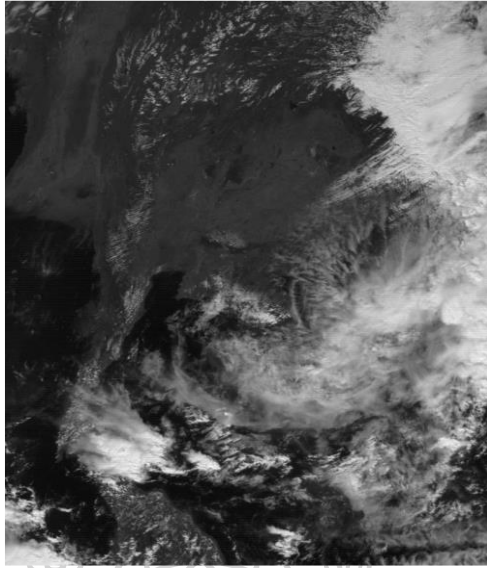
ในการหาค่าดัชนีเมฆ (n) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในงานนี้จะกล่าวถึงข้อมูลดาวเทียม อุตุนิยมวิทยา เนื่องจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบอยู่ตำแหน่งเดิมจะอยู่สูงจากพื้นผิวโลกประมาณ 36000 กิโลเมตร ดังนั้นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จะครอบคลุมซีกหนึ่งของโลก ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.52 ซึ่งเป็นตัวอย่างภาพจากดาวเทียม MTSAT-1R โดยทั่วไปข้อมูลที่ใช้จะเป็นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่าง ซึ่งปกติแล้วจะทำการบันทึกภาพของโลกชั่วโมงละ 1 ภาพ แต่ในปัจจุบันดาวเทียมรุ่นใหม่สามารถบันทึกภาพได้หลายภาพต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถบันทึกภาพได้ทุก ๆ 15 นาที



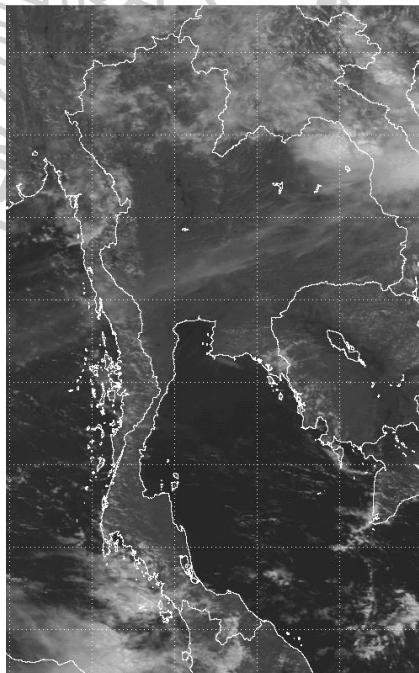
รูปที่ 3.52 ตัวอย่างข้อมูลภาพจากดาวเทียม MTSAT-1R

โดยภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยหน่วยเล็ก ๆ ที่เรียกว่า พิกเซล (pixel) โดยแต่ละพิกเซลจะมีค่าสอดคล้องกับค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) ตัวอย่างเช่น ภาพถ่ายดาวเทียมมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 3×3 ตารางกิโลเมตร หมายความว่าแต่ละพิกเซลของภาพดาวเทียมจะสอดคล้องกับพื้นที่ 3×3 ตารางกิโลเมตร บนพื้นผิวโลกที่ตำแหน่งตรงกับดาวเทียม (sub-satellite point) โดยพิกเซลบริเวณกลางภาพจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงกว่าบริเวณขอบของภาพ แต่เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นหากต้องการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้งานจะต้องตัดเฉพาะส่วนที่สนใจ เช่น หากต้องการข้อมูลเฉพาะส่วนของประเทศของประเทศไทยก็ต้องตัดมาใช้เฉพาะส่วนของพื้นที่ประเทศไทย ดังรูปที่ 3.53



รูปที่ 3.53 ภาพดาวเทียมครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย

โดยจะเห็นว่าจากรูปที่ 3.53 จะยังมองเห็นส่วนโค้งของโลก ทำให้ระยะทางบนภาพไม่แปรโดยตรงกับระยะบนพื้นผิวโลก จึงยังไม่สะดวกต่อการนำมาใช้งาน ดังนั้นจึงแปลงภาพดังกล่าวให้อยู่ในภาพถ่ายแบบผิวทรงกระบอก (cylindrical projection) ซึ่งจะได้ภาพที่ระยะทางในแนวตั้งแปรตามละติจูด และระยะทางในแนวนอนแปรโดยตรงกับลองจิจูด ซึ่งภาพที่ทำการแปลงแล้วพิกเซลในภาพจะถูกนำมาจัดเรียงใหม่ แล้วทำการหาพิกัดได้ดังรูปที่ 3.54



รูปที่ 3.54 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียมในภาพถ่ายแบบผิวทรงกระบอกที่หาพิกัดแล้ว

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละพิกเซลจะมีค่าระดับความเทา (gray level) ซึ่งจะแปรตามความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่กระเจิงจากบรรยากาศและพื้นผิวโลก โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลดิจิทัล 8 บิต ที่มีทั้งหมด 256 ค่าที่ซ้ำกัน คือตั้งแต่ 0 ถึง 255 โดยระดับความเทาเท่ากับ 0 หมายถึงรังสีที่กระเจิงจากบรรยากาศและพื้นผิวโลกมีค่าต่ำสุด และที่ค่าระดับความเทาเท่ากับ 255 เป็นค่าสูงสุด หลังจากนั้นทำการแปลงข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (ρ_{EA}) โดยใช้ตารางสอบเทียบของผู้ผลิตดาวเทียม แล้วทำการปรับผลของมุมตกกระทบ โดยการนำสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลกมาทำการหารด้วยค่าโคไซน์ของมุมตกกระทบรังสีอาทิตย์ของสถานีวัดแต่ละที่ และจะเรียกค่าสัมประสิทธิ์ที่แก้ไขแล้วนี้ว่า สัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (ρ'_{EA}) หลังจากนั้นนำค่า ρ'_{EA} ของภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละชั่วโมงมาทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำสุด (ρ'_{min}) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุด (ρ'_{max}) แล้วคำนวณค่าดัชนีเมฆ (n) ตามสมการที่ 2.9 (Cano et al.,1986)

$$n = \frac{\rho'_{EA} - \rho'_{min}}{\rho'_{max} - \rho'_{min}} \quad (2.9)$$

เมื่อ n คือ ดัชนีเมฆ (-)
 ρ'_{EA} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศและพื้นผิวโลก
 ρ'_{min} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนต่ำสุด
 ρ'_{max} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุด

3.2.1.3 การเตรียมค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านขององค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศ

เนื่องจากสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกที่เดินทางผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก จะถูกลดทอนโดยองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านขององค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศดังนี้

ก. สัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลอากาศ (τ_{RL})

การกระเจิงของโมเลกุลอากาศสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของ Rayleigh ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและมวลอากาศ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการกระเจิงของโมเลกุลอากาศจะเพิ่มขึ้นตามความยาวคลื่น (λ) และจะลดลงเมื่อค่ามวลอากาศ (m_a) เพิ่มขึ้น ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.2 (Iqbal,1983)

ข. สัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการกระเจิงรังสีอาทิตย์ของฝุ่นละออง ($\tau_{\text{aer},\lambda}$)

ในงานวิจัยนี้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเนื่องจากการกระเจิงของฝุ่นละอองคำนวณมาจากค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer ดังรูปที่ 3.55 ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีวัดที่จังหวัดนครปฐม ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลวัดที่ความยาวคลื่น 340, 380, 440, 500, 675, 870 และ 1020 นาโนเมตร ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 380, 440, 500, 675 และ 870 นาโนเมตร ในปี ค.ศ. 2016 และ 2017 มาใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเนื่องจากการกระเจิงของฝุ่นละอองตามสมการที่ 3.3

$$\tau_{\text{aer},\lambda} = \exp(\text{AOD}) \quad (3.3)$$

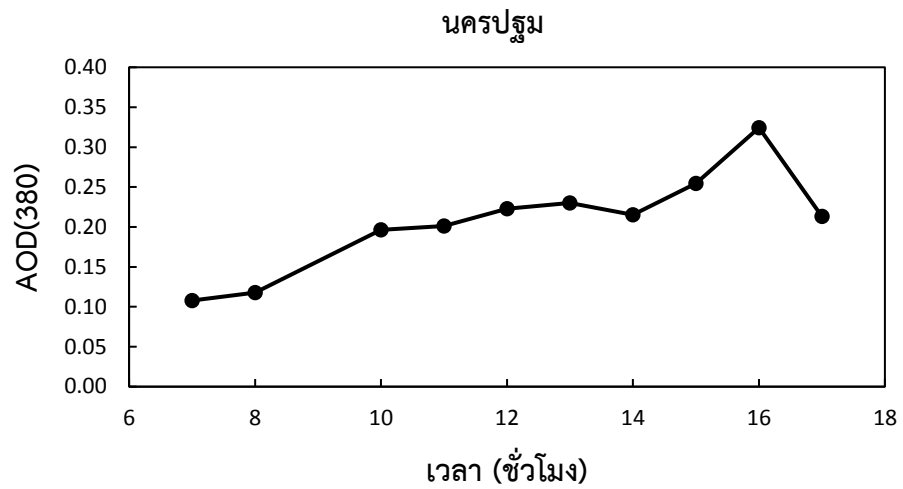
เมื่อ $\tau_{\text{aer},\lambda}$ คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านเนื่องจากการกระเจิงของฝุ่นละออง

AOD คือ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer

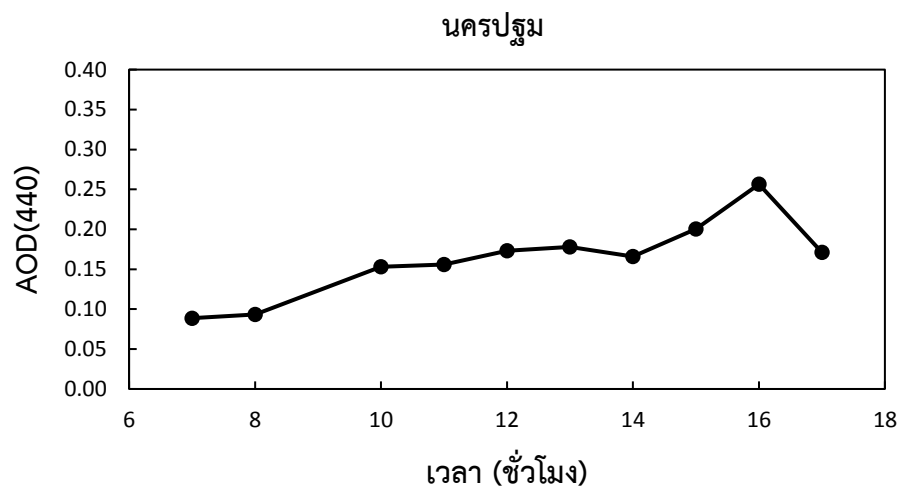


รูปที่ 3.55 เครื่อง cimel sunphotometer ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีวัดภาคพื้นดินที่จังหวัดนครปฐม

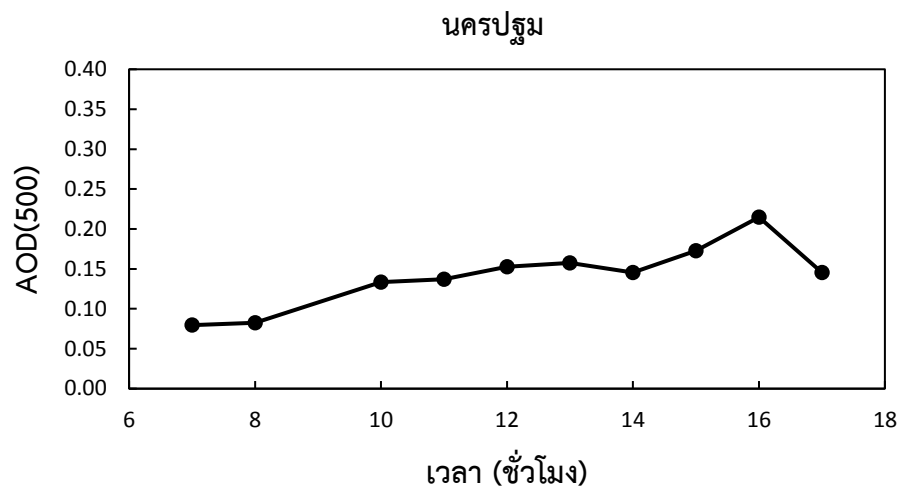
เพื่อพัฒนาและทดสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่แต่ละความยาวคลื่นที่ได้จากข้อมูลการวัดรังสีตรงจากเครื่องวัด แสดงไว้ดังรูปที่ 3.56 – 3.60



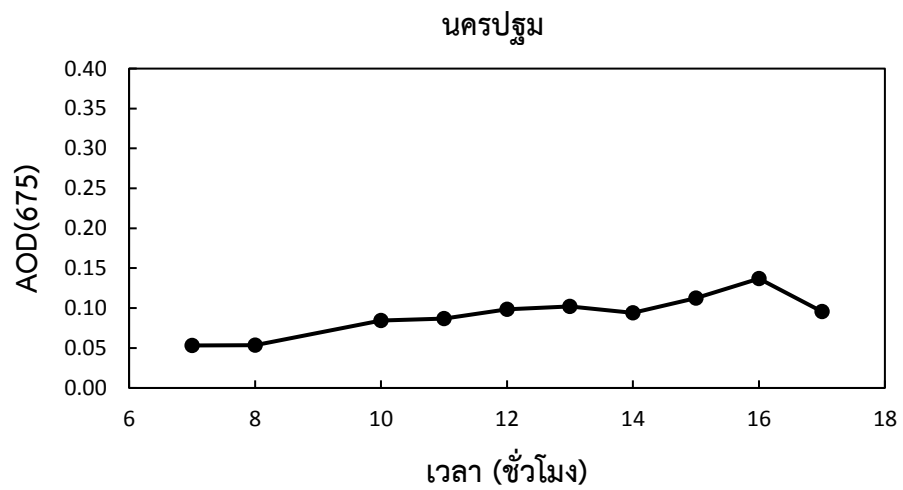
รูปที่ 3.56 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017



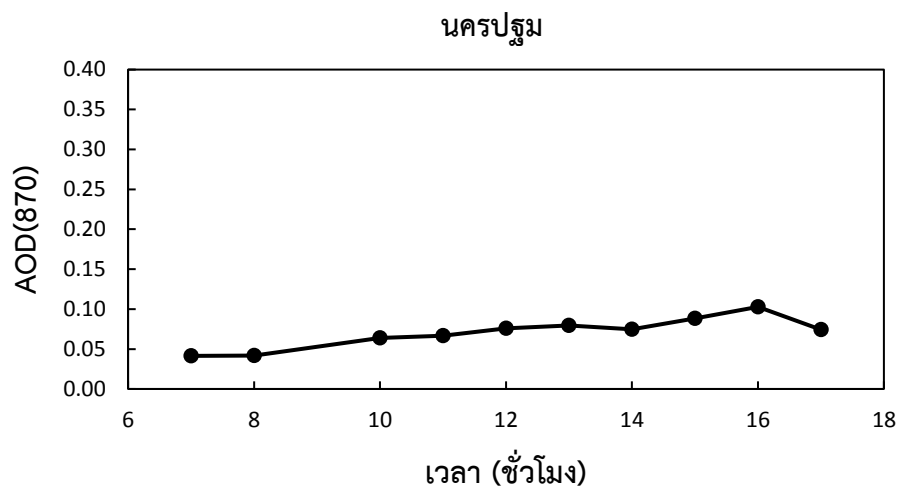
รูปที่ 3.57 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017



รูปที่ 3.58 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017



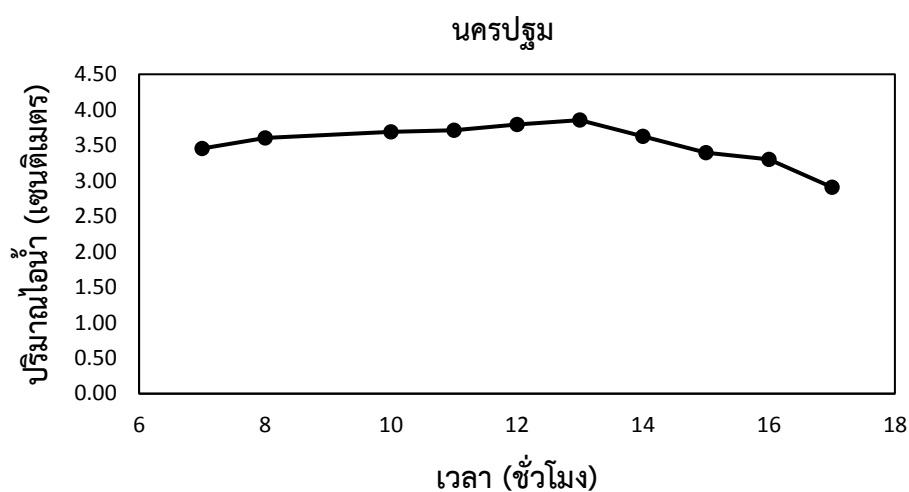
รูปที่ 3.59 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 675 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017



รูปที่ 3.60 ตัวอย่างข้อมูล AOD ในรอบวันที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017

ค. สัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการดูดกลืนของไอน้ำ ($\tau_{w\lambda}$)

ผู้วิจัยได้นำค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านเนื่องจากการดูดกลืนของไอน้ำจะคำนวณมาจากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของปริมาณไอน้ำ ที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม สถานีวัดที่จังหวัดนครปฐม ในปี ค.ศ. 2016 และ 2017 มาใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 2.5 ข้อมูลที่ได้จะนำมาทำการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยตัวอย่างข้อมูลปริมาณไอน้ำในรอบวันที่ได้จากเครื่อง cimel sunphotometer แสดงดังรูปที่ 3.61



รูปที่ 3.61 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณไอน้ำเฉลี่ยรายชั่วโมงในรอบวัน จากเครื่อง cimel sunphotometer ที่สถานีวัดจังหวัดนครปฐม วันที่ 13 มกราคม 2017

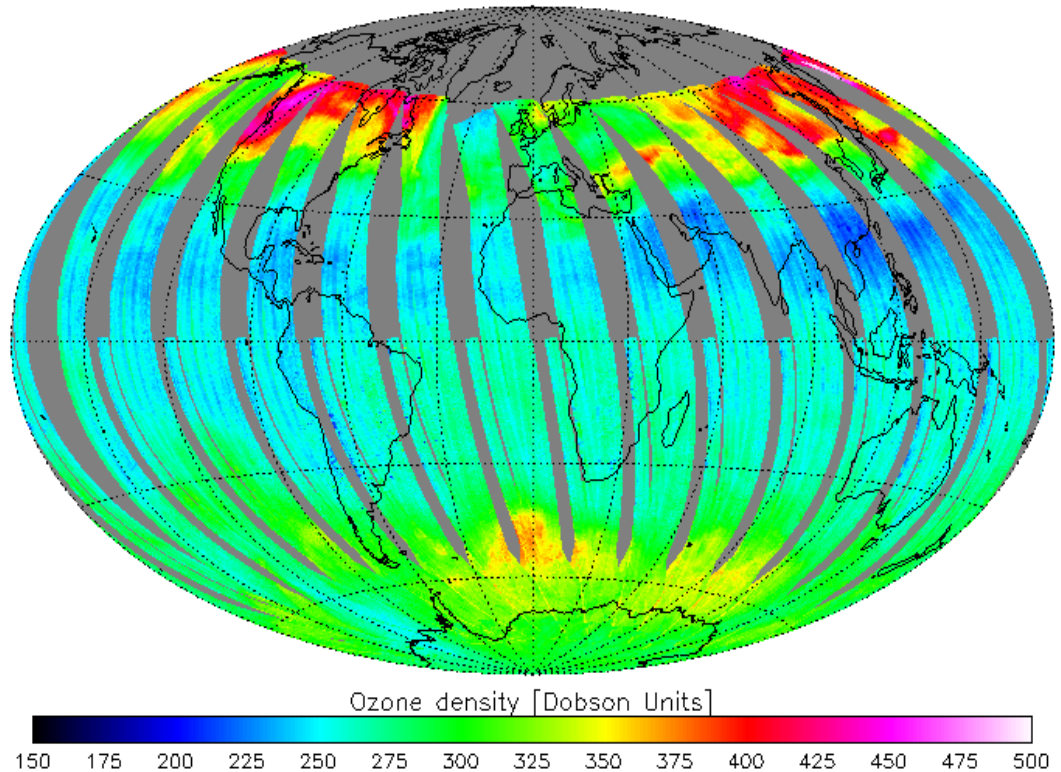
ง. สัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการดูดกลืนของโอโซน (τ_{O_3})

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณโอโซนจากอุปกรณ์ OMI (Ozone Monitoring Instrument) ซึ่งติดตั้งอยู่บนดาวเทียม AURA ขององค์การนาซา (NASA) ปริมาณโอโซนที่ได้จากดาวเทียมดังกล่าวนี้จะมี 1 ค่าต่อวัน คือ จะมีค่าในช่วงเที่ยงวันตามเวลาท้องถิ่นของประเทศไทย ซึ่งปริมาณโอโซนที่ได้มาจะบอกอยู่ในหน่วย ดอบสัน (DU) ต้องนำมาแปลงให้อยู่ในหน่วยเซนติเมตรโดยการคูณด้วย 1000 และนำมาใช้ในการคำนวณตามสมการที่ 2.7 ในงานนี้ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 2016 - 2017 มาใช้ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลอง โดยตัวอย่างข้อมูลปริมาณโอโซนของวันที่ 1 มกราคม 2017 ที่ได้จากดาวเทียม OMI/AURA (Ozone Monitoring Instrument) แสดงดังรูปที่ 3.62

OMI total ozone

01-01-2017

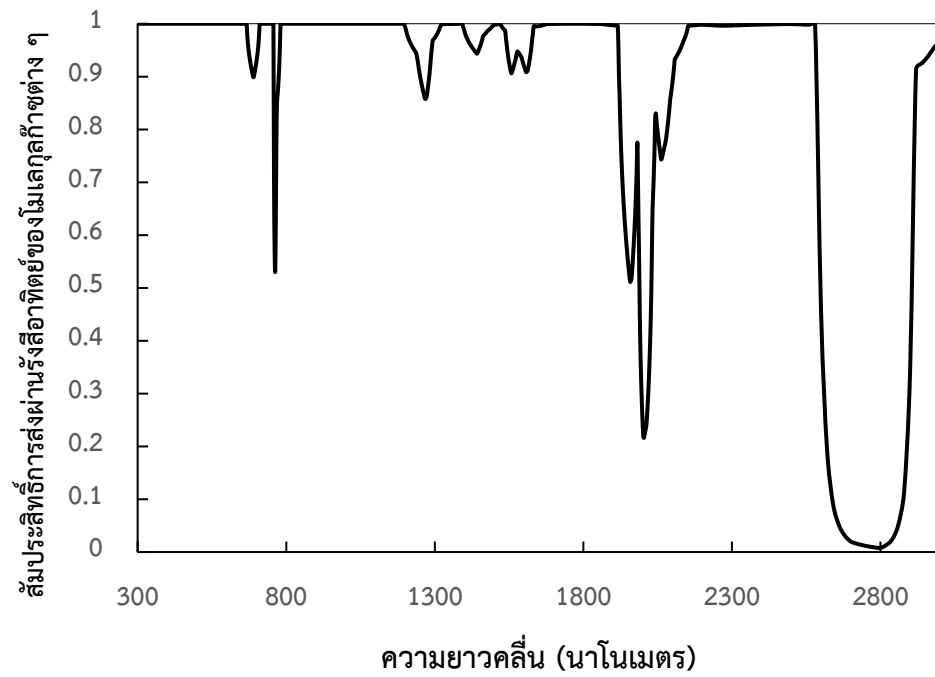
KNMI/NASA



รูปที่ 3.62 ข้อมูลปริมาณโอโซนของวันที่ 1 มกราคม 2017 ที่ได้จากดาวเทียม OMI/AURA (Ozone Monitoring Instrument)

จ. สัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการดูดกลืนของก๊าซต่าง ๆ ($\tau_{g\lambda}$)

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์เนื่องจากการดูดกลืนของก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ โดยโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ ในที่นี้ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และออกซิเจน (O_2) และอาจจะรวมไปถึงก๊าซอื่น ๆ อีกเล็กน้อย ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ 2.8 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของโมเลกุลก๊าซต่าง ๆ ที่แต่ละความยาวคลื่นของวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2016 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.63

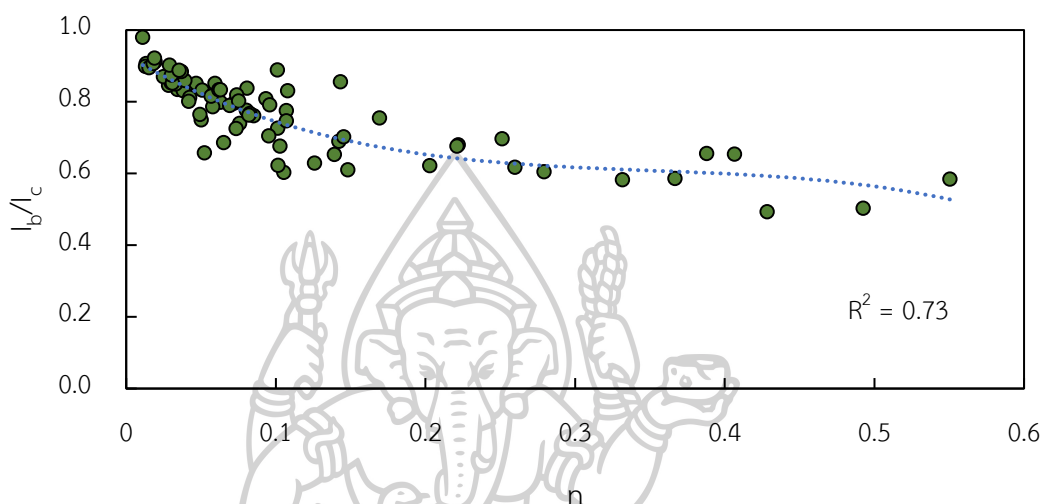


รูปที่ 3.63 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอินฟราเรดของโมเลกุลก๊าซต่าง ๆ ที่แต่ละความยาวคลื่นของวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2016

ผู้วิจัยได้ทำการจัดเตรียมข้อมูลและแบ่งค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านดังกล่าวออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 2016 สำหรับสร้างแบบจำลอง และส่วนที่สองใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 2017 สำหรับทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง

3.2.2 การพัฒนาแบบจำลอง

ในการพัฒนาแบบจำลองจะทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดในสภาพท้องฟ้าทั่วไปกับรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (I_b/I_c) และดัชนีเมฆ (n) ในปี ค.ศ. 2016 ความสัมพันธ์ดังกล่าวของแต่ละสถานีวัดแสดงดังรูปที่ 3.63



รูปที่ 3.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดกับรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและดัชนีเมฆ ของสถานีวัดจังหวัดนครปฐม

ผู้วิจัยได้ทำการ regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดบนพื้นราบ (I_b) กับรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (I_c) และดัชนีเมฆ ซึ่งพิจารณาผลทางสถิติดังตารางที่ 3.3 แสดง

ตารางที่ 3. 3 แสดงผลค่าทางสถิติ t-Stat และ P-value จากการ regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดบนพื้นราบ (I_b) กับรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (I_c) และดัชนีเมฆ

ค่าสัมประสิทธิ์	t-Stat	P-value
6.1207	68.34344	4.78E-43
6.4421	-7.64706	2.39E-09
2.4197	4.2447	0.000126
0.9284	-2.97333	0.004971

และผลที่ได้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังสมการที่ 3.4 ดังนี้

$$C_n = \frac{I_b}{I_c} = (-a_1 n^3 + a_2 n^2 - a_3 n + a_4) \quad (3.4)$$

โดยที่ C_n คือความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดบนพื้นราบ (I_b) กับรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (I_c) และดัชนีเมฆ

a_1, a_2, a_3 และ a_4 คือค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง ซึ่ง $a_1 = 6.1207$, $a_2 = 6.4421$, $a_3 = 2.4197$ และ $a_4 = 0.9284$

ปริมาณรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ สามารถคำนวณได้จากสมการซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก แฟลคเตอร์สำหรับแก้ผลจากการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ โคไซน์ของมุมเซนนิธดวงอาทิตย์ และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านขององค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศ ดังแสดงในสมการที่ 3.5

$$I_c = \int_{0.3 \mu\text{m}}^{3.0 \mu\text{m}} I_{0\lambda} E_0 \cos\theta \tau_{R\lambda} \tau_{a\lambda} \tau_{w\lambda} \tau_{o\lambda} \tau_{g\lambda} d\lambda \quad (3.5)$$

เมื่อ I_c คือรังสีตรงในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ
 $I_{0\lambda}$ คือสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก
 E_0 คือแฟลคเตอร์สำหรับแก้ผลจากการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
 θ คือมุมเซนนิธดวงอาทิตย์

จากสเปกตรัมรังสีรวมบนพื้นราบ ($I_{g\lambda}$) สามารถคำนวณได้จากผลรวมของสเปกตรัมรังสีตรงบนพื้นราบกับสเปกตรัมรังสีกระจาย ($I_{d\lambda}$) (Iqbal, 1983) ดังนั้นจึงได้แบบจำลองที่จะใช้ในการคำนวณสเปกตรัมรังสีรวมบนพื้นราบดังนี้

$$I_{g\lambda} = I_{b\lambda} \cdot C_n + I_{d\lambda} \quad (3.6)$$

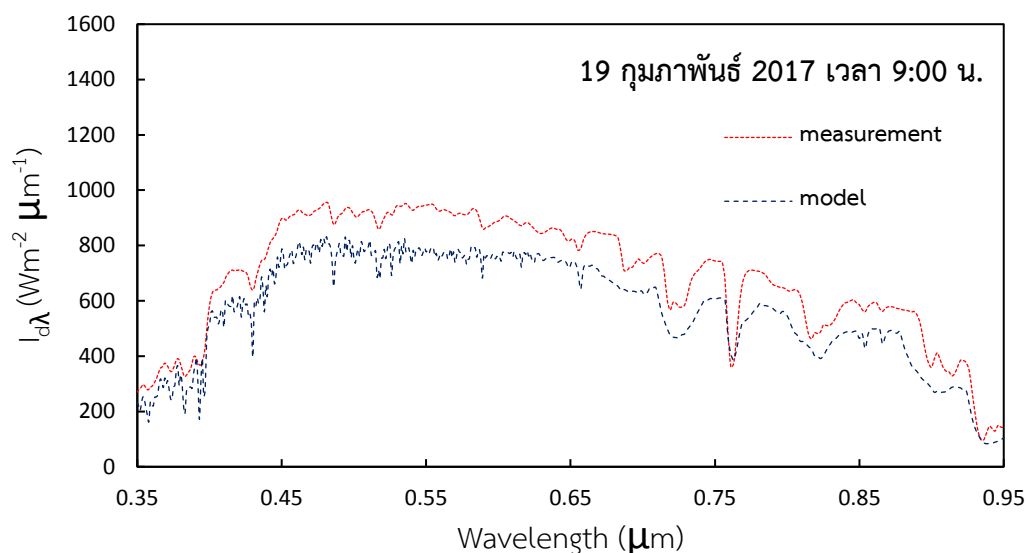
โดยที่ ($I_{b\lambda}$) คือสเปกตรัมรังสีตรงบนพื้นราบที่ได้จากแบบจำลอง

($I_{d\lambda}$) คือสเปกตรัมรังสีกระจายที่ได้จากแบบจำลอง

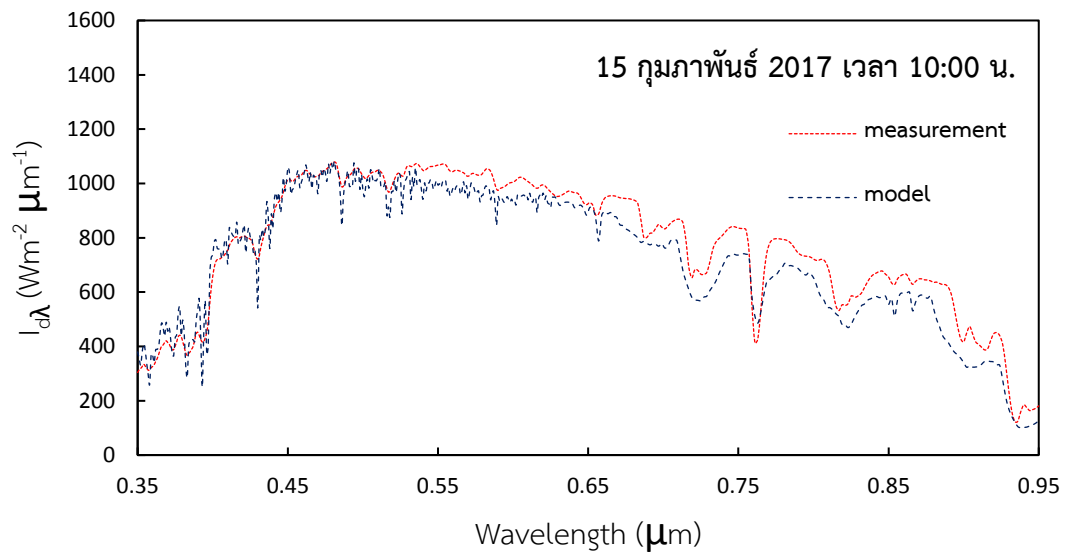
3.2.3 การทดสอบแบบจำลอง

ในการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากเครื่องมือวัดภาคพื้นดินซึ่งวัดในปี ค.ศ. 2017 และคำนวณหาความแตกต่างทางสถิติในรูปของ root mean square difference (RMSD) และ mean bias difference (MBD)

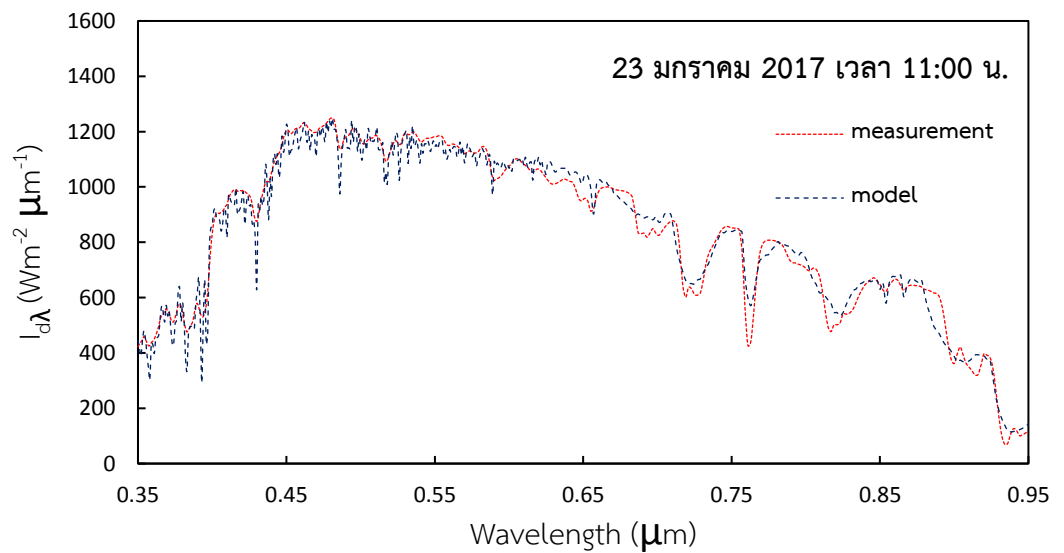
จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของสเปกตรัมรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองกับค่าสเปกตรัมเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาระหว่าง 9.00 น. ถึง 15.00 น. ที่แสดงไว้ดังรูปที่ 3.65 – 3.71 พบว่าค่าความแตกต่างทางสถิติในรูป RMSD และ MBD มีค่า 12.7% และ -8.7% ตามลำดับ (ดังรูปที่ 3.72) ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้อาจจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ของค่าดัชนีเมฆจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้คำนวณในแบบจำลอง อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ถือเป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนและสะดวกต่อการใช้งาน ตัวอย่างของค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น แสดงดังรูปที่ 3.73



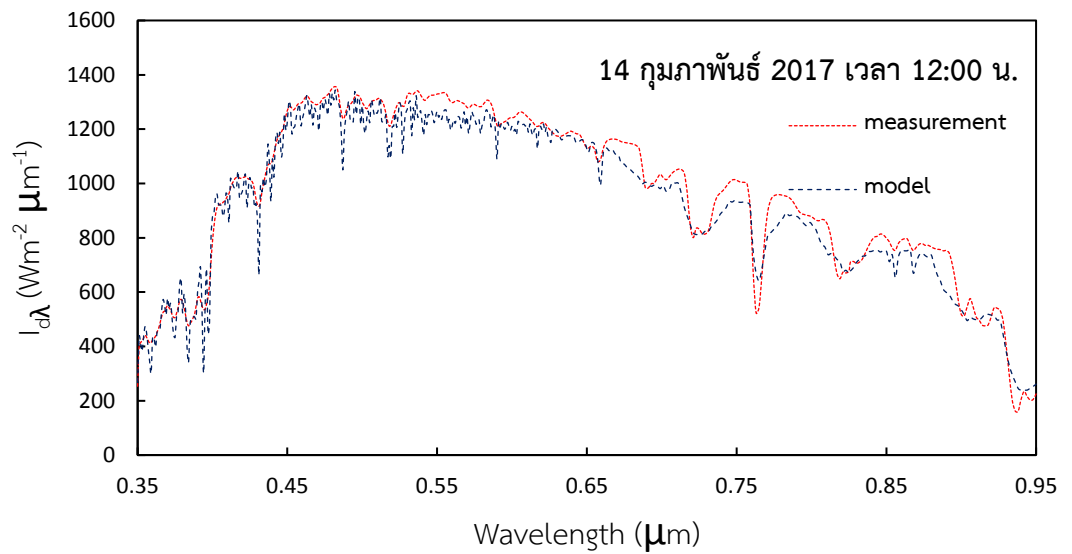
รูปที่ 3.65 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 9:00 น. ของ วันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2017



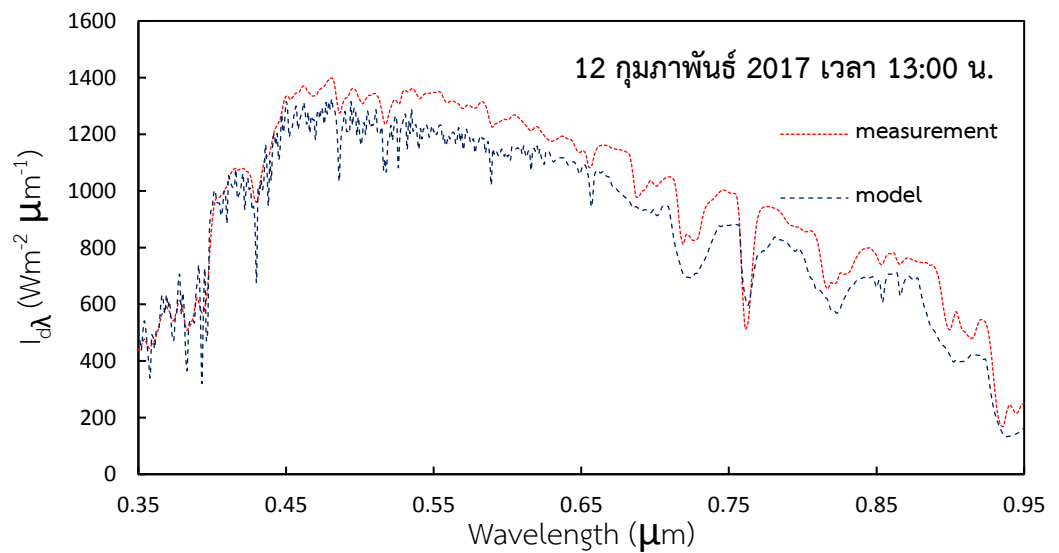
รูปที่ 3. 66 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 10:00 น. ของ วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2017



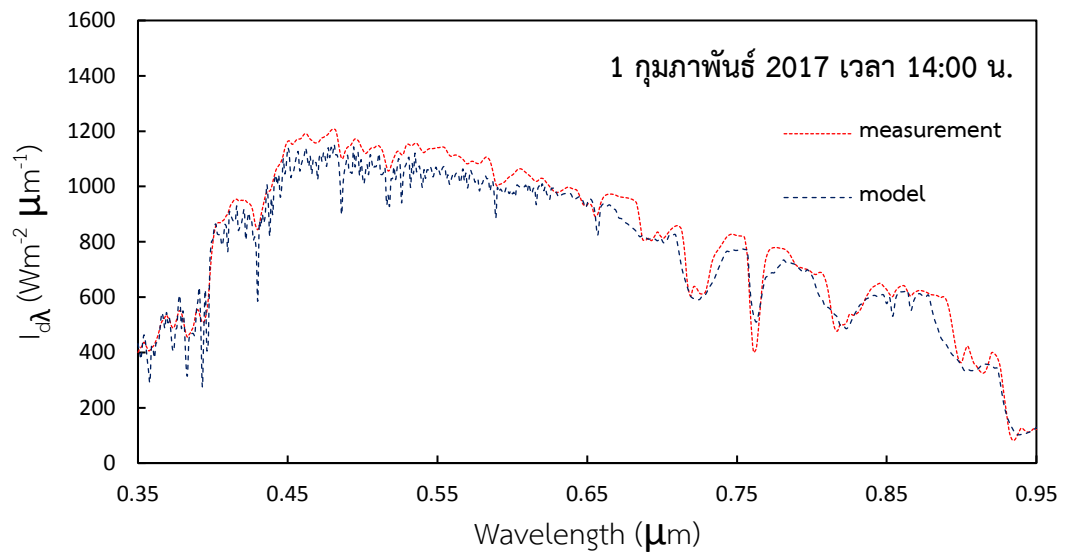
รูปที่ 3. 67 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 11:00 น. ของ วันที่ 23 มกราคม 2017



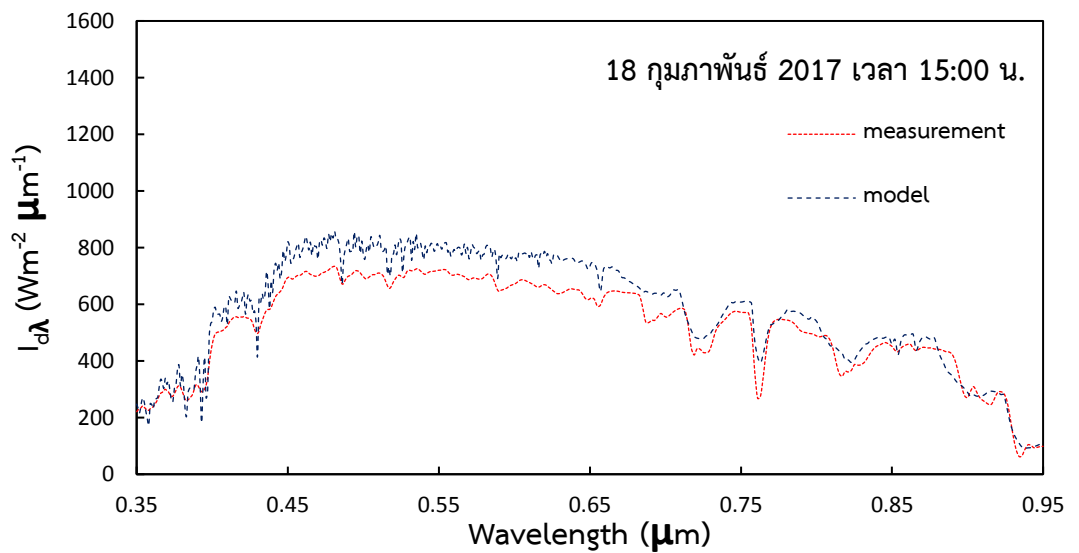
รูปที่ 3. 68 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 12:00 น. ของ วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2017



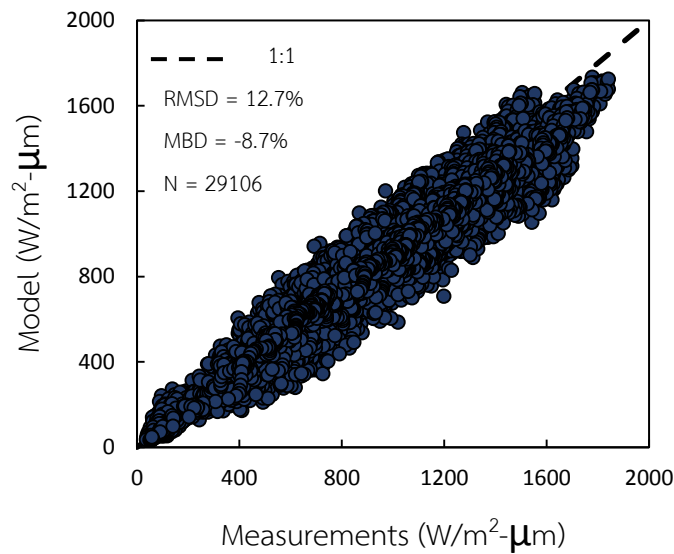
รูปที่ 3. 69 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 13:00 น. ของ วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2017



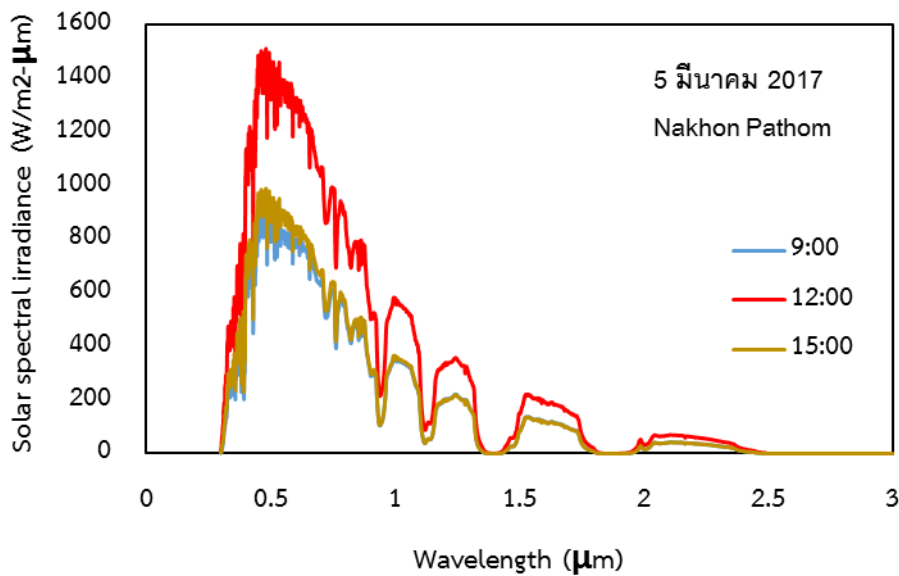
รูปที่ 3. 70 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 14:00 น. ของ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2017



รูปที่ 3. 71 แสดงการเปรียบเทียบค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน เวลา 15:00 น. ของ วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2017



รูปที่ 3.72 ผลการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองกับการวัดโดยเครื่องมือภาคพื้นดิน



รูปที่ 3.73 สเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

3.3 การศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของจังหวัดนครปฐม

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปของจังหวัดนครปฐม โดยได้แบ่งพิจารณาศึกษาตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าโดยการแบ่งท้องฟ้าเป็น 10 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

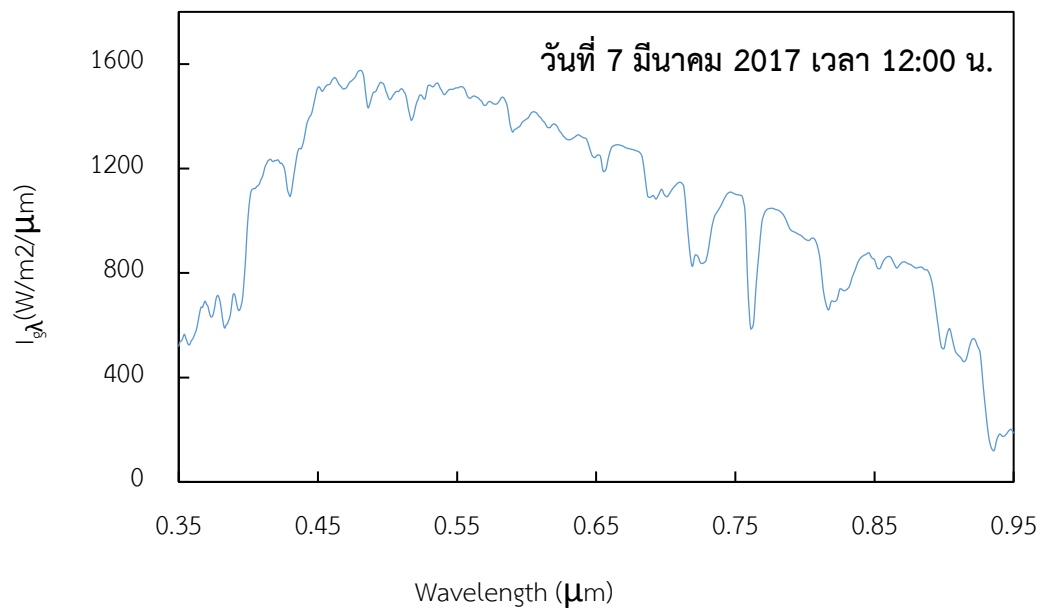
3.3.1 การเตรียมข้อมูลเพื่อศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของจังหวัดนครปฐม

3.3.1.1 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่อง spectroradiometer รุ่น MS -710 ของบริษัท EKO ที่ติดตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N , 100.04°E) ดังรูปที่ 3.74 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวัดจะเป็นข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมรายชั่วโมงในช่วงความยาวคลื่น 350-950 นาโนเมตร ในปี ค.ศ. 2017-2018 มาใช้ในการศึกษาโดยตัวอย่างสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการวัดแสดงดังรูปที่ 3.75



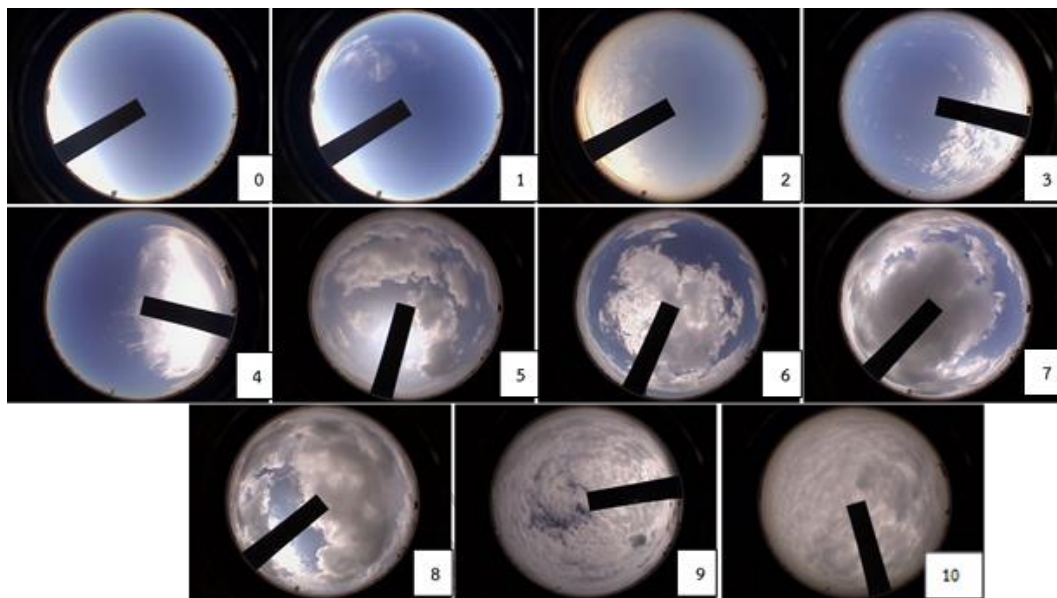
รูปที่ 3. 74 เครื่อง spectroradiometer รุ่น MS -710 ของบริษัท EKO ที่ติดตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 3. 75 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมจากอาทิตย์ที่ได้จากการวัดโดยเครื่อง spectroradiometer ในช่วงความยาวคลื่น 350- 950 นาโนเมตร ของวันที่ 7 มีนาคม 2017 เวลา 12:00 น.

3.3.1.2 ข้อมูลสภาพท้องฟ้า

ผู้วิจัยได้ทำการแยกข้อมูลสภาพท้องฟ้าที่พิจารณาตามปริมาณเมฆที่ปกคลุม โดยแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วน จากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าที่บันทึกได้จากกล้องถ่ายภาพท้องฟ้าอัตโนมัติ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) โดยตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมโดยการแบ่งท้องฟ้าเป็น 10 ส่วน แสดงดังรูปที่ 3.76

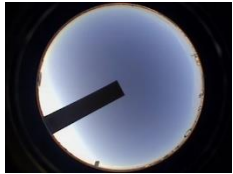
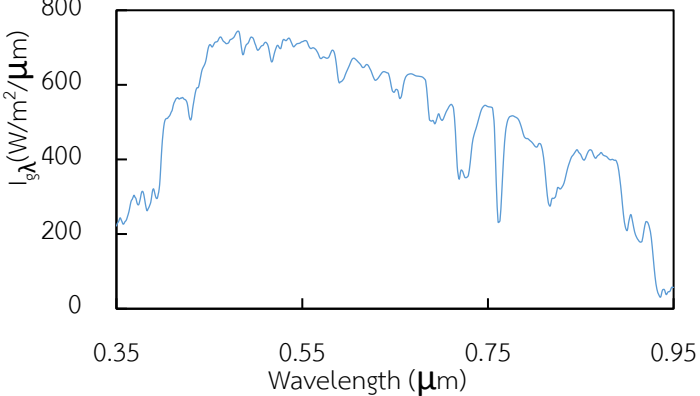

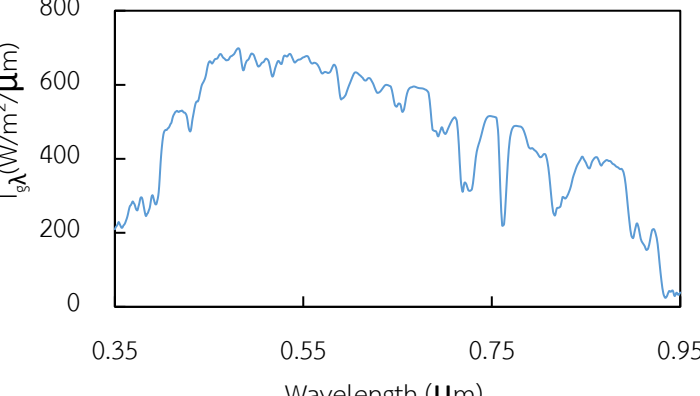
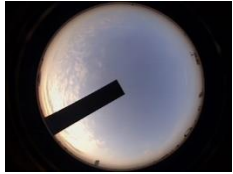
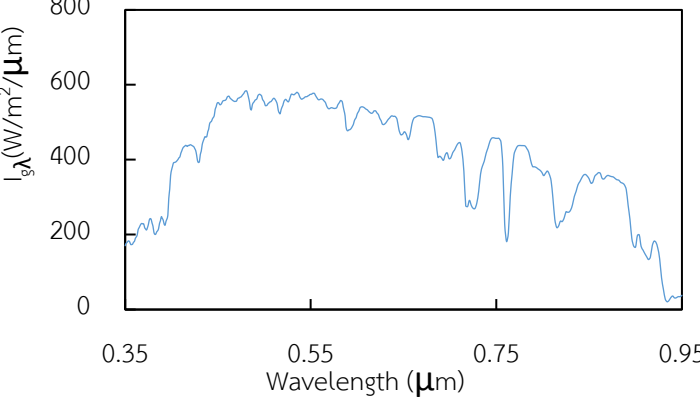


รูปที่ 3. 76 ภาพถ่ายท้องฟ้าที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมโดยการแบ่งท้องฟ้าเป็น 10 ส่วน

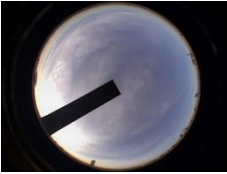
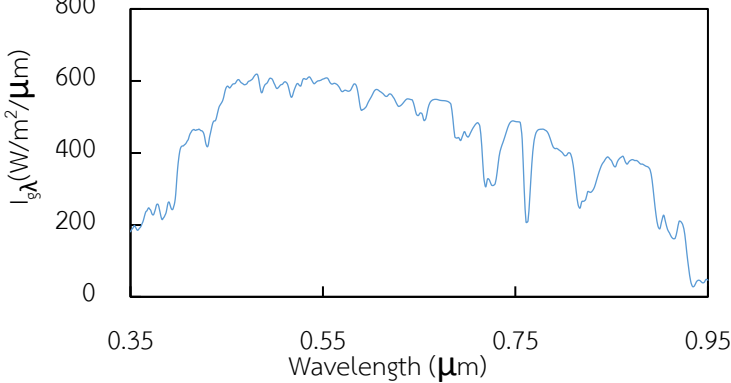

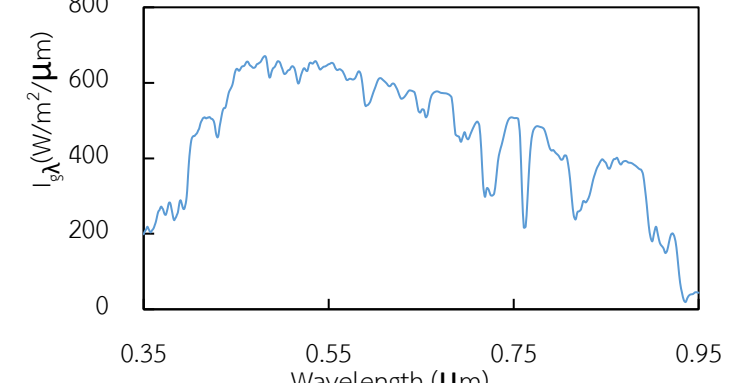

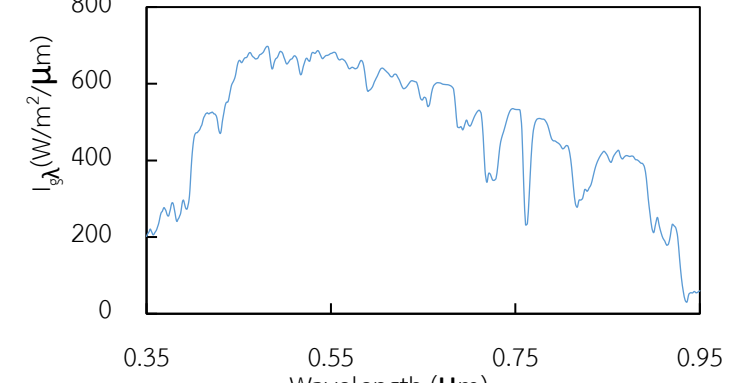
3.3.2 ศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ตามสภาพท้องฟ้าของจังหวัดนครปฐม

การศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในจังหวัดนครปฐม ผู้วิจัยได้ทำการแยกข้อมูลสเปกตรัมตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วน เพื่อดูการลักษณะเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมเมื่อมีสภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกัน โดยตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมที่ถูกแยกตามสภาพท้องฟ้าจะแสดงไว้ในตารางที่ 3.4-3.12 ซึ่งเป็นการแยกสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ตามสภาพท้องฟ้าที่แต่ละเวลา ตั้งแต่ 8:00 – 16:00 น. ของเดือนมกราคม จากนั้นผู้วิจัยทำการแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่ทำการแยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าของแต่ละเดือนโดยระบุในรูปของเปอร์เซ็นต์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมในแต่ละฤดูกาล โดยแผนภูมิแท่งแสดงการแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่ทำการศึกษาแสดงดังรูปที่ 3.75-3.86

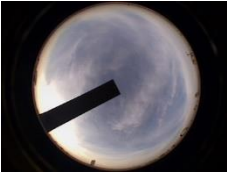
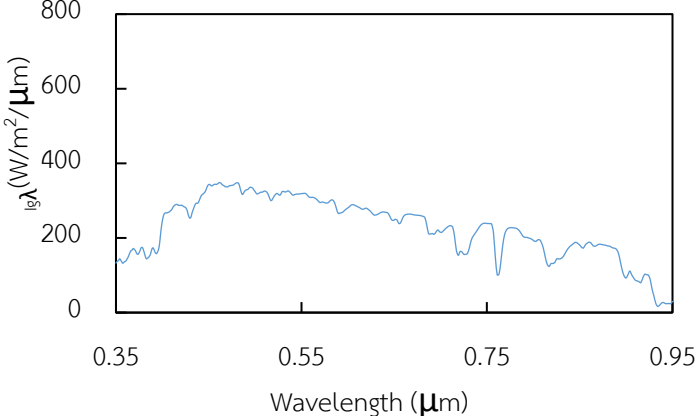
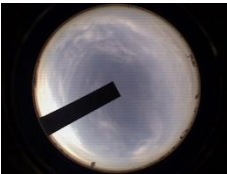
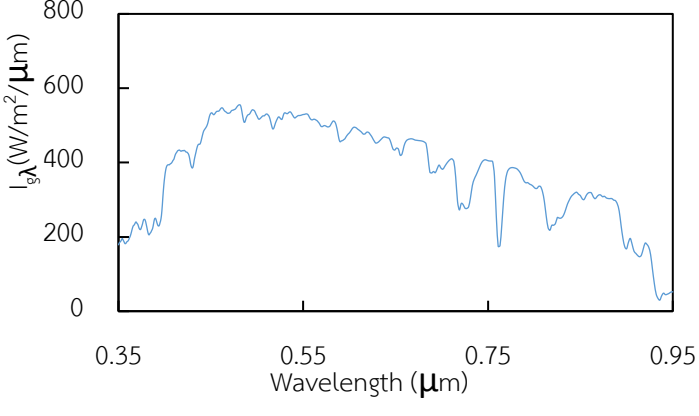
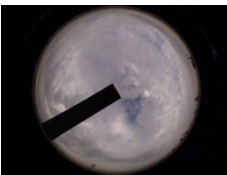
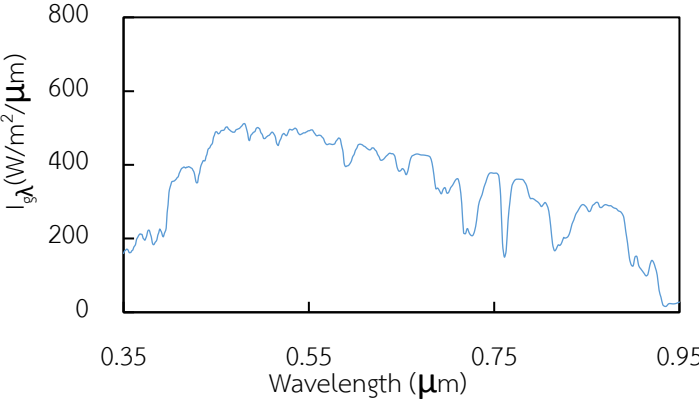
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 8:00 น. ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 22 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p> 	18.52
 <p>1</p>	<p>วันที่ 19 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p> 	33.33
 <p>2</p>	<p>วันที่ 5 มกราคม 2018 เวลา 8:00 น.</p> 	1.85

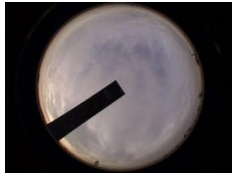
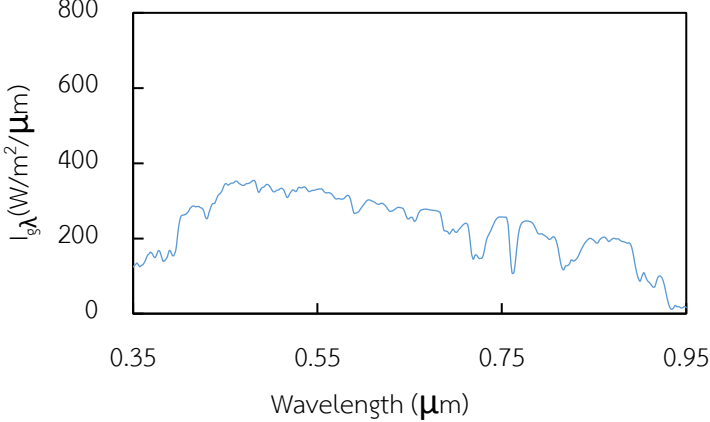
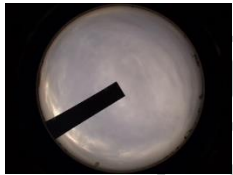
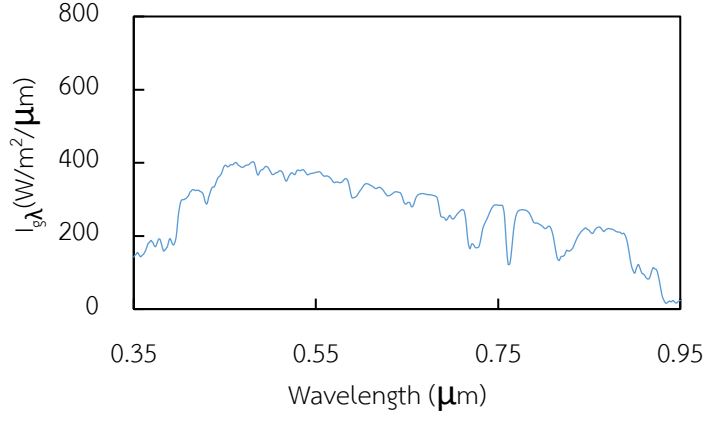
ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">3</p>	<p data-bbox="783 517 1230 555">วันที่ 15 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p> 	1.85
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">4</p>	<p data-bbox="783 1037 1230 1075">วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p> 	3.70
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">5</p>	<p data-bbox="783 1556 1230 1594">วันที่ 25 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p> 	1.85

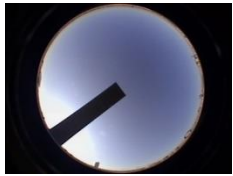
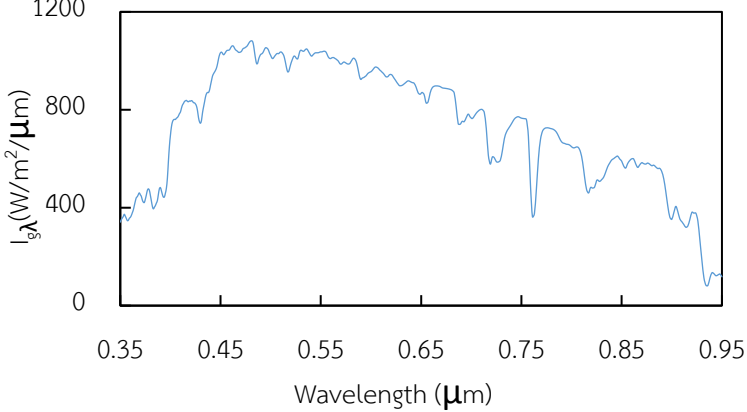

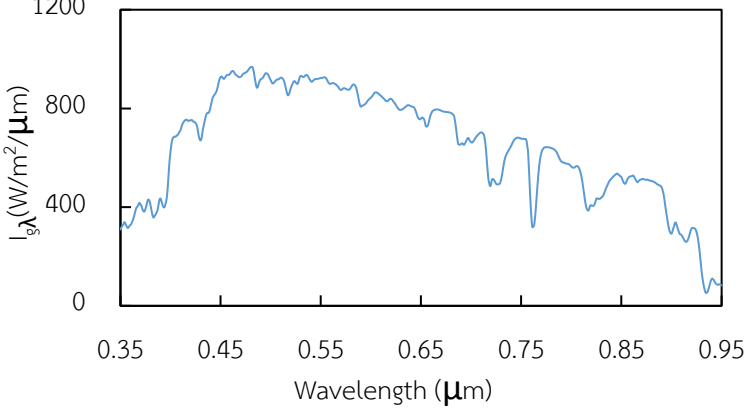

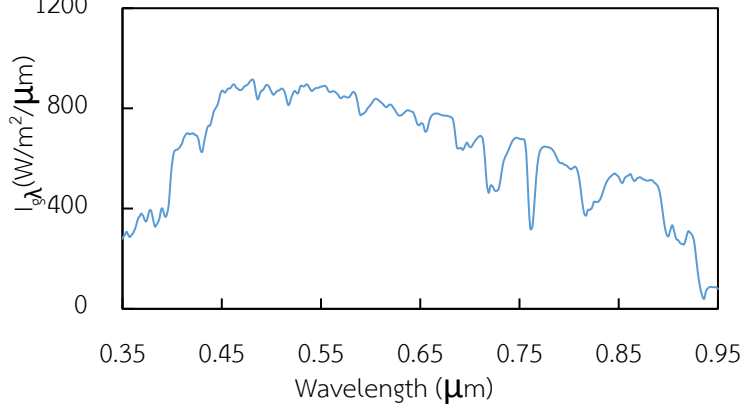
ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>6</p>	<p>วันที่ 21 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p>  <p>Wavelength (μm)</p>	3.70
 <p>7</p>	<p>วันที่ 14 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p>  <p>Wavelength (μm)</p>	3.70
 <p>8</p>	<p>วันที่ 7 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p>  <p>Wavelength (μm)</p>	1.85

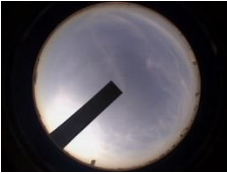
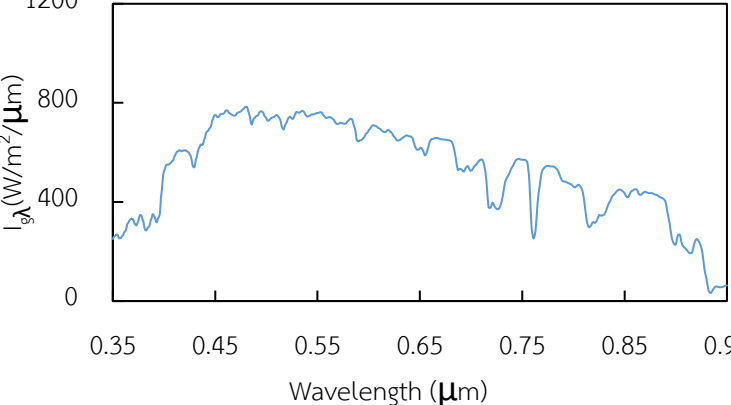

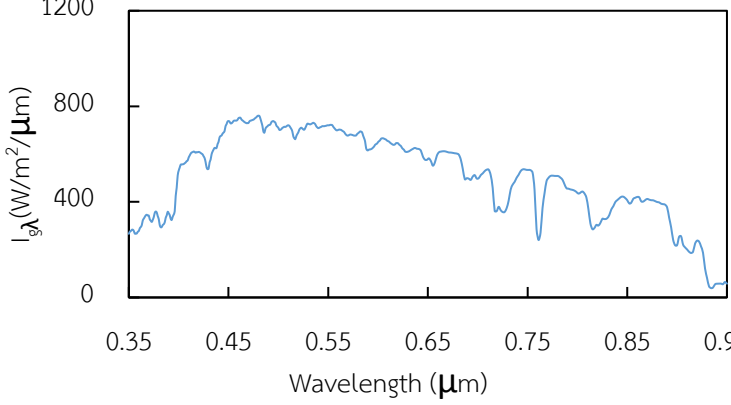

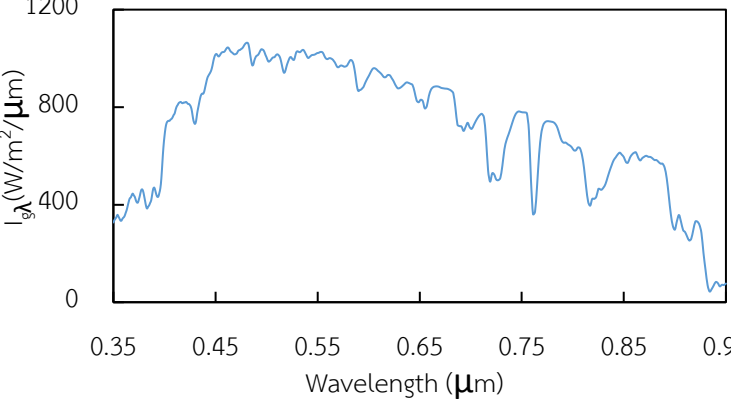
ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>9</p>	<p>วันที่ 5 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p>  <p>The graph shows irradiance I_{λ} (W/m²/μm) on the y-axis (0 to 800) versus Wavelength (μm) on the x-axis (0.35 to 0.95). The curve shows a broad peak around 0.5 μm and several absorption lines, notably around 0.7 μm and 0.8 μm.</p>	12.96
 <p>10</p>	<p>วันที่ 6 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p>  <p>The graph shows irradiance I_{λ} (W/m²/μm) on the y-axis (0 to 800) versus Wavelength (μm) on the x-axis (0.35 to 0.95). The curve shows a broad peak around 0.5 μm and several absorption lines, notably around 0.7 μm and 0.8 μm.</p>	16.67

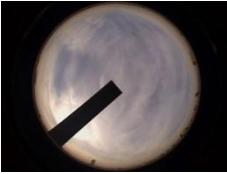
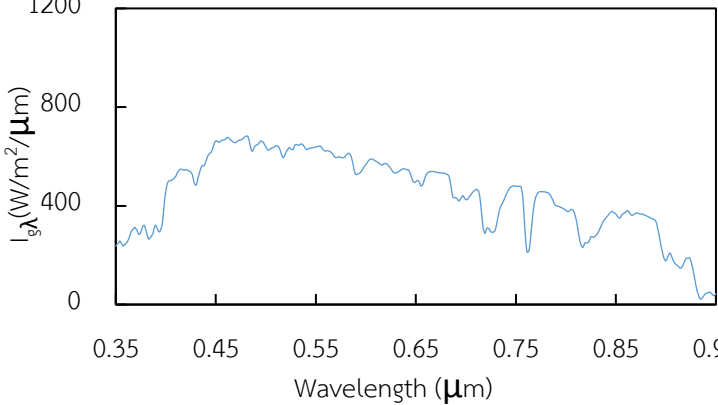
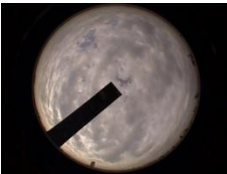
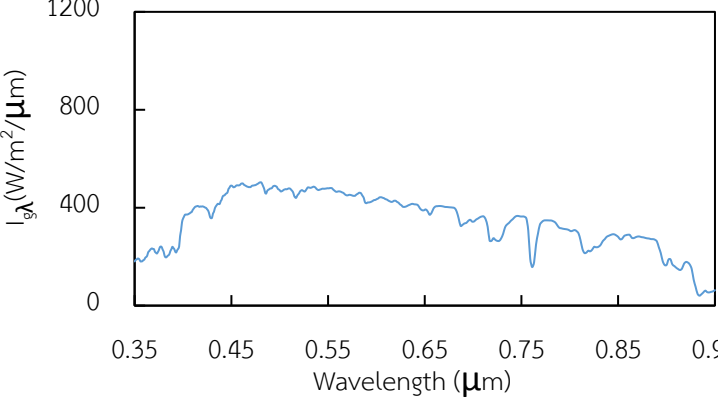
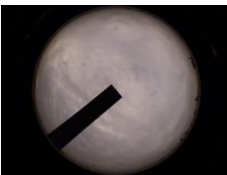
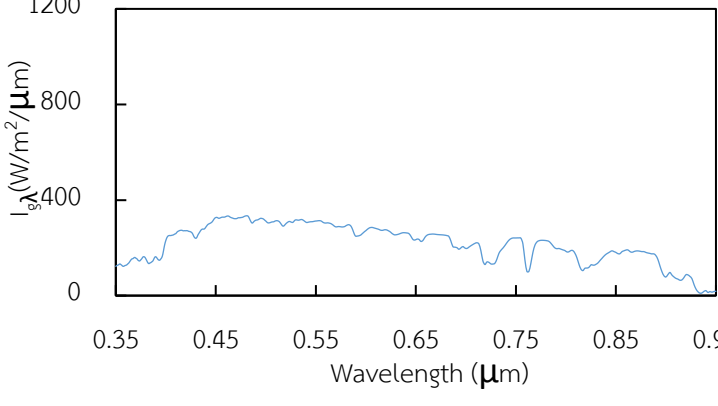
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 9:00 น. ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 27 มกราคม 2017 เวลา 9:00 น.</p> 	16.67
 <p>1</p>	<p>วันที่ 20 มกราคม 2017 เวลา 9:00 น.</p> 	27.78
 <p>2</p>	<p>วันที่ 15 มกราคม 2017 เวลา 9:00 น.</p> 	7.40

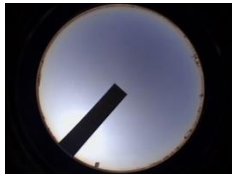
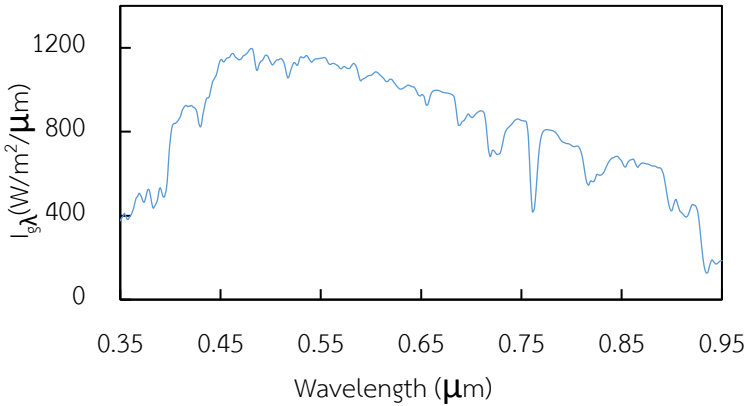

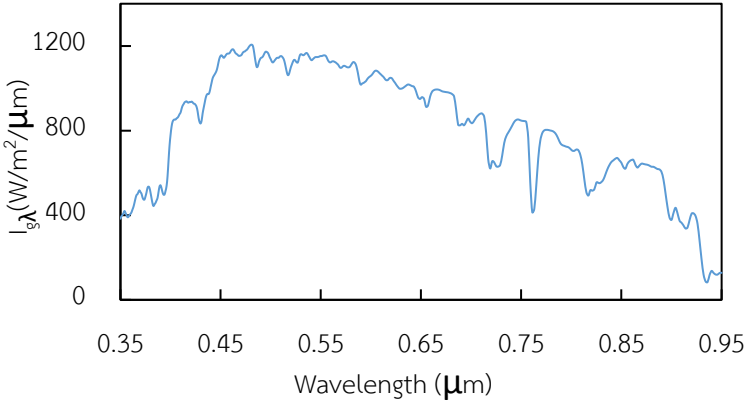

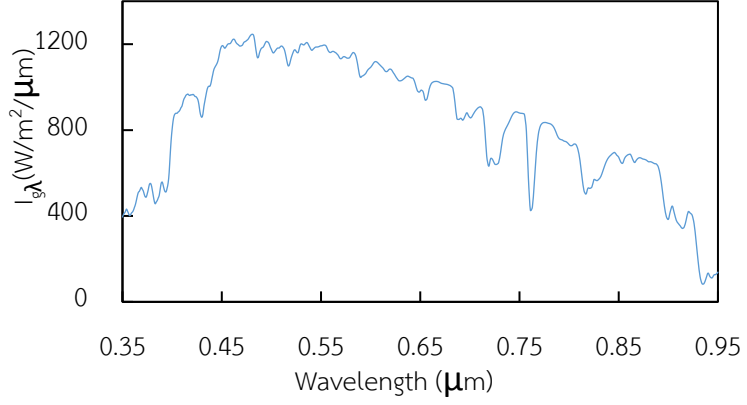
ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">3</p>	<p data-bbox="790 510 1225 555">วันที่ 5 มกราคม 2018 เวลา 9:00 น.</p> 	5.56
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">4</p>	<p data-bbox="790 1030 1225 1075">วันที่ 31 มกราคม 2018 เวลา 9:00 น.</p> 	7.40
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">7</p>	<p data-bbox="790 1550 1225 1594">วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 9:00 น.</p> 	3.70


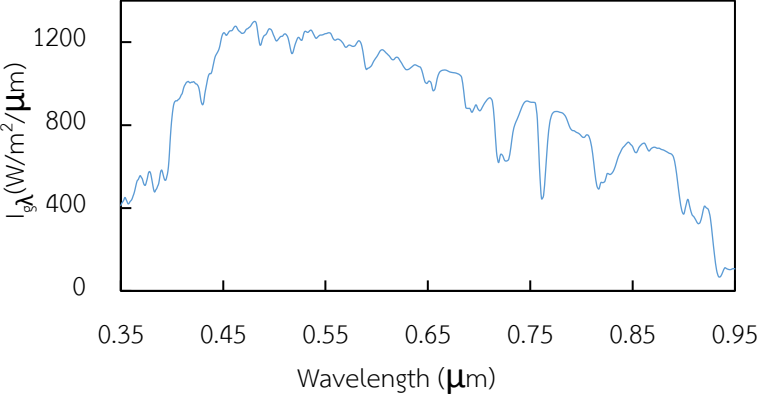

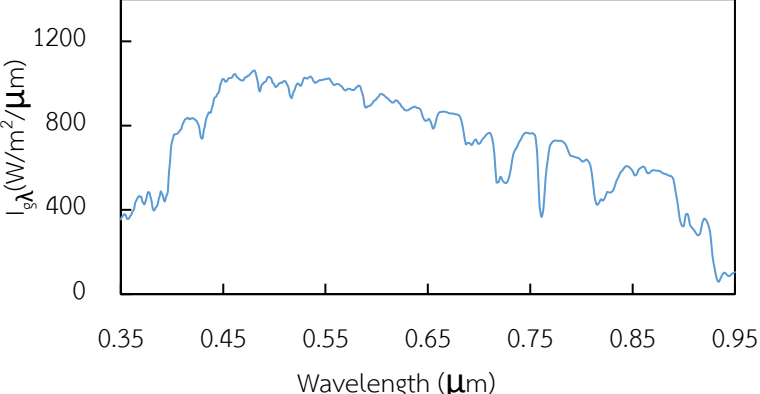

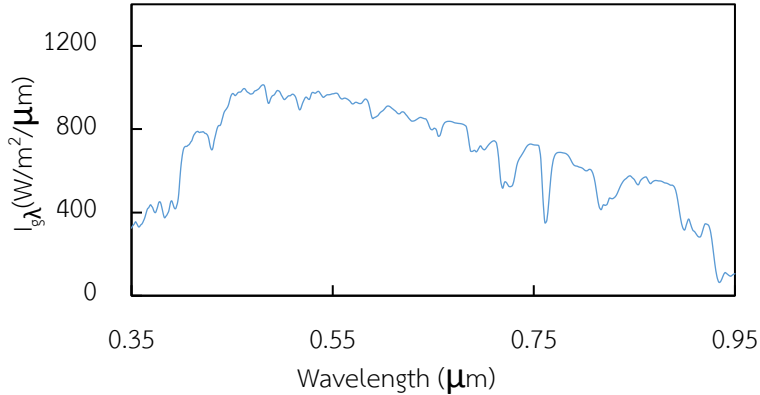
ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>8</p>	<p>วันที่ 5 มกราคม 2017 เวลา 9:00 น.</p> 	7.40
 <p>9</p>	<p>วันที่ 13 มกราคม 2018 เวลา 9:00 น.</p> 	3.70
 <p>10</p>	<p>วันที่ 6 มกราคม 2017 เวลา 9:00 น.</p> 	20.37


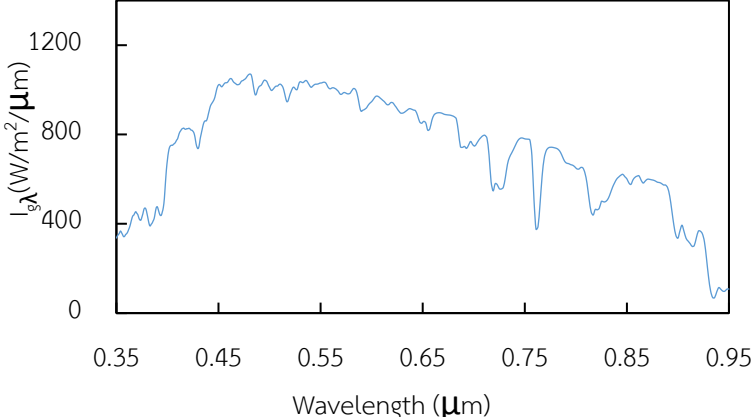
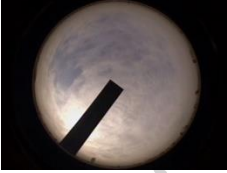
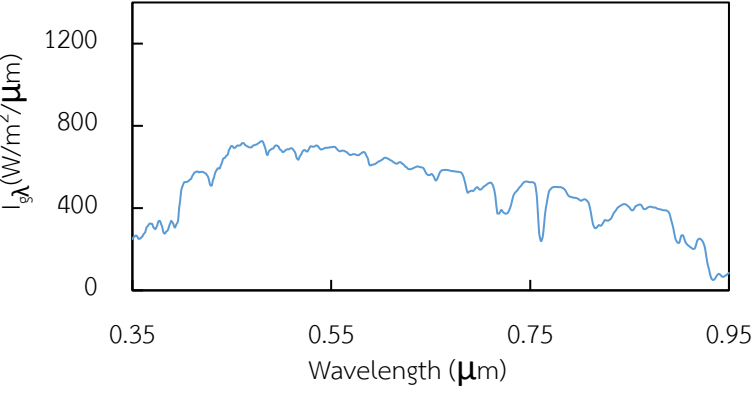
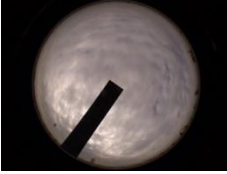
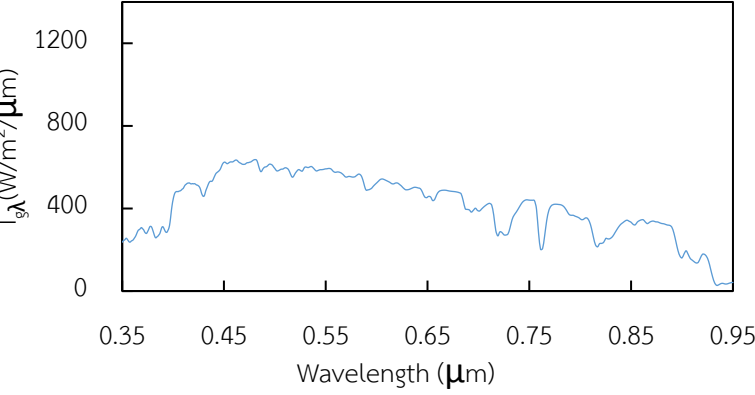
ตารางที่ 3.6 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 10:00 น. ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 28 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p> 	18.52
 <p>1</p>	<p>วันที่ 20 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p> 	24.07
 <p>2</p>	<p>วันที่ 21 มกราคม 2018 เวลา 10:00 น.</p> 	12.96

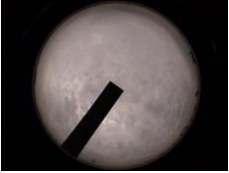
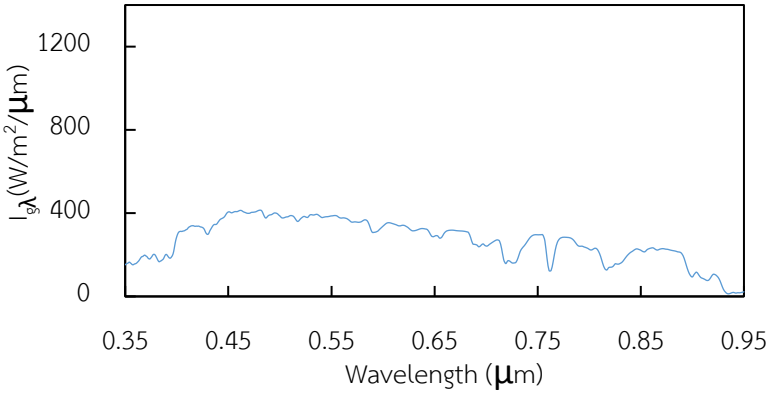
ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">3</p>	<p data-bbox="791 517 1257 555">วันที่ 19 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p> 	1.85
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">4</p>	<p data-bbox="791 1037 1257 1075">วันที่ 31 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p> 	3.70
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">5</p>	<p data-bbox="791 1556 1257 1594">วันที่ 16 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p> 	3.70

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

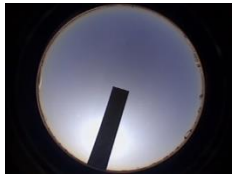
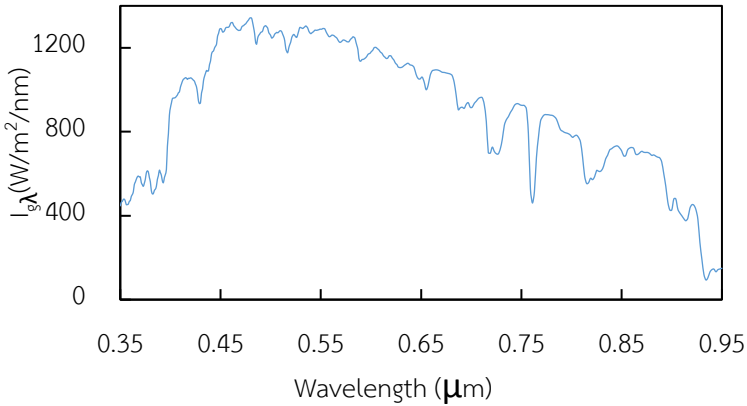

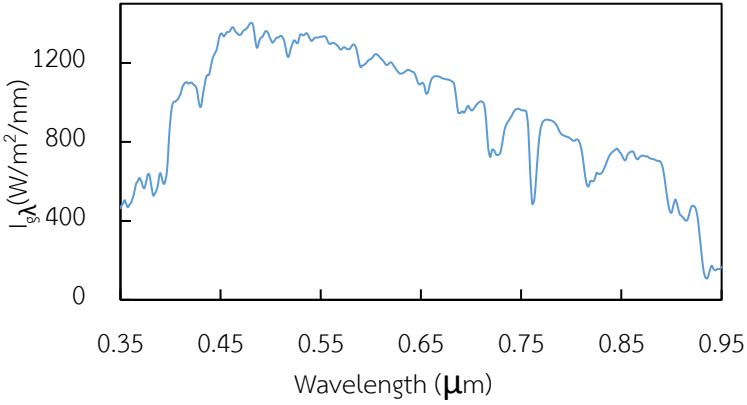

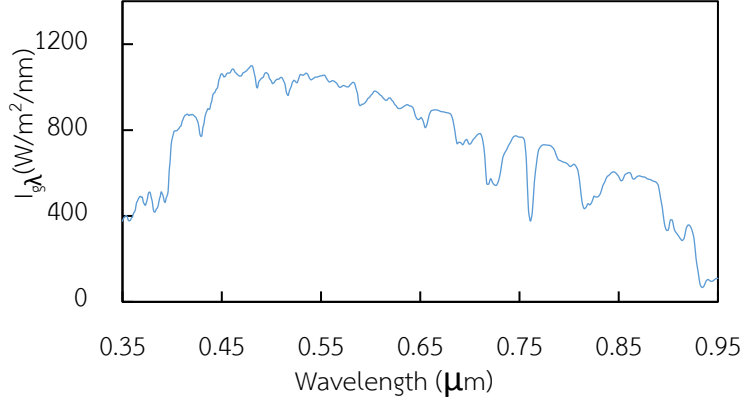
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 808 427 831">6</p>	<p data-bbox="794 501 1257 539">วันที่ 15 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p> 	5.56
 <p data-bbox="411 1337 427 1359">7</p>	<p data-bbox="794 1048 1257 1086">วันที่ 12 มกราคม 2018 เวลา 10:00 น.</p> 	1.85
 <p data-bbox="411 1859 427 1881">9</p>	<p data-bbox="794 1570 1257 1608">วันที่ 4 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p> 	9.26

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

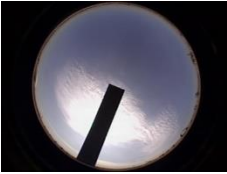
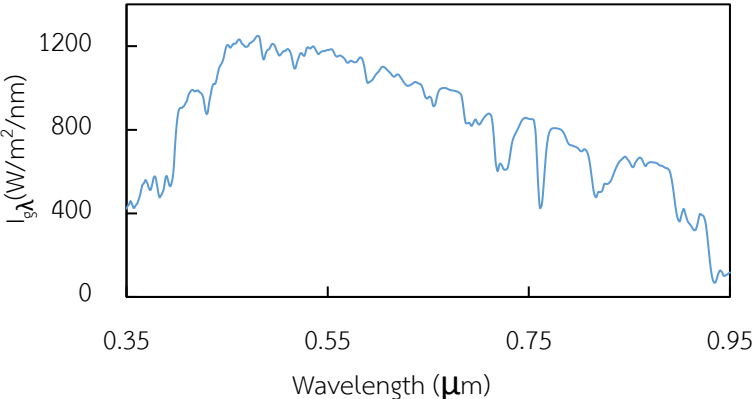

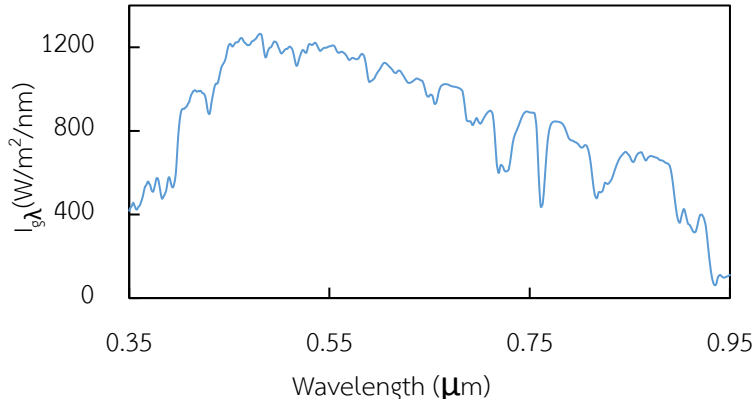

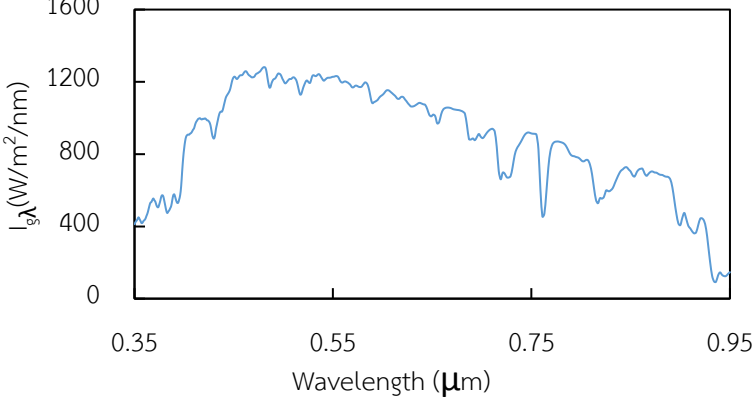
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>10</p>	<p>วันที่ 6 มกราคม 2017 เวลา 10:00 น.</p>  <p style="text-align: center;">Wavelength (μm)</p>	18.52



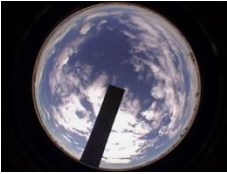
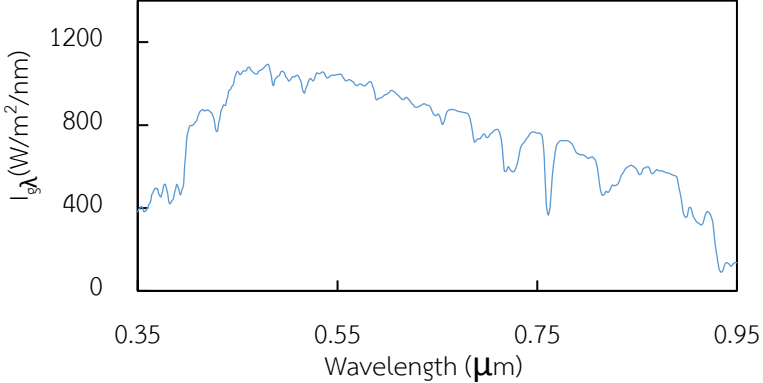
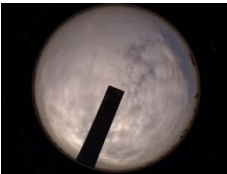
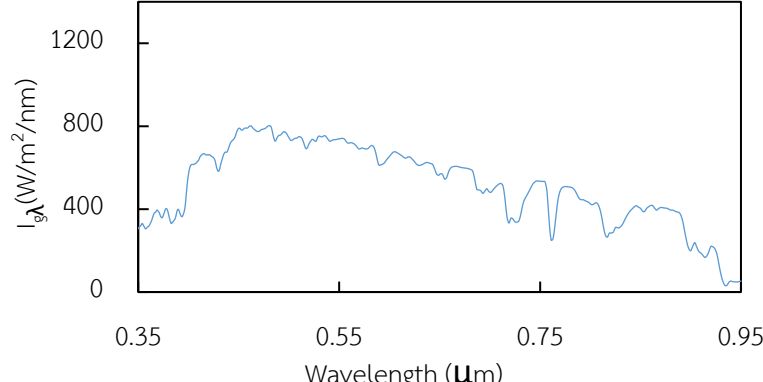
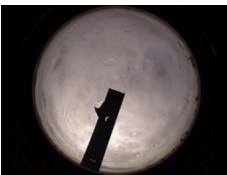
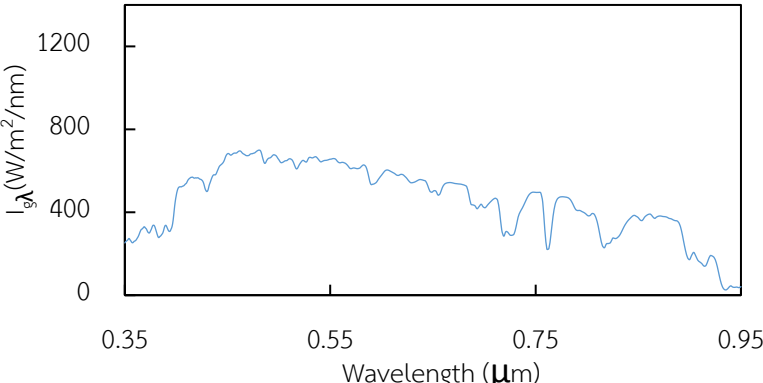
ตารางที่ 3.7 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 11:00 น. ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 1 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	12.73
 <p>1</p>	<p>วันที่ 14 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	27.27
 <p>2</p>	<p>วันที่ 5 มกราคม 2018 เวลา 11:00 น.</p> 	5.45

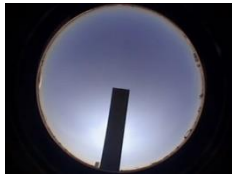
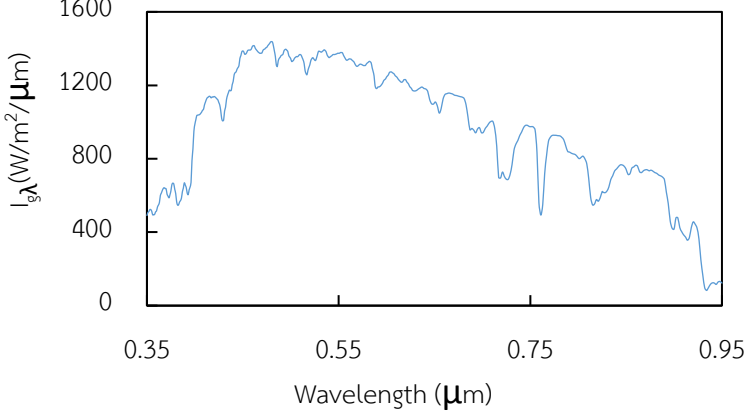

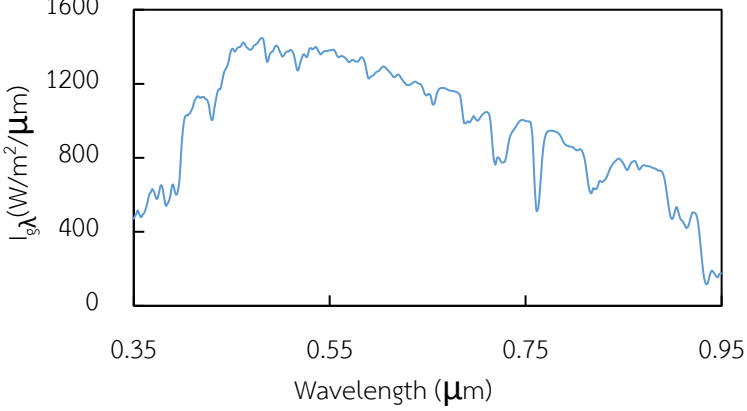

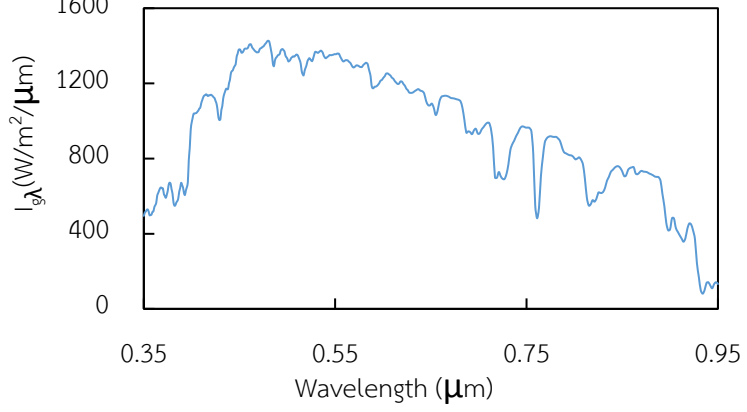
ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">3</p>	<p data-bbox="791 510 1257 555">วันที่ 23 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	7.27
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">4</p>	<p data-bbox="791 1030 1257 1075">วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	5.45
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">5</p>	<p data-bbox="791 1550 1257 1594">วันที่ 15 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	5.45

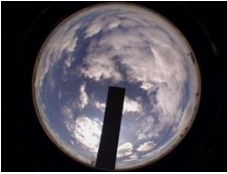
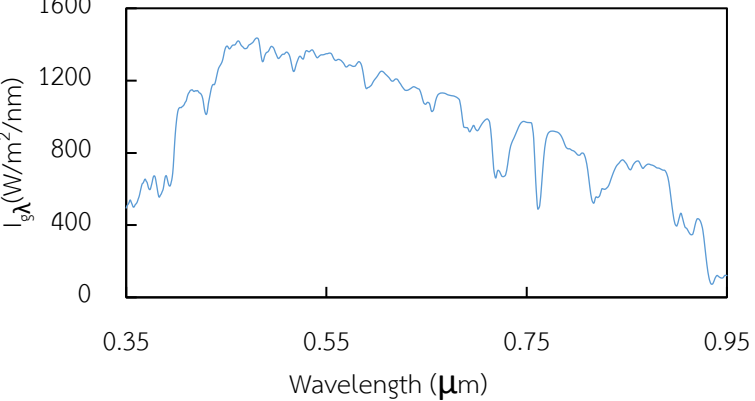

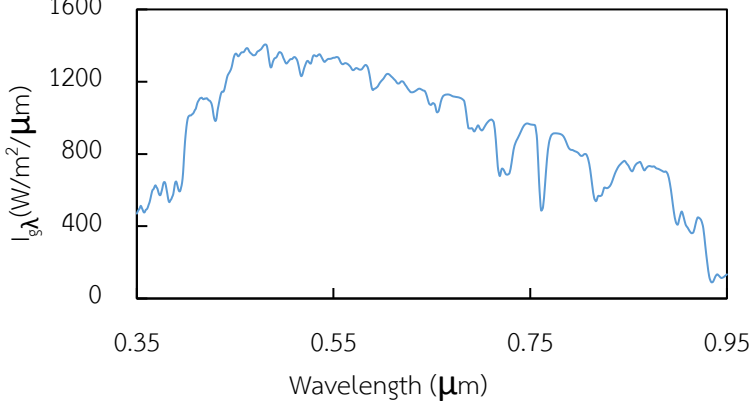

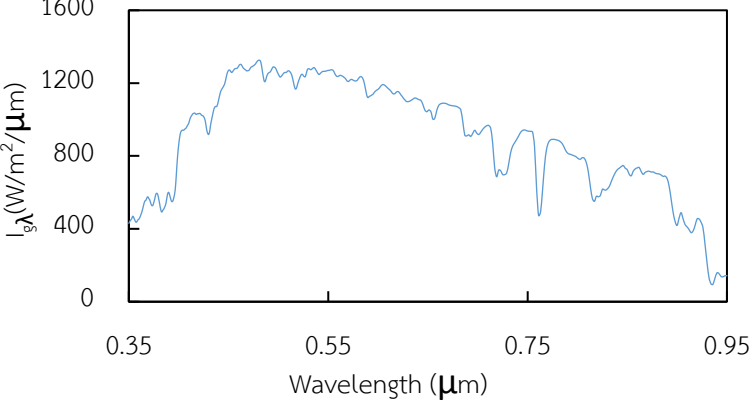
ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">8</p>	<p data-bbox="794 517 1257 555">วันที่ 12 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	5.45
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">9</p>	<p data-bbox="794 1037 1257 1075">วันที่ 4 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	12.72
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">10</p>	<p data-bbox="794 1556 1257 1594">วันที่ 11 มกราคม 2017 เวลา 11:00 น.</p> 	18.18

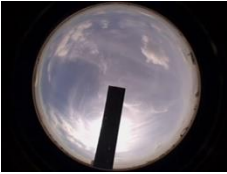
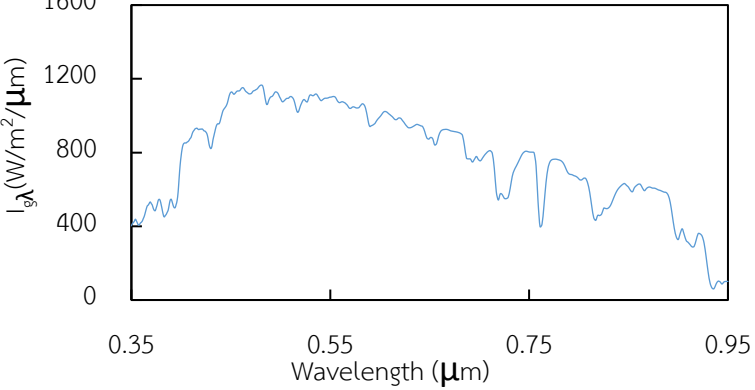

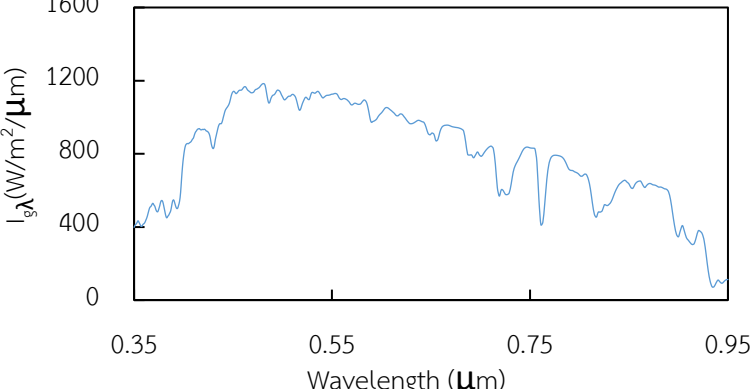

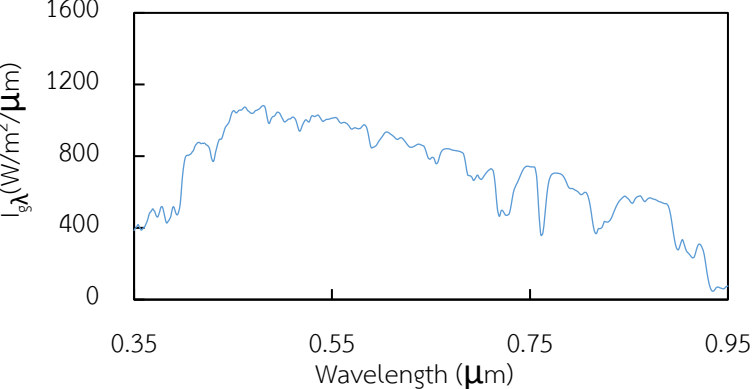
ตารางที่ 3.8 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 12:00 น. ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p style="text-align: center;">0</p>	<p style="text-align: center;">วันที่ 9 มกราคม 2018 เวลา 12:00 น.</p> 	7.15
 <p style="text-align: center;">1</p>	<p style="text-align: center;">วันที่ 20 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	32.14
 <p style="text-align: center;">2</p>	<p style="text-align: center;">วันที่ 8 มกราคม 2018 เวลา 12:00 น.</p> 	8.93

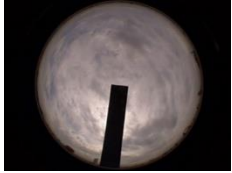
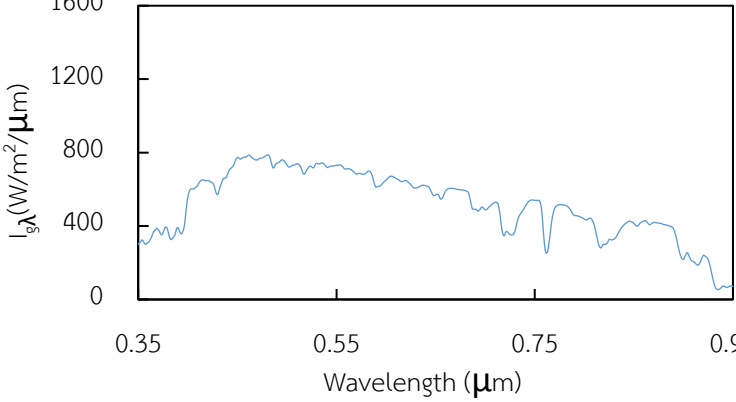
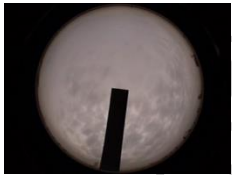
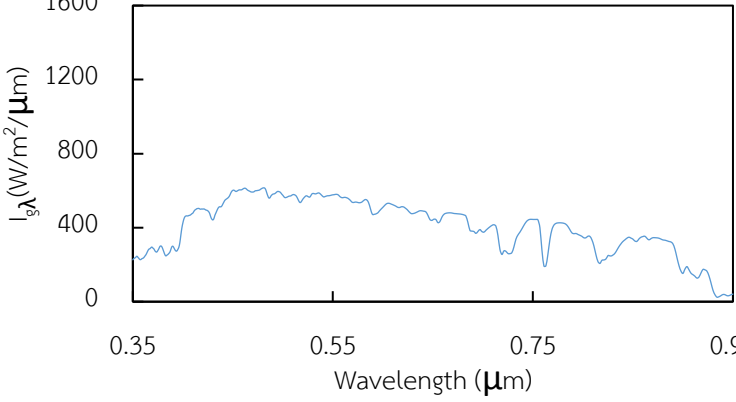
ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">3</p>	<p data-bbox="788 517 1257 555">วันที่ 12 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	5.36
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">4</p>	<p data-bbox="788 1037 1257 1075">วันที่ 19 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	3.57
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">5</p>	<p data-bbox="788 1556 1257 1594">วันที่ 15 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	1.79


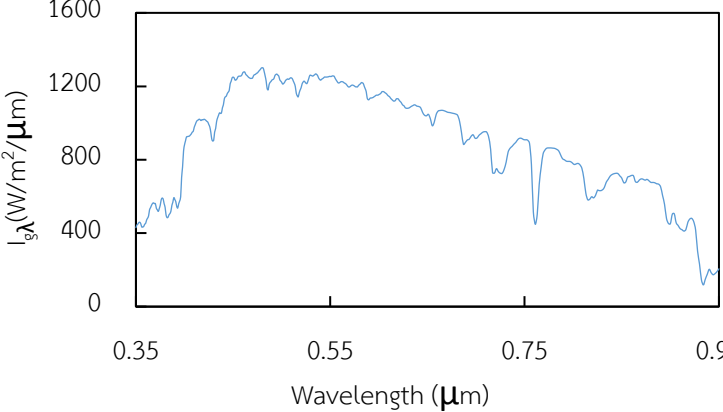
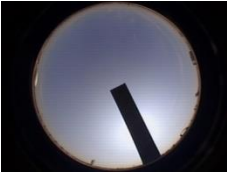
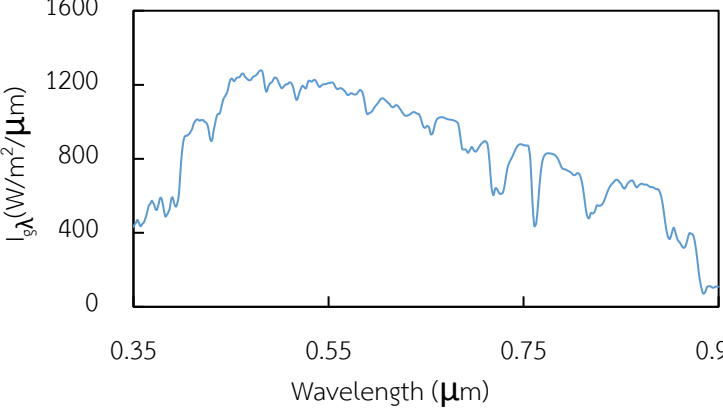

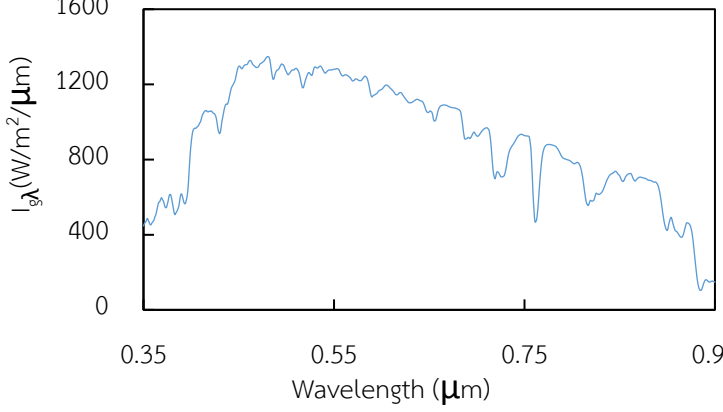
ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">6</p>	<p data-bbox="788 510 1257 555">วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	1.79
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">7</p>	<p data-bbox="788 1030 1257 1075">วันที่ 21 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	8.93
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">8</p>	<p data-bbox="788 1550 1257 1594">วันที่ 11 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	3.57


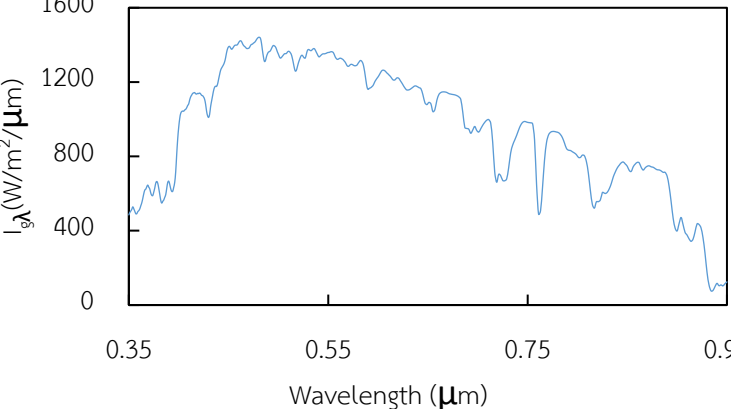

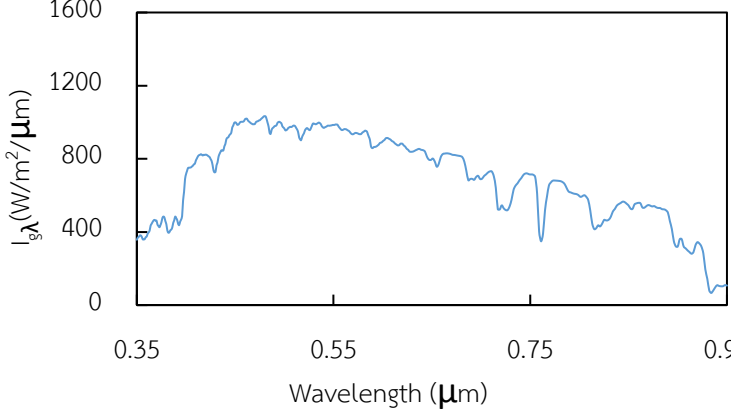

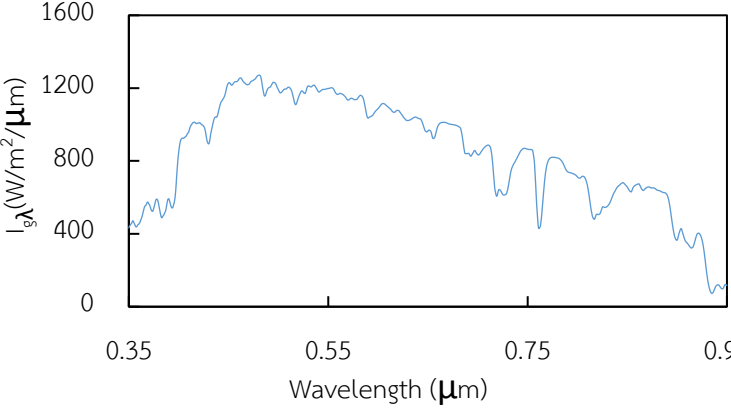
ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 831">9</p>	<p data-bbox="794 510 1241 555">วันที่ 3 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	8.92
 <p data-bbox="403 1321 427 1350">10</p>	<p data-bbox="794 1030 1241 1075">วันที่ 5 มกราคม 2017 เวลา 12:00 น.</p> 	17.86

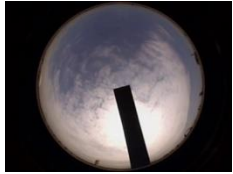
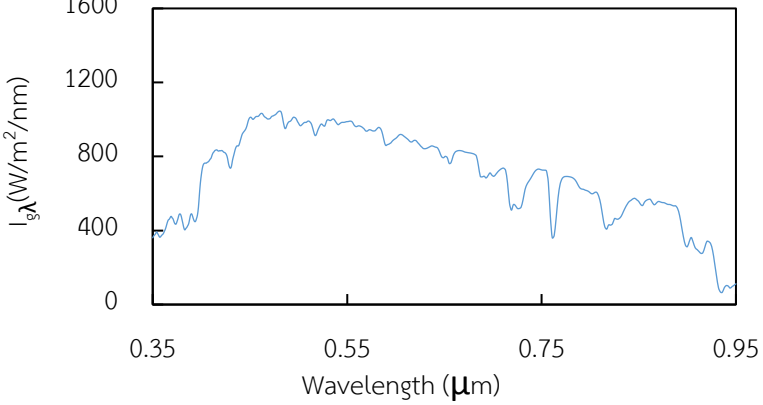

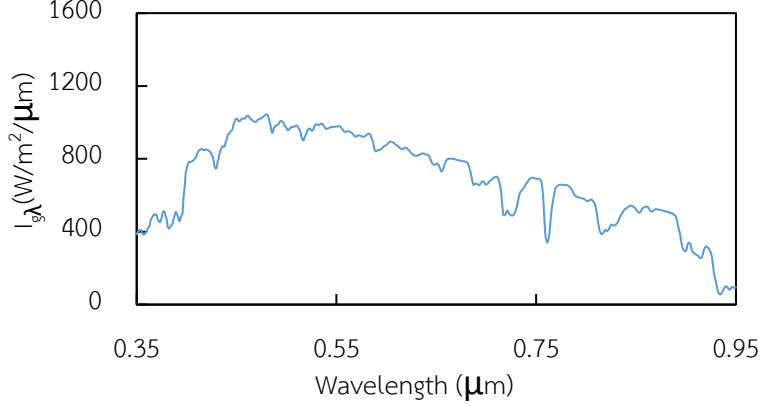
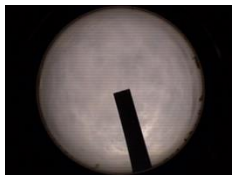
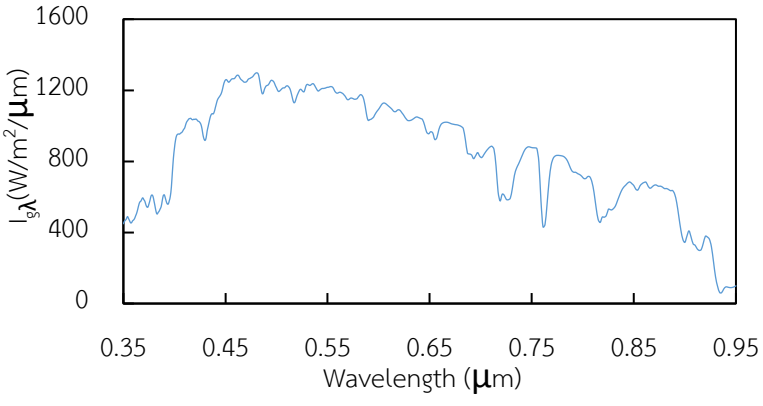
ตารางที่ 3.9 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 13:00 น. ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 13 มกราคม 2017 เวลา 13:00 น.</p> 	7.14
 <p>1</p>	<p>วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 13:00 น.</p> 	39.29
 <p>2</p>	<p>วันที่ 14 มกราคม 2018 เวลา 13:00 น.</p> 	10.71

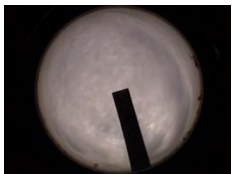
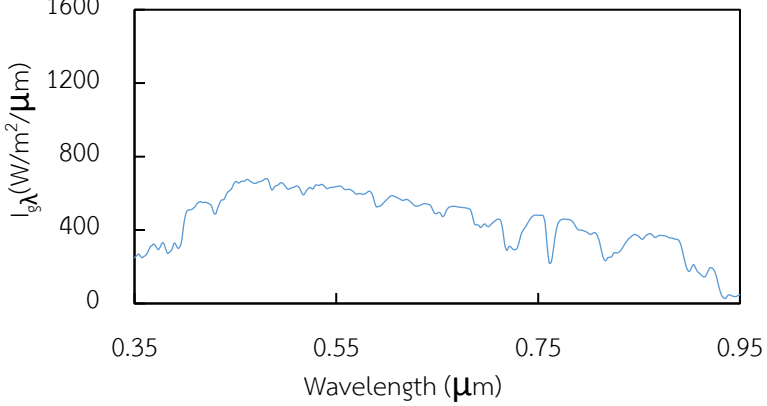
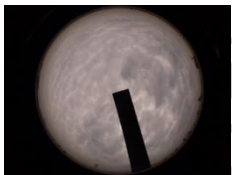
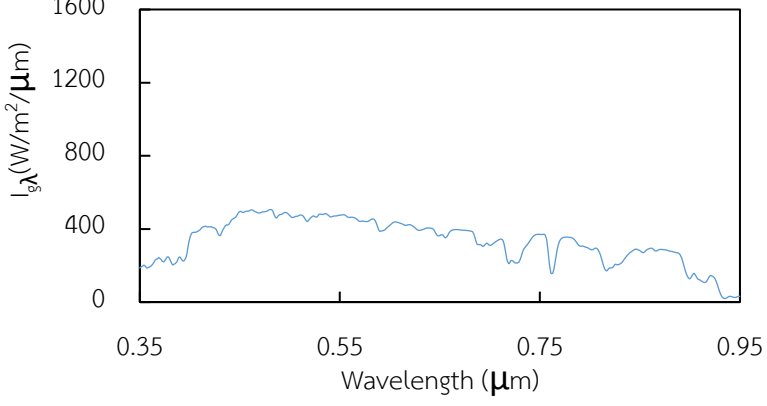
ตารางที่ 3.8 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="411 801 427 835">3</p>	<p data-bbox="790 506 1257 551">วันที่ 12 มกราคม 2017 เวลา 13:00 น.</p> 	3.57
 <p data-bbox="411 1321 427 1355">4</p>	<p data-bbox="790 1025 1241 1070">วันที่ 2 มกราคม 2018 เวลา 13:00 น.</p> 	1.79
 <p data-bbox="411 1841 427 1874">5</p>	<p data-bbox="790 1545 1257 1590">วันที่ 19 มกราคม 2017 เวลา 13:00 น.</p> 	3.57

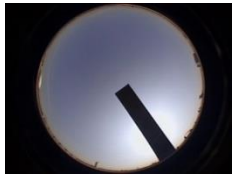
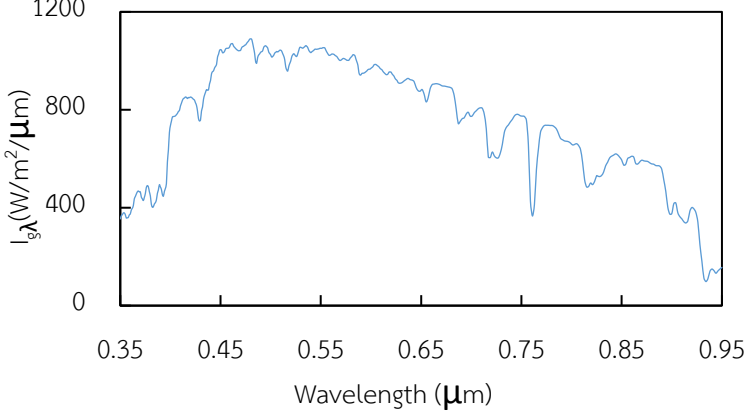

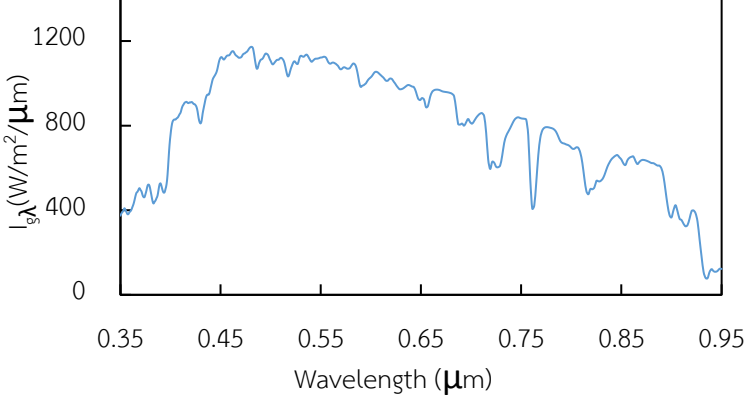
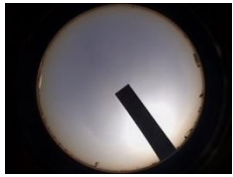
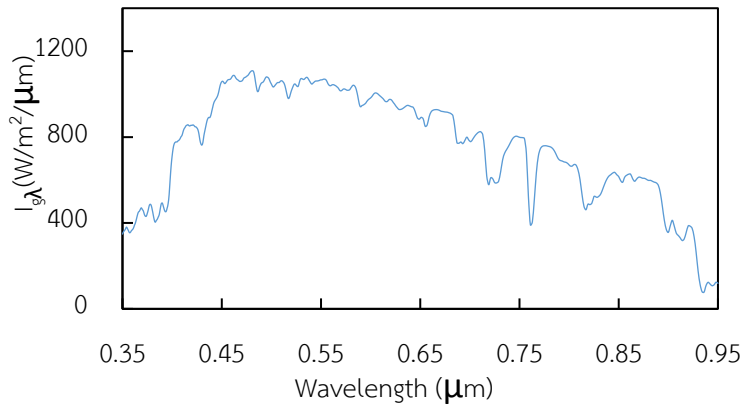
ตารางที่ 3.8 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>6</p>	<p>วันที่ 26 มกราคม 2017 เวลา 13:00 น.</p> 	1.79
 <p>7</p>	<p>วันที่ 31 มกราคม 2018 เวลา 13:00 น.</p> 	7.14
 <p>8</p>	<p>วันที่ 7 มกราคม 2017 เวลา 8:00 น.</p> 	1.79


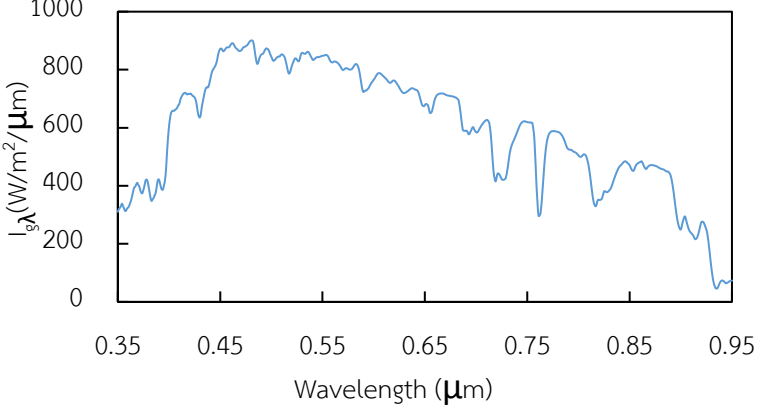

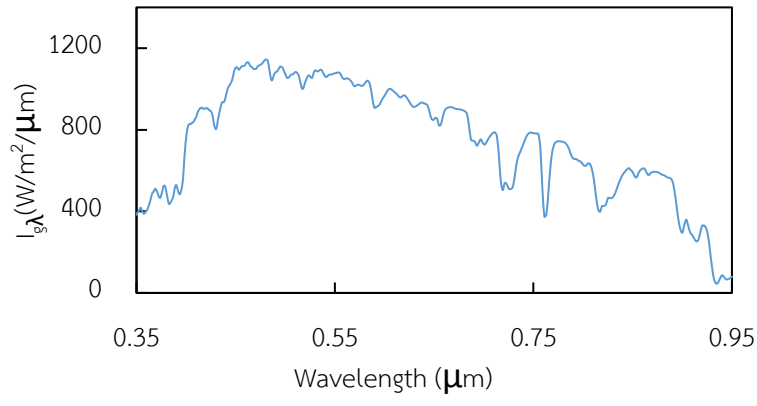

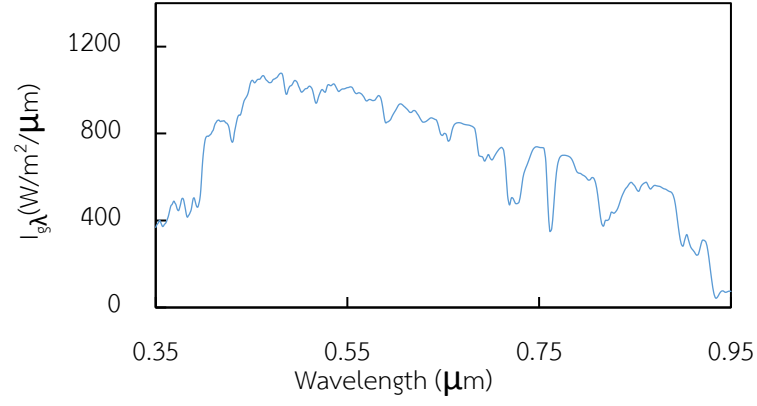
ตารางที่ 3.8 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>9</p>	<p>วันที่ 4 มกราคม 2017 เวลา 13:00 น.</p>  <p>The graph shows irradiance I_{λ} (W/m²/μm) on the y-axis (0 to 1600) versus Wavelength (μm) on the x-axis (0.35 to 0.95). The curve shows a broad peak around 0.55 μm with a value of approximately 600 W/m²/μm, and several absorption dips, notably around 0.75 μm.</p>	7.14
 <p>10</p>	<p>วันที่ 5 มกราคม 2017 เวลา 13:00 น.</p>  <p>The graph shows irradiance I_{λ} (W/m²/μm) on the y-axis (0 to 1600) versus Wavelength (μm) on the x-axis (0.35 to 0.95). The curve shows a broad peak around 0.55 μm with a value of approximately 450 W/m²/μm, and several absorption dips, notably around 0.75 μm.</p>	16.07

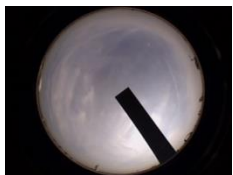
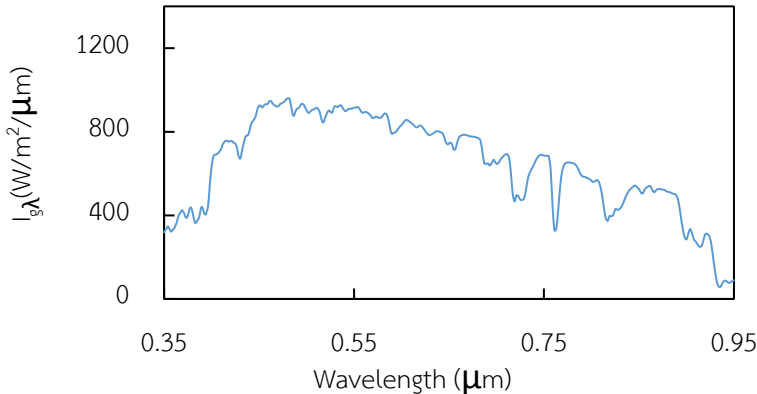

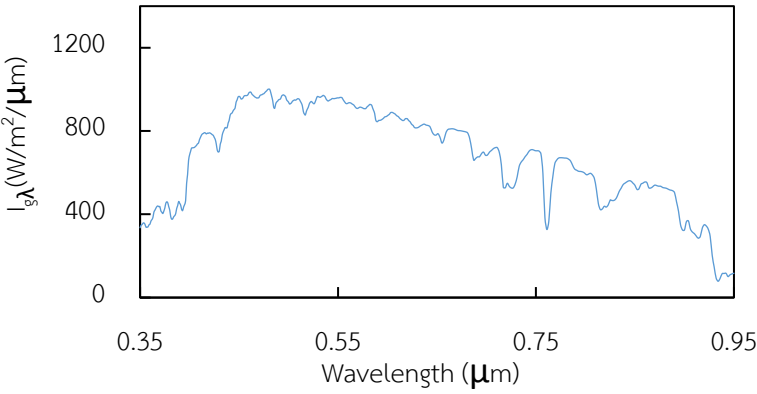
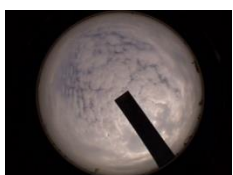
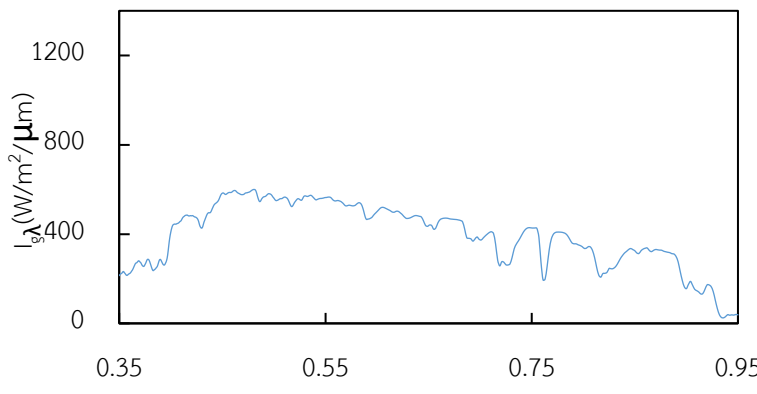
ตารางที่ 3.10 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 14:00 น.ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 13 มกราคม 2018 เวลา 14:00 น.</p> 	5.26
 <p>1</p>	<p>วันที่ 22 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น.</p> 	35.09
 <p>2</p>	<p>วันที่ 20 มกราคม 2018 เวลา 14:00 น.</p> 	15.79

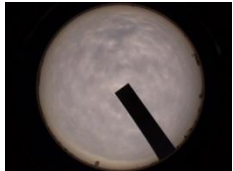
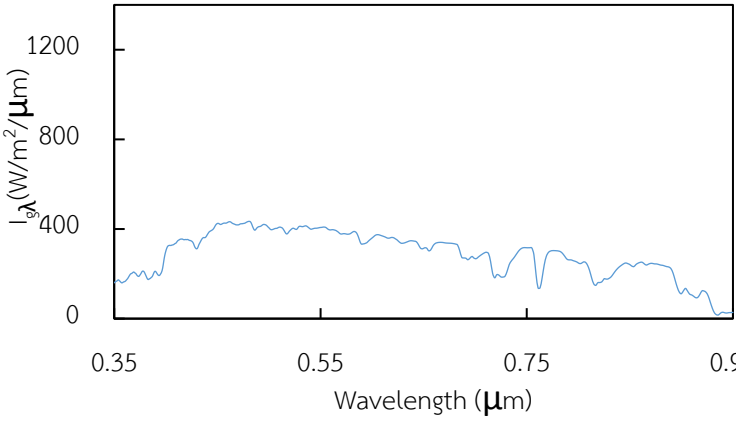
ตารางที่ 3.9 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>3</p>	<p>วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น.</p>  <p>วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น. แสดงกราฟของค่าความเข้มรังสี I_{λ} (W/m²/μm) เทียบกับความยาวคลื่น (Wavelength) (μm) ในช่วง 0.35 ถึง 0.95 μm. ค่าความเข้มรังสีมีแนวโน้มลดลงตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 850 W/m²/μm ที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.45-0.55 μm.</p>	8.77
 <p>4</p>	<p>วันที่ 12 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น.</p>  <p>วันที่ 12 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น. แสดงกราฟของค่าความเข้มรังสี I_{λ} (W/m²/μm) เทียบกับความยาวคลื่น (Wavelength) (μm) ในช่วง 0.35 ถึง 0.95 μm. ค่าความเข้มรังสีมีแนวโน้มลดลงตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 1100 W/m²/μm ที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.45-0.55 μm.</p>	1.75
 <p>6</p>	<p>วันที่ 11 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น.</p>  <p>วันที่ 11 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น. แสดงกราฟของค่าความเข้มรังสี I_{λ} (W/m²/μm) เทียบกับความยาวคลื่น (Wavelength) (μm) ในช่วง 0.35 ถึง 0.95 μm. ค่าความเข้มรังสีมีแนวโน้มลดลงตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 1050 W/m²/μm ที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.45-0.55 μm.</p>	7.02

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)


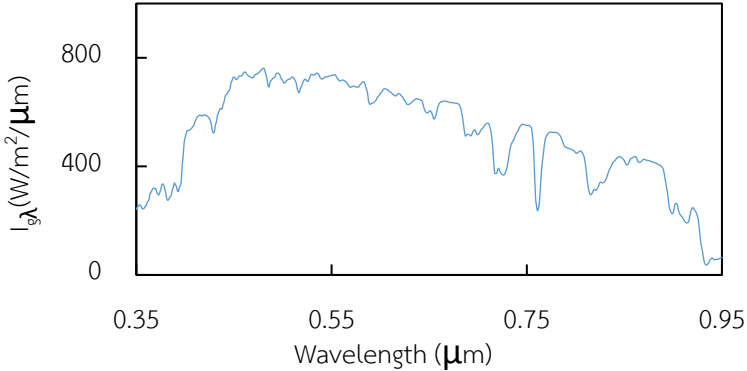

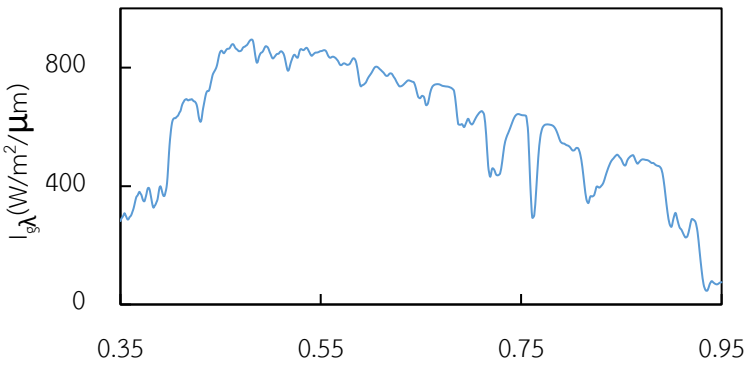

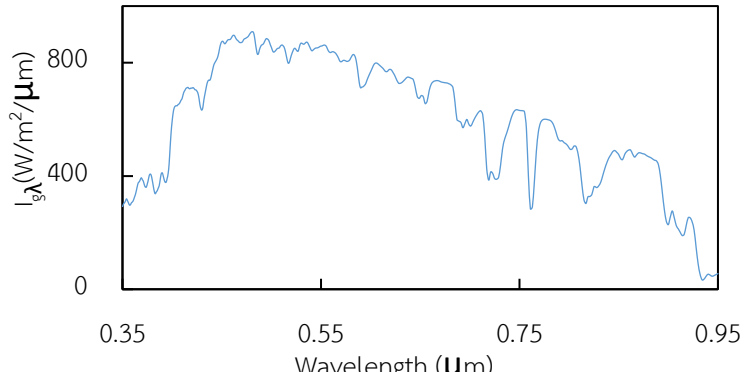
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>7</p>	<p>วันที่ 21 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น.</p> 	1.75
 <p>8</p>	<p>วันที่ 12 มกราคม 2018 เวลา 14:00 น.</p> 	3.51
 <p>9</p>	<p>วันที่ 4 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น.</p> 	7.02

ตารางที่ 3.9 (ต่อ)


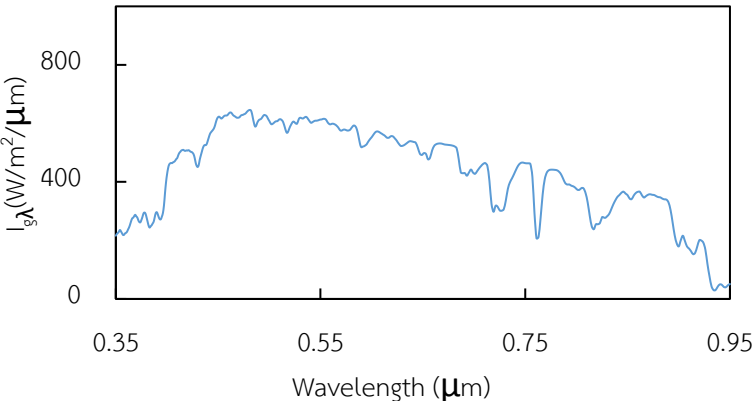

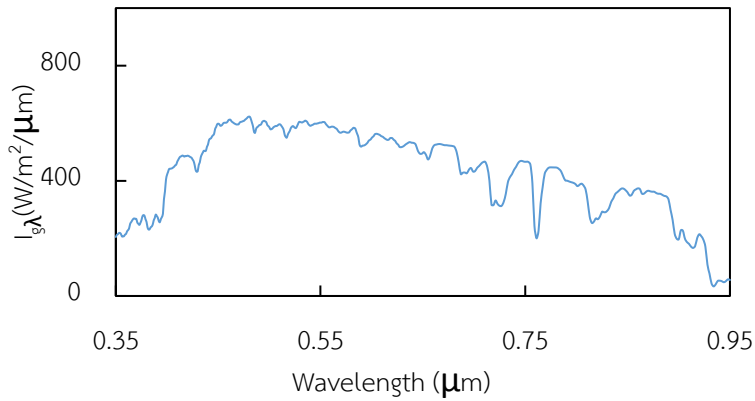

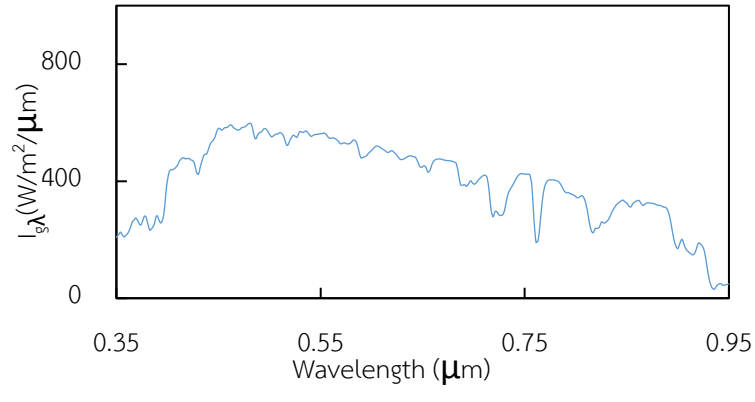
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="400 801 437 837">10</p>	<p data-bbox="791 501 1241 546">วันที่ 5 มกราคม 2017 เวลา 14:00 น.</p> 	14.04




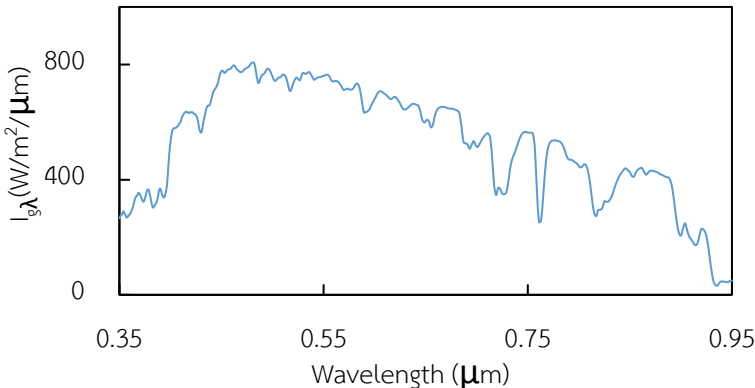

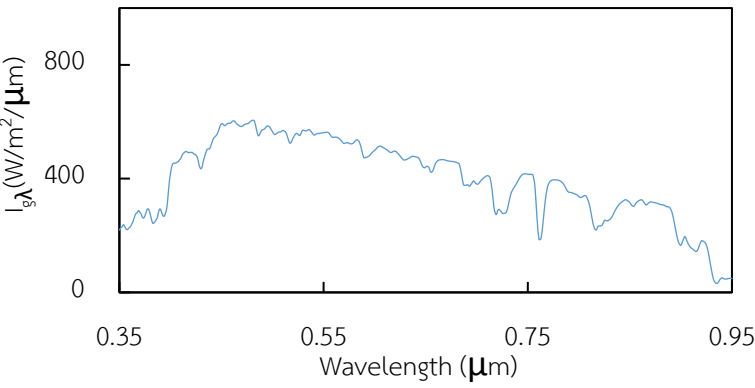
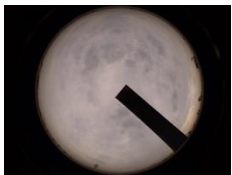
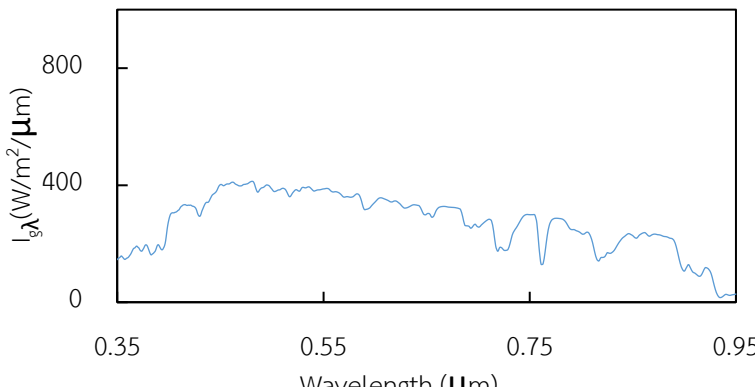
ตารางที่ 3.11 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 15:00 น.ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 1 มกราคม 2018 เวลา 15:00 น.</p> 	12.5
 <p>1</p>	<p>วันที่ 25 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p> 	33.93
 <p>2</p>	<p>วันที่ 11 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p> 	12.5

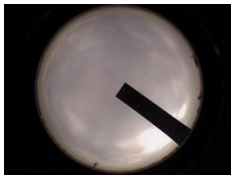
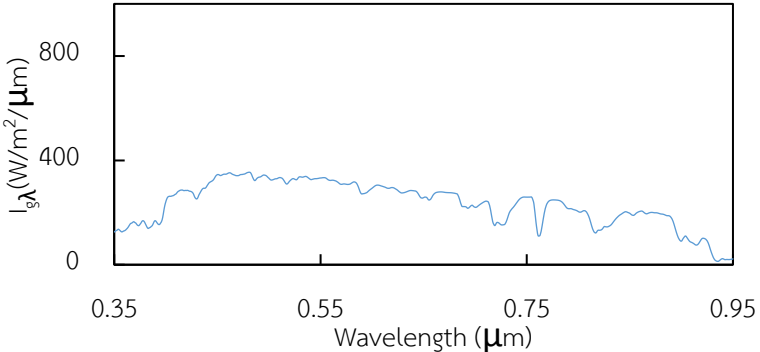
ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="408 801 427 831">3</p>	<p data-bbox="788 510 1257 551">วันที่ 21 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p> 	8.93
 <p data-bbox="408 1323 427 1352">4</p>	<p data-bbox="788 1032 1257 1072">วันที่ 11 มกราคม 2018 เวลา 15:00 น.</p> 	3.57
 <p data-bbox="408 1845 427 1874">6</p>	<p data-bbox="788 1554 1257 1594">วันที่ 26 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p> 	1.79

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

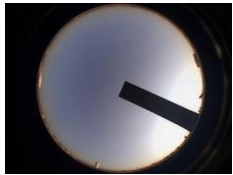
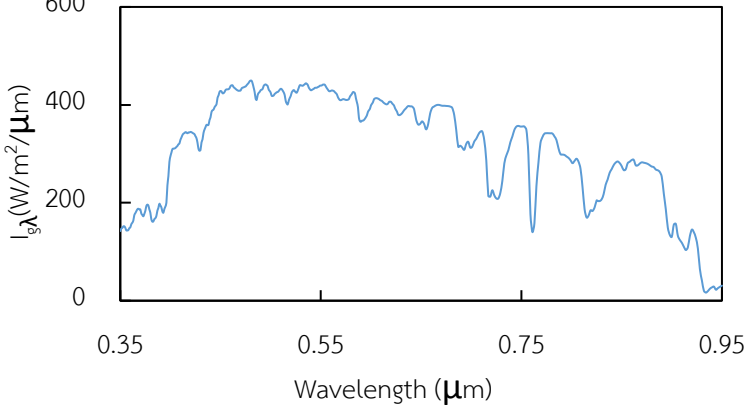

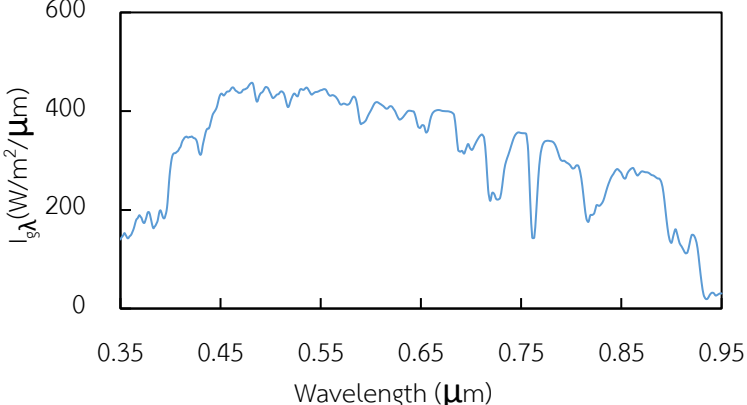
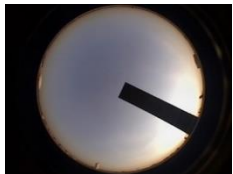
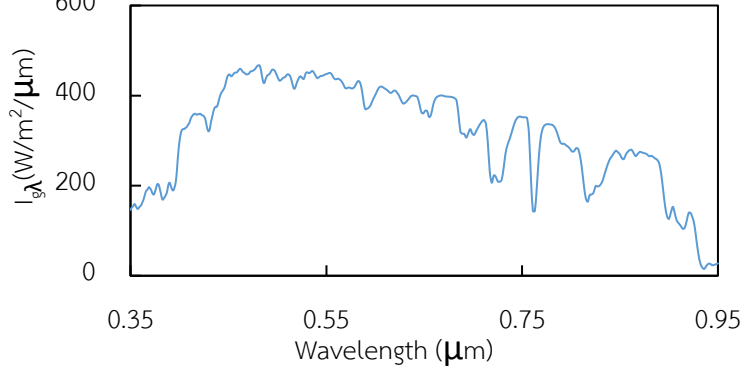
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>7</p>	<p>วันที่ 12 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p>  <p>The spectral plot shows irradiance I_{λ} (W/m²/μm) on the y-axis (0 to 800) versus Wavelength (μm) on the x-axis (0.35 to 0.95). The curve shows a broad peak around 0.55 μm and several absorption features, notably around 0.75 μm and 0.85 μm.</p>	1.79
 <p>8</p>	<p>วันที่ 24 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p>  <p>The spectral plot shows irradiance I_{λ} (W/m²/μm) on the y-axis (0 to 800) versus Wavelength (μm) on the x-axis (0.35 to 0.95). The curve shows a broad peak around 0.55 μm and several absorption features, notably around 0.75 μm and 0.85 μm.</p>	3.57
 <p>9</p>	<p>วันที่ 7 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p>  <p>The spectral plot shows irradiance I_{λ} (W/m²/μm) on the y-axis (0 to 800) versus Wavelength (μm) on the x-axis (0.35 to 0.95). The curve shows a broad peak around 0.55 μm and several absorption features, notably around 0.75 μm and 0.85 μm.</p>	8.93

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)


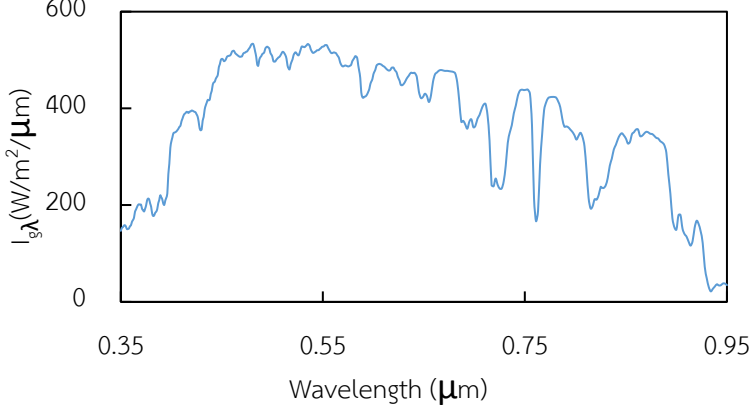

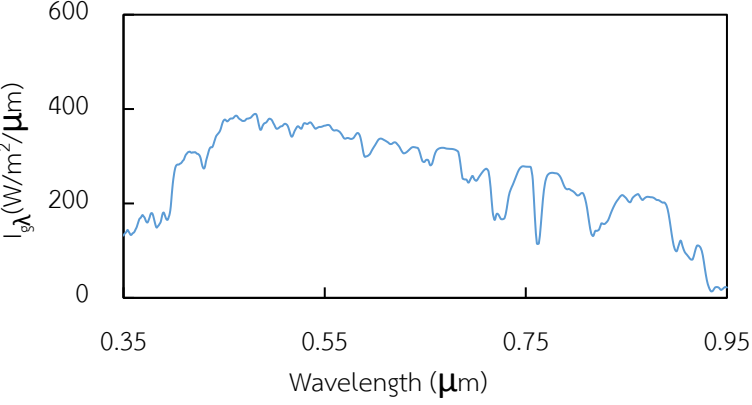

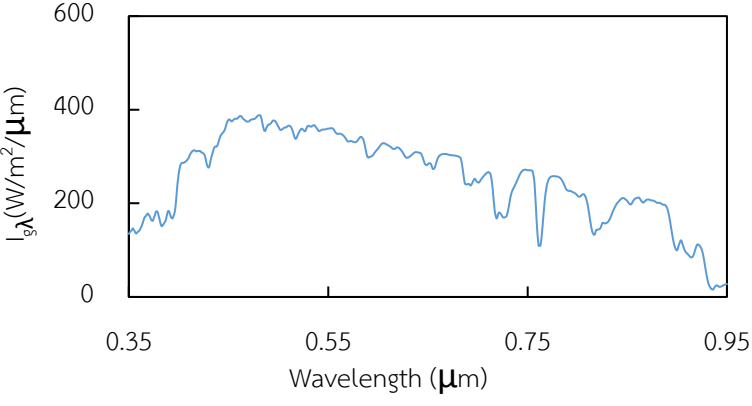
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="400 770 435 801">10</p>	<p data-bbox="791 501 1241 546">วันที่ 4 มกราคม 2017 เวลา 15:00 น.</p> 	12.5




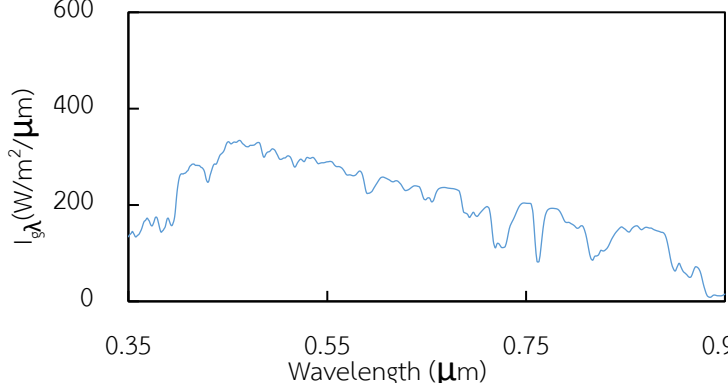

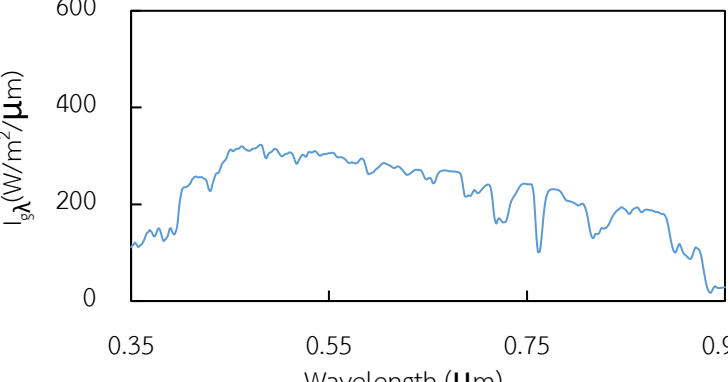
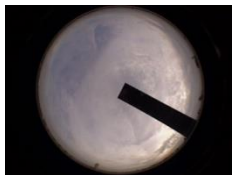
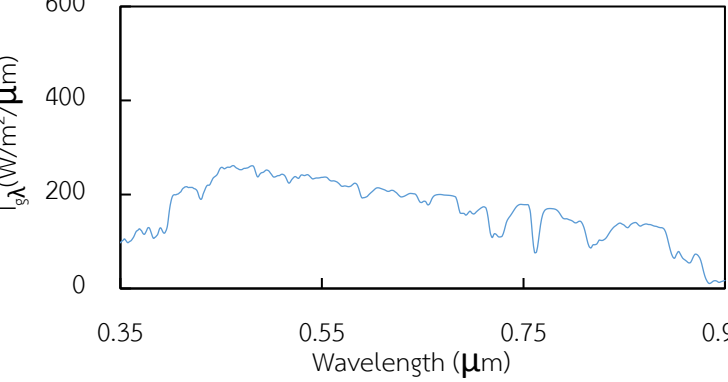
ตารางที่ 3.12 ข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่แยกตามสภาพท้องฟ้าที่เวลา 16:00 น.ของเดือนมกราคม

Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>0</p>	<p>วันที่ 29 มกราคม 2018 เวลา 16:00 น.</p> 	19.64
 <p>1</p>	<p>วันที่ 20 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	32.14
 <p>2</p>	<p>วันที่ 21 มกราคม 2018 เวลา 16:00 น.</p> 	8.93

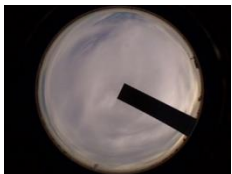
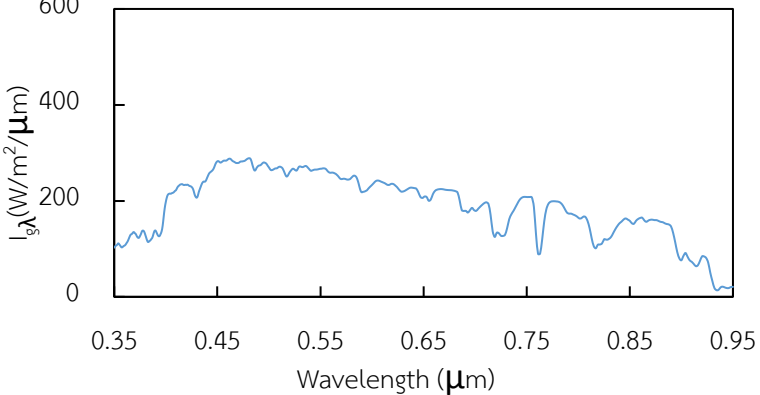
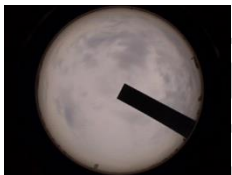
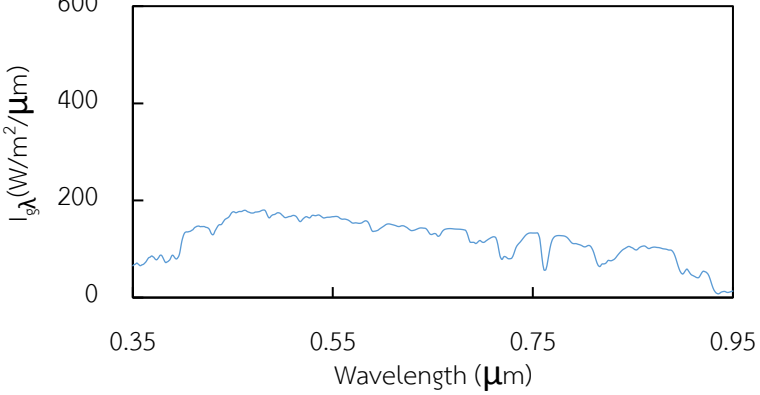
ตารางที่ 3.11 (ต่อ)

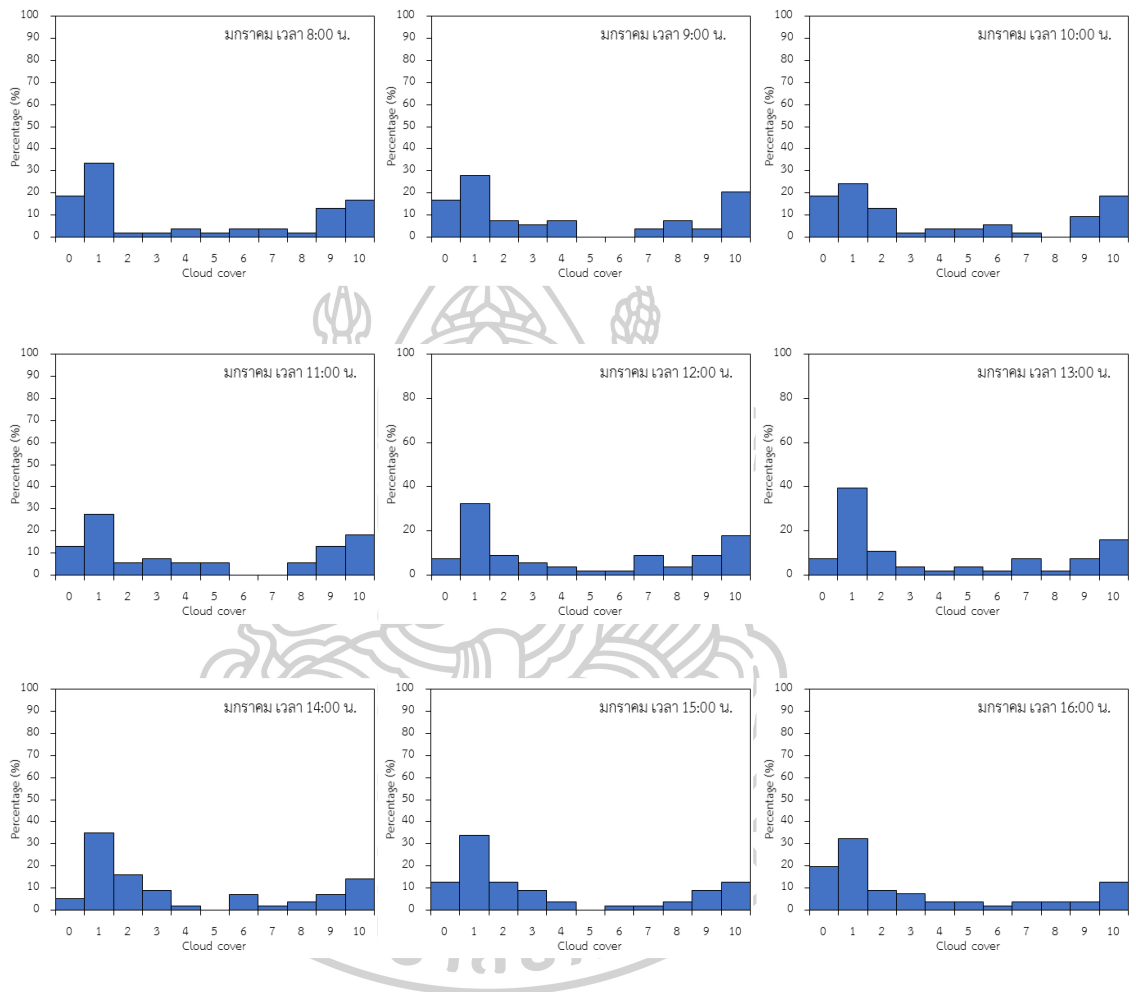
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>3</p>	<p>วันที่ 9 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	7.14
 <p>4</p>	<p>วันที่ 19 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	3.57
 <p>5</p>	<p>วันที่ 26 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	3.57

ตารางที่ 3.11 (ต่อ)

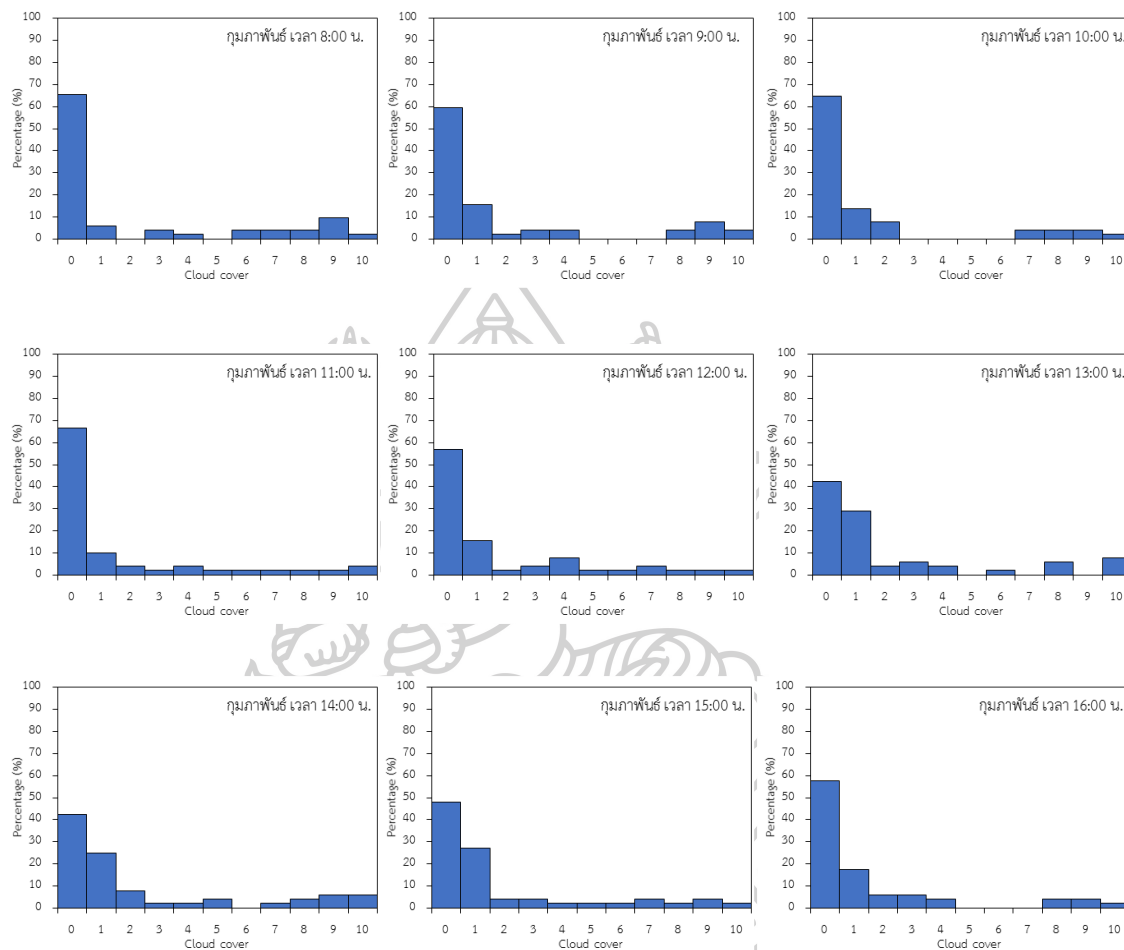
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p>6</p>	<p>วันที่ 11 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	1.79
 <p>7</p>	<p>วันที่ 29 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	3.57
 <p>8</p>	<p>วันที่ 4 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	3.57

ตารางที่ 3.11 (ต่อ)

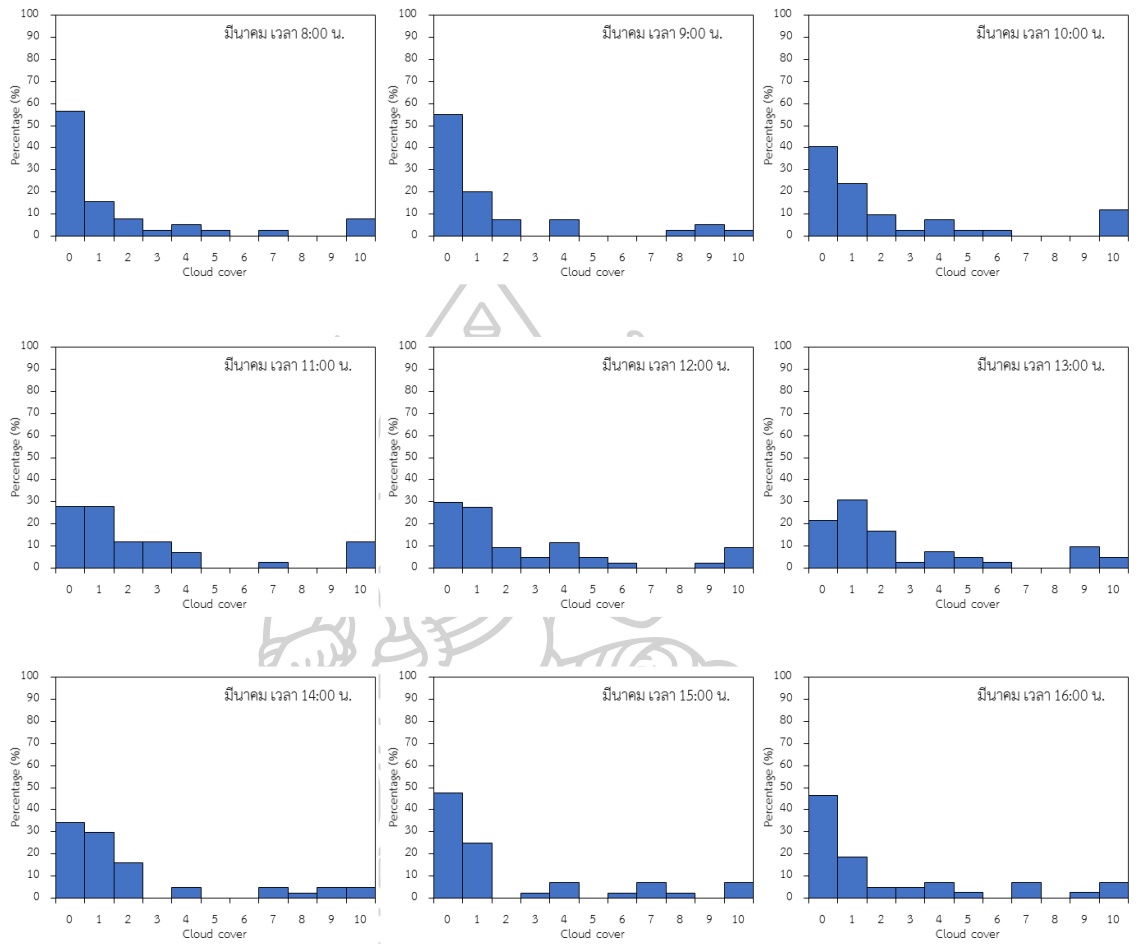
Cloud cover	ตัวอย่างสเปกตรัม	Percentage (%)
 <p data-bbox="408 797 427 831">9</p>	<p data-bbox="791 510 1257 555">วันที่ 18 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	3.57
 <p data-bbox="400 1321 427 1355">10</p>	<p data-bbox="791 1032 1241 1077">วันที่ 5 มกราคม 2017 เวลา 16:00 น.</p> 	12.5



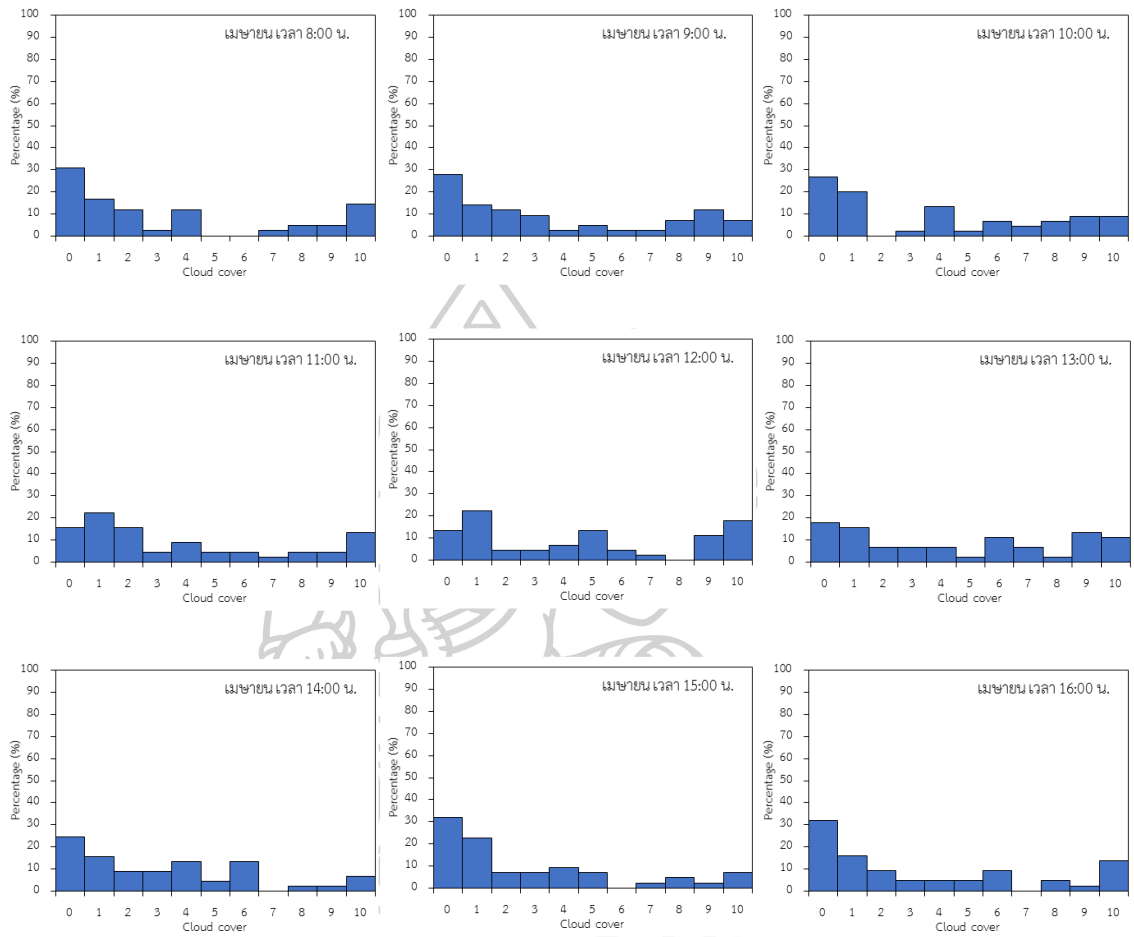
รูปที่ 3. 77 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนมกราคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.



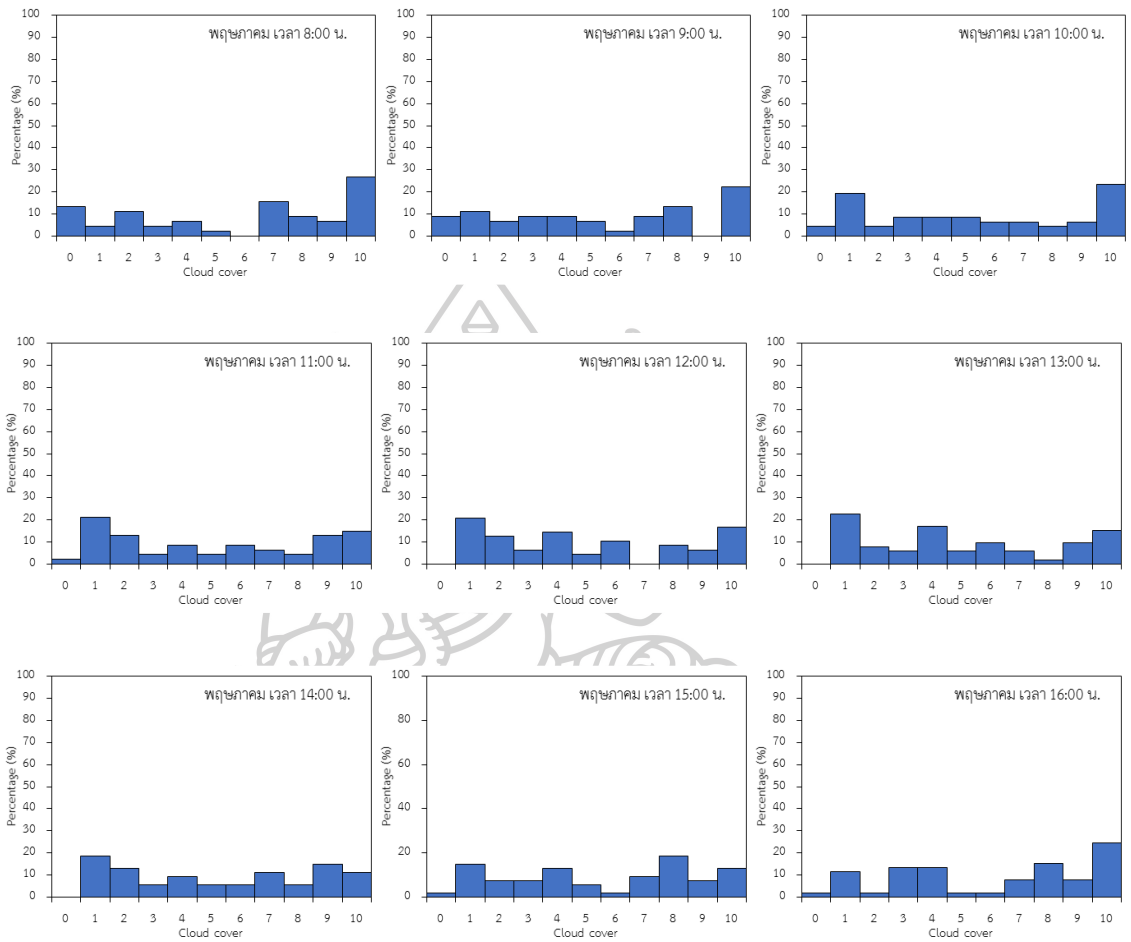
รูปที่ 3. 78 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนกุมภาพันธ์ ที่เวลา 8:00-16:00 น.



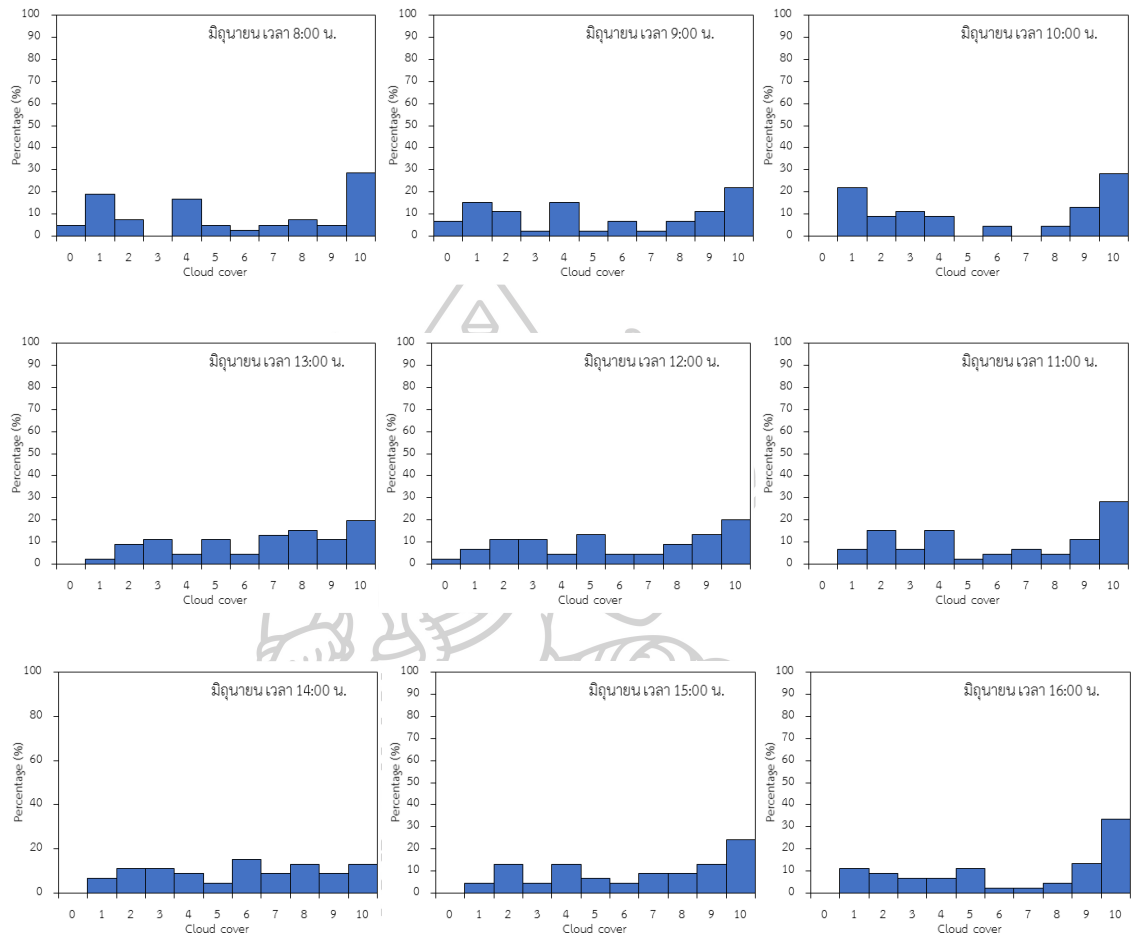
รูปที่ 3. 79 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนมีนาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.



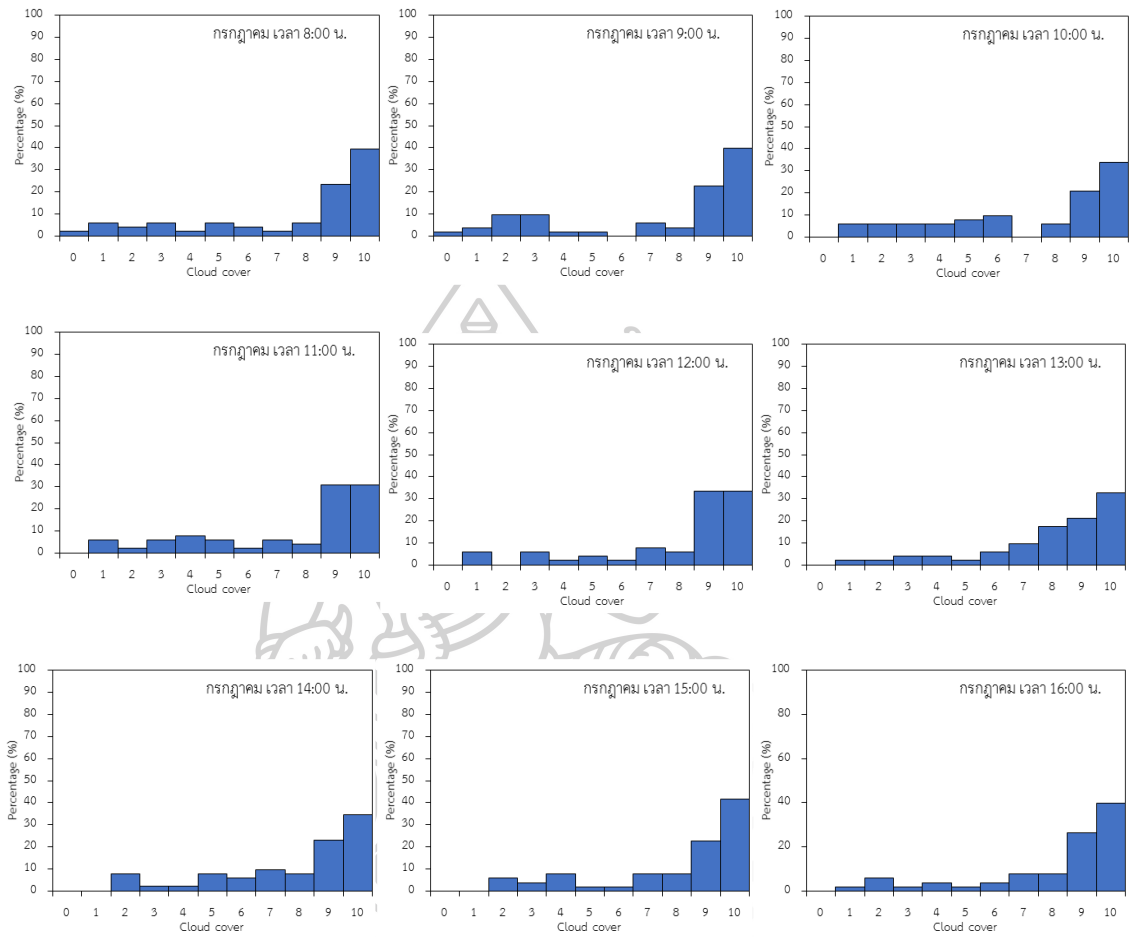
รูปที่ 3.80 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือน
เมษายน ที่เวลา 8:00-16:00 น.



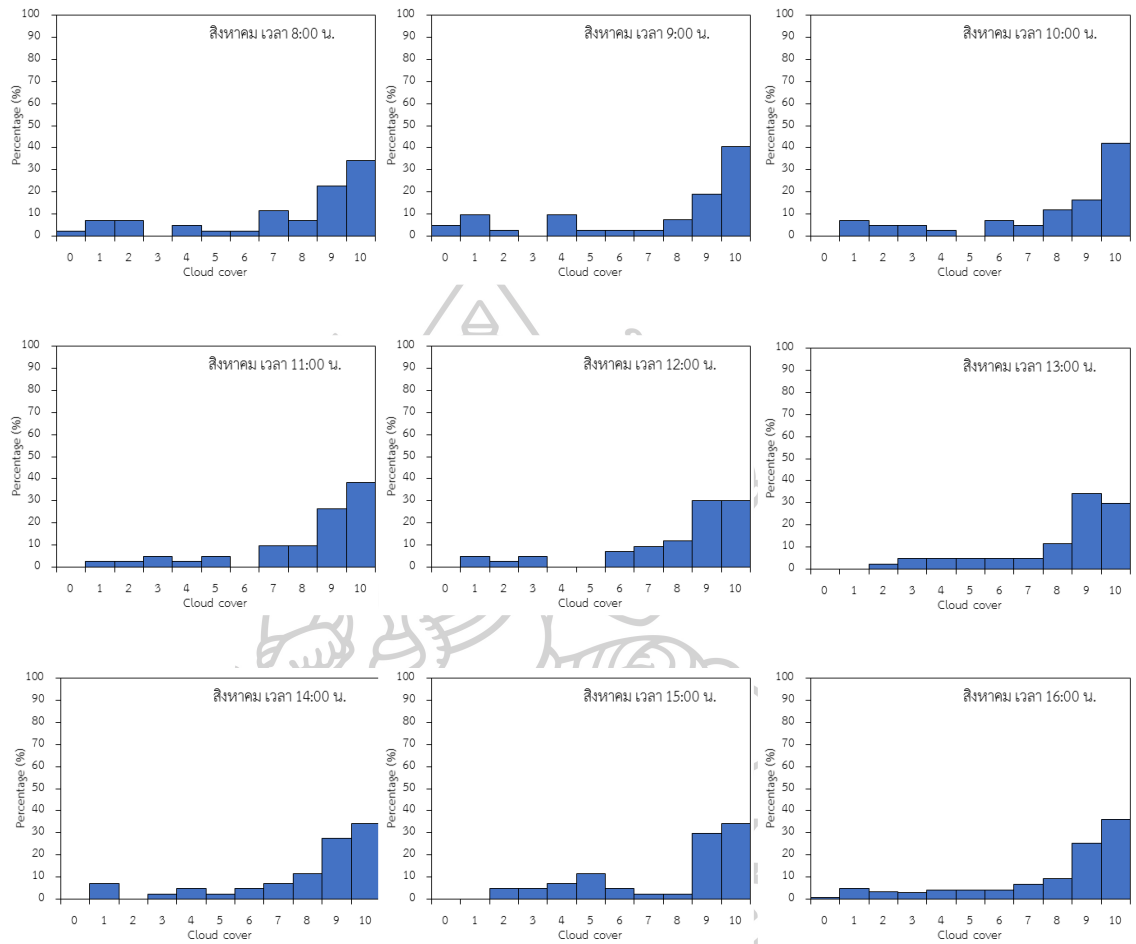
รูปที่ 3. 81 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนพฤษภาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.



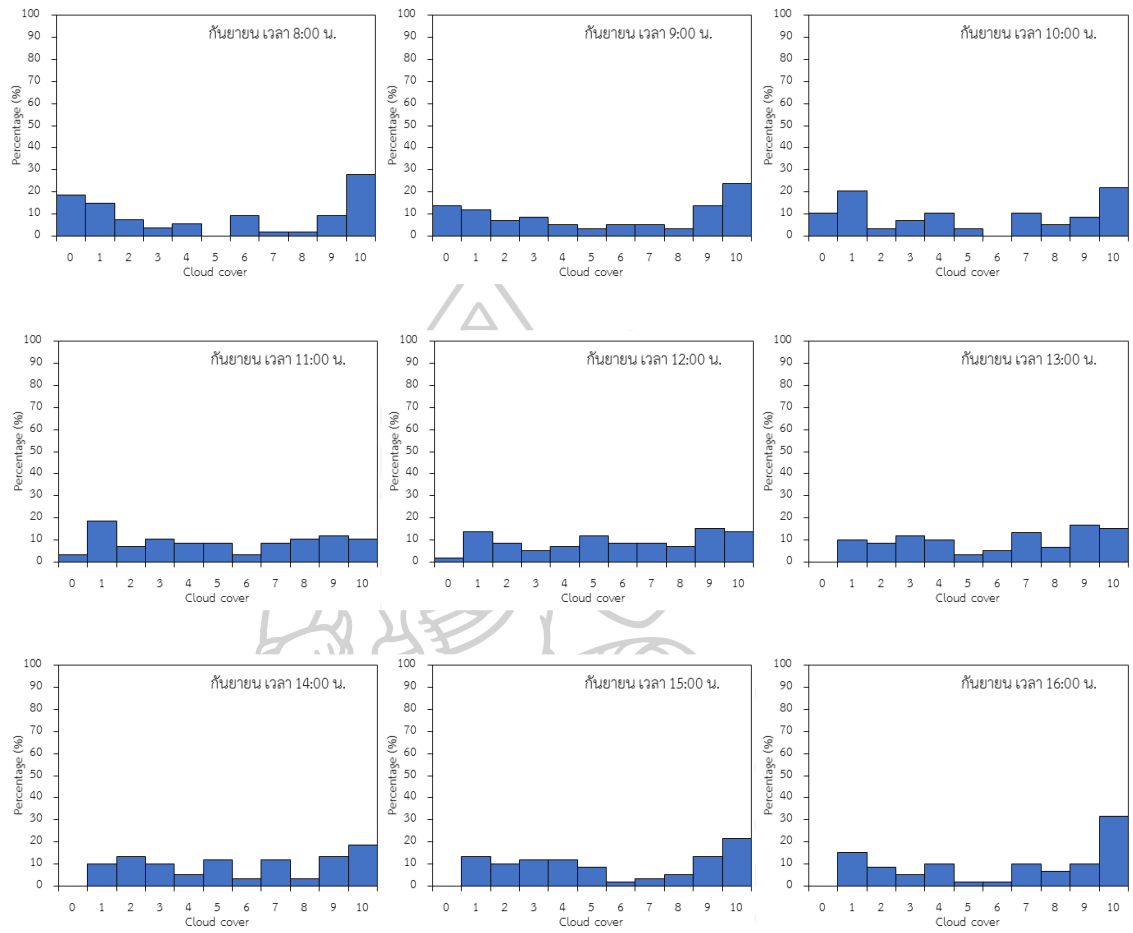
รูปที่ 3. 82 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนมิถุนายน ที่เวลา 8:00-16:00 น.



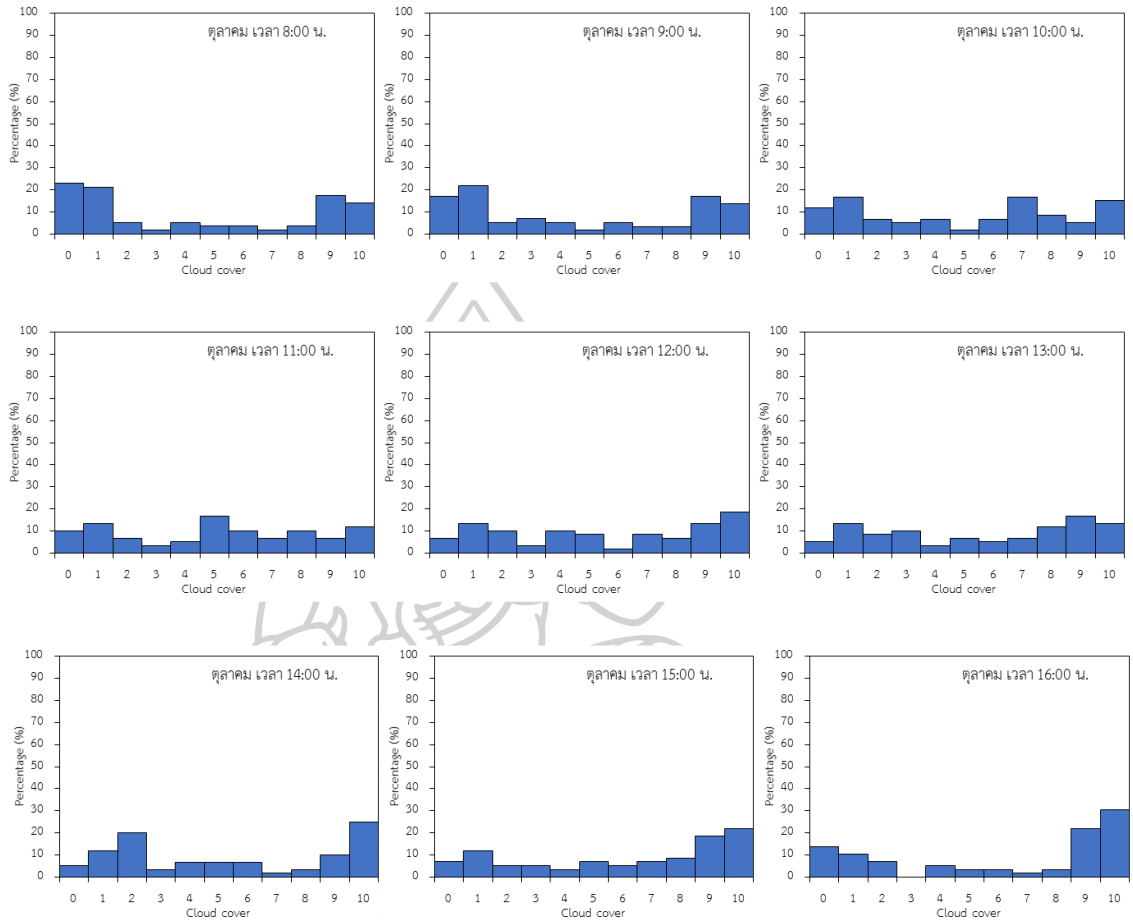
รูปที่ 3.83 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนกรกฎาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.



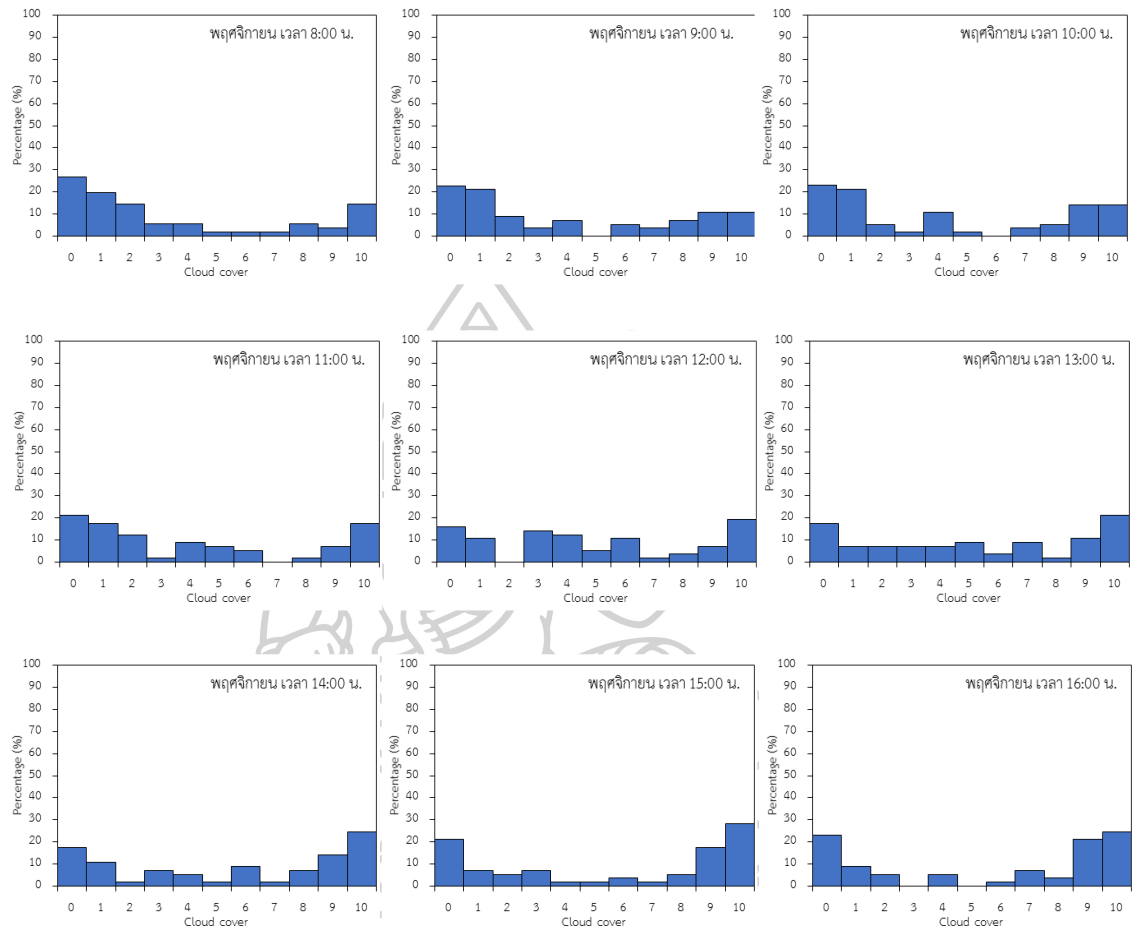
รูปที่ 3.84 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนสิงหาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.



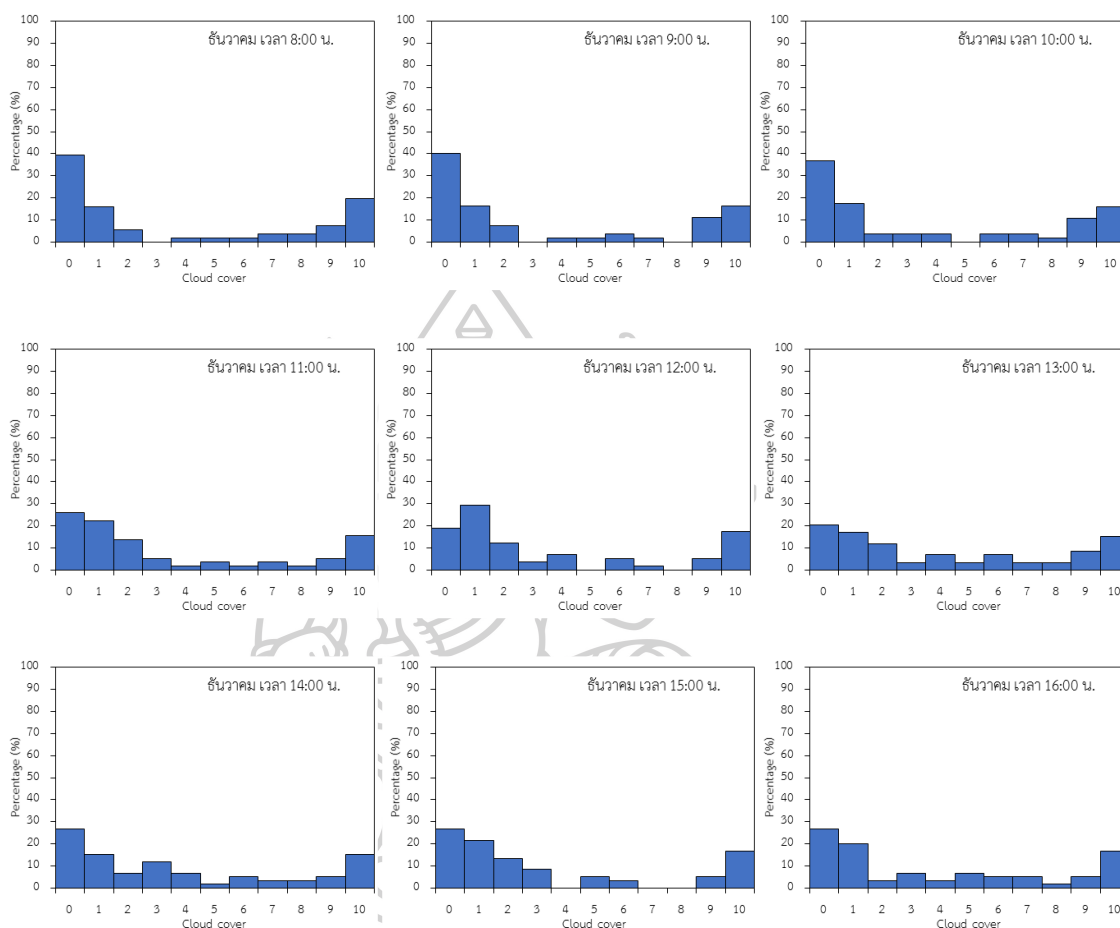
รูปที่ 3. 85 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนกันยายน ที่เวลา 8:00-16:00 น.



รูปที่ 3. 86 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนตุลาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.



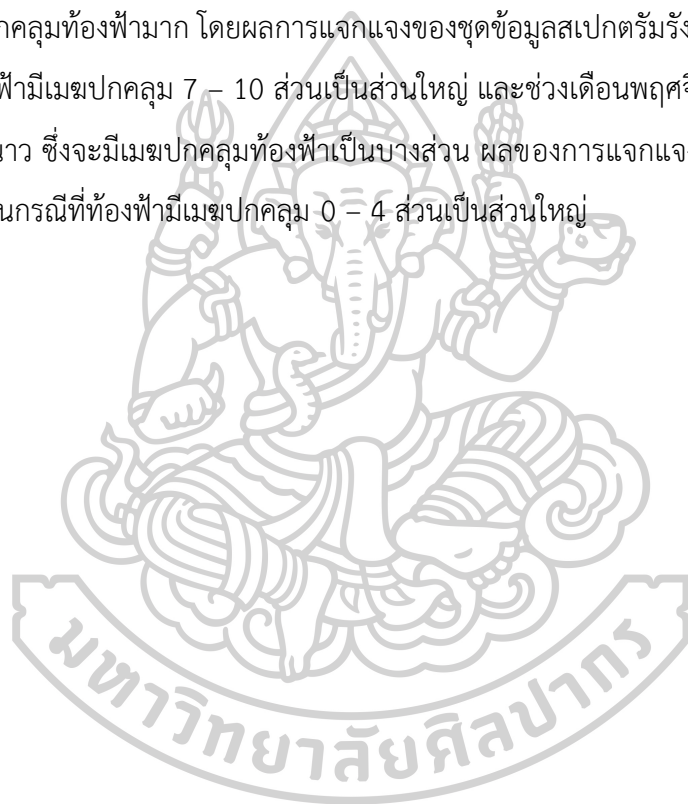
รูปที่ 3. 87 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนพฤศจิกายน ที่เวลา 8:00-16:00 น.



รูปที่ 3. 88 การแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่แยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าในเดือนธันวาคม ที่เวลา 8:00-16:00 น.

จากการศึกษาจะพบว่ากราฟของสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในเวลาช่วงเช้าและช่วงเย็นจะแสดงค่าที่น้อยเมื่อเทียบกับในเวลาเที่ยง เนื่องจากในช่วงเช้าและเย็นรังสีอาทิตย์จะเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางที่ยาวกว่าในเวลาเที่ยง จึงทำให้ถูกองค์ประกอบต่าง ๆ ในบรรยากาศดูดกลืนรังสีอาทิตย์ไปได้มากกว่าในเวลาเที่ยง เมื่อผู้วิจัยได้แยกข้อมูลสเปกตรัมตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมเมื่อมีสภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกัน พบว่าในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆกราฟของค่าสเปกตรัมจะมีค่าสูงสุด ซึ่งถ้ามีปริมาณเมฆที่ปกคลุม

ท้องฟ้าเพิ่มมากขึ้นกราฟของสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดจะมีลักษณะที่ลดลง และจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้ามากกว่า 6 ส่วนขึ้นไป จนถึงกรณีที่เมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า และต่อมาผู้วิจัยได้แจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่ทำการแยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าของแต่ละเดือน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมในแต่ละฤดูกาลของจังหวัดนครปฐม พบว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เดือนเมษายนซึ่งเป็นฤดูร้อน ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าจะมีน้อย ผลการแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จึงอยู่ที่ในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 1 ส่วนเป็นส่วนใหญ่ ถัดมาในช่วงเดือนพฤษภาคม – เดือนตุลาคม เป็นช่วงฤดูฝนจึงมีปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้ามาก โดยผลการแจกแจงของชุดข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่จึงอยู่ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 7 – 10 ส่วนเป็นส่วนใหญ่ และช่วงเดือนพฤศจิกายน – เดือนมกราคม เป็นช่วงฤดูหนาว ซึ่งจะมีเมฆปกคลุมท้องฟ้าเป็นบางส่วน ผลของการแจกแจงชุดข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จึงอยู่ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 0 – 4 ส่วนเป็นส่วนใหญ่



บทที่ 4

สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองสเปกตรัมรังสีตรงและรังสีกระจายในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยผู้เลือกแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) Bird (1984) และแบบจำลองของ Gueymard (2001) มาคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ โดยผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลปริมาณไอน้ำ ปริมาณโอโซน และฝุ่นละออง ของจังหวัดนครปฐมที่วัดในปี 2015 มาใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านจากการลดทอนโดยพารามิเตอร์ในบรรยากาศ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดของปี ค.ศ. 2015 ที่เวลา 9:00 – 15:00 น. โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากันแล้วทั้ง 3 แบบจำลองมีค่า root mean square difference (RMSD) และ mean bias difference (MBD) อยู่ในช่วงระหว่าง 11.7-14.2 % และ 7.7-9.1 % ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัด ซึ่งแบบจำลอง Brine & Iqbal (1983) ให้ผลการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดได้ดีที่สุด คือ มีค่า RMSD และ MBD เท่ากับ 11.7 และ 8.3 % ตามลำดับ ในส่วนของการเปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีกระจายพบว่าทั้ง 3 แบบจำลองมีค่า RMSD และ MBD อยู่ในช่วงระหว่าง 15.5-25.0 % และ -7.4-15.3 % ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลอง Brine & Iqbal (1983) ให้ผลการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดได้ดีที่สุด คือ มีค่า RMSD และ MBD เท่ากับ 15.5 และ -7.4 % ตามลำดับ

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป ผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองของ Brine & Iqbal (1983) ที่ใช้คำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ มาทำการประยุกต์และพัฒนาเป็นแบบจำลองสเปกตรัมเพื่อใช้คำนวณหาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปสำหรับจังหวัดนครปฐม โดยได้ใช้ข้อมูลรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ได้จากการเครื่องมือวัดภาคพื้นดินและค่าดัชนีเมฆที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ในปี ค.ศ. 2016 มาใช้พัฒนาแบบจำลอง แล้วทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับค่าสเปกตรัมรังสีรวมที่ได้จากเครื่องมือวัดภาคพื้นดินซึ่งวัดในปี ค.ศ. 2017 โดยจะใช้ความแตกต่างทางสถิติในรูปของ RMSD และ MBD และจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของสเปกตรัมรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองกับค่าสเปกตรัมเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาระหว่าง 9.00 น.

ถึง 15.00 น. พบว่าค่าความแตกต่างทางสถิติในรูป RMSD และ MBD มีค่า 12.7% และ -8.7 ตามลำดับ

และส่วนสุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ของจังหวัดนครปฐม โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมรังสีรวมจากดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าทั่วไป ซึ่งทำการแยกกรณีศึกษาตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าโดยการแบ่งท้องฟ้าเป็น 10 ส่วนที่แต่ละเวลา ตั้งแต่ 8:00 – 16:00 น. จากการศึกษาจะเห็นว่าสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในเวลาช่วงเช้าและช่วงเย็นจะแสดงค่าที่น้อยเมื่อเทียบกับในเวลาเที่ยง และเมื่อแยกศึกษาตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าโดยการแบ่งท้องฟ้าเป็น 10 ส่วน พบว่าในกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆค่าสเปกตรัมจะมีค่าสูงสุด ซึ่งถ้ามีปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าเพิ่มมากขึ้นสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดจะมีปริมาณที่ลดลง และจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีที่ไม่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้ามากกว่า 6 ส่วนขึ้นไปจนถึงกรณีที่เมฆปกคลุมเต็ม ท้องฟ้าโดยเมื่อทำการแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมที่ทำการแยกตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าของแต่ละเดือน พบว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เดือนเมษายน ผลการแจกแจงความถี่ของชุดข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จะมีค่าอยู่ในช่วงกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 1 ส่วน ต่อมาในช่วงเดือนพฤษภาคม – เดือนตุลาคม ผลการแจกแจงของชุดข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่อยู่ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 7 – 10 ส่วนเป็นส่วนใหญ่ และช่วงเดือนพฤศจิกายน – เดือนมกราคม ผลของการแจกแจงชุดข้อมูลสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จึงอยู่ในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม 0 – 4 ส่วนเป็นส่วนใหญ่ จึงเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมรังสีอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล





รายการอ้างอิง

- Ångström, A. (1929). On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air. *Geografiska Annaler*, 11(2), 156-166.
- ASTM, E. 490. 2000 American Society for Testing & Materials (ASTM) standard extraterrestrial solar spectrum reference E-490-00 (2000). *Recuperado de <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0>*.
- Bird, R. E. (1984). A simple, solar spectral model for direct-normal and diffuse horizontal irradiance. *Solar energy*, 32(4), 461-471.
- Brine, D. T., & Iqbal, M. (1983). Diffuse and global solar spectral irradiance under cloudless skies. *Solar energy*, 30(5), 447-453.
- Cano, D., Monget, J.-M., Albuisson, M., Guillard, H., Regas, N., & Wald, L. (1986). A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data. *Solar energy*, 37(1), 31-39.
- Gueymard, C. A. (2001). Parameterized transmittance model for direct beam and circumsolar spectral irradiance. *Solar energy*, 71(5), 325-346.
- Leckner, B. (1978). The spectral distribution of solar radiation at the earth's surface—elements of a model. *Solar energy*, 20(2), 143-150.
- Stephens, G. L., Paltridge, G., & Platt, C. (1978). Radiation profiles in extended water clouds. III: Observations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(11), 2133-2141.
- Vigroux, E. (1953). *Contribution à l'étude expérimentale de l'absorption de l'ozone*. Paper presented at the Annales de physique.



