

การประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร



ปริญญานิพนธ์
ของ
กীরติ วงศ์พะดาย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

กรกฎาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร



ปริญญานิพนธ์
ของ
กীরติ วงศ์พะดาบ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

กรกฎาคม 2559

การประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร



ปริญญานิพนธ์
ของ
กীরติ วงศ์พะดาบ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

กรกฎาคม 2559

กิริติ วงศ์พะตาย. (2559). การประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแผ่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา
ในกรุงเทพมหานคร. ปรินท์มานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์).กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์
เรืองรุ่งโรจน์.

งานวิจัยนี้ได้ทำการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ประเภทรังสีสุทธิและประเภทรังสี
แบบแผ่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา คือ ชั่วโมงมีแดด อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ที่บันทึกจาก
สถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 6 แบบจำลอง
สำหรับประมาณค่าการแผ่รังสีแบบสุทธิ และ 4 แบบจำลองสำหรับค่าการแผ่รังสีแบบแผ่ ผู้วิจัยได้
ทำการเลือกวิเคราะห์ข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนสำหรับวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งของปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ.
2554 เพื่อดูแนวโน้มของการแผ่รังสีของทั้งปีแล้วทำการวิเคราะห์ พบว่าแบบจำลองที่ให้ค่าการแผ่
รังสีสุทธิที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เครื่องไพรานอมิเตอร์วัดได้ ได้แก่ แบบจำลองที่ 1, 3 และ 4 โดย
ให้ค่าอยู่ในช่วง 15.71-23.15 MJ/m²/day และทำการทดสอบทางสถิติ 3 แบบ คือ MAPE, RMSE
และ R² ให้ค่า MAPE ในช่วง 3.96-7.24 ค่า RMSE ในช่วง 0.64-1.25 และ R² 99.91% 99.73%
และ 99.95% ส่วนแบบจำลองที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับการหาค่าการแผ่รังสีแผ่ได้แก่แบบจำลองที่ 8
ให้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่ในช่วง 2.92-7.82 MJ/m²-day ให้ค่า MAPE ในช่วง 13.51-
27.21 ค่า RMSE ในช่วง 0.61-1.11 และ R² 99.77% 99.98% และ 98.77%

THE ESTIMATIONS OF GLOBAL AND DIFFUSE SOLAR RADIATION
USING ACTUAL METEOROLOGICAL DATA IN BANGKOK



AN ABSTRACT
BY
KEERATI VONGPADAI

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in physics
At Srinakharinwirot University
July 2016

Keerati Vongpadai. (2010). *The estimations of global and diffuse solar radiation using actual meteorological data in bangkok*. Master thesis, M.Ed.(Physics). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Prof. Siriluk Ruangrungrate.

Estimations of global and diffuse solar radiation in Bangkok were achieved by using mathematical models with the actual meteorological data such as sunshine hours, temperature and relative humidity, recorded by the meteorological station of Thai Meteorological Department (TMD). Six models were done for estimating global solar radiation and so were the other four models for diffuse solar radiation. Monthly average of the selective data for clear sky condition in the year 2009-2011 were analyzed in order to forecast annual tendency of solar radiation. The results showed that the global solar radiation from model 1, 3 and 4 were in the range of 15.71-23.15 MJ/ m² /day with the MAPE, RMSE and R² ; 3.96-7.24, 0.64-1.25 and 99.73%-99.95%, respectively. While the best model for the calculation of diffuse solar radiation was model 8 with the value of 2.92-7.82 MJ/m²/day and MAPE, RMSE and R² ; 13.51-27.21, 0.61-1.11 and 98.77%-99.98%, respectively.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร
ของ
กীরติ วงศ์พะตาย

ได้รับการอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรินทร์ ชัยวิสุทธิทางกูร)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2559

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ที่ปรึกษา

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

(อาจารย์ ดร. จตุรงค์ สุคนธชาติ)

.....กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จาก
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณา ช่วยเหลือ แนะนำ และให้คำปรึกษาอย่างดียิ่งจาก ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒและศาสตราจารย์พิเศษฐ ลิ้มสุวรรณ กรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้แนวคิด วิธีการ คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ยิ่ง ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยในการสนับสนุนด้านงบประมาณการทำวิจัยและการเผยแพร่ผลงานระดับนานาชาติ ทำให้ผู้วิจัยมีโอกาเผยแพร่ผลงานและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นใหม่ ๆ เพื่อนำไปปรับใช้และพัฒนาผลงานให้ดียิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ กับผู้วิจัยในการศึกษาตามหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต

ขอกราบขอบพระคุณนางสาวสมฤทธิ์ สุทธิประภา ผู้อำนวยการศูนย์ตรวจวิเคราะห์ไอโซนและรังสี กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลในการทำงานวิจัย และให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์มากมายในงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตสาขาฟิสิกส์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือประสานงานทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังมีผู้ที่มีความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้หมด จึงขอขอบคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบุคคลในครอบครัวอันเป็นที่รักคอยผลักดัน เป็นกำลังใจ และส่งเสริมในด้านการศึกษา ส่งผลให้ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี คุณค่าทั้งหลายที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูแก่เวทีแต่บิดา มารดา และบูรพาจารย์ที่เคยอบรมสั่งสอนตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

กิริติ วงศ์พะตาย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
รายการสัญลักษณ์	5
2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	6
ดวงอาทิตย์	7
การกำเนิดดวงอาทิตย์	7
สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์	10
ชนิดของการแผ่รังสี	13
ประเภทการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบ	16
พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลก	16
ลักษณะการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	18
บรรยากาศและเมฆ	19
ส่วนผสมในชั้นบรรยากาศ	19
อนุภาคในชั้นบรรยากาศ	20
การแบ่งชั้นในแนวตั้งของชั้นบรรยากาศ	21
เมฆและการจัดชั้นของเมฆ	23
การคำนวณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และสมการที่เกี่ยวข้อง	27
การคำนวณพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์	27
ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา	28
การคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์	29
วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ใช้.....	33
เครื่องมือวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์	35
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีการดำเนินงาน	40
ศึกษาเครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูล และสถานที่.....	42
คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่โดยการ ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	46
คำนวณหาพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์	47
คำนวณค่าการแผ่รังสีสุทธิโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	47
คำนวณค่าการแผ่รังสีแพร่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	50
4 ผลการวิจัย	53
การเลือกวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง	53
ตัวอย่างการเลือกวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งและท้องฟ้าขุ่นมัว	55
ผลวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีสุทธิ ในปี พ.ศ. 2552	58
ผลวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีสุทธิ ในปี พ.ศ. 2553	68
ผลวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีสุทธิ ในปี พ.ศ. 2554	79
ผลวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีแพร่ ในปี พ.ศ. 2552	90
ผลวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีแพร่ ในปี พ.ศ. 2553	98
ผลวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีแพร่ ในปี พ.ศ. 2554	106
วิเคราะห์ดัชนีความโปร่งและความขุ่นมัวของท้องฟ้า	115
5 สรุปวิจารณ์ผลการวิจัย	118
บรรณานุกรม	121
ภาคผนวก	124
ประวัติย่อผู้วิจัย	157

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ความยาวคลื่นและสัดส่วนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ	14
2 ส่วนผสมของบรรยากาศ	19
3 ชนิดของเมฆ	24
4 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิ.....	29
5 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่.....	33
6 รายละเอียดเครื่องไพรานอมิเตอร์ รุ่น MS-802	43
7 ผลการเลือกวิเคราะห์ข้อมูลวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง	55
8 a)-(f) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของแบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2552	58
9 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a,b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 1-6 และค่าสหสัมพันธ์ (C) ในปี พ.ศ. 2552	64
10 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2552	64
11 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2552	67
12 (a)-(f) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของแบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2553	68
13 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a,b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 1-6 และค่าสหสัมพันธ์ (C) ในปี พ.ศ. 2553	74
14 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2553	75
15 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2553	78
16 (a)-(f) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของแบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2554	79
17 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a,b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 1-6 และค่าสหสัมพันธ์ (C) ในปี พ.ศ. 2554	85

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
18 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิต่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2554		86
19 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1-6.....		89
20 (A)-(D) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของแบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2552		90
21 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a,b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 7-10 และค่าสหสัมพันธ์ (C) ในปี พ.ศ. 2552		94
22 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2552		95
23 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 7-10.....		97
24 (A)-(D) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของแบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2553		98
25 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a,b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 7-10 และค่าสหสัมพันธ์ (C) ในปี พ.ศ. 2553		102
26 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2553		103
27 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 7-10.....		105
28 (A)-(D) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของแบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2554		106
29 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a,b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 7-10 และค่าสหสัมพันธ์ (C) ในปี พ.ศ. 2554		110
30 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2554		111
31 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 7-10.....		113
32 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE, RMSE, ค่าสหสัมพันธ์ (C) ที่ได้จากการ พล็อตกราฟ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแบบจำลองที่ 1-10.....		114
33 ดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_t) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) ในปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554		115

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ปฏิบัติการเกิดของดวงอาทิตย์	7
2 โครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์	8
3 องค์ประกอบสำคัญของดวงอาทิตย์	9
4 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	10
5 ทรงกลมฟ้า	11
6 ระบบการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์	12
7 สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก	15
8 สเปกตรัมของช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต	17
9 การชนและการกระเจิงของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เมื่อชนกับละอองลอย.....	21
10 การแบ่งชั้นในแนวตั้งของบรรยากาศ	21
11 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์	35
12 เครื่อง Pyranometer ผลิตโดยบริษัท EKO รุ่น MS80	42
13 เครื่องวัดความยาวนานแสงแดดแบบแคมป์เบลล์-สโตรกส์	44
14 กรมอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร	45
15 ตัวอย่างกราฟของเดือนมีนาคม 2552 ที่ใช้พิจารณาในการเลือก วิเคราะห์วันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง	54
16 ตัวอย่างการเลือกวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง	55
17 (a)-(f) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 1-6 ในการหาค่า สัมประสิทธิ์ a และ b ในปี พ.ศ. 2552	58
18 (a)-(f) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิต่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2552.....	66
19 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิต่ได้จากการวัดและค่าได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2552	67
20 (a)-(f) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 1-6 ในการหาค่า สัมประสิทธิ์ a และ b ในปี พ.ศ. 2553	69

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
21 (a)-(f) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิที่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2553.....	77
22 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553	78
23 (a)-(f) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 1-6 ในการหาค่า สัมประสิทธิ์ a และ b ในปี พ.ศ. 2554	80
24 (a)-(f) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิที่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2554.....	88
25 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2554	89
26 (A)-(D) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 7-10 ในการหาค่า สัมประสิทธิ์ a และ b ในปี พ.ศ. 2552	91
27 (A)-(D) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จาก การคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10	96
28 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2552	97
29 (A)-(D) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 7-10 ในการหาค่า สัมประสิทธิ์ a และ b ในปี พ.ศ. 2553	99
30 (A)-(D) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จาก การคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10	104
31 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553	105
32 (A)-(D) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 7-10 ในการหาค่า สัมประสิทธิ์ a และ b ในปี พ.ศ. 2554	107
33 (A)-(D) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10	112
34 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2554	112
35 (a)-(c) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายเดือนของดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) ในปีพ.ศ.2552-พ.ศ. 2554.....	117



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อน เป็นภาวะที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยจากอากาศและน้ำบนพื้นผิวโลกและมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์แผ่มายังโลก ทำให้มีรังสีบางส่วนดูดซับไว้และแผ่ออกนอกชั้นบรรยากาศเป็นรังสีความร้อนหรืออินฟราเรด และรังสีบางส่วนที่แผ่ออกไปก็จะถูกกักเก็บเอาไว้ในชั้นบรรยากาศของโลก นั่นเป็นสิ่งที่ดีเพราะจะทำให้โลกมีอุณหภูมิคงที่ ทำให้สิ่งมีชีวิตอยู่อาศัยได้ แต่เมื่อชั้นบรรยากาศนั้นหนาขึ้นเนื่องจากมลพิษทำให้โลกร้อนหรือก๊าซเรือนกระจกที่จะแผ่ออกไปถูกสะสมไว้มากขึ้น ปัญหาภาวะโลกร้อนถือเป็นปัญหาสำคัญระดับโลก ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีหน่วยงานและองค์กรต่างๆสนใจและให้ความสำคัญเกี่ยวกับการศึกษาปัญหาภาวะโลกร้อนเพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาอย่างจริงจัง โดยมีการศึกษาทางด้านการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบนพื้นผิวโลก การละลายของธารน้ำแข็ง และการศึกษาทางด้านการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เป็นต้น

องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ระบุว่า การเพิ่มขึ้นของน้ำแข็งในแอนตาร์กติก เป็นผลมาจากการลดลงของน้ำแข็งในขั้วโลกเหนือไปถึง 1 ใน 3 ส่วน ซึ่งโดยรวมแล้วถือว่าเสียหายมากกว่า และ NASA ยังเปิดเผยผลการศึกษาเมื่อไม่นานมานี้ว่า ชั้นน้ำแข็งซึ่งมีอายุกว่า 10,000 ปีในแอนตาร์กติก จะละลายหายไปภายในปี 2020 นอกจากธารน้ำแข็งทั่วโลกแล้ว น้ำแข็งตามธรรมชาติในพื้นที่อื่นๆ ทั่วโลกก็ลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน ในขณะเดียวกัน ระดับของแก๊สเรือนกระจก (รวมถึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์) ซึ่งเป็นตัวการของภาวะโลกร้อน เพราะกักความร้อนเอาไว้ในชั้นบรรยากาศโลก ก็พุ่งขึ้นสู่ค่าสูงสุดตั้งแต่มีการบันทึกสถิติ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) เตือนว่า โลกต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ 40-70% ภายในปี 2050 และลดให้เหลือ 0 ภายในช่วงสิ้นศตวรรษที่ 21 เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้อุณหภูมิโลกซึ่งปัจจุบันสูงขึ้น 0.8 องศาเซลเซียสในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา เพิ่มขึ้นเกิน 2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของภาวะโลกร้อนที่ไม่อาจแก้ไขได้อีกต่อไป¹

การศึกษาการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจนอกจากจะทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางแก้ไขด้านภาวะโลกร้อนแล้ว ยังศึกษาทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทนในยุคที่พลังงานหลักหรือพลังงานฟอสซิลมีจำนวนจำกัดและลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นเนื่องด้วยประชากรที่เพิ่มสูงขึ้น

¹ www.thairath.co.th/content/501773 สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

เนื่องจากประเทศไทยมีทำเลที่ตั้งทางภูมิศาสตร์อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร (มีตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือถึง 20 องศา 28 ลิปดาเหนือ จึงอยู่ในเขตร้อน ทำให้มีอุณหภูมิสูงตลอดปี และมีตำแหน่งลองจิจูดที่ 97 องศา 21 ลิปดาตะวันออกถึง 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก) จึงเป็นอีกประเทศที่สามารถนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ และเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด และไม่มีวันหมดสิ้น ไม่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงเป็นอีกทางเลือกที่สำคัญในการคิดค้นและพัฒนาการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า รังสีแสงอาทิตย์ หรือรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) โดยรูปแบบการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นแบบตามรูปแบบการใช้งานได้ 2 ประเภท คือการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบเพื่อผลิตความร้อน (Thermal Energy) เช่น เครื่องต้มน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (Electricity)

เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบที่จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปแบบของไฟฟ้าโดยใช้ปรากฏการณ์ โฟโตโวลตาอิก กล่าวคือ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์หรือที่เรียกว่าโฟตอนไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นเป็นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเป็นเหตุให้มีกระแสไฟฟ้าไหลซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ศักยภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับการแผ่รังสี (Irradiation) ซึ่งหมายถึง พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ เช่น กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ซึ่งในแต่ละพื้นที่นั้นมีความเข้มแสงแดดที่แตกต่างกันจากการวัดโดยเครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยาพบว่า พื้นที่ที่มีปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์มากที่สุดอยู่ในเขตพื้นที่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ เช่น จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ เป็นต้น¹

งานวิจัยฉบับนี้เล็งเห็นประโยชน์ของการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการนำค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ได้มาใช้ประโยชน์ด้านพลังงานทดแทน จึงได้มีการคิดวิธีการวิเคราะห์และทำนายค่าการแผ่รังสีจากการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความยาวนานแสงแดด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำนายค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาในการคำนวณ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนาย และนอกจากนี้การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ยังเป็นการลดต้นทุนการจัดซื้อเครื่องมือทางอุตุนิยมวิทยาในการติดตั้งและการวัดในเขตพื้นที่ต่าง ๆ รวมถึงในกรณีที่เครื่องมือวัดค่าการแผ่รังสีเกิดความขัดข้อง

¹ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2552). *การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์*. หน้า 2-3

ทางเทคนิค นอกจากนั้นยังสามารถทำนายแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่หรือในแต่ละช่วงเวลาได้อีกด้วย

งานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจในการพัฒนาแบบจำลองของการศึกษาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยการนำเอาข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ในสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ออกมา¹ เช่นเดียวกับงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย จึงทำการศึกษาค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้ข้อมูลจากเครื่องมือวัด และทำการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการประมาณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการผนวกข้อมูลพื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยา

ความมุ่งหมายของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อประมาณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แบบสุทธิตามแบบสุทธิและแบบแพร่จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผนวกกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องและแสดงแนวโน้มของค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณ
2. เพื่อแสดงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ชนิด รังสีสุทธิ (Global solar radiation) และรังสีแพร่ (Diffuse solar radiation) พร้อมศึกษาลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ เวลาและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์
2. ศึกษาข้อมูลค่าการแผ่รังสีที่วัดได้จากเครื่องมือวัดภาคพื้นดิน ณ กรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร
3. ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการนำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่วัดได้จริงมาใช้ทดสอบเพื่อประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากสมการทางคณิตศาสตร์ โดยแยกทำการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ การประมาณค่าการแผ่รังสีรวม (Estimation of global solar radiation) และ การประมาณค่าการแผ่รังสีแพร่ (Estimation of diffuse solar radiation)
4. วิเคราะห์ผลที่คำนวณได้โดยเปรียบเทียบผลที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลจากเครื่องมือที่วัดค่าได้จริง
5. ทดสอบด้วยวิธีการทางสถิติ โดยใช้การทดสอบ 3 แบบ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) รากที่สองของค่าเฉลี่ย

¹ Fariba Besharat, AliA.Dehghan, AhmadR.Faghih. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 798–821

กำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error, RMSE) และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of determination, R^2)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ได้รับความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีทางฟิสิกส์เกี่ยวกับบรรยากาศและรังสีดวงอาทิตย์
2. สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่ารังสีดวงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องมือ พร้อมวิเคราะห์ผลที่ได้
3. ได้ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิและแบบแพร่จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ณ บริเวณกรุงเทพมหานคร

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **การแผ่รังสี (Radiation)** คือการส่งถ่ายพลังงานความร้อนใน ลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับ ความเร็วของแสง เมื่อเทหวัตถุใดดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ไว้ได้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อนเป็น ผลให้เทหวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิม
2. **การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิ (Global solar radiation)** คือ ค่าการแผ่รังสีที่เกิดจากการแผ่รังสีตรง (Direct solar radiation) และการแผ่รังสีแพร่ (Diffuse solar radiation)
3. **การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบตรง (Direct solar radiation)** คือ รังสีที่พุ่งตรงมายังพื้นผิวโลกโดยที่ไม่เกิดการชนกับอนุภาคใดๆในบรรยากาศ
4. **การแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ (Diffuse solar radiation)** คือ รังสีตรงที่กระทบกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศ เช่น เมฆ ละอองลอย หรืออนุภาคของแก๊สอื่นๆในชั้นบรรยากาศ แล้วเกิดการกระเจิงทำให้รังสีตรงเปลี่ยนทิศจะเรียกว่ารังสีแพร่
5. **ดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (Clearness index)** คือ ค่าที่บ่งบอกความใสของท้องฟ้าหรือบ่งบอกว่าท้องฟ้าปราศจากเมฆ คำนวณโดยโดยการนำค่าการแผ่รังสีสุทธิหารด้วยค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก
6. **ดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (Cloudness index)** คือ ค่าที่บ่งบอกว่าในท้องฟ้ามีสภาพมีเมฆ หรือหมอก อันจะทำให้สภาพท้องฟ้าเกิดการขุ่นมัว คำนวณโดยการนำค่าการแผ่รังสีแพร่หารด้วยค่าการแผ่รังสีสุทธิ

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
H_m	การแผ่รังสีสุทริรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)
H_d	การแผ่รังสีแพร่รายวันเฉลี่ยต่อเดือน (เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)
H_0	การแผ่รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน)
I_{sc}	ค่าคงตัวสุริยะ มีค่าเท่ากับ 1,367 (วัตต์ต่อตารางเมตร)
ϕ	ละติจูด
δ	มุมเดคลิเนชัน
Γ	มุมวัน
ω	มุมที่ดวงอาทิตย์ขึ้น
d_n	จำนวนวันในรอบปี
S	ความยาวนานแสงแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (ชั่วโมง)
S_0	ความยาวนานของวันเฉลี่ยต่อเดือน (ชั่วโมง)
ΔT	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศสูงสุดกับต่ำสุดรายวัน (องศาเซลเซียส)
T_{max}	อุณหภูมิอากาศสูงสุด (องศาเซลเซียส)
T_{min}	อุณหภูมิอากาศต่ำสุด (องศาเซลเซียส)
TR	สัดส่วนอุณหภูมิต่ำสุดกับสูงสุด
T_{ave}	อุณหภูมิเฉลี่ย
RH	ความชื้นสัมพัทธ์
K_T	ดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า
K_d	อัตราส่วนรังสีแพร่ต่อรังสีสุทริ
K_{dd}	สัมประสิทธิ์การแพร่
$\frac{S}{S_0}$	อัตราส่วนความยาวนานแสงแดด
MAPE	ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error)
RMSE	รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error)
R^2	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of determination)

บทที่ 2

ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ดวงอาทิตย์

2.1.1 การกำเนิดของดวงอาทิตย์

2.1.2 สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์

2.1.3 ชนิดของการแผ่รังสี

2.1.4 ประเภทของการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบ

2.1.5 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลก

2.1.6 ลักษณะการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

2.2 บรรยากาศและเมฆ

2.2.1 ส่วนผสมในชั้นบรรยากาศ

2.2.2 อนุภาคในชั้นบรรยากาศ

2.2.3 การแบ่งชั้นในแนวตั้งของชั้นบรรยากาศ

2.2.4 เมฆและการจัดชั้นของเมฆ

2.3 การคำนวณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และสมการที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การคำนวณพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์

2.3.2 ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

2.3.3 การคำนวณโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์

2.3.4 วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ใช้

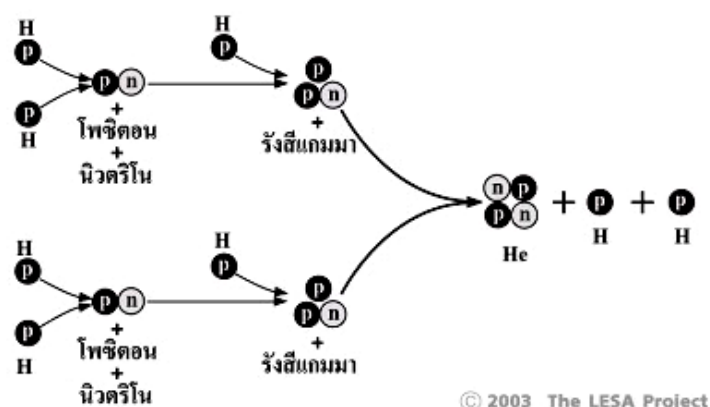
2.4 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดวงอาทิตย์¹

2.1.1 การกำเนิดดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ (The Sun) เป็นดาวฤกษ์ศูนย์กลางของระบบสุริยะ โดยมีดาวเคราะห์โคจรรอบๆ ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,392,000 กิโลเมตรซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าโลกถึง 109 เท่า มีปริมาตรมากกว่าโลกประมาณ 3 แสนเท่า มีมวลมากกว่ามวลของโลกประมาณ 1/3 ล้านเท่า ดวงอาทิตย์เป็นดาวเกิดจากกลุ่มแก๊สขนาดมหึมา ประกอบด้วยไฮโดรเจนประมาณ 75% และฮีเลียมประมาณ 25% ที่เหลือจำนวน 0.1% เป็นโลหะ โดยสัดส่วนเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ภายในแกนของดวงอาทิตย์จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน (Nuclear Fusion)² หรือระเบิดไฮโดรเจน ซึ่งจะเปลี่ยนไฮโดรเจนให้กลายเป็นฮีเลียม เป็นที่มาของพลังงานของดวงอาทิตย์ บริเวณที่เนื้อสารกลางเป็นพลังงานคือแกนกลางของดวงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 15 ล้านองศาเซลเซียส โดยที่แกนกลางมีระเบิดไฮโดรเจนจำนวนมากกำลังระเบิดเป็นปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ที่ไฮโดรเจนหลอมรวมกันกลายเป็นฮีเลียม ทุกๆ 1 วินาทีดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไฮโดรเจน 700 ล้านตัน ให้เปลี่ยนเป็นฮีเลียม 695 ล้านตัน ส่วนน้ำหนักที่หายไปเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานต่างๆ



ภาพประกอบ 1 ปฏิกิริยาการเกิดของดวงอาทิตย์

ที่มา: <http://www.lesa.biz/astromy/solar-system/sun> , สืบค้นวันที่ 24 กันยายน 2558

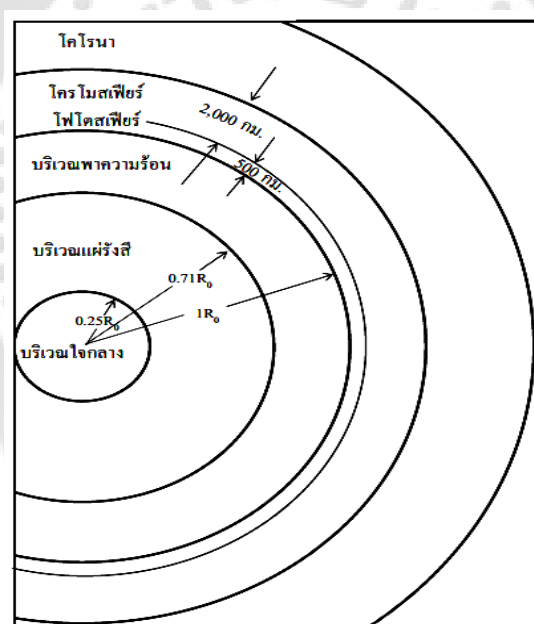
¹ เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). *รังสีอาทิตย์ (Solar radiation)*. หน้า 24.

² K.R. Lang. (2006). *Sun, Earth and Sky*. Springer, New York.

2.1.1.1 โครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์

โครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วย

1. แกนกลาง มีอุณหภูมิสูงกว่า 15 ล้านเคลวิน
2. โซนการแผ่รังสี พลังงานความร้อนถ่ายเทออกสู่ส่วนนอกในรูปแบบคลื่น
3. โซนการพาความร้อน อยู่เหนือโซนการแผ่รังสี พลังงานความร้อนในโซนนี้ถูกถ่ายเทออกสู่ส่วนนอก โดยการเคลื่อนที่ของก๊าซ
4. โฟโตสเฟียร์ เป็นพื้นผิวของดวงอาทิตย์ อยู่เหนือโซนการพาความร้อน สามารถสังเกตพื้นผิวส่วนนี้ได้ในช่วงคลื่นแสง มีอุณหภูมิประมาณ 5,500 เคลวิน
5. โครโมสเฟียร์ เป็นบริเวณที่อยู่เหนือขึ้นมาจากโฟโตสเฟียร์ มีอุณหภูมิสูงประมาณ 10,000 เคลวิน
6. โคโรนา เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ที่แผ่ออกไปในอวกาศ หลายล้านกิโลเมตร มีอุณหภูมิมากกว่า 1 ล้านเคลวิน



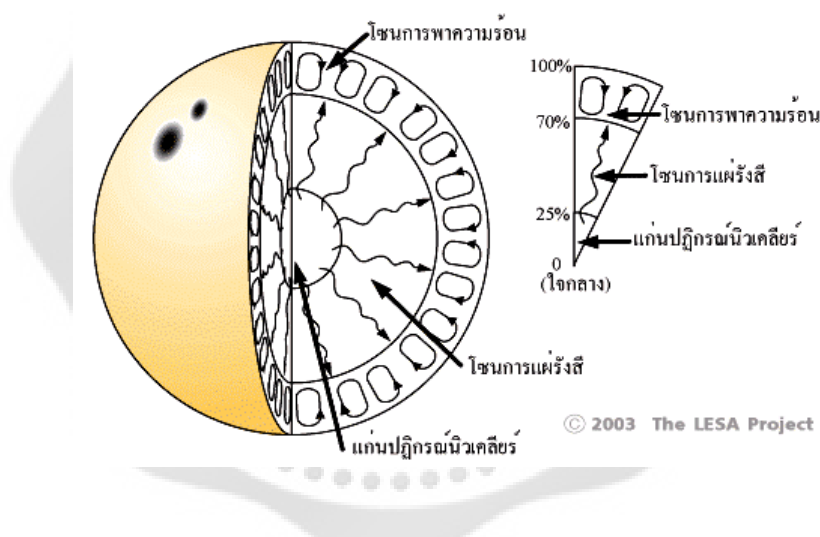
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์

ที่มา: เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557).
รังสีอาทิตย์ (Solar radiation). หน้า 25. สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

2.1.1.2 องค์ประกอบสำคัญของดวงอาทิตย์¹

ดวงอาทิตย์มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. ส่วนแกน (Fusion core) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดปฏิกิริยาฟิวชัน อยู่ที่ใจกลางของดวงอาทิตย์ถึงระยะ 25% ของรัศมี แรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ทำให้มวลสารของดาวกดทับกันจนอุณหภูมิที่ใจกลางสูงถึง 15 ล้านเคลวิน จุดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันหลอมอะตอมของไฮโดรเจนให้กลายเป็นฮีเลียมและปลดปล่อยพลังงานออกมา
2. โซนการแผ่รังสี (Radiative zone) อยู่ที่ระยะ 25 - 70% ของรัศมี พลังงานที่เกิดขึ้นจากแก่นปฏิกิริยานิวเคลียร์ถูกนำขึ้นสู่ชั้นบนโดยการแผ่รังสีด้วยอนุภาคโฟตอน เป็นชั้นที่ปลดปล่อยรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาภายนอก
3. โซนการพาความร้อน (Convection zone) อยู่ที่ระยะ 70 - 100% ของรัศมี เป็นชั้นที่อนุภาคที่ได้รับพลังงานความร้อนจากชั้นแผ่รังสีมีการเคลื่อนที่ถ่ายเทพลังงานให้กันทำให้มีการพาพลังงานมาสู่ผิวชั้นนอกได้



ภาพประกอบ 3 องค์ประกอบสำคัญของดวงอาทิตย์

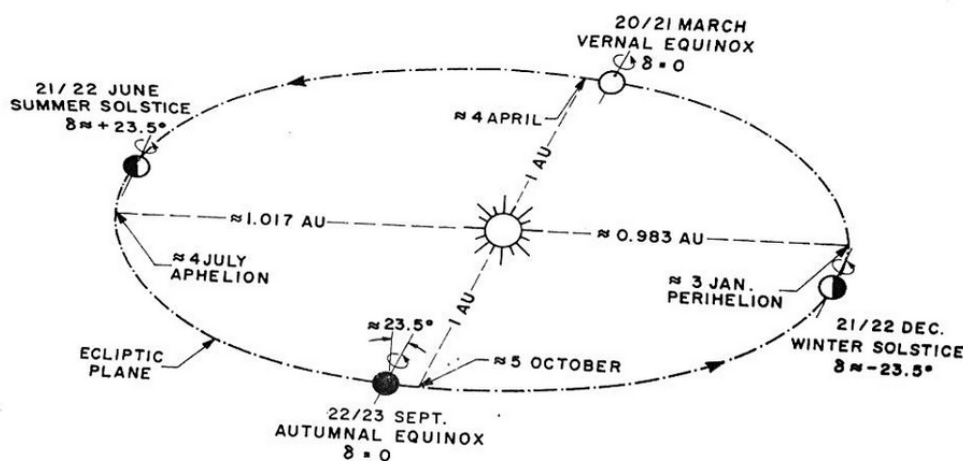
ที่มา: <http://www.lesa.biz/astromy/solar-system/sun> สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

¹ <http://www.lesa.biz/astromy/solar-system/sun> สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

2.1.2 สมบัติทางเรขาคณิตของรังสีดวงอาทิตย์

2.1.2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์¹

การเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์จะมีวงโคจรเป็นวงรี โดยมีความรี (Eccentricity) เท่ากับ 0.01672 มีระยะกึ่งแกนหลัก เท่ากับ 1.496×10^8 กิโลเมตร โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่งของวงรี แสดงดังภาพประกอบที่ 4 ระนาบของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ เรียกว่า ระนาบสุริยวิถี (Ecliptic plane) แกนหมุนของโลกจะเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากของระนาบสุริยวิถีเป็นมุม 23.5 องศา ดังนั้นจึงทำให้ระนาบศูนย์สูตรของโลกทำมุมกับระนาบสุริยวิถีเป็นมุม 23.5 องศาด้วย การที่แกนโลกเอียง ทำให้ซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้เอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากน้อยต่างกัน โดยโลกจะหันซีกโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน จะทำให้กลางวันของซีกโลกเหนือยาวนานที่สุด และโลกจะหันซีกโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม



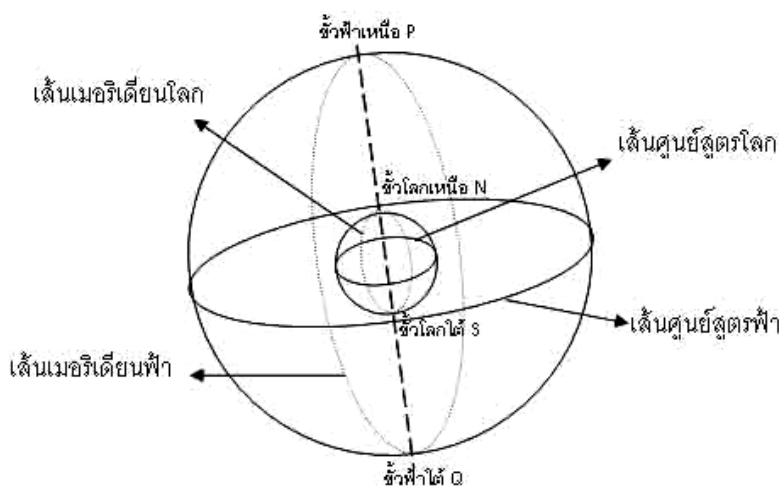
ภาพประกอบ 4 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ที่มา: Iqbal, Muhammad (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Page 2
สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

¹ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. *เครือข่ายการตรวจวัดความเข้มรังสีตรงและศักยภาพรังสีตรงในประเทศไทย*. (2008). หน้า 4

2.1.2.2 ทรงกลมฟ้า¹

ทรงกลมฟ้า (Celestial sphere) หมายถึง ทรงกลมสมมติขนาดใหญ่ ที่มีรัศมีอนันต์ โดยมีโลกเป็นจุดศูนย์กลาง โดยจะจินตนาการว่าโลกถูกห่อหุ้มด้วยทรงกลมฟ้า ซึ่งประกอบด้วยดาวฤกษ์ที่อยู่ห่างจากโลกด้วยระยะทางเท่ากันมีค่าเท่ากับรัศมีของทรงกลมฟ้า ทรงกลมฟ้าหมุนรอบโลก 1 รอบ ใช้ระยะเวลา 1 วัน ทำให้มองเห็นดาวฤกษ์เคลื่อนที่ไปตามทรงกลมฟ้าด้วยอัตรา 15 องศาต่อชั่วโมง ($360 \text{ องศา} / 24 \text{ ชั่วโมง} = 15 \text{ องศา}$)



ภาพประกอบ 5 ทรงกลมฟ้า

ที่มา: http://www.cis.psu.ac.th/fathoni/lesson/falakweb/ch4_3.html

สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

2.1.2.3 ทางเดินของดวงอาทิตย์

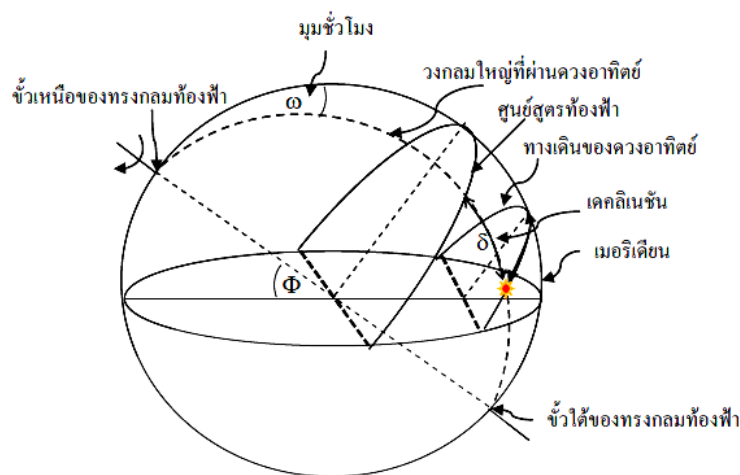
โดยทั่วไปตำแหน่งของดาวฤกษ์จะอยู่คงที่เมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก ทั้งนี้เพราะดาวฤกษ์อยู่ไกลจากโลกมากจนไม่สามารถสังเกตการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ดังนั้นเราจึงเห็นดาวฤกษ์อยู่ในระนาบเดิมซึ่งขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่กรณีของดาวเคราะห์และดวงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนระนาบการเคลื่อนที่บนท้องฟ้าไปตามเวลาในรอบปี ทั้งนี้เพราะเหตุวัตถุเหล่านี้อยู่ใกล้โลก และมีตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาเมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีโดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสหนึ่งของวงรีดังกล่าวและแกนหมุนของโลกทำมุมเอียงกับเส้นตั้งฉากของ ระนาบวงโคจรของโลกเป็นมุม 23.5 องศา

¹ <http://www.lesa.biz/astronomy/celestial-sphere> สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

2.1.2.4 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์^{1 2}

ในการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์จำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เนื่องจากมุมในการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละเวลาแตกต่างกัน ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั้นจะต้องพิจารณาท้องฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม ที่เรียกว่า “ทรงกลมฟ้า” โดยมีผู้สังเกตเป็นจุดศูนย์กลาง เนื่องจากท้องฟ้ามีขนาดใหญ่มากจึงถือว่าเป็นอนันต์ จะใช้ระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง (Equatorial system) ได้แก่ มุมเดคลิเนชัน

2.1.2.4.1 มุมเดคลิเนชัน (declination, δ) เป็นส่วนโค้งของวงกลมใหญ่ (Great circle) ผ่านขั้วทั้งสองของทรงกลมฟ้าระหว่างเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ากับทางเดินดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ระหว่าง $-23\frac{1}{2}^{\circ} < \delta < 23\frac{1}{2}^{\circ}$ จากการสังเกตจะพบว่าค่ามุมเดคลิเนชันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปี



ภาพประกอบ 6 ระบบการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ที่มา: เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). รังสีอาทิตย์ (Solar radiation). หน้า 35-36. สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

¹ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. เครือข่ายการตรวจวัดความเข้มรังสีตรงและศักยภาพรังสีตรงในประเทศไทย. (2008). หน้า 8-10

² เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). รังสีอาทิตย์ (Solar Radiation). หน้า 50-54

การหาค่ามุมเดคลิเนชัน สามารถแทนด้วยสมการดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365} (d_n + 284)\right) \quad \dots\dots\dots(1)$$

สมการข้างต้นให้ค่าที่มีความถูกต้องของค่าเดคลิเนชันสูง โดยค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 3 ลิปดา แต่การคำนวณโดยใช้สูตรดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก ต่อมาในปี พ.ศ. 2512 คูเปอร์(Cooper)¹ ได้เสนอสูตรที่ใช้งานที่สะดวกยิ่งขึ้น แม้ว่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่ามากกว่าเล็กน้อยแต่สามารถใช้งานด้านรังสีดวงอาทิตย์ทั่วไปได้ มีสมการดังนี้

$$\delta = \left(0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma \right) \left(\frac{180}{\pi} \right) \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ $\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \quad \dots\dots\dots(3)$

เมื่อ Γ คือ มุมวัน (day angle)

δ คือ เดคลิเนชัน (องศา)

d_n คือ วันในรอบปี โดยที่ $d_n = 1$ สำหรับวันที่ 1 มกราคม และ $d_n = 365$ สำหรับวันที่ 31 ธันวาคม (ในเดือนกุมภาพันธ์ที่มี 28 วัน)

2.1.3 ชนิดของการแผ่รังสี

2.1.3.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)²

พลังงานที่เกิดจากดวงอาทิตย์จะแผ่ออกมาโดยรอบในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ประมาณ 99% ของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.15 - 4.0 ไมโครเมตร ประมาณ 9% จะอยู่ในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเล็ต 45% ในส่วนของรังสีที่สามารถมองเห็นได้ และ 46% จะอยู่ในช่วงอินฟราเรด เราจะเรียกการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ว่า การแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short-wave radiation) พลังงานรวมที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 3.854×10^{26} วัตต์ โดยพลังงานของรังสีแต่ละช่วงความยาวคลื่นคิดเป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดดังตารางที่ 1

¹ Cooper, P.I., 1969. The absorption of solar radiation in solar still. Solar Energy 12(3), 333-346.

² เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). รังสีอาทิตย์ (Solar radiation). หน้า 24.

ตาราง 1 ความยาวคลื่นและสัดส่วนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

รังสีอาทิตย์	ช่วงความยาว คลื่น (ไมโครเมตร)	สัดส่วนของพลังงาน เมื่อเทียบกับ พลังงานทั้งหมดที่แผ่ออกมา (%)
รังสีอัลตราไวโอเลตซี (Ultraviolet C,UVC)	0.2-0.28	0.5
รังสีอัลตราไวโอเลตบี (Ultraviolet B,UVB)	0.28-0.32	1.3
รังสีอัลตราไวโอเลตเอ (Ultraviolet A,UVA)	0.32-0.40	6.2
แสงสว่าง	0.40-0.78	39
รังสีอินฟราเรด	0.78-1000	52.9

ที่มา: เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557).
รังสีอาทิตย์ (Solar radiation). หน้า 35-36. สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2558

2.1.3.2 การแผ่รังสีของโลก (Terrestrial radiation)

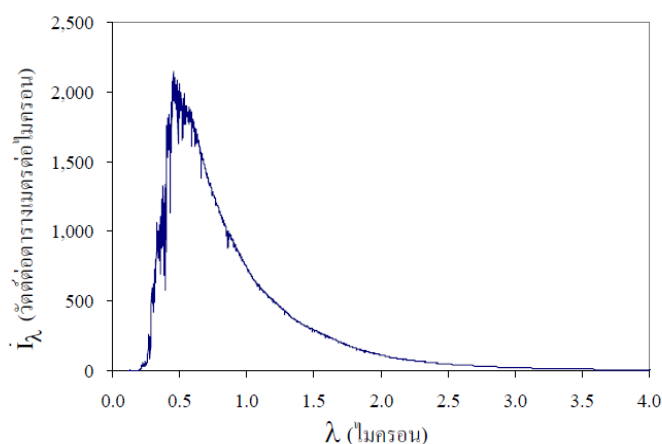
รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ซึ่งถูกดูดกลืนโดยผิวโลกจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การแผ่รังสีของโลกจะเป็นการแผ่รังสีของคลื่นยาว (long-wave radiation) จะอยู่ในช่วง 4.0-80 ไมโครเมตร รังสีที่แผ่ออกอยู่ในรูปของรังสีอินฟราเรดมากกว่ารังสีในช่วงที่มองเห็นได้ ซึ่งแตกต่างจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีความเข้มมากที่สุดประมาณ 5 ไมโครเมตร ในระยะที่เห็นได้ วัตถุที่สามารถดูดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เพียงปริมาณเล็กน้อยจะเป็นตัวดูดและตัวแปลงที่สำคัญของการแผ่รังสีคลื่นยาวจากโลก แก๊สในบรรยากาศแต่ละชนิดดูดพลังงานในช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น โอโซนดูดรังสีอินฟราเรดได้ปานกลางในระยะความยาวคลื่นระหว่าง 9.6 – 15 ไมโครเมตรไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวดูดที่สำคัญของการแผ่รังสีของโลก เนื่องจากสามารถดูดรังสีคลื่นยาวได้เกือบทุกความยาวคลื่น

2.1.3.3 การแผ่รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial radiation)¹

รังสีที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความยาวคลื่นต่างๆ ตั้งแต่รังสีแกมมาจนถึงคลื่นวิทยุ โดยแต่ละความยาวคลื่นจะมีความเข้มที่แตกต่างกัน สเปกตรัมของรังสีอาทิตย์หมายถึง ความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกมีความสำคัญในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในอวกาศ เช่น เซลล์สุริยะของดาวเทียม และยานอวกาศ นอกจากนี้ยังใช้เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่

¹ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. *เครือข่ายการตรวจวัดความเข้มรังสีตรงและศักยภาพรังสีตรงในประเทศไทย*. (2008). หน้า 8-10

พื้นผิวโลกอีกด้วย นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามหาสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกโดยอาศัยข้อมูลการวัดภาคพื้นดินและการวัดระดับสูงประกอบกับการคำนวณทางทฤษฎี จึงได้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกดังภาพ



ภาพประกอบ 7 สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

ที่มา: <http://www.lesa.biz/astronomy/solar-system/sun> ,สืบค้นวันที่ 23 กรกฎาคม

2558

การคำนวณหาการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก H_0 ของแต่ละวันในรอบปีสามารถคำนวณได้ตามสมการ (4) โดยค่าการแผ่รังสีนอกชั้นบรรยากาศโลกนั้นจะเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์ที่คำนวณมาข้างต้น ได้แก่ มุมเดคลิเนชัน มุมที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและขึ้นอยู่กับค่าละติจูดของพื้นที่ที่ทำการวัดอีกด้วย โดยค่า I_{sc} คือค่าคงที่สุริยะ มีค่าเท่ากับ $1,367 \text{ W/m}^2$

$$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360N}{365} \right) \right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega + \frac{2\pi}{360} \sin \phi \sin \delta \right) \quad \dots\dots\dots(4)$$

เมื่อ H_0 คือ รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันบนพื้นราบ

I_{sc} คือ ค่าคงตัวสุริยะ มีค่าเท่ากับ $1,367 \text{ W/m}^2$

N คือ วันในรอบปี

ϕ คือ ละติจูด

δ คือ เดคลิเนชัน

ω คือ มุมของดวงอาทิตย์

2.1.3.4 ค่าคงตัวสุริยะ (Solar constant)¹

พลังงานของรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานที่รวมทุกความยาวคลื่นที่ตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่ 1 หน่วยต่อ 1 หน่วยเวลาที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (1 AU) นอกบรรยากาศโลก จะเรียกว่าค่าคงตัวสุริยะ (Solar constant, I_{sc}) ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบสู่พื้นโลก จากการวัดภาคพื้นดินและการวัดโดยอาศัยบอลลูนและเครื่องบินในระดับสูงพบว่าค่าคงตัวรังสีแสงอาทิตย์ จะมีค่าเท่ากับ $1,353 \text{ W/m}^2$ ภายหลังได้มีการวัดและแก้ไขความคลาดเคลื่อนต่างๆเพิ่มเติมได้ค่าคงที่สุริยะเท่ากับ $1,367 \text{ W/m}^2$ โดยค่าดังกล่าวที่แก้ไขแล้วนี้ถือเป็นที่ยอมรับขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorology Organization, WMO) แต่อย่างไรก็ตามค่าคงที่สุริยะหรือค่าคงตัวแสงอาทิตย์ทั้งสองมีความแตกต่างกันเพียง 1% เท่านั้น

2.1.4 ประเภทการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบ

รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นโลกสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท

2.1.4.1 รังสีตรง (Direct or beam radiation) เป็นรังสีที่ได้จากดวงอาทิตย์โดยตรงที่ผ่านชั้นบรรยากาศโดยไม่มีการชนของอนุภาคใดๆในชั้นบรรยากาศ ทำให้มีทิศทางที่แน่นอน

2.1.4.2 รังสีแพร่ (Diffuse radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการชนของอนุภาคในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจาย หักเห และสะท้อน ทำให้มีทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบ

2.1.4.3 รังสีรวม (Total or global radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีแพร่ รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผิวโลก เราจะเห็นได้ว่า แสงอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวโลกนั้น จะไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้ง 100% ถึงแม้แสงอาทิตย์ที่โลกได้รับนั้นจะเป็นเพียงส่วนน้อย แต่ก็มีปริมาณมากพอในการนำมาใช้ให้ความร้อนก่อให้เกิดเทคโนโลยีแบบต่างๆ ในชีวิตประจำวัน

2.1.5 พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลก²

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยรังสีในทุกย่านความถี่ เช่น คลื่นวิทยุ ความร้อน แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา โดยมีความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีแตกต่างกัน พลังงานรังสีอาทิตย์กระทบบรรยากาศ จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับอะตอมและโมเลกุลแก๊สต่าง ๆ ไอน้ำ ฝุ่น และอนุภาคหลายชนิดซึ่งเป็นองค์ประกอบของบรรยากาศ ทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่บริเวณนอก

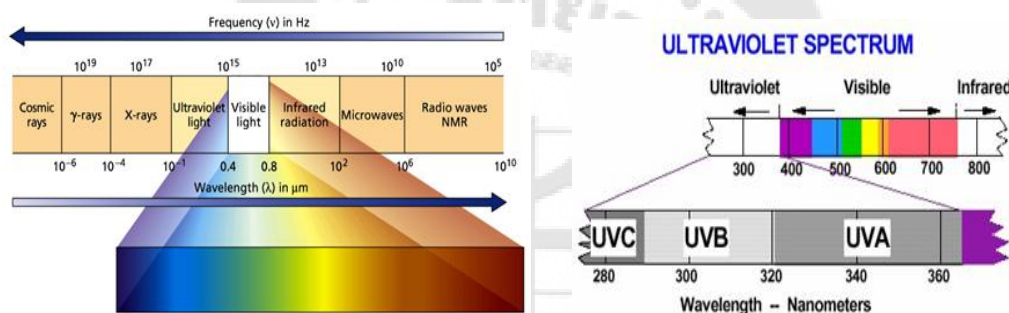
¹ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. เครือข่ายการตรวจวัดความเข้มรังสีตรงและศักยภาพรังสีตรงในประเทศไทย. (2008). หน้า 8-10

² รวิภา ยงประยูร และ วศินวิโรจน์ เนติศักดิ์. (2552). การประเมินความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดลำปาง. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. หน้า 3- 4

บรรยากาศกับที่บนพื้นผิวโลกมีค่าแตกต่างกัน โดยถ้าแยกพิจารณาแต่ละช่วงความยาวคลื่นจะได้รายละเอียดในการดูดกลืนคลื่นรังสีอาทิตย์ดังนี้

2.1.5.1 ช่วงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet)

ช่วงอัลตราไวโอเลตหรือช่วงรังสีเหนือม่วง มีความยาวคลื่น (λ) ต่ำกว่า 0.3 ไมโครเมตร คิดเป็น 7% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกสู่ผิวโลก หรือคิดเป็นพลังงาน 95 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) รังสีอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดยแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และโอโซน ทำให้เกิดการเปลี่ยนสภาวะอิเล็กตรอน หรือการเปลี่ยนวงโคจรของอิเล็กตรอนในอะตอมออกซิเจน ไนโตรเจน และโมเลกุลออกซิเจน โอโซน และไนโตรเจน ทำให้โมเลกุลออกซิเจนและไนโตรเจนแตกตัวเป็นอะตอม เนื่องจากการดูดกลืนในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลตทำให้อัตราการเกิดรังสีที่ตกกระทบบนผิวโลกเกือบจะไม่มีพลังงานแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต



ภาพประกอบ 8 สเปกตรัมของช่วงคลื่นอัลตราไวโอเลต

ที่มา: รวิภา ยงประยูร และ วศินวีโรธมภ์ เนติศักดิ์. (2552). การประเมินความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดลำปาง. หน้า 3 สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2558

2.1.5.1.1 ช่วงอัลตราไวโอเลตแบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่

UV-A มีความยาวคลื่น (λ) ระหว่าง 0.315 – 0.4 ไมโครเมตร (μm) ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมากนัก ความเข้มที่ผิวพื้นไม่ขึ้นกับปริมาณโอโซนในบรรยากาศ

UV-B มีความยาวคลื่น (λ) ระหว่าง 0.280 – 0.315 ไมโครเมตร (μm) มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมาก ความที่ผิวพื้นขึ้นกับปริมาณโอโซนในบรรยากาศ

UV-C มีความยาวคลื่น (λ) ระหว่าง 0.1 – 0.280 ไมโครเมตร (μm) จะถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศทั้งหมดไม่พบที่บริเวณผิวพื้น

2.1.5.2 ช่วงที่ตามองเห็น (visible light)

ช่วงที่ตามองเห็นเป็นรังสีที่มีความยาวคลื่น (λ) อยู่ในช่วง 0.4 - 0.75 ไมโครเมตร คิดเป็น 47.29% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลก หรือคิดเป็นพลังงาน 640 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) โดยมีแก๊สออกซิเจน โอโซน และน้ำดูดกลืนพลังงานรังสีอาทิตย์ไว้ มีการดูดกลืนแสงด้วยแก๊สออกซิเจน โอโซน และไนโตรเจนที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.690 ไมโครเมตร และที่ความยาวคลื่นประมาณ 0.76 ไมโครเมตร การดูดกลืนในช่วงแสงที่มองเห็นมีไม่มากนัก นอกจากนี้ช่วงคลื่นดังกล่าวทำให้ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นสีต่างๆของวัตถุได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบของแถบสีต่างๆ 7 สีเรียงติดกันเรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum)

2.1.5.3 ช่วงอินฟราเรด (infrared)

ช่วงอินฟราเรดหรือช่วงรังสีใต้แดง เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่น (λ) มากกว่า 0.8 ไมโครเมตร คิดเป็น 45.71% ของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลก หรือคิดเป็นพลังงาน 618 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) โดยมีโมเลกุลของน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ดูดกลืนรังสีอาทิตย์ โมเลกุลน้ำจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700 800 900 1,100 1,400 1,900 2,700 3,200 และ 6,300 นาโนเมตร ส่วนโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์จะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 1,600 2,000 2,700 และ 4,300 นาโนเมตร การดูดกลืนเกิดขึ้นในช่วงล่างของบรรยากาศภายใน 50 กิโลเมตรจากผิวโลกซึ่งเป็นส่วนที่มีน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์อยู่มาก พลังงานที่ถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมดทำให้บรรยากาศร้อนและมีการแผ่รังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นรังสีอาทิตย์ออกลงมาสู่พื้นโลกและออกสู่อวกาศ

2.1.6 ลักษณะการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

2.1.6.1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ¹

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นโลกจะถูกดูดกลืน (Absorption) และกระเจิง (Scattering) โดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศ รังสีที่เหลือพุ่งตรงมายังพื้นโลก เรียกว่า รังสีตรง (Direct radiation) รังสีที่เกิดการกระเจิงจะเรียกว่า รังสีแผ่ (Diffuse radiation) และรวมกันจะเป็นรังสีสุทธิหรือรังสีรวม (Global radiation) เป็นรังสีที่เข้าสู่พื้นดินซึ่งจะประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระเจิง

¹ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. เครือข่ายการตรวจวัดความเข้มรังสีตรงและศักยภาพรังสีตรงในประเทศไทย. (2008). หน้า 19-20

2.1.6.2 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม¹

โดยทั่วไปในท้องฟ้ามักจะมีเมฆปกคลุม ปริมาณของเมฆมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในรอบวัน ฤดูกาลหรือสถานที่ การคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมสามารถคำนวณได้จำเป็นต้องทราบปริมาณ ชนิด ความหนา และตำแหน่งของเมฆ แต่ข้อมูลเหล่านี้ค่อนข้างหายากเนื่องจากไม่มีการวัดเป็นประจำที่พื้นโลก ดังนั้นในการคำนวณหาค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จึงอาศัยการวัดเป็นหลัก จึงมีการติดตั้งเครือข่ายสถานีวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เพื่อเก็บข้อมูลระยะยาวเพื่อนำไปใช้ในงานต่างๆ แต่สำหรับบริเวณที่ไม่ได้มีการติดตั้งเครือข่ายสถานีวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ แต่ได้มีการวัดปริมาณเมฆ หรือจำนวนชั่วโมงแสงแดด ก็สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้

2.2 บรรยากาศโลก

2.2.1 ส่วนผสมของบรรยากาศ^{1 2}

บรรยากาศประกอบด้วยส่วนผสมของแก๊สโดยแท้ อย่างไรก็ตามภายในแก๊สก็ยังมีอนุภาค ของแข็งเล็กๆเช่นฝุ่นและควันลอยอยู่ และยังมีน้ำที่เกิดขึ้นไม่เฉพาะในรูปไอน้ำ แต่ยังเกิดขึ้นในรูป ของแข็งและของเหลวรวมอยู่ด้วย ส่วนผสมของอากาศแห้งโดยปริมาตรที่ระดับทะเลแสดงไว้ในตารางที่ 2 ณ ตำบลที่ตั้งอยู่ ห่างไกลมาจากนครใหญ่ๆ และไฟป่า

ตาราง 2 ส่วนผสมของบรรยากาศ

แก๊ส	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ไนโตรเจน	78.084
ออกซิเจน	20.946
อาร์กอน	0.934
คาร์บอนไดออกไซด์	0.033
นีออน	0.00182
ฮีเลียม	0.00066
คริปทอน , ไฮโดรเจน ซีนอน , โอโซน, เรดอน, เป็นต้น	0.00066

¹ Petty, G.W., 2004. *A First Course in Atmospheric Radiation*. Sundog Publishing, Madison, Wisconsin.

² บำรุง สวัสดิ์คานนท์ กองการศึกษาและวิจัย กรมอุตุนิยมวิทยา. (2538). *อุตุนิยมวิทยาทั่วไป*. หน้า 5-10 สืบค้นวันที่ 26 กรกฎาคม 2558

2.2.2 อนุภาคในชั้นบรรยากาศ (Particulate matter) ¹

2.2.2.1 ละอองลอย (Aerosols) หมายถึง อนุภาคของเหลวหรือของแข็งขนาดเล็กที่แขวนลอยและฟุ้งกระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศ โดยปกติจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001 ถึง 1,000 ไมครอน สามารถจำแนกละอองลอยออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะการเกิด ได้แก่

2.2.2.1.1 ละอองลอยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นผงที่เกิดจากภูเขาไฟ จากอวกาศ อุกกาบาต ฝุ่นผงที่เกิดขึ้นเนื่องจากลม ละอองเกสรจากพืช การฟุ้งร่อนของหิน ไฟป่า และอนุภาคเกลือจากฟองคลื่นในทะเล เป็นต้น

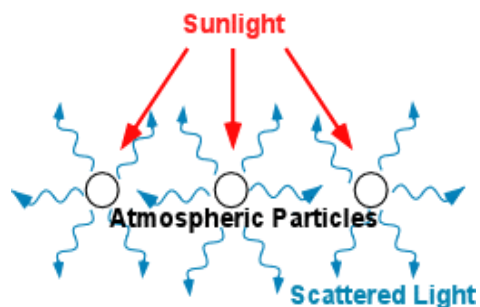
2.2.2.1.2 ละอองลอยที่เกิดจาก กิจกรรมของมนุษย์เช่น ฝุ่นและควันจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม การเผาไหม้ต่าง ๆ ควันไอเสียจากยานยนต์ การใช้อาวุธเคมี การทดลองอาวุธนิวเคลียร์ตลอดจนการแตกตัวของ สารกัมมันตภาพรังสี ทำให้เกิดละอองลอยสู่บรรยากาศ เป็นต้น

ละอองลอยในบรรยากาศมีผลโดยตรงต่อการวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เนื่องจากอนุภาคของละอองลอยที่อยู่ในชั้นบรรยากาศนั้นสามารถดูดกลืน (Absorb) กระเจิง (Scattering) และการแผ่รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นตัวกระทำที่ทำให้เกิดความขุ่นมัวของสภาพอากาศและบ่งบอกถึงมลภาวะทางอากาศ (Pollution, air pollution) นอกจากนี้ละอองลอยยังสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 2 ประเภท คือ ละอองลอยที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ (Particulate matters, PM₁₀) มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 2.5-10 ไมครอน และละอองลอยที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (Particulate matters, PM_{2.5}) เป็นละอองลอยที่มีขนาดเล็กมากกว่า 2.5 ไมครอน ^{2 3}

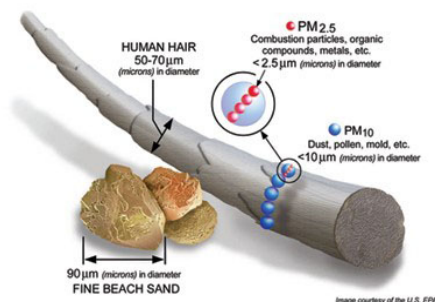
¹ <http://e-book.ram.edu/e-book/g/GE410/chapter2.pdf> สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2558

² สุทธิพันธุ์ จันทราศรี. (2553). การสร้างโมเดลขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลพารามิเตอร์ของละอองลอยจากข้อมูลเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี. ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

³ C.N. Hewitt and A.V. Jackson. (2009). Atmospheric Science for Environmental Scientists. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. Page 168-170



(9.1)



(9.2)

ภาพประกอบ 9 การชนและการกระเจิงของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เมื่อชนกับละอองลอย (9.1)

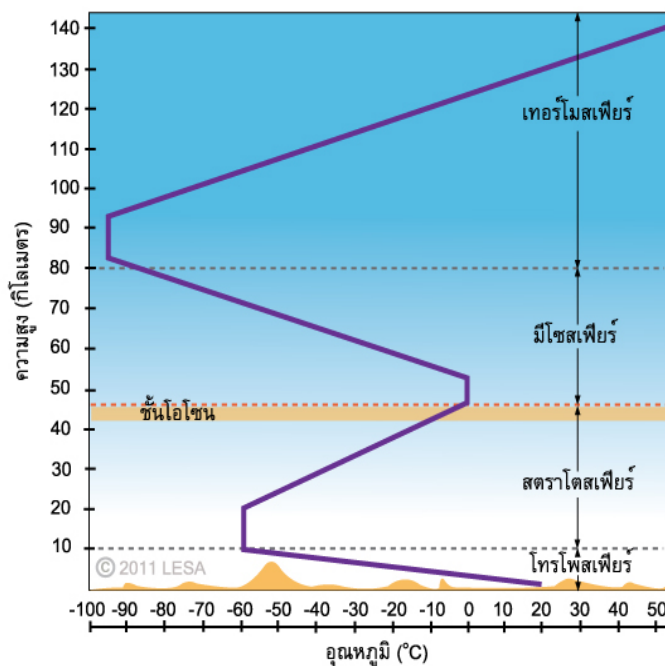
และลักษณะของละอองลอย(9.2) โดยการแยกตามเส้นผ่านศูนย์กลาง

ที่มา: <http://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.particle>

สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2558

2.2.3 การแบ่งชั้นในแนวตั้งของบรรยากาศ

พิจารณาโดยย่อถึงการจัดชั้นของบรรยากาศโดยถืออุณหภูมิเป็นหลักซึ่งแบ่งแยกออกเป็น 4 แถบด้วยกัน คือ โทรโพสเฟียร์ สตราโตสเฟียร์ เมโซสเฟียร์ และ เทอร์โมสเฟียร์



ภาพประกอบ 10 การแบ่งชั้นในแนวตั้งของบรรยากาศ

ที่มา: <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/atm-structure> สืบค้นวันที่ 3

ตุลาคม 2558

2.2.2.1 บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศชั้นล่างสุด ที่อยู่สูงจากพื้นโลกขึ้นไป มีระยะความสูงประมาณ 10-12 กิโลเมตร เป็นชั้นที่มีความหนาแน่นมากที่สุดและใกล้ผิวโลกที่สุดจะประกอบด้วยส่วนผสมของก๊าซชนิดต่าง ๆ และไอน้ำอุณหภูมิของอากาศในชั้นนี้จะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิลดลง 0.6 องศาเซลเซียส ต่อ 100 เมตร อุณหภูมิในชั้นนี้มีค่าระหว่าง -73 องศาเซลเซียส ถึง -53 องศาเซลเซียส ชั้นต่อไปเรียกว่า โทรโพพอส เป็นที่ที่มีอุณหภูมิกว่า อากาศและละอองน้ำผิวโลกสามารถดูดกลืนคลื่นแสง เช่น แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) แสงอัลตราไวโอเล็ต แสง อินฟราเรด (Infrared, IR) และบรรยากาศในชั้นนี้ ยังมีการเคลื่อนไหวของอากาศ ทั้งในแนวนอน และแนวตั้ง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ ทางอุตุนิยมวิทยาเช่น การก่อตัวของเมฆ ฝน พายุ เป็นต้น

2.2.2.2 บรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ มีระดับความสูงขึ้นไปจนถึง 50 กิโลเมตรจากพื้นโลกอยู่สูงจากชั้นโทรโพสเฟียร์ขึ้นไป มีแนวกั้นระหว่างชั้นที่เรียกว่า โทรโพพอสบรรยากาศชั้นนี้จะมีก๊าซโอโซนอยู่ และด้วยคุณสมบัติในการดูดแสงอัลตราไวโอเล็ต หรือแสงเหนือม่วงจึงทำให้อุณหภูมิของอากาศ ในชั้นนี้เพิ่มขึ้นตามความสูงที่ความสูงประมาณ 50 กิโลเมตรจากผิวโลกมีอุณหภูมิประมาณ 10-20 องศาเซลเซียส ซึ่งเหตุผลก็คือมีการ ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) และรังสีอินฟราเรด (IR) โดยโอโซน (O_3) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของโอโซนในชั้นนี้ ประมาณ 1-5 ppm ชั้นสูงสุดของบรรยากาศชั้นนี้เรียกว่า สตราโตพอส ซึ่งอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 50-55 กิโลเมตร ชั้น สตราโตสเฟียร์ แทบจะไม่มีไอน้ำเลย บรรยากาศชั้นนี้ไม่แปรปรวน มีเสถียรภาพมาก และทัศนวิสัยที่ เหมาะสมสำหรับ สำหรับการบิน

2.2.2.3 บรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์ เป็นชั้นที่อยู่สูงขึ้นไปต่อจากชั้นสตราโทสเฟียร์มีเขตกั้นระหว่างชั้นบรรยากาศทั้งสอง ที่เรียกว่า สตราโทพอสเป็นชั้นที่อยู่ตรงกลางของบรรยากาศ ทั้ง 4 เป็นชั้นที่มีโอโซนน้อยมากบรรยากาศชั้นนี้อยู่สูงขึ้นไป จนถึงระดับความสูง 85 กิโลเมตร จากพื้นดินอุณหภูมิของอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็วทันทีที่ผ่านพ้นเขตสตราโทพอสขึ้นไปชั้นสูงสุดของบรรยากาศชั้นนี้เรียกว่าเมโซพอสเป็นเขตที่ตั้งระหว่างบรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์กับเทอร์มอสเฟียร์

2.2.2.4 บรรยากาศชั้นเทอร์มอสเฟียร์ เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดที่ห่อหุ้มโลกอยู่อยู่ระหว่างความสูง 90 - 800 กิโลเมตร ลักษณะเด่นของบรรยากาศในชั้นนี้ก็คืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูงไม่มีที่สิ้นสุดบรรยากาศในชั้นนี้จะมีการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ มากที่สุด มีประจุไฟฟ้าอิสระอยู่มากเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าบรรยากาศชั้น ไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งหมายความว่า การมีประจุไฟฟ้าอิสระอยู่มาก สามารถสะท้อนวิทยุคลื่นสั้นได้ จึงเป็นชั้นบรรยากาศ ที่ใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง

¹ <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/cloud> สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2558

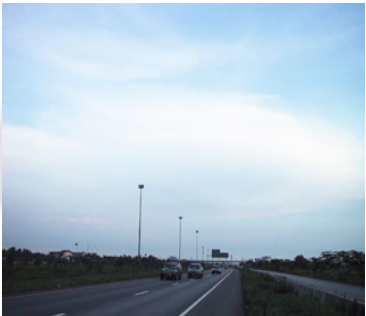
2.2.4 เมฆและการจัดชั้นของเมฆ¹

เมฆ (Cloud) คือ กลุ่มของละอองน้ำขนาดเล็กที่เกิดจากการควบแน่นของหยดน้ำในอากาศ เมฆชั้นสูงจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งซึ่งเป็นกลุ่มของผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก โดยปกติน้ำบริสุทธิ์และไอน้ำโปร่งแสงจนไม่สามารถมองเห็นได้ แต่หยดน้ำและผลึกน้ำแข็งมีพื้นผิว (Surface) ซึ่งสะท้อนแสงทำให้เราสามารถมองเห็นเป็นก้อนสีขาว และในบางครั้งมุมตกกระทบของแสงและเงาจากเมฆชั้นบนหรือเมฆที่อยู่ข้างเคียง นอกจากนั้นความหนาแน่นของหยดน้ำในก้อนเมฆก็อาจทำให้มองเห็นเมฆเป็นสีเทา ในธรรมชาติ เมฆเกิดขึ้นโดยมีรูปร่าง 2 ลักษณะคือ เมฆก้อนและเมฆแผ่น เมฆก้อนเรียกว่า “เมฆคิวมูลัส” (Cumulus) และเมฆแผ่นเรียกว่า “เมฆสตราตัส” (Stratus) แบ่งเมฆออกเป็น 4 ระดับ ดังตารางที่ 3



¹ <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/cloud> สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2558

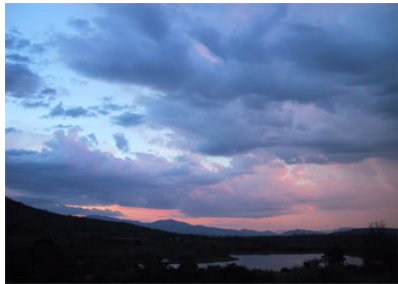
ตาราง 3 ชนิดของเมฆ

ชนิดของเมฆ	ชื่อเมฆ	รายละเอียด	ภาพเมฆ
เมฆระดับสูง (High clouds) (ความสูง 5,000 เมตร ขึ้นไป)	เมฆเซอร์รัส (Cirrus)	มีฐานสูงเฉลี่ย 10,000 เมตร มีลักษณะเป็นฝอยปุยสีขาว เหมือนขนนกบางๆ หรือเป็นทางยาว และอาจมีวงแสง (Halo) ด้วย	
	เมฆเซอร์โรคิวมูลัส (Cirrocumulus)	มีฐานสูงเฉลี่ย 7,000 เมตร มีลักษณะเป็นเกล็ดบางๆ สีขาว หรือเป็นละอองคลื่นเล็กๆ อยู่ติดกัน บางตอนอาจแยกจากกัน แต่จะอยู่เรียงรายกันอย่างมีระเบียบ โปร่งแสง อาจมองเห็นดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ได้	
	เมฆเซอร์โรสเตรตัส (Cirrostratus)	มีฐานสูงเฉลี่ย 8,500 เมตร มีลักษณะเป็นแผ่นเยื่อบางๆ โปร่งแสงเหมือนม่านติดต่อกันเป็นแผ่นในระดับสูง มีสีขาวหรือน้ำเงินจางปกคลุมเต็มท้องฟ้าหรือเพียงบางส่วน เป็นเมฆที่ทำให้เกิดวงแสงสีขาวหรือมีวงแสง (Halo) รอบดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ได้	

ตาราง 3 (ต่อ)

ชนิดของเมฆ	ชื่อเมฆ	รายละเอียด	ภาพเมฆ
เมฆระดับกลาง (Medium clouds) (ความสูง 2,000-5,000 เมตร)	เมฆอัลโตคิวมุลัส (Alto cumulus)	มีลักษณะอยู่เป็นกลุ่มๆ คล้ายฝูงแกะ มีสีขาว บางครั้งสีเทา มีการจัดตัวเป็นแถวๆ หรือเป็นคลื่นเป็นชั้นๆ มีเงาเมฆ มีลักษณะเป็นเกล็ดเป็นก้อนม้วนตัว (roll) อาจมี 2 ชั้น หรือมากกว่านั้น อาจมีแสงทรงกลม (Corona)	
	เมฆอัลโตสเตรตัส (Alto stratus)	มีลักษณะเป็นแผ่นหนา บางสม่ำเสมอในชั้นกลางของบรรยากาศ มองดูเรียบเป็นปุยหรือฝอยละเอียดแผ่ออกเป็นพืดเป็นลูกคลื่น ปกคลุมเต็มท้องฟ้า มีสีเทาหรือน้ำเงินอ่อน และอาจมีบางส่วนที่บางจนแสงอาทิตย์จะส่องผ่านลงมายังพื้นดินได้ อาจมีแสงทรงกลม (Corona)	
เมฆระดับต่ำ (Low clouds) (ความสูงต่ำกว่า 2,000 เมตร)	เมฆสเตรตัส (Stratus)	มีลักษณะเป็นแผ่นหนาๆ สม่ำเสมอในชั้นต่ำของบรรยากาศ ใกล้ผิวโลกเหมือนหมอก มีสีเทา มองไม่เห็นดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ ไม่ทำให้เกิดวงแสง (Halo) เว้นแต่เมื่อมีอุณหภูมิต่ำมากก็อาจเกิดได้	

ตาราง 3 (ต่อ)

ชนิดของเมฆ	ชื่อเมฆ	รายละเอียด	ภาพเมฆ
	เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus)	มีสีเทา ลักษณะอ่อนนุ่ม เป็นก้อนกลมเรียงติดๆ กัน ทั้งทางแนวดิ่งและทางแนวนอนทำให้มองเห็นเป็นลอนเชื่อมติดต่อกันไป	
	เมฆนิมโบสเตรตัส (Nimbostratus)	มีลักษณะเป็นแผ่นหนาสีเทาต่ำ เป็นแนวยาวติดต่อกันแผ่กว้างออกไป ไม่เป็นรูปร่าง เป็นเมฆที่ทำให้เกิดฝนตกจึงเรียกกันว่าเมฆฝน เมฆชนิดนี้จะไม่มีฟ้าแลบฟ้าร้อง เกิดเฉพาะในเขตอบอุ่นเท่านั้น	
เมฆแนวตั้ง (Vertical Clouds) (ก่อตัวในแนวดิ่งซึ่งทำให้เมฆมีความสูงจากฐาน โดยความสูงของฐานเมฆเฉลี่ย 1,600 ฟุต หรือ 500 เมตร)	เมฆคิวมูลัส (Cumulus)	ลักษณะเป็นเมฆก้อนหนา มียอดมนกลมคล้ายกะหล่ำดอก เห็นขอบนอกได้ชัดเจน ส่วนฐานมีสีค่อนข้างดำ ก่อตัวในทางตั้ง กระจายกระจายเหมือนสำลี ถ้าเกิดขึ้นเป็นหย่อมๆ หรือลอยอยู่โดดเดี่ยวแสดงถึงสภาวะอากาศดี ถ้ามีขนาดก้อนเมฆใหญ่ก็อาจมีฝนตกภายใต้ก้อนเมฆ ลักษณะเป็นฝนเฉพาะแห่ง	
	เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus)	ลักษณะเป็นเมฆก้อนใหญ่รูปร่างคล้ายภูเขาใหญ่ มียอดเมฆแผ่ออกเป็นรูปร่างคล้ายทั่งที่ใช้ในการตีเหล็ก (anvil) ฐานเมฆต่ำมีสีดำมืด เป็นเมฆหนา มีดึก มีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง อาจอยู่กระจายหรือรวมกันอยู่ มักมีฝนตกลงมา	

2.3 การคำนวณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และสมการที่เกี่ยวข้อง¹

การใช้สมการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณหาค่ารังสีดวงอาทิตย์เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยทำนายค่าและสามารถประเมินดูแนวโน้มของรังสีดวงอาทิตย์ โดยข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่นำมาใช้คำนวณรังสีดวงอาทิตย์ เช่น ข้อมูลความยาวนานแสงแดด อุณหภูมิ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆ เนื่องด้วยค่าทางอุตุนิยมวิทยาเหล่านี้เป็นค่าพื้นฐานที่หาได้ทั่วไปในแต่ละสถานที่ ทำให้มีความสัมพันธ์ทางด้านสถิติกับค่ารังสีดวงอาทิตย์

2.3.1 การคำนวณพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์²

2.3.1.1 เดคลิเนชัน (Declination) และ มุมวัน (Day angle) คำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

2.3.1.2 มุมที่ดวงอาทิตย์ขึ้น (Sunrise hour angle)

$$\omega = \cos^{-1}[-\tan \delta \tan \phi] \quad \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ ω คือ มุมที่ดวงอาทิตย์ขึ้น (Sunrise hour angle)
 δ คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination)
 ϕ คือ ละติจูด (Latitude)

2.3.1.3 ความยาวนานของวัน (The day length)

$$S_0 = \frac{2}{15} \omega = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan \delta \tan \phi] \quad \dots\dots\dots(6)$$

เมื่อ S_0 คือ ความยาวนานของวัน (The day length)
 ω คือ มุมที่ดวงอาทิตย์ขึ้น (Sunrise hour angle)
 δ คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination)
 ϕ คือ ละติจูด (Latitude)

¹ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. เครือข่ายการตรวจวัดความเข้มรังสีตรงและศักยภาพรังสีตรงในประเทศไทย. (2008). หน้า 20

² Iqbal Muhammad. An introduction to solar radiation. (1983).page 3-17

2.3.2 ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

2.3.2.1 ความยาวนานแสงแดด

ความยาวนานของแสงแดด คือความเข้มของแสงแดดที่ส่องลงมาในแต่ละวัน มีผลต่ออุณหภูมิบนผิวโลกและสัมพันธ์กับองค์ประกอบอื่นๆ ของลมฟ้าอากาศ ทั้งความชื้น ลม ความกดอากาศและอื่นๆ ทั้งยังมีผลต่อการระเหยของน้ำและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชด้วย การวัดความยาวนานของแสงแดดในแต่ละวันวัดได้ด้วยเครื่องวัดแสงแดดที่มีลักษณะ เป็นลูกแก้วกลมใส มีที่สอดกระดาษอบสารเคมีอยู่ข้างใต้ เมื่อแสงแดดส่องผ่านลูกแก้วจะหักเหไปรวมกันที่จุดโฟกัสบนกระดาษพอดี เกิดรอยไหม้บนกระดาษเป็นทางยาวซึ่งจะบอกความยาวนานของแสงแดด ส่วนความลึกของรอยไหม้จะบอกความเข้มของแสงแดด

2.3.2.2 อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) ¹

อุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยพื้นฐานในการศึกษาสภาพอากาศ (Weather) เนื่องจากอุณหภูมิอากาศมีเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา เช่น ปี ฤดูกาล เดือน วัน หรือแม้กระทั่งรายชั่วโมง ปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในรอบวันคือ การหมุนรอบตัวเองของโลกซึ่งทำให้มุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป เวลาเที่ยงวันดวงอาทิตย์อยู่สูงเหนือขอบฟ้ามากที่สุด แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมฉากจึงมีความเข้มสูง ส่วนในเวลาเช้าและเย็น ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ขอบฟ้า แสงตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมเฉียง ลำแสงครอบคลุมพื้นที่กว้างทำให้ความเข้มของแสงจึงมีน้อยกว่าเวลาเที่ยง สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ข้อมูลของอุณหภูมิมามีเกี่ยวข้องกับดังนี้

2.3.2.2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (T_{ave}) การเก็บข้อมูลของอุณหภูมิจะเก็บข้อมูลราย 3 ชั่วโมง เริ่มตั้งแต่ 01.00 น. ถึง 22.00 น. แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาเฉลี่ยเป็นค่าเฉลี่ยรายวันของวันนั้นๆ

2.3.2.2.2 อุณหภูมิต่ำสุด และ อุณหภูมิสูงสุด (T_{min} and T_{max}) สำหรับการเก็บข้อมูลในแต่ละวันจะใช้วิธีการเก็บเป็นราย 3 ชั่วโมง ดังนั้นในแต่ละวันจะได้ข้อมูลอุณหภูมิในรอบวันจำนวน 8 ค่า ทำให้ทราบว่าค่าอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดมีค่าอยู่ที่เท่าไร

2.3.2.2.3 อัตราส่วนอุณหภูมิ (Temperature ratio, TR) เป็นสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดหารด้วยอุณหภูมิสูงสุดในรอบวันนั้นๆ

2.3.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นต่อปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศจะรับได้หรือปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน นิยมบอกค่าเป็นร้อยละ โดยที่ 100 %RH หมายถึง อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ อากาศไม่สามารถรับไอน้ำอีก หากมีไอน้ำเพิ่มขึ้นอีกจะเกิดเป็นหมอก

¹ <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere/air-temperature> สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2558

สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จะใช้แบบจำลองทั้งหมด 10 แบบจำลอง โดยจะแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในการคำนวณหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ แสดงดังตารางต่อไปนี้

2.3.3 การคำนวณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในส่วนของรังสีสุทธิ (global radiation)¹

ตาราง 4 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิ

แบบจำลอง ที่	สมการทางคณิตศาสตร์	พารามิเตอร์ทาง ดาราศาสตร์	สมการการ คำนวณทาง ดาราศาสตร์	ข้อมูลทาง อุตุนิยมวิทยา
1	$\frac{H_m}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0}$	$\delta, \Gamma, \omega, s_0$	(2),(3),(5),(6)	S
2	$\frac{H_m}{H_0} = a(\Delta T)^{0.5}$	δ, Γ, ω	(2),(3),(5)	ΔT
3	$\frac{H_m}{H_0} = a + b \left(\frac{RH}{100} \right)$	δ, Γ, ω	(2),(3),(5)	RH
4	$\frac{H_m}{H_0} = a + b(T_{ave})$	δ, Γ, ω	(2),(3),(5)	T_{ave}
5	$\frac{H_m}{H_0} = a + b(TR)$	δ, Γ, ω	(2),(3),(5)	TR
6	$\frac{H_m}{H_0} = a + b(TR) \times \left(\frac{RH}{100} \right)$	δ, Γ, ω	(2),(3),(5)	TR, RH

*หมายเหตุ ทุกแบบจำลองข้างต้นต้องคิดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial solar radiation: H_0) ในสมการที่ (4) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับใช้ในการคิดสมการที่ (4) ได้แก่สมการที่ (2),(3),(5)

แบบจำลองที่ 1 : แบบจำลองของอังสตรอม-เพรสคอตต์^{2 3}

¹ Muiwa S. Adaramila (2012). *Estimation global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria*. Renewable Energy 47(2012)38-44

² เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). *รังสีอาทิตย์ (Solar radiation)*. หน้า 250-253

³ Fariba Besharat, Ali A. Dehghan n, Ahmad R. Faghih. (2013). *Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 798–821

ในปี พ.ศ. 2467 อังสตรอม (Angstrom) ได้ทำการวัดรังสีอาทิตย์และความยาวนานแสงแดดที่เมืองสตอกโฮล์ม ประเทศสวีเดน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์และได้ผลดังสมการ

$$\bar{H} = \bar{H}_c \left(0.25 + 0.75 \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \right) \quad \dots\dots\dots(7)$$

เมื่อ $\bar{H}$ คือ รังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ($\text{J/m}^2/\text{day}$)
 $\bar{H}_c$ คือ รังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ($\text{J/m}^2/\text{day}$)
 $\bar{S}$ คือ ความยาวนานแสงแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (hr.)
 $\bar{S}_0$ คือ ความยาวนานของวันเฉลี่ยต่อเดือน (hr.)

ต่อมาอังสตรอม (Angstrom, 1956) ได้ทำการปรับปรุงสมการ ให้เขียนในรูปทั่วไปดังนี้

$$\bar{H} = \bar{H}_c \left[\alpha + (1-\alpha) \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \right] \quad \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อ α คือค่าคงที่เอมไพริคัล จากสมการของอังสตรอมจะเห็นว่าถ้า $\bar{S} = \bar{S}_0$ หรือท้องฟ้าปราศจากเมฆ จะได้ว่า $\bar{H} = \bar{H}_c$ และถ้า $\bar{S} = 0$ หรือท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมดจะได้ว่า $\bar{H} = \alpha \bar{H}_c$ ดังนั้น α จึงเสมือนเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีอาทิตย์ (Attenuation coefficient) ของเมฆ

เนื่องจากการคำนวณรังสีอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองของอังสตรอมจำเป็นต้องรู้ค่ารังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ($\bar{H}_c$) ซึ่งต้องทำการคำนวณหาหรือหาจากการคัดเลือกข้อมูลที่ได้จากการวัดซึ่งมีความยุ่งยาก

ต่อมาในปี พ.ศ. 2483 เพรสคอตต์ (Prescott)¹ ได้เสนอแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างรังสีรวมกับความยาวนานแสงแดดขึ้นใหม่ โดยใช้ข้อมูลจากการวัดในประเทศออสเตรเลีย โดยแทนที่จะใช้รังสีรวมเทียบกับรังสีในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ เขาใช้รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งได้ผลดังสมการ

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = 0.25 + 0.54 \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \quad \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อ $\bar{H}_0$ คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยการคำนวณค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลกรายวันบนพื้นราบ คัดได้จากสมการที่ (4)

¹ Prescott, J.A., 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia 64, 114-118.

เนื่องจากสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองในสมการ จะแปรค่าไปตามแหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลอง ดังนั้นจึงนิยมเขียนสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปทั่วไปดังนี้

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad \dots\dots\dots(10)$$

โดยที่ a_1 และ b_1 เป็นสัมประสิทธิ์เอมไพริคัลของแบบจำลองซึ่งนิยมเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของอังสตรอม (Angstrom coefficient) และเรียกสมการว่า แบบจำลองอังสตรอม-เพรสคอตต์ (Angstrom – Prescott model)

จากสมการที่ (10) สามารถหาความหมายของสัมประสิทธิ์ของสมการ โดยการพิจารณาค่าสูงสุดและต่ำสุดของ $\frac{S}{S_0}$ กล่าวคือ กรณีที่ $\frac{S}{S_0} = 1$ ซึ่งเป็นกรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆจะได้ว่า $\frac{H}{H_0} = a_1 + b_1$ นั่นคือ $a_1 + b_1$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศที่ปราศจากเมฆ สำหรับกรณีที่ $\frac{S}{S_0} = 0$ หรือกรณีที่ท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมด จะได้ว่า $\frac{H}{H_0} = a_1$ นั่นคือ a_1 เป็นค่าของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์ของบรรยากาศที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด

แบบจำลองที่ 2 : แบบจำลองของฮากรีฟและอลัน^{1 2}

ได้ใช้แบบจำลองโดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาเกี่ยวกับอุณหภูมิมาเพื่อใช้ในการหาค่ารังสีรวม ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a(\Delta T)^{0.5} \quad \dots\dots\dots(11)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

ΔT คือ อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิต่ำสุด

จากแบบจำลองของอังสตรอม-เพรสคอตต์ และแบบจำลองของฮากรีฟและอลัน ต่อมาได้มีการทดลองใช้พารามิเตอร์พื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยาที่สามารถวัดได้ มาใช้ทดสอบในการหาค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ดังสมการอื่นๆ ต่อไปนี้

¹ Hargreaves GH, Allen RG. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 2003;129:53e63.

² Fariba Besharat, Ali A. Dehghan n, Ahmad R. Faghieh. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 798–821

แบบจำลองที่ 3 : เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์มาทดสอบเพื่อหาการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b \left(\frac{RH}{100} \right) \quad \dots\dots\dots(12)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

แบบจำลองที่ 4 : เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยมาทดสอบเพื่อหาการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b(T_{ave}) \quad \dots\dots\dots(13)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

T_{ave} คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

แบบจำลองที่ 5 : เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุดมาทดสอบเพื่อหาการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b(TR) \quad \dots\dots\dots(14)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

TR คือ ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุด

แบบจำลองที่ 6 : เป็นแบบจำลองที่ใช้ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุดและค่าความชื้นสัมพัทธ์มาทดสอบเพื่อหาการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b(TR) \times \left(\frac{RH}{100} \right) \quad \dots\dots\dots(15)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

TR คือ ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุด

RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

ในส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนของการคำนวณรังสีแผ่ จะใช้สมการในการคำนวณทั้งหมด 4 สมการ ตั้งแต่ สมการที่ 7-10

2.3.1.2 ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้จะเพื่อคำนวณหาการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ในส่วนของรังสีกระจาย (diffuse radiation)¹

ตาราง 5 สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่

แบบจำลองที่	สมการ	สัญลักษณ์
1	$\frac{H_d}{H_m} = a + b \left(\frac{H_m}{H_0} \right)$	$\frac{H_d}{H_m} = K_d, \frac{H_m}{H_0} = K_T$
2	$\frac{H_d}{H_m} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right)$	$\frac{H_d}{H_m} = K_d$
3	$\frac{H_d}{H_0} = a + b \left(\frac{H_m}{H_0} \right)$	$\frac{H_d}{H_0} = K_{dd}, \frac{H_m}{H_0} = K_T$
4	$\frac{H_d}{H_0} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right)$	$\frac{H_d}{H_0} = K_{dd}$

2.3.4 วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ใช้²

¹ Koray Ulgen, Arif Hepbasli. (2008). Diffuse solar radiation estimation models for Turkey's big cities. Energy conversion and Management 50(2009) 149-156

² Muiywa S. Adaramila (2012). Estimation global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria. Renewable Energy 47(2012)38-44

ในการทดสอบการนำพารามิเตอร์ต่างๆทางอุตุนิยมหาวิทยาลัยมาใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าการแผ่รังสีของในแต่ละแบบจำลองนั้น ได้มีการนำค่ามาทดสอบทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือจากค่าที่ได้จากแบบจำลอง และค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือวัดค่าการแผ่รังสีโดยตรง โดยนิยมใช้ค่าทางสถิติดังต่อไปนี้ในการทดสอบ

2.3.4.1 ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{P} \sum 100 \left| \left(\frac{H_{\text{measure}} - H_{\text{predict}}}{H_{\text{measure}}} \right) \right| \% \quad \dots\dots\dots(16)$$

ค่า MAPE เปอร์เซ็นที่ยอมรับได้ในการใช้แบบจำลองทางอุตุนิยมหาวิทยาลัย จะอยู่ในช่วง 1-10

โดยที่ P คือ จำนวนข้อมูลที่พิจารณาทั้งหมด
 $H_{\text{m-measure}}$ คือ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริง
 $H_{\text{m-predict}}$ คือ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง

2.3.4.2 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error, RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{1}{P} \sum (H_{\text{measure}} - H_{\text{predict}})^2 \right]^{0.5} \quad \dots\dots\dots(17)$$

โดยที่ P คือ จำนวนข้อมูลที่พิจารณาทั้งหมด
 H_{measure} คือ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริง
 H_{predict} คือ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง

2.3.4.3 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2)¹

เป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด(ตัวแปรตามสามารถอธิบายโดยตัวแปรอิสระได้มากน้อยเพียงใด) คำนวณได้จากสูตร

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum (H_{\text{measure}} - H_{\text{predict}})^2}{\sum (H_{\text{measure}} - \bar{H}_{\text{measure}})^2} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots(18)$$

โดยที่ R^2 คือ เปอร์เซ็นต์การตัดสินใจ

¹ http://stattrek.com/statistics/dictionary.aspx?definition=coefficient_of_determination สืบค้นวันที่

H_{predict} คือ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง

H_{measure} คือ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริง

สรุป ค่า R^2 เป็นเปอร์เซ็นต์การตัดสินใจของค่าที่ได้จากการคำนวณได้จากแบบจำลองและค่าที่วัดได้จริง R^2 จะมีค่าอยู่ในช่วงของ 0-100% โดยที่ค่า R^2 ที่เกิดจากแบบจำลองที่มีค่าเข้าใกล้ 100 แสดงว่าแบบจำลองนั้นมีค่าไปด้วยกันกับค่าที่วัดได้จริง ส่วนแบบจำลองใดมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าแบบจำลองนั้นให้ผลที่ไม่ไปด้วยกันกับค่าที่วัดได้จริง

2.4 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์^{1 2}

เครื่องมือวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มีอยู่มากมาย เช่น ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าการแผ่รังสีสุทธิ ส่วนเครื่องมือวัดค่าการแผ่รังสีตรงจะเรียกว่า ไพเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) ส่วนเครื่องมือสำหรับวัดรังสีแพร่ทั่วไปมักจะใช้อุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนหรือลูกบอลมาติดตั้งบนเครื่องไพรานอมิเตอร์เพื่อปิดกั้นการแผ่รังสีตรงที่มาจากดวงอาทิตย์ เพื่อให้เครื่องมือรับเฉพาะในส่วนของรังสีแพร่ที่มาจากท้องฟ้าเท่านั้น สำหรับงานวิจัยครั้งนี้จะอาศัยการเก็บข้อมูลจากเครื่องมือที่เรียกว่า ไพรานอมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดค่าการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์



ภาพประกอบ 11 เครื่องมือวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

ที่มา: <http://eko-usa.com/products/solar-radiation-and-photonic-sensors> สืบค้นวันที่

4 ตุลาคม 2558

¹ เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). *รังสีอาทิตย์ (Solar Radiation)*. หน้า 293

² Peter J Robinson & Ann Henderson-seller. (1986). *Contemporary Climatology*. Wesley Longman Singapore (Pte) Ltd., Singapore. Page 26-28

ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือวัดรังสีรวม จะมีตัวรับรังสีที่ทำด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) จำนวนมากที่ต่อกันแบบอนุกรมซึ่งเรียกว่า เทอร์โมไพล์ (thermopile) โดยมีแผ่นรับรังสีสีดำปิดด้านบน เพื่อไม่ให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบเทอร์โมไพล์โดยตรง และมีโดมแก้วครอบด้านบนเพื่อป้องกันตัวรับรังสีจากฝนหรือสิ่งสกปรก เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรับรังสี แผ่นดังกล่าวจะถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นไปยังเทอร์โมไพล์ ทำให้เทอร์โมไพล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเทอร์โมไพล์ค่าของศักย์ไฟฟ้าง่ายสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้โดยการสอบเทียบกับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์มาตรฐาน ข้อดีของเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์คือ สามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในช่วง 0.3-3.0 ไมครอน ได้เท่ากันนอกจากนี้ยังสามารถทำงานโดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมมาก

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ. 2549 Aras และคณะ (Haydar Aras: & et al. 2006: 2240–2249) ได้ทำการศึกษาเรื่องการประมาณค่าการแผ่รังสีแปรในเขตอนาโตเลีย ประเทศตุรกี โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนารูปแบบใหม่ของโมเดลที่ทำการศึกษาในการทำนายค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีดวงอาทิตย์ในเขตอนาโตเลียของตุรกี ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 12 จังหวัด เป็นตัวอย่างในการวัดการแผ่รังสีและค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ทำการวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาตุรกี (DMI) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507 การแผ่รังสีแปรยังไม่ได้ทำการวัด โมเดลไฮบริด 12 แบบ สำหรับการประมาณค่าการแผ่รังสีแปรรายเดือนทั้ง 12 เขต ได้ถูกตรวจสอบและปรับปรุงให้ถูกต้องและแม่นยำเพื่อเป็นแนวทางสำหรับโครงการในอนาคต ในการศึกษาโมเดลทั้งหมดได้ถูกทดสอบโดยใช้ R^2 พบว่ารูปแบบที่ดีที่สุดจะอยู่ในสมการที่ 38 ซึ่งเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K_d กับ K_T ในรูปแบบสมการโพลีโนเมียลลำดับที่ 3 ซึ่งให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.9988 จากการศึกษาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในครั้งนี้เป็นประโยชน์แก่วิศวกรพลังงานแสงอาทิตย์ สถาปนิก เกษตรกรและงานที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์อีกจำนวนมากสำหรับเมืองอื่นๆที่มีสภาพภูมิอากาศที่คล้ายกัน

ปี พ.ศ. 2551 Ulgen และ Hepbasli (Koray Ulgen; & Arif Hepbasli. 2008: 149-156) ได้ทำการศึกษาโมเดลสำหรับการประมาณค่าการแผ่รังสีแปรในเมืองใหญ่ของตุรกี สานต่อจุดประสงค์ในอดีตที่ผ่านมา รูปแบบการทดลองต่างๆได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์รอบโลก ในการศึกษาครั้งนี้เกี่ยวข้องกับรูปแบบการประมาณค่ารังสีแปรพร้อมกับแสดงการทดสอบทางสถิติเพื่อใช้ในการประเมินผลงานในครั้งนี้ โดยการจัดกลุ่มของโมเดลในการทำนายค่าการแผ่รังสีแปรออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ ความสัมพันธ์ของดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า ค่าสัดส่วนของชั่วโมงแสงแดดกับความยาวนานในรอบวัน และสัดส่วนของค่าการแผ่รังสีแบบแปรกับค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก และแยกย่อยออกเป็นโมเดลอื่นๆอีกหลายโมเดล และทำการทดสอบทางสถิติ 9 รูปแบบ พบว่าความสัมพันธ์ทั้ง 4 กลุ่มนี้ให้ผลดีสำหรับ 3 เมืองใหญ่ของตุรกี

ปี พ.ศ. 2554 Li และคณะ (Huashan Li: & et al. 2011: 1944-1948) ได้ทำการศึกษาการประมาณค่าเฉลี่ยรายเดือนของการแผ่รังสีแปรสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษา 2 โมเดลสำหรับการประมาณค่าการแผ่รังสีแปร โดยการประมาณค่าจะขึ้นอยู่กับดัชนีของความโปร่งของท้องฟ้า, ระยะเวลาความยาวนานแสงแดด, อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประมาณค่าและเพื่อประมาณค่าการแผ่รังสีแปรโดยตรงจากองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ ในกรณีของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ สำหรับกรณีที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของโมเดลที่นำเสนอมีการเปรียบเทียบกับ 8 โมเดล ที่ทำการคัดเลือกจากงานเขียนกับข้อมูลที่ได้วัดได้ที่สถานีกวังโจวในประเทศจีน ผ่านการวิเคราะห์และทดสอบทางสถิติโดยใช้การทดสอบ MAPE, MBE และ RMSE แสดงให้เห็นว่าโมเดลทั้งสองแบบ (โมเดลที่ 1 และ 2) สามารถทำการประมาณค่าการแผ่รังสีเฉลี่ยรายเดือนได้อย่างมีความแม่นยำ ดังนั้นโมเดลทั้ง 2 แบบสามารถนำมาใช้กับสถานที่ที่มีสภาพอากาศเช่นเดียวกับกวังโจวซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน

ปี พ.ศ. 2555 Adaramola (Muyiwa S. Adaramola. 2012: 38-44) ได้ทำการศึกษาเรื่องการประมาณค่ารังสีสุทธิโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยาที่เมืองอาคูรีประเทศไนจีเรีย โดยใช้ข้อมูล 22 ปี ในช่วงกรกฎาคม ปี 1983 ถึงเดือนมิถุนายน ปี 2005 ทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือนเฉลี่ย ค่าพิกัดดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า พบว่ามีส่วนที่มีสภาพท้องฟ้ามีดครึ้ม และจะมีดครึ้มอย่างหนักในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนกันยายน และผลของความสัมพันธ์ของ Angstrom-Page model ให้ผลที่ดีกว่าความสัมพันธ์อื่นๆ และในการศึกษาและพัฒนาในครั้งนี้พบว่าในกรณีที่ไม่มีข้อมูลชั่วโมงแสงแดดมาใช้ประมาณค่าการแผ่รังสีสามารถนำค่าของอุณหภูมิมาใช้ในการประมาณค่าและให้ผลดี และผลในการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้กับสถานที่ที่มีสภาพอากาศเช่นเดียวกับอาคูรี

ปี พ.ศ. 2557 Aruna และ Janarthanan (R.K. Aruna; & B. Janarthanan. 2014: 2229-5518) ได้ทำการศึกษาดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (Clearness index, K_t) และความขุ่นมัวของท้องฟ้า (Cloudness index, K_d) ในเขตร้อน โดยทำการประเมินดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ($K_t = H_g/H_0$) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า ($K_d = H_d/H_g$) แลหาความสัมพันธ์สำหรับพื้นที่ในเขตร้อนในตอนใต้ของอินเดีย โดยใช้ระยะเวลา 15 ปี (พ.ศ. 2536 - พ.ศ. 2550) ของข้อมูลที่ทำการวัดทุกวันจากทั่วโลกและการแผ่รังสีแปรของดวงอาทิตย์เฉลี่ยได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้สำหรับ 2 แบบจำลองที่เรียบง่ายได้รับการเสนอให้ใช้สำหรับการทำนายรังสีแปร และให้ผลที่แม่นยำ และสรุปได้ว่าในช่วงฤดูร้อนจะมีค่า K_t สูง กล่าวคือในช่วงฤดูร้อนจะมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง และในช่วงฤดูฝนหรือฤดูหนาวจะให้ค่า K_d สูงเนื่องจากสภาพอากาศท้องฟ้าขุ่นมัวประกอบด้วยเมฆและส่วนอื่นๆ ในบรรยากาศในช่วงฤดูหนาว ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้จะเป็นสัดส่วนที่ผกผันกันเสมอ

สำหรับกรณีประเทศไทย ปี พ.ศ. 2519 เอกซ์เซล (R.H.B. Exell. 1976: 349 -354) เป็นนักวิจัยคนแรกที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์กับความยาวนานแสงแดด โดยใช้ข้อมูลจากการวัดที่กรุงเทพฯ และจังหวัดเชียงใหม่ ต่อมาในปี พ.ศ. 2524 กฤษณพงศ์ กীরติกรและคณะ ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์กับความ

ยาวนานแสงแดดจากข้อมูลวัดของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและสถานีวัดของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และได้เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองของสถานีต่างๆ

หลังจากนั้น ในปี พ.ศ. 2537 หิรัญลามและคณะ (J. Hirunlabh: & et al. 1994) ได้นำข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และความยาวนานแสงแดดจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานมาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม และได้เสนอแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์กับความยาวนานแสงแดดอีกครั้งหนึ่งเนื่องจากข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่นักวิจัยดังกล่าวข้างต้นใช้เป็นข้อมูลเก่ากว่า 30 ปีแล้ว และตลอดเวลาที่ผ่านมาสภาพแวดล้อมของประเทศเปลี่ยนแปลงไปมาก

ต่อมาในปี พ.ศ. 2539 จันทรฉายและคณะ (S. Janjai: & et al. 1996: 1283-1286) ได้ทำการศึกษาการแผ่รังสีสุริยและรังสีแพร่ สำหรับ 4 สถานีที่แตกต่างกัน ที่กรุงเทพฯ ได้แก่ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (KMUTT), มหาวิทยาลัยศิลปากร เขตสนามจันทร์ (SU) และกรมอุตุนิยมวิทยา (MET) และทำการเก็บรวบรวมข้อมูล 4 ปี, 8 ปี, 5 ปี และ 7 ปีตามลำดับ โดยข้อมูลทั้งหมดได้จากการบันทึกจากเครื่องไพรานอมิเตอร์ และได้ทำการสร้างโปรแกรมโดยสมการความสัมพันธ์ระหว่าง K_t กับ K_d โดยให้ค่าความน่าเชื่อถือ R^2 เท่ากับ 0.75 และทำการทดสอบโดยใช้การทดสอบทางสถิติ MBE และ RMSE เพื่อเปรียบเทียบกับโมเดลที่ได้จากโมเดลอื่นๆอีก 4 โมเดล ได้แก่ Lui & Jordan model, Page model, Ma & Iqbal model, Erbs et al. model พบว่าโมเดลที่ทำการศึกษาค้นคว้าให้ค่าที่ดีกว่า

และในปี พ.ศ. 2547 จันทรฉายและโต๊ะสิงห์ (S. Janjai; & K. Tohsing. 2004) ได้นำข้อมูลรังสีอาทิตย์ชุดใหม่จากเครือข่ายสถานีวัดรังสีอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยศิลปากรมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และความยาวนานแสงแดด เนื่องจากเป็นข้อมูลชุดใหม่และวัดด้วยเครื่องมือที่มีสมรรถนะสูงได้ทำการรวบรวมข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จากเครือข่ายสถานีวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร 3 แห่ง ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานีและสงขลา และข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยากรุงเทพฯ พร้อมทั้งได้รวบรวมข้อมูลความยาวนานแสงแดดซึ่งวัดที่สถานีเดียวกันจำนวน 9 ปี (พ.ศ. 2538 - 2546) จากนั้นได้ทำการคำนวณอัตราส่วนระหว่างค่าการแผ่รังสีสุริยรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (H) ต่อรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (H_o) และค่าอัตราส่วนความยาวนานแสงแดดรายวันเฉลี่ยต่อเดือน (S) ต่อความยาวนานของวันเฉลี่ยต่อเดือน (S_o) แล้วนำค่า H/H_o ไปเขียนกราฟกับค่า S/S_o จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง H/H_o กับ S/S_o มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยให้ค่า a และ b ตามแบบจำลองของอังสตรอม-เพรสกอตต์ ของในแต่ละจังหวัด และให้ค่า R^2 สูงสุดอยู่ที่กรุงเทพฯ และหลังจากนั้นได้ทำการทดสอบแบบจำลองโดยการนำไปทดสอบกับอีก 10 สถานี แล้วนำผลที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่วัดได้จริง และทำการทดสอบทางสถิติโดยใช้การทดสอบแบบ RMSD ให้ค่า 6.1% จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากแบบจำลองมี

ความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด ดังนั้นแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่ารังสีรวมในประเทศไทยได้อย่างแม่นยำ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาเครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูล และสถานที่

3.2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2.1 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์ (Astronomical parameters)

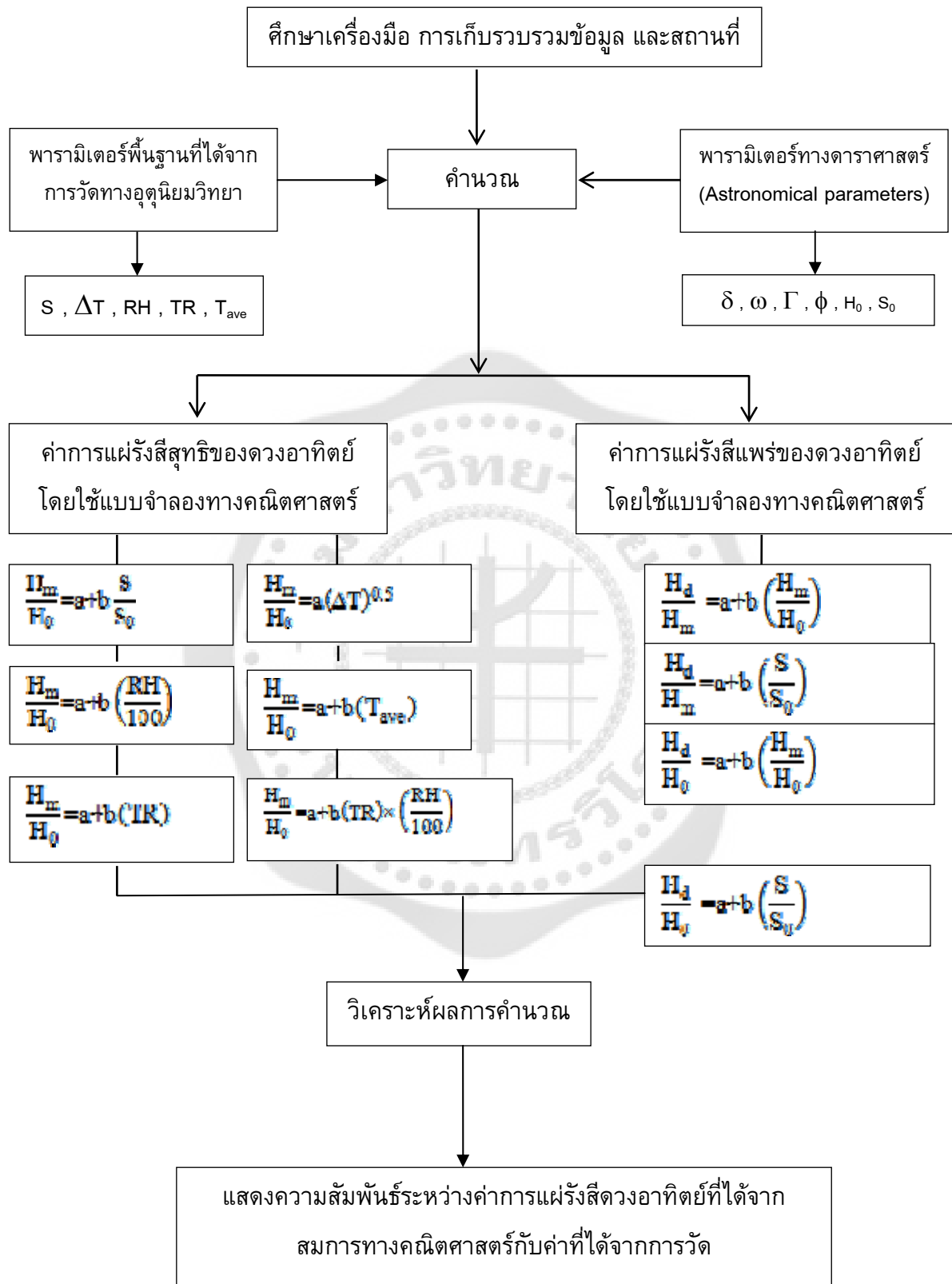
3.2.2 คำนวณค่าการแผ่รังสีสุทธิของดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2.3 คำนวณค่าการแผ่รังสีแพร่ของดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3 สร้างโปรแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริงจากเครื่องไพรานอมิเตอร์ ที่ติดตั้ง ณ กรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนากรุงเทพมหานคร กับค่าการแผ่รังสีที่ได้จากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อดูแนวโน้มและทำการเปรียบเทียบทางสถิติ โดยเลือกพล็อตกราฟเฉพาะวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง

3.4 ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่ เปรียบเทียบกับค่าจริงที่วัดได้จากเครื่องไพรานอมิเตอร์ โดยใช้การคำนวณทางสถิติ 3 แบบเพื่อแสดงความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error, MAPE), รากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error, RMSE) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of determination, R^2) และทำการสรุปผลการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน



3.1 ศึกษาเครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูลและสถานที่

3.1.1 เครื่องวัดรังสีรวม Pyranometer

ทำการศึกษาข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2552 ที่ได้จากเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่มีชื่อว่า Pyranometer ซึ่งได้ข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบรังสีรวม (Global radiation) และรังสีแพร่ (Diffuse radiation) ซึ่งเครื่องมือจะทำการวัดการแผ่รังสีตลอดทั้งวันตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งดวงอาทิตย์ตก

ข้อมูลที่ได้นำมาศึกษาในงานวิจัยในครั้งนี้ได้นำข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง Pyranometer ผลิตโดยบริษัท EKO รุ่น MS802 ที่ติดตั้งอยู่ ณ กรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ซึ่งได้ความอนุเคราะห์จากศูนย์ตรวจวิเคราะห์ไอโซนและรังสี นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานทางอุตุนิยมวิทยา ในส่วนของอุณหภูมิ ความยาวนานแสงแดด ความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อนำมาเป็นพารามิเตอร์พื้นฐานที่จะใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบทางสมการทางคณิตศาสตร์



ภาพประกอบ 12 เครื่อง Pyranometer ผลิตโดยบริษัท EKO รุ่น MS80

ที่มา: <http://eko-usa.com/products/photovoltaic-evaluation-systems/pyranometers/ms-802-pyranometer> สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2558

3.1.1.1 หลักการทำงานเบื้องต้น¹

ไพรานอมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดรังสีรวม จะมีตัวรับรังสีที่ทำด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) จำนวนมากที่ต่อกันแบบอนุกรมซึ่งเรียกว่า เทอร์โมไพล์ (thermopile) โดยมีแผ่นรับ

¹ เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). รังสีอาทิตย์ (Solar Radiation). หน้า 293

รังสีสีดำปิดด้านบน เพื่อไม่ให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบเทอร์โมไฟล์โดยตรง และมีโดมแก้วครอบด้านบนเพื่อป้องกันตัวรับรังสีจากฝนหรือสิ่งสกปรก เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรับรังสี แผ่นดังกล่าวจะถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นไปยังเทอร์โมไฟล์ ทำให้เทอร์โมไฟล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเทอร์โมไฟล์ค่าของศักย์ไฟฟ้างกล่าวสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้โดยการสอบเทียบกับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์มาตรฐาน ข้อดีของเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไฟล์คือ สามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในช่วง 0.3-3.0 ไมครอนได้เท่ากันนอกจากนี้ยังสามารถทำงานโดยไม่ขึ้นกับสภาพแวดล้อมมาก เครื่องไพรานอมิเตอร์ที่ผลิตโดยบริษัท EKO รุ่น MS-802 มีรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตาราง 6 รายละเอียดเครื่องไพรานอมิเตอร์ รุ่น MS-802

Specifications (typical)	MS-802 / MS-802F
ISO 9060 classification	Secondary Standard
Response time 95% (sec)	< 5
Zero offset - Thermal radiation (200W/m ²)	< 6 W/m ²
Zero offset - Temperature change (5K/hr)	< 2 W/m ²
Non-stability (change/year)	< 0.5 %
Non-linearity (at 1000W/m ²)	< 0.2 %
Directional response (at 1000W/m ²)	< 10 W/m ²
Spectral selectivity (0.35-1.5μm)	< 1 %
Temp. response (for 50°C band)	< 1 %
Tilt response (at 1000W/m ²)	< 0.2 %
Sensitivity (μV/W • m ⁻²)	Approx. 7
Impedance (Ω)	Approx. 500
Operating temperature range (°C)	- 40 to +80
Cable length	10m
Wavelength range	285 to 3000 nm

3.1.2 เครื่องวัดความยาวนานแสงแดดแบบแคมป์เบลล์-สโตรกส์

นอกจากเครื่อง Pyranometer ที่ใช้วัดค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้ว ยังมีเครื่องมือที่มีความสำคัญเนื่องจากใช้วัดความยาวนานแสงแดดแบบแคมป์เบลล์-สโตรกส์ จะใช้ในส่วนการเก็บข้อมูลความยาวนานแสงแดดเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลในสมการทางคณิตศาสตร์ ลักษณะของเครื่องวัดความยาวนานแสงแดดจะแสดงดังภาพประกอบที่

3.1.2.1 หลักการทำงานเบื้องต้น¹

เครื่องบันทึกแดดชนิด แคมป์เบลล์-สโตรกส์เป็นมาตรฐาน ที่ใช้ในสถานีตรวจอากาศทุกแห่งทั่วโลก โดยจะประกอบด้วยลูกแก้วทรงกลมขัดผิวเรียบซึ่งมีแกนขนานกับแกนโลกทรงกลม แก้วจะรวมรังสีตรงที่ตกกระทบด้านหน้าทรงกลมให้ตกกระทบบนกระดาษพิเศษ ซึ่งวางสัมผัสกับผิวทรงกลมด้านหลัง เมื่อดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งจุดโฟกัสแสงที่ตกกระทบบนกระดาษจะเปลี่ยนตำแหน่งตามไปด้วย ถ้าวัดรังสีตรงมีความเข้มสูงกว่า 120 วัตต์ต่อตารางเมตร กระดาษไวแสงก็จะไหม้เป็นทางตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เมื่อรวมระยะทางที่กระดาษไวแสงไหม้ เราจะสามารถหาช่วงเวลาที่มีแดดหรือความยาวนานแสงแดดได้



ภาพประกอบ 13 เครื่องวัดความยาวนานแสงแดดแบบแคมป์เบลล์-สโตรกส์

ที่มา: http://fieldtrip.ipst.ac.th/backend/images/resources/autu/content_pic/10-1.jpg

สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2558

3.1.3 สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.3.1 ที่ตั้งของสถานี (Location)

กรมอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร ที่อยู่เลขที่ 4353 กรมอุตุนิยมวิทยา ถนนสุขุมวิท แขวงบางนา เขตบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10260 หมายเลขโทรศัพท์ 02 3931653 เว็บไซต์: www.bangna.tmd.go.th พิกัด ละติจูด $13^{\circ} 67'$ องศาเหนือ ลองจิจูด $100^{\circ} 61'$ องศาตะวันออก

¹ เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). รังสีอาทิตย์ (Solar Radiation). หน้า 248-249



ภาพประกอบ 14 กรมอุตุนิยมวิทยากรุงเทพมหานคร

ที่มา: www.bangna.tmd.go.th สืบค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2558

3.1.3.2 ประวัติพอสังเขป

เดิมสังกัดกรมอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ใช้ชื่อว่า “สถานีตรวจอากาศ” เริ่มทำการเมื่อ 1 สิงหาคม 2479 ตั้งอยู่เลขที่ 125 หมู่ 1 ตำบลบางนา อำเภอบางนา จังหวัดกรุงเทพฯ

17 มีนาคม 2494 โอนมาอยู่ในสังกัดกรมอุตุนิยมวิทยา ใช้ชื่อว่า “สถานีตรวจ อากาศ กรุงเทพฯ” ตั้งอยู่เลขที่ 612 ถนนสุขุมวิท ตำบลคลองตัน อำเภอบางนา กรุงเทพฯ

2532 – ปัจจุบัน ย้ายมาอยู่ที่กรมอุตุนิยมวิทยาแห่งใหม่ ตั้งอยู่เลขที่ 4353 ถนนสุขุมวิท แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ และต่อมาได้เปลี่ยนชื่อสถานเป็น สถานีอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ

3.1.3.3 ลักษณะอากาศทั่วไป

สภาพอากาศโดยทั่วไป อากาศไม่ร้อนจัดหรือหนาวจัดมากนัก ลักษณะอากาศแบบร้อนชื้นโดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านจังหวัดและอยู่ใกล้กับอ่าวไทยจึงได้รับอิทธิพลจากทะเลอยู่บ้าง ปีหนึ่งมีฝนตก ประมาณ 118 วัน ปริมาณฝนเฉลี่ย 1,340.1 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 28.2 องศาเซลเซียส ฤดู แบ่งออกเป็น 3 ฤดู ฤดูร้อน ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในช่วงเดือนเมษายนจะมีอากาศ ร้อนอบอ้าวซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองและลมกรรโชกแรง หรือเรียกทั่วไปว่า “พายุ ฤดูร้อน” อุณหภูมิเฉลี่ย 34.1 องศาเซลเซียส ฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม

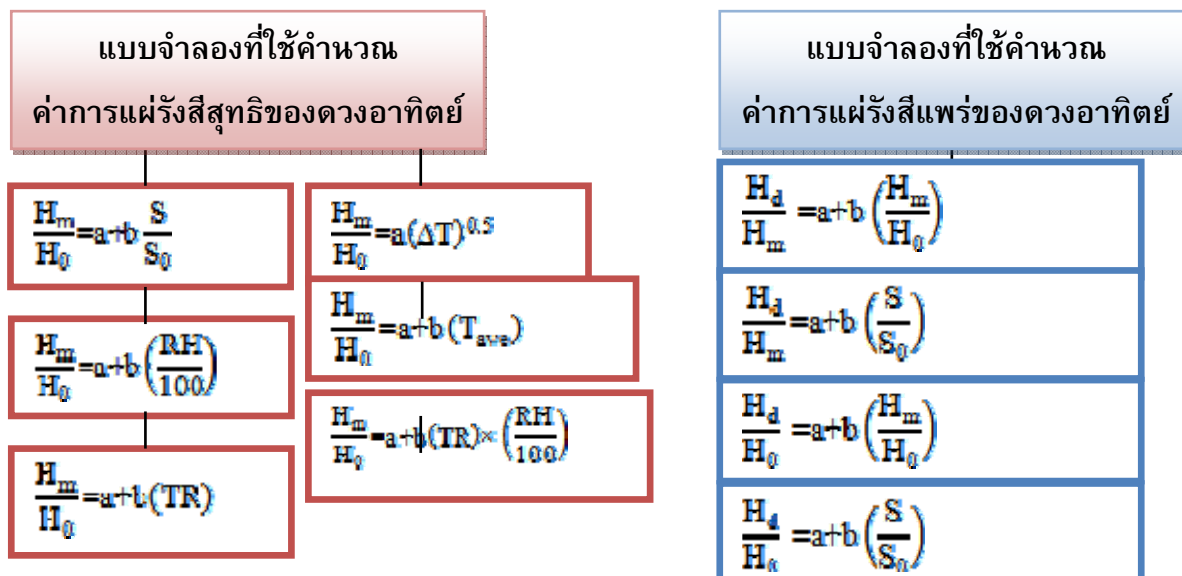
ถึงเดือนตุลาคม จะมีฝนทั้งช่วงบ้าง 1-2 สัปดาห์ในเดือนมิถุนายน และฝนจะตกชุกต่อเนื่องอีกช่วง เดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งจะมีฝนตกมากที่สุดช่วง เดือนสิงหาคมถึงกันยายน ฝนสูงสุด เฉลี่ย 197.6 มิลลิเมตร ฤดูหนาว ระหว่างเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดมา โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณกลางเดือนตุลาคมราว 1-2 สัปดาห์จะเป็น ช่วงเปลี่ยนฤดู อากาศแปรปรวน อาจมีอากาศเย็นหรือฝนฟ้าคะนองเกิดขึ้นได้บ้าง อากาศไม่หนาว มากนัก อุณหภูมิเฉลี่ย 20.6 องศาเซลเซียส 3.1.12 ค่าทางสถิติด้านอุตุนิยมวิทยาของสถานีอากาศ เกษตรบางนา อุณหภูมิ อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 28.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดวัดได้ 40.0 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2533 อุณหภูมิต่ำสุดวัดได้ 11.0 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2519 ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2526 ฝน ฝนตกหนัก ที่สุดใน 24 ชม. วัดปริมาณได้ 198.1 มิลลิเมตร เมื่อ 8 พฤษภาคม 2529 ฝนรวมรายเดือนมากที่สุด วัดปริมาณได้ 609.9 มิลลิเมตร เมื่อเดือน กันยายน 2515 ฝนรวมรายปีมากที่สุด วัดปริมาณได้ 2,036.3 มิลลิเมตร เมื่อปี 2531 ฝนรวมรายปีน้อยที่สุด วัดปริมาณได้ 1,103.3 มิลลิเมตร เมื่อปี 2512 ค่าเฉลี่ยฝนรวมทั้งปี 1,340.1 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ย จำนวนวันที่ฝนตก 118 วัน

3.1.3.4 สภาพแวดล้อมสถานี(Environment)

อาณาเขตติดต่อ ทิศเหนือ ติดกับแฟลตข้าราชการกรมอุตุนิยมวิทยา ทิศใต้ ติดกับ สนามกีฬาภูติอนันต์ ทิศตะวันออก ติดกับแฟลตพนักงานลูกจ้างกรมอุตุนิยมวิทยา ทิศตะวันตก ติด กับอาคารไม้ทาวนเฮ้าส์ข้าราชการกรมอุตุนิยมวิทยา

3.2 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และคำนวณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแผ่ โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์

สำหรับในส่วนแรกเป็นการคำนวณค่าการแผ่รังสีสุทธิดังแสดงในแผนผังซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองทั้งหมด 6 แบบจำลอง และการคำนวณการแผ่รังสีแผ่จะประกอบด้วย 4 แบบจำลอง ดังนี้



การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.2.1 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์ (Astronomical parameters)

พารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์	สมการ	ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
δ	$\delta = \left(\frac{0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070237 \sin \Gamma - 0.006738 \cos 2\Gamma}{+0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma} \right) \left(\frac{180}{\pi} \right)$	Γ
Γ	$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/363$	d_n
ω	$\omega = \cos^{-1}[-\tan \delta \tan \phi]$	δ, ϕ
S_0	$S_0 = \frac{2}{13} \omega = \frac{2}{13} \cos^{-1}[-\tan \delta \tan \phi]$	ω
H_0	$H_0 = \frac{24}{\pi} I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360N}{365} \right) \right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega + \frac{2\pi}{360} \sin \phi \sin \delta \right)$	$\delta, \phi,$

3.2.2 คำนวณค่าการแผ่รังสีสุทธิของดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

3.2.2.1 แบบจำลองที่ 1

ทำการทดสอบการหาค่ารังสีสุทธิจากแบบจำลองที่ 1 โดยการใช้ข้อมูลค่าความยาวนานแสงแดด S มาใช้หาค่าความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad \dots\dots\dots(19)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

S คือ ชั่วโมงมีแสง

S_0 คือ ชั่วโมงความยาวนานแสงแดด

3.2.2.2 แบบจำลองที่ 2

ทำการทดสอบการหาค่ารังสีสุทธิจากแบบจำลองที่ 2 โดยการใช้ข้อมูลค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดในรอบวันกับค่าอุณหภูมิต่ำสุดในรอบวัน (ΔT) มาใช้หาค่าความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a(\Delta T)^{0.5} \quad \dots\dots\dots(20)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

ΔT คือ อุณหภูมิสูงสุด – อุณหภูมิต่ำสุด

3.2.2.3 แบบจำลองที่ 3

ทำการทดสอบการหาค่ารังสีสุทธิจากแบบจำลองที่ 3 โดยการใช้ข้อมูลใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) มาใช้หาค่าความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b \left(\frac{RH}{100} \right) \quad \dots\dots\dots(21)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

3.2.2.4 แบบจำลองที่ 4

ทำการทดสอบการหาค่ารังสีสุทธิจากแบบจำลองที่ 4 โดยการใช้ข้อมูลใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{avg}) มาใช้หาค่าความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b(T_{avg}) \quad \dots\dots\dots(22)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

T_{avg} คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

3.2.2.5 แบบจำลองที่ 5

ทำการทดสอบการหาค่ารังสีสุทธิจากแบบจำลองที่ 5 โดยการใช้ข้อมูลใช้ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุด (TR) มาใช้หาค่าความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b(TR) \quad \dots\dots\dots(23)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

TR คือ ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุด

3.2.2.6 แบบจำลองที่ 6

ทำการทดสอบการหาค่ารังสีสุทธิจากแบบจำลองที่ 6 โดยการใช้ข้อมูลใช้ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุด (TR) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) มาใช้หาค่าความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{H_m}{H_0} = a + b(TR) \times \left(\frac{RH}{100}\right) \quad \dots\dots\dots(24)$$

โดยที่ H_m คือ รังสีรวมที่ได้จากการแผ่ของดวงอาทิตย์

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

TR คือ ค่าสัดส่วนของอุณหภูมิต่ำสุดต่ออุณหภูมิสูงสุด

RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์

จากแบบจำลองที่ 1 – 6 ความสัมพันธ์ของสมการจะอยู่ในรูปแบบของ $\frac{H_m}{H_0}$ ซึ่งเป็นค่าดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (Clearness index) ซึ่งในการเลือกวันที่จะทำการพล็อตกราฟนั้นต้องเลือกวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง หรือวันที่ไม่มีเมฆ เพื่อจะสามารถเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากโมเดลได้อย่างใกล้เคียงที่สุด หากเลือกวันที่มีเมฆมาพิจารณาด้วยจะทำให้ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากการใช้โมเดลมีค่าความผิดพลาดเนื่องด้วยสภาพของท้องฟ้าไม่โปร่งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย กล่าวคือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จะเป็นแบบจำลองที่สามารถคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ในทุกๆวันในกรณีท้องฟ้าโปร่ง ดังนั้นการเลือกวันในการพิจารณาจากข้อมูลที่วัดได้จริงก็ควรจะอยู่ในกรณีท้องฟ้าโปร่งเช่นเดียวกัน

หมายเหตุ การคำนวณหาค่า H_0 จะใช้ค่าละติจูดของกรมอุตุนิยมวิทยา โดย $\phi = 13.67$ องศา

3.2.3 คำนวณค่าการแผ่รังสีแพร่ของดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้¹

ในส่วนของการคำนวณรังสีแพร่ โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างสมการ 4 กลุ่มการทดลอง ดังนี้

3.2.3.1 คำนวณการแผ่รังสีแพร่โดยใช้ความสัมพันธ์ของ K_d เป็นฟังก์ชันกับ K_T

$$\frac{H_d}{H_m} = a + b \left(\frac{H_m}{H_0} \right) \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$\text{หรือ} \quad K_d = a + b (K_T) \quad \dots\dots\dots(26)$$

โดยที่ K_d คือ Cloudness index และ K_T คือ Clearness index

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ซึ่งเกิดจากการพล็อตกราฟแล้วจึงนำมาแทนค่าในแบบจำลองเพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่ที่ได้จากแบบจำลอง ($H_{d\text{-predict}}$)

$$(H_{d\text{-predict}}) = H_m \left[a + b \left(\frac{H_m}{H_0} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(27)$$

3.2.3.2 คำนวณการแผ่รังสีแพร่โดยใช้ความสัมพันธ์ของ K_d เป็นฟังก์ชันกับ $\frac{S}{S_0}$

$$\# \quad \# \quad \# \quad \# \quad \# \quad \frac{H_d}{H_m} = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad \dots\dots\dots(28)$$

$$\text{หรือ} \quad K_d = a + b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad \dots\dots\dots(29)$$

โดยที่ K_d คือ Cloudness index

S คือ ชั่วโมงมีแสง

S_0 คือ ชั่วโมงความยาวนานแสงแดด

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ซึ่งเกิดจากการพล็อตกราฟแล้วจึงนำมาแทนค่าในแบบจำลองเพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่ที่ได้จากแบบจำลอง ($H_{d\text{-predict}}$)

¹ Koray Ulgen, Arif Hepbasli. (2008). Diffuse solar radiation estimation models for Terkey's big cites. Energy conversion and Management 50(2009) 149-156

$$(H_{d-predict})=H_m \left[a+b \left(\frac{S}{S_0} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(30)$$

3.2.3.3 คำนวณการแผ่รังสีแปรโดยใช้ความสัมพันธ์ของ K_{dd} เป็นฟังก์ชันกับ K_T

$\frac{H_d}{H_0}=a+b \left(\frac{H_m}{H_0} \right) \quad \dots\dots\dots(31)$

หรือ $K_{dd}=a+b \left(\frac{H_m}{H_0} \right) \quad \dots\dots\dots(32)$

โดยที่ K_{dd} คือ Diffuse coefficient

K_T คือ Clearness index

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ซึ่งเกิดจากการพล็อตกราฟแล้วจึงนำมาแทนค่าในแบบจำลองเพื่อหาค่าการแผ่รังสีแปรที่ได้จากแบบจำลอง $(H_{d-predict})$

$$(H_{d-predict})=H_0 \left[a+b \left(\frac{H_m}{H_0} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(33)$$

3.2.3.4 คำนวณการแผ่รังสีแปรโดยใช้ความสัมพันธ์ของ K_{dd} เป็นฟังก์ชันกับ $\frac{S}{S_0}$

$$\frac{H_d}{H_0}=a+b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad \dots\dots\dots(34)$$

หรือ $K_{dd}=a+b \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad \dots\dots\dots(35)$

โดยที่ K_{dd} คือ Diffuse coefficient

S คือ ชั่วโมงมีแสง

S_0 คือ ชั่วโมงความยาวนานแสงแดด

H_0 คือ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกรายวันเฉลี่ยต่อเดือน

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ซึ่งเกิดจากการพล็อตกราฟแล้วจึงนำมาแทนค่าในแบบจำลองเพื่อหาค่าการแผ่รังสีแปรที่ได้จากแบบจำลอง $(H_{d-predict})$

$$(H_{d-predict})=H_0 \left[a+b \left(\frac{S}{S_0} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(36)$$

3.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริงจากไพโรมิเตอร์ ที่ทำการวัดได้ติดตั้ง ณ กรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนา กรุงเทพมหานครกับค่าการแผ่รังสีที่ได้จากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อดูแนวโน้มและทำการเปรียบเทียบทางสถิติโดยเลือกพล็อตกราฟเฉพาะวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง

3.4 ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่ กับค่าจริงที่วัดได้ โดยใช้การคำนวณทางสถิติ 3 แบบเพื่อดูความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ได้แก่ MAPE, RMSE และ R^2 จากนั้นทำการสรุปผลการวิจัย

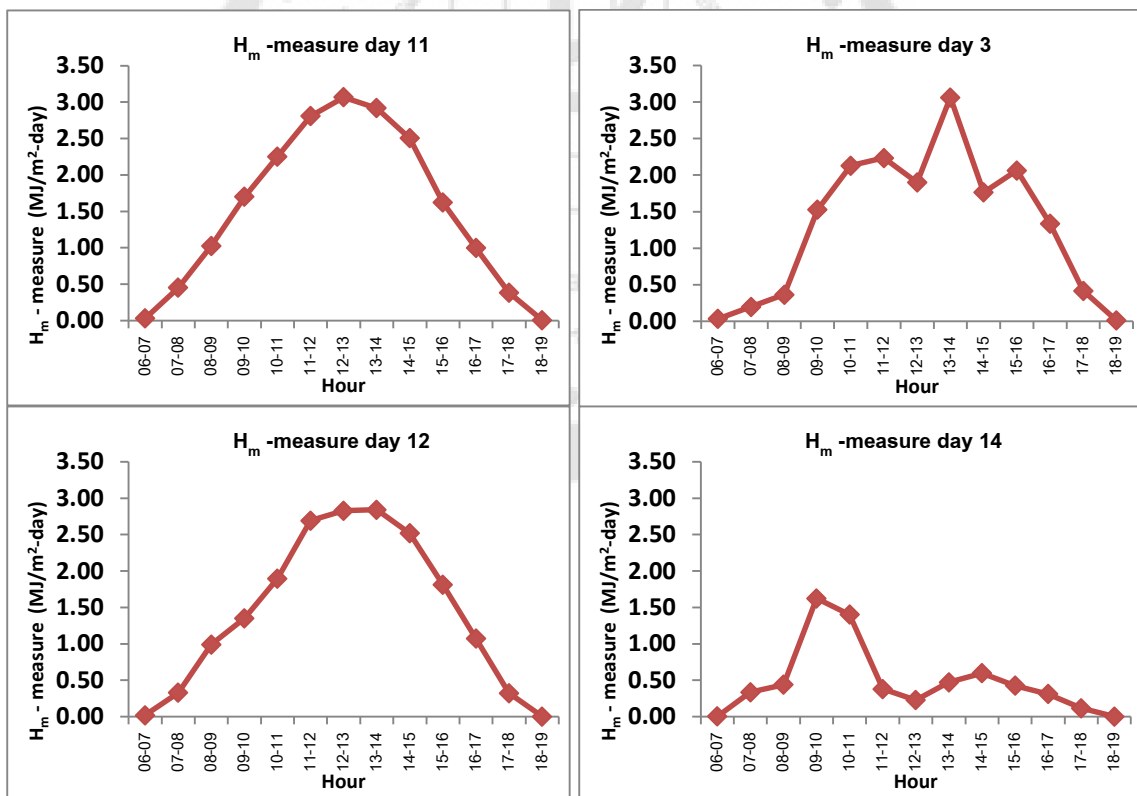


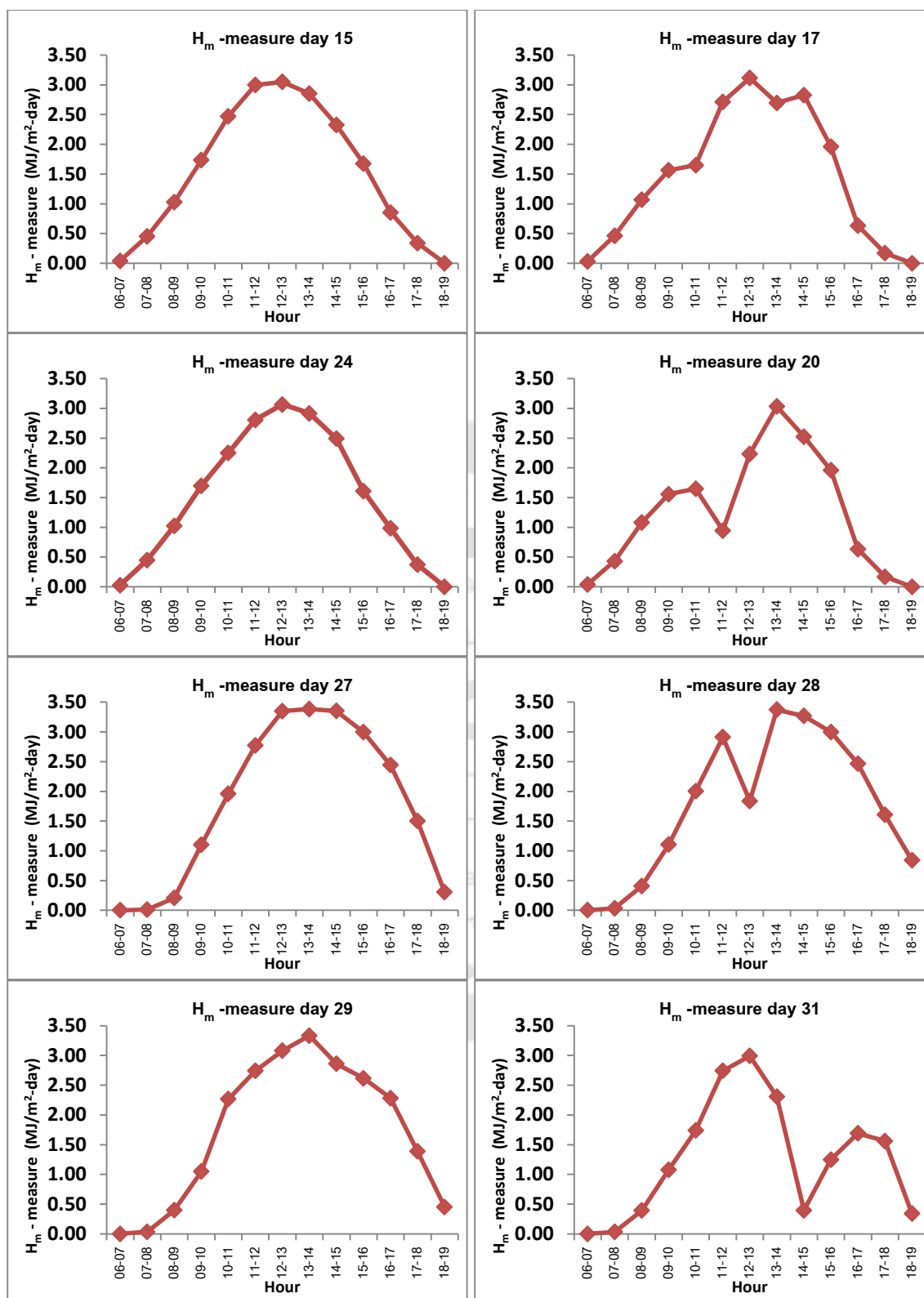
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การเลือกวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear day)

ในการวิเคราะห์ผลจำเป็นต้องเลือกวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งเนื่องด้วยแบบจำลองที่ทำการประมาณค่าทั้งหมดนั้นอยู่ในเงื่อนไขที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง เพื่อความแม่นยำในการเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้แบบจำลอง ดังนั้นทำการเลือกวันจากการเขียนกราฟระหว่างวันตั้งแต่ช่วงเวลา 6 (a.m.) – 6 (p.m.) เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตก โดยกราฟที่ใช้ได้นั้นจะต้องเป็นกราฟรูปประฆังคว่ำ บ่งบอกถึงค่าความเข้มข้นของรังสีที่ได้รับในรอบวัน โดยค่าในช่วงครึ่งวันแรกลักษณะกราฟจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในช่วงเวลาที่เที่ยงวันหลังจากนั้นกราฟจะลดต่ำลง ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการพล็อตรายเดือนแสดงในภาพประกอบที่ 15 และวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งที่ใช้ได้ในปี 2552-2554 แสดงดังตารางที่ 7



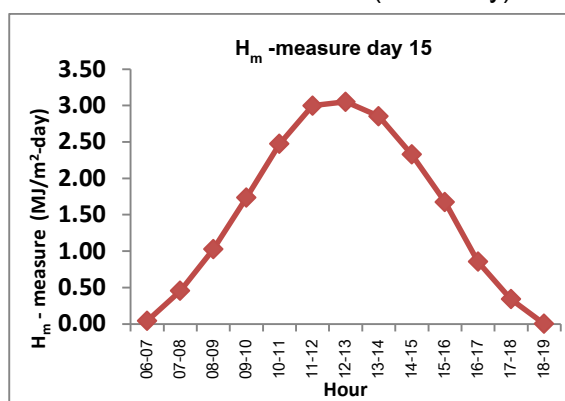


ภาพประกอบ 15 ตัวอย่างกราฟของวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง (ซ้าย) และท้องฟ้าชุกมัว (ขวา)
เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 ที่ใช้พิจารณาในการเลือกวิเคราะห์

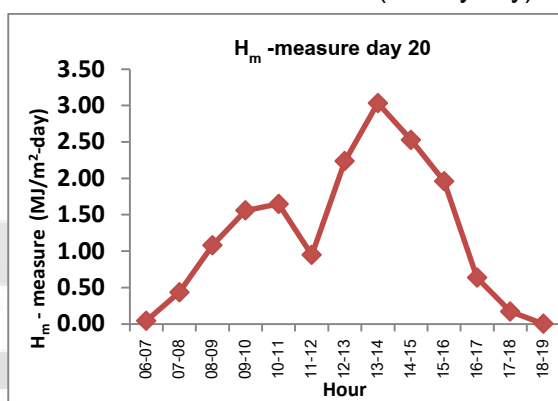
ตัวอย่างการพิจารณาในการเลือกวันสภาพท้องฟ้าโปร่งและท้องฟ้าขุ่นมัว

จากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิด้วยเครื่องมือไพรานอมิเตอร์ในรอบ 24 ชม. เลือกช่วงเวลาตั้งแต่ 6 (a.m.) – 6 (p.m.) เพราะเป็นช่วงเวลาที่มิแสงอาทิตย์ โดยเลือกจากกราฟที่มีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ บ่งบอกถึงสภาพท้องฟ้าที่ปราศจากเมฆ

วันที่ 15 มีนาคม 2552 (Clear day)



วันที่ 17 มีนาคม 2554 (Cloudy sky)



ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างการเลือกวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง

ด้วยงานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแพร่ที่ครอบคลุมช่วงเวลา 12 เดือนต่อปี รวม 3 ปี เพื่อให้ได้ภาพรวมพร้อมผลการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง

ตาราง 7 ผลการเลือกวิเคราะห์ข้อมูลวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง

ปี พ.ศ.	เดือน	ท้องฟ้าโปร่ง		ท้องฟ้าขุ่นมัว
		จำนวนวัน	วันที่	จำนวนวัน
2552	มีนาคม	6	11, 12, 15, 24, 27, 29	25
	เมษายน	8	13, 14, 17, 20, 22, 23, 24, 25	22
	พฤษภาคม	2	10, 12	29
	กรกฎาคม	2	12, 26	29
	สิงหาคม	3	21, 25, 26	28
	กันยายน	1	20	29
	ตุลาคม	2	30, 31	29
	พฤศจิกายน	9	5, 6, 20, 21, 23, 25, 27, 28, 30	21
	ธันวาคม	14	1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 31	17

*หมายเหตุ เดือนมกราคม, กุมภาพันธ์ และมิถุนายน เครื่องมือขัดข้องจึงไม่มีข้อมูลการวัดการแผ่รังสี

ตาราง 7 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	เดือน	ท้องฟ้าโปร่ง		ท้องฟ้าขุ่นมัว
		จำนวนวัน	วันที่	จำนวนวัน
2553	มกราคม	5	13, 17, 18, 27, 31	26
	กุมภาพันธ์	5	3, 23, 25, 26, 27	23
	มีนาคม	17	5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 23, 25, 28, 30, 31	14
	เมษายน	13	2, 3, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 20, 22, 26, 27	17
	พฤษภาคม	1	10	30
	มิถุนายน	1	25	29
	กรกฎาคม	1	31	30
	สิงหาคม	1	17	30
	กันยายน	1	21	29
	ตุลาคม	1	29	30
	พฤศจิกายน	6	14, 19, 23, 25, 26, 29	24
	ธันวาคม	8	5, 9, 18, 21, 22, 26, 27, 28	23
2554	มกราคม	17	1, 2, 3, 5, 9, 10, 13, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 29, 31	14
	กุมภาพันธ์	5	2, 3, 4, 7, 8	23
	มีนาคม	3	19, 20, 21	28
	เมษายน	2	16, 17	28
	พฤษภาคม	1	20	30
	มิถุนายน	1	26	29
	กรกฎาคม	1	5	30
	สิงหาคม	1	8	30
	กันยายน	1	3	29
	ตุลาคม	1	24	30
	พฤศจิกายน	8	3, 12, 19, 21, 22, 25, 26, 27	22
	ธันวาคม	13	1, 2, 4, 6, 7, 10, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31	18

ทำการพล็อตกราฟโดยเลือกใช้ข้อมูลเฉพาะวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ใช้การวิเคราะห์แบบค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C)¹ จากการที่คิดว่า 2 ตัวแปร (ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์) มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

$$C = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสหสัมพันธ์ หากค่าสหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการ พิจารณาค่าสหสัมพันธ์ โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - .90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - .70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - .50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 - .30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

¹ Hinkle, D.E, William ,W. and Stephen G. J. Applied Statistics for the Behavior Sciences. 4th ed. New York : Houghton Mifflin, 1998.

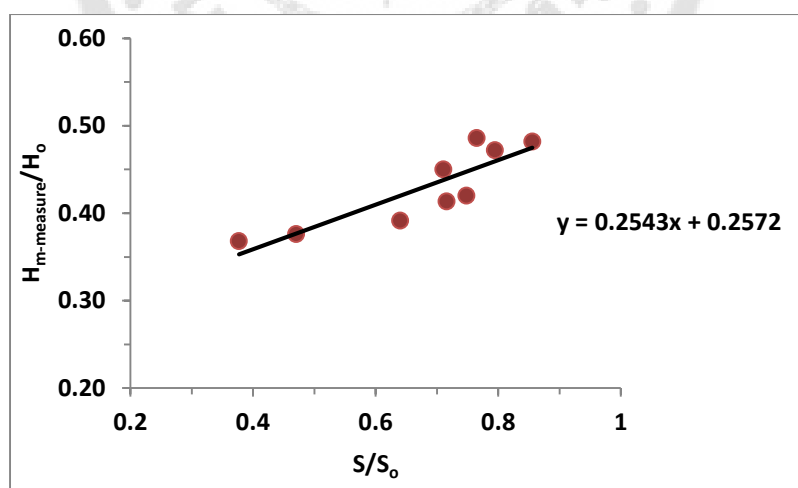
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีสุริยใน ปี พ.ศ. 2552

โดยใช้แบบจำลอง ได้ผลดังนี้

แบบจำลองที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_0) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุริยที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_0)

ตาราง 8(a) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_0 และ $H_{m-measure}/H_0$ ในปี พ.ศ. 2552

Month	S/S_0	$H_{m-measure}/H_0$
Mar	0.75	0.42
Apr	0.86	0.48
May	0.38	0.37
Jul	0.47	0.38
Aug	0.76	0.49
Sep	0.79	0.47
Oct	0.71	0.45
Nov	0.72	0.41
Dec	0.64	0.39



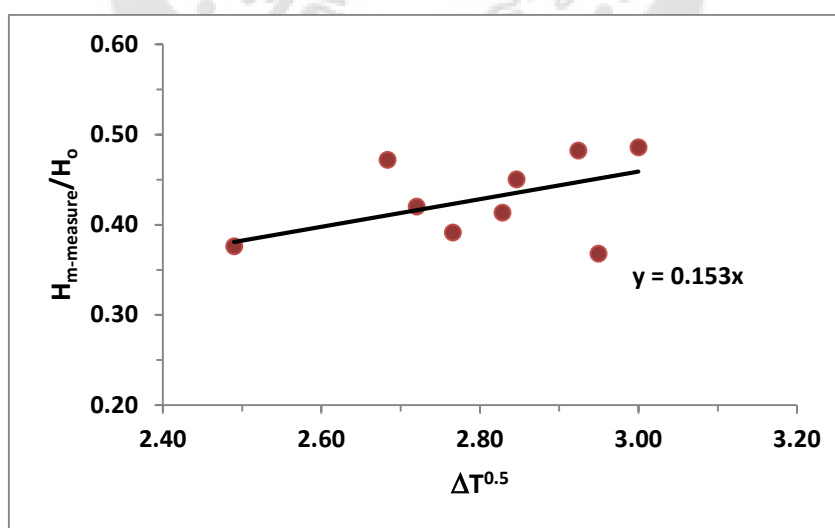
ภาพประกอบ 17(a) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 1 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_0 และ $H_{m\text{-measure}}/H_0$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.2572$ $b = 0.2543$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (10) ของแบบจำลองที่ 1 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศสูงสุดกับต่ำสุดรายวัน ($\Delta T^{0.5}$) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_0)

ตาราง 8(b) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $\Delta T^{0.5}$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_0$ ในปี พ.ศ. 2552

Month	$\Delta T^{0.5}$	$H_{m\text{-measure}}/H_0$
Mar	2.72	0.42
Apr	2.92	0.48
May	2.95	0.37
Jul	2.49	0.38
Aug	3.00	0.49
Sep	2.68	0.47
Oct	2.85	0.45
Nov	2.83	0.41
Dec	2.77	0.39



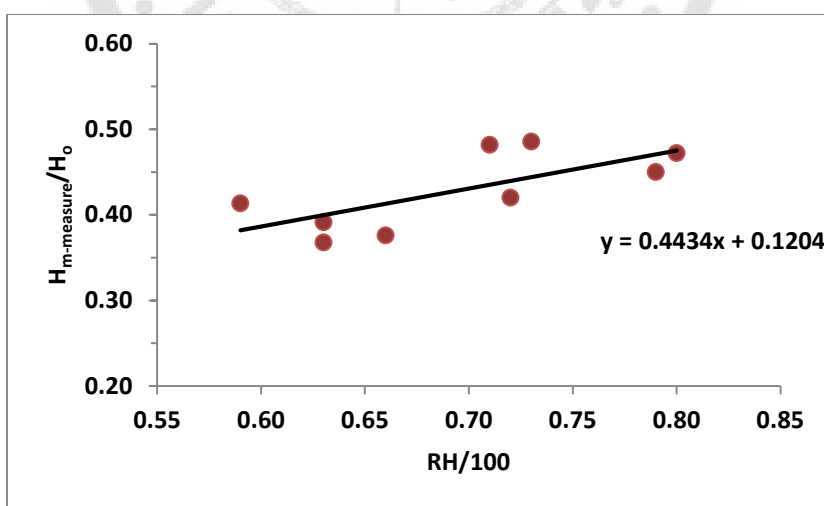
ภาพประกอบ 17(b) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 2 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $\Delta T^{0.5}$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.153$ $b = 0$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (11) ของแบบจำลองที่ 2 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ (RH/100) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 8(c) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ RH/100 และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2552

Month	RH/100	$H_{m\text{-measure}}/H_o$
Mar	0.72	0.42
Apr	0.71	0.48
May	0.63	0.37
Jul	0.66	0.38
Aug	0.73	0.49
Sep	0.80	0.47
Oct	0.79	0.45
Nov	0.59	0.41
Dec	0.63	0.39



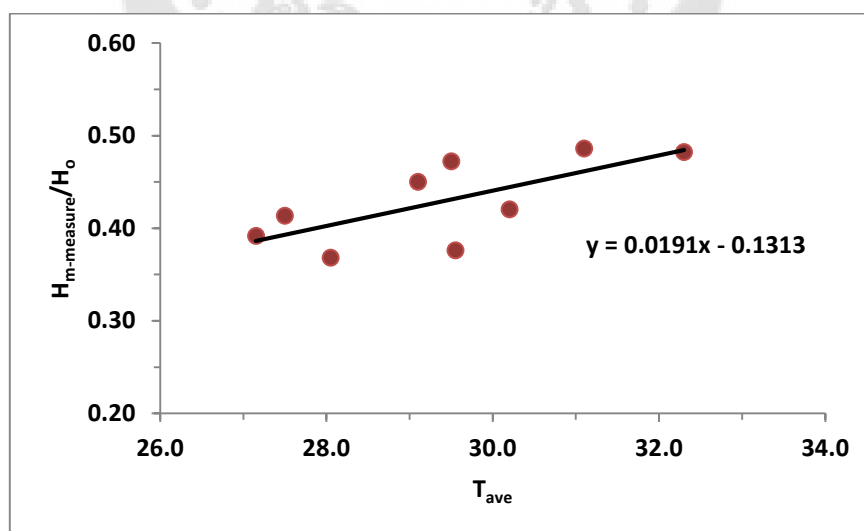
ภาพประกอบ 17(c) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 3 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $RH/100$ และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.1204$, $b = 0.4434$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (12) ของแบบจำลองที่ 3 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 8(d) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ T_{ave} และ $H_{m-measure}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2552

Month	T_{ave}	$H_{m-measure}/H_o$
Mar	30.20	0.42
Apr	32.30	0.48
May	28.05	0.37
Jul	29.55	0.38
Aug	31.10	0.49
Sep	29.50	0.47
Oct	29.10	0.45
Nov	27.50	0.41
Dec	27.15	0.39



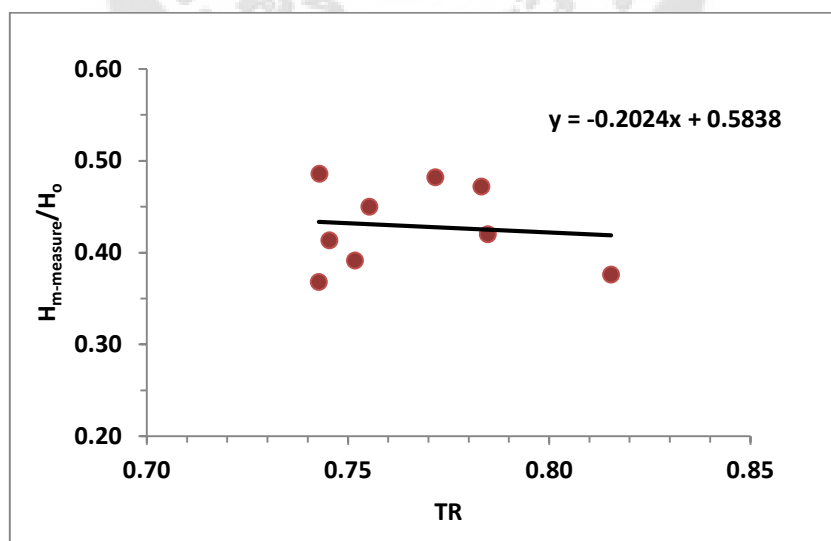
ภาพประกอบ 17(d) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 4 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ T_{ave} และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = -0.1313$, $b = 0.0191$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (13) ของแบบจำลอง ที่ 4 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอุณหภูมิต่ำสุดกับสูงสุด (TR) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 8(e) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ TR และ $H_{m-measure}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2552

Month	TR	$H_{m-measure}/H_o$
Mar	0.78	0.42
Apr	0.77	0.48
May	0.74	0.37
Jul	0.82	0.38
Aug	0.74	0.49
Sep	0.78	0.47
Oct	0.76	0.45
Nov	0.75	0.41
Dec	0.75	0.39



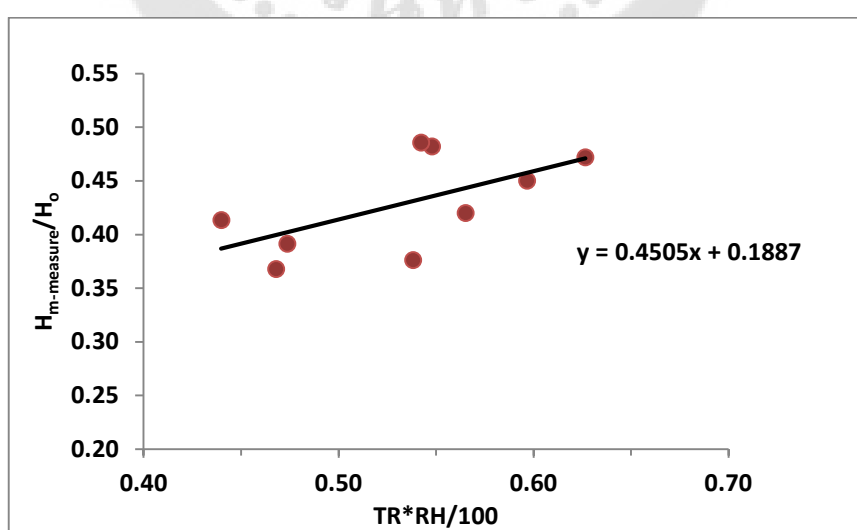
ภาพประกอบ 17(e) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 5 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ TR และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.5838$, $b = -0.2024$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (14) ของแบบจำลองที่ 5 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของสัดส่วนอุณหภูมิต่ำสุดกับสูงสุดและค่าความชื้นสัมพัทธ์ ($TR(RH/100)$) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 8(f) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $TR(RH/100)$ และ $H_{m-measure}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2552

Month	$TR(RH/100)$	$H_{m-measure}/H_o$
Mar	0.57	0.42
Apr	0.55	0.48
May	0.47	0.37
Jul	0.54	0.38
Aug	0.54	0.49
Sep	0.63	0.47
Oct	0.60	0.45
Nov	0.44	0.41
Dec	0.47	0.39



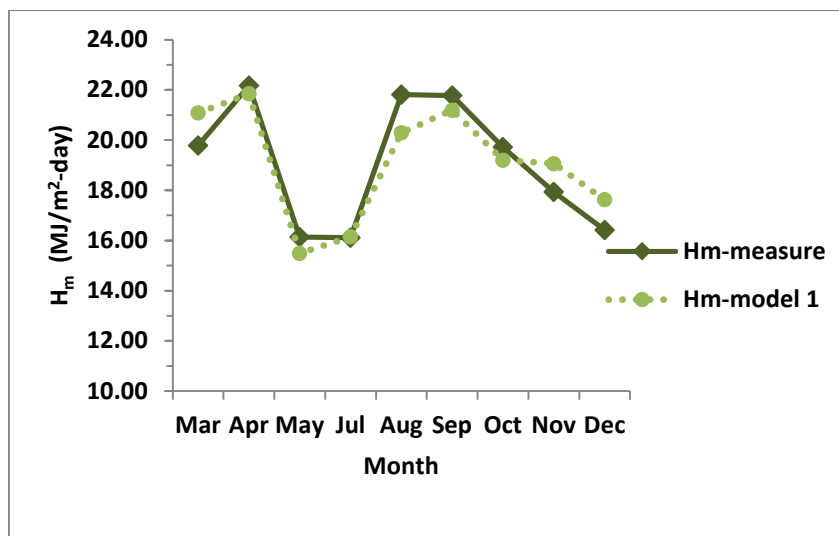
ภาพประกอบ 17(f) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 6 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $TR(RH/100)$ และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a=0.1887$, $b=0.4505$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (15) ของแบบจำลองที่ 6 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ
 ตาราง 9 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a, b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 1-6 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) ในปี พ.ศ. 2552

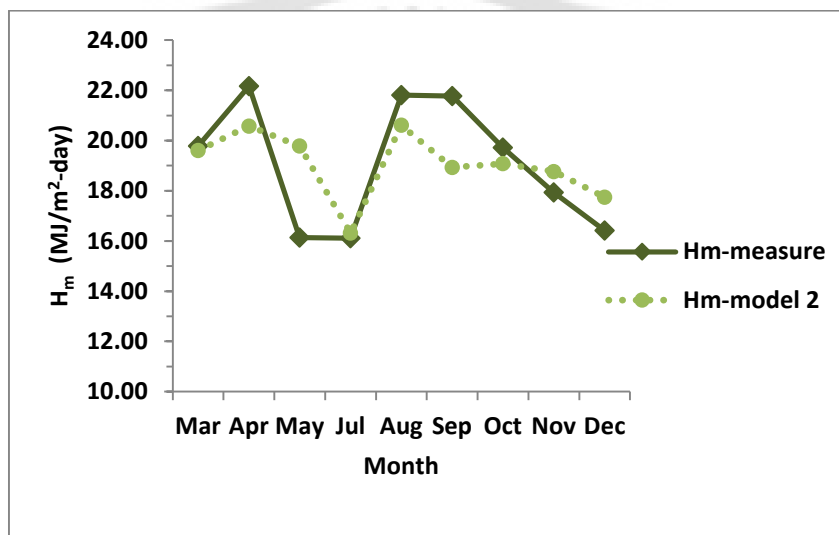
Model	Solution	a	b	C
1	$H_m/H_o=a+b(s/s_o)$	0.26	0.25	0.87
2	$H_m/H_o=a(\Delta T^{0.5})$	0.15	0.00	0.40
3	$H_m/H_o=a+b(RH/100)$	0.12	0.44	0.71
4	$H_m/H_o=a+b(T_{ave})$	-0.13	0.02	0.70
5	$H_m/H_o=a+b(TR)$	0.58	-0.20	-0.11
6	$H_m/H_o=a+b(RH/100)*(TR)$	0.19	0.45	0.61

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ไปแทนค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิตามแบบจำลองจะได้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิแสดงในตารางที่ 10
 ตาราง 10 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2552

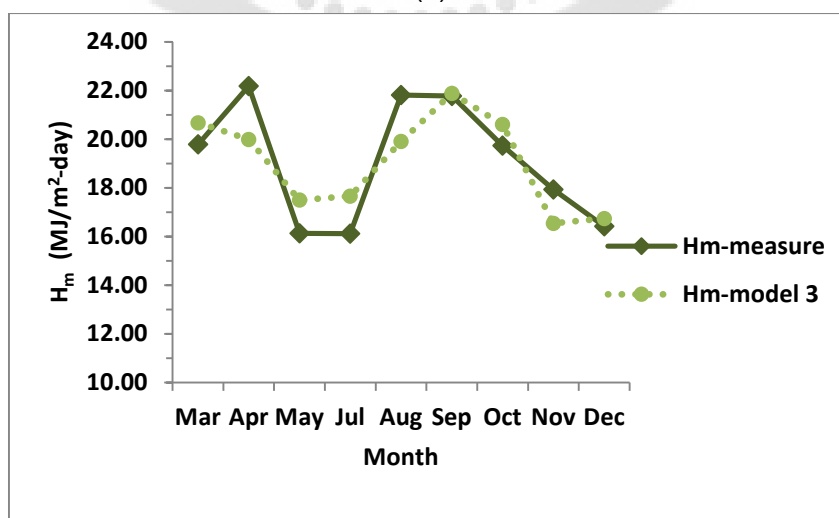
Month	ค่าที่ได้จากการวัด	ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่ได้จากแบบจำลอง (MJ/m ² -day)					
	$H_{m-measure}$ (MJ/m ² -day)	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
Mar	19.79	21.08	19.60	20.67	20.85	20.01	25.53
Apr	22.17	21.85	20.58	19.99	22.20	19.67	24.67
May	16.13	15.49	19.78	17.49	17.62	19.00	22.94
Jul	16.11	16.15	16.31	17.66	18.43	17.93	23.81
Aug	21.82	20.29	20.61	19.91	20.65	19.46	23.50
Sep	21.77	21.19	18.93	21.88	19.81	19.61	24.97
Oct	19.73	19.20	19.08	20.60	18.49	18.88	23.18
Nov	17.93	19.06	18.77	16.54	16.98	18.78	22.75
Dec	16.42	17.63	17.75	16.74	16.14	18.10	22.11
mean	19.73	19.2	19.08	19.91	18.49	19	23.5
mean	19.73	19.2	19.08	19.91	18.49	19	23.5
Coefficient of determination, R ² (%)		99.91	99.86	99.99	99.50	99.83	95.38



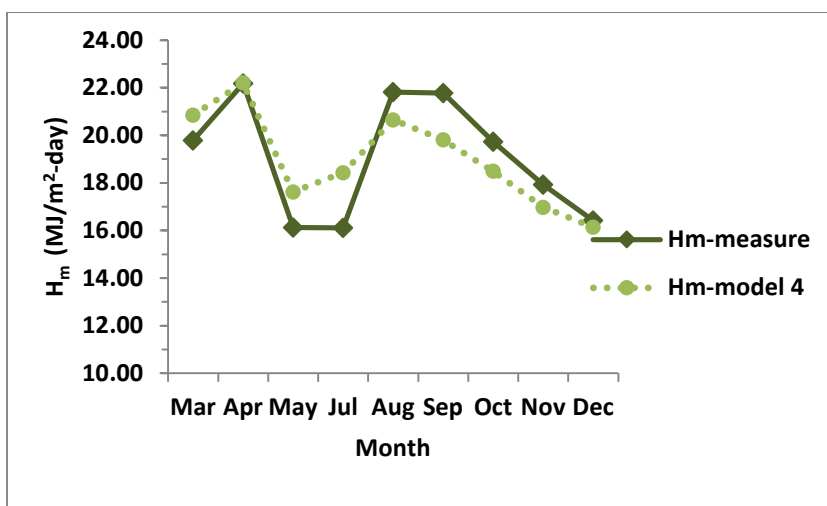
(a)



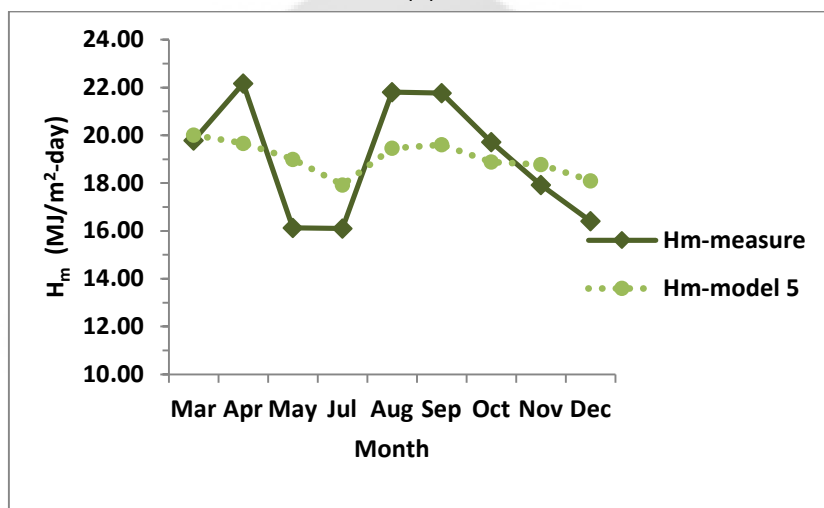
(b)



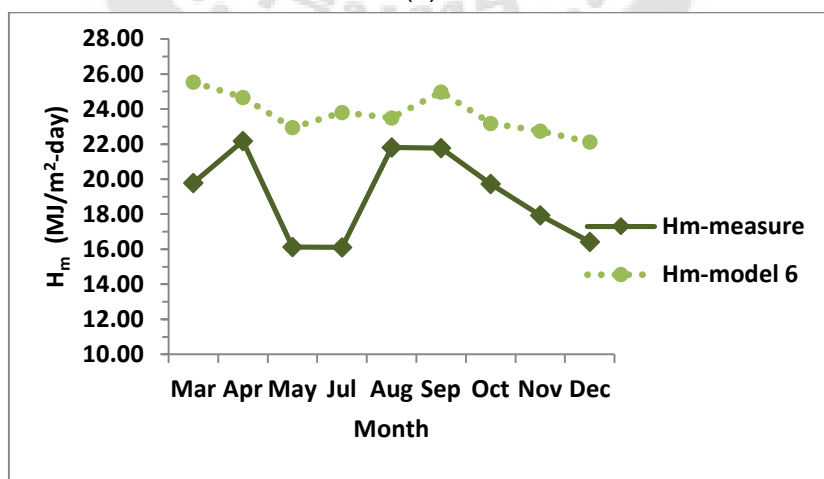
(c)



(d)

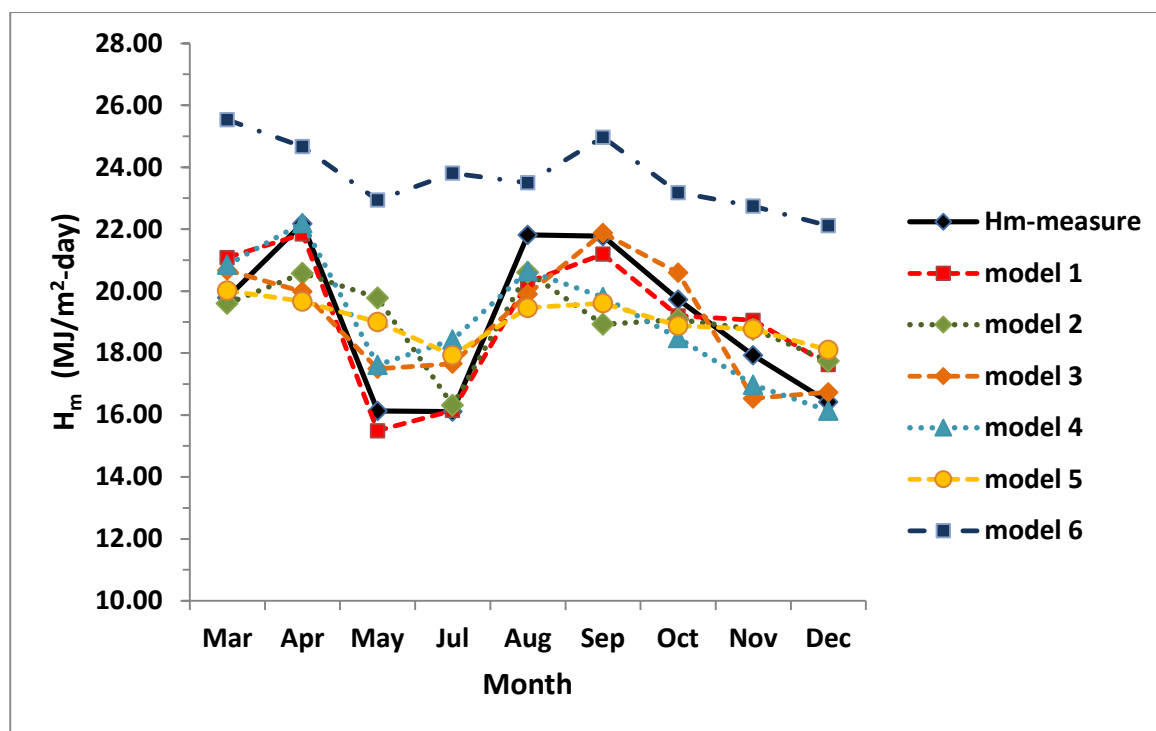


(e)



(f)

ภาพประกอบ 18 (a)-(f) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทริที่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6



ภาพประกอบ 19 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิต่ที่ได้จากการวัด
และค่าได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2552

ตาราง 11 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1-6
ในปี พ.ศ. 2552

Month (2552)	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4		Model 5		Model 6	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
Mar	6.55	1.30	0.95	0.19	4.47	0.88	5.38	1.06	1.14	0.22	29.04	5.75
Apr	1.48	0.33	7.21	1.60	9.87	2.19	0.12	0.03	11.30	2.51	11.25	2.49
May	3.96	0.64	22.63	3.65	8.45	1.36	9.23	1.49	17.79	2.87	42.21	6.81
Jul	0.25	0.04	1.27	0.20	9.62	1.55	14.43	2.32	11.32	1.82	47.80	7.70
Aug	6.98	1.52	5.53	1.21	8.75	1.91	5.35	1.17	10.79	2.35	7.71	1.68
Sep	2.66	0.58	13.05	2.84	0.48	0.10	9.03	1.97	9.92	2.16	14.69	3.20
Oct	2.65	0.52	3.26	0.64	4.41	0.87	6.27	1.24	4.27	0.84	17.51	3.45
Nov	6.30	1.13	4.67	0.84	7.76	1.39	5.31	0.95	4.71	0.84	26.85	4.81
Dec	7.37	1.21	8.09	1.33	1.94	0.32	1.70	0.28	10.26	1.68	34.70	5.70
MEAN	3.96	0.64	5.53	1.21	7.76	1.36	5.38	1.17	10.26	1.82	26.85	4.81

วิเคราะห์ผลสรุปผลปี พ.ศ.2552

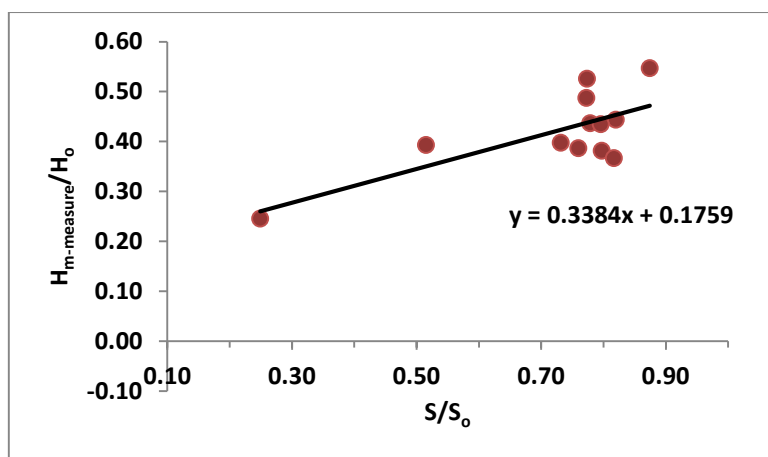
จากการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และแสดงด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) พบว่า ปี พ.ศ. 2552 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 1 ให้ค่าความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง เมื่อทำการประมาณค่าเฉลี่ยรายเดือนของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิตพบที่แบบจำลองที่ 1 ให้ค่าการแผ่รังสีสุทธิอยู่ในช่วง 16.15-21.85 MJ/m²/day โดยค่าที่ได้จากเครื่องไพรานอมิเตอร์อยู่ในช่วง 16.11-22.17 MJ/m²/day ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, R²) ที่ 99.91 % และทำการทดสอบทางสถิติแสดงด้วยค่า MAPE ให้ค่า 3.96 และ RMSE ให้ค่า 0.64 ซึ่งสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ 1 ให้ผลการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิได้ดีในปี พ.ศ. 2552 ส่วนแบบจำลองที่ 2, 5 และ 6 ให้ค่าสหสัมพันธ์ของการพล็อตกราฟที่มีความสัมพันธ์ที่ต่ำจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สำหรับปี พ.ศ. 2552 ได้

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีสุทธิ ในปี พ.ศ. 2553 โดยใช้แบบจำลอง ได้ผลดังนี้

แบบจำลองที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_o) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ (H_{m-measure}) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 12 (a) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_o และ H_{m-measure}/H_o ในปี พ.ศ. 2553

Month	S/S _o	H _{m-measure} /H _o
Jan	0.80	0.38
Feb	0.82	0.44
Mar	0.78	0.44
Apr	0.77	0.49
May	0.87	0.55
Jun	0.77	0.53
Jul	0.52	0.39
Aug	0.25	0.25
Sep	0.73	0.40
Oct	0.80	0.44
Nov	0.76	0.39
Dec	0.82	0.37



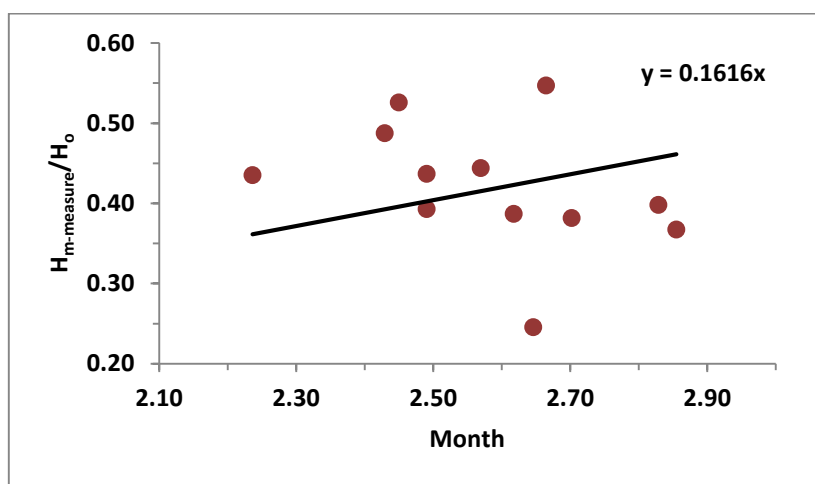
ภาพประกอบ 20 (a) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 1 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_0 และ $H_{m\text{-measure}}/H_0$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.1759$ $b = 0.3384$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (10) ของแบบจำลองที่ 1 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศสูงสุดกับต่ำสุดรายวัน ($\Delta T^{0.5}$) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_0)

ตาราง 12(b) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $\Delta T^{0.5}$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_0$ ในปี พ.ศ. 2553

Month	$\Delta T^{0.5}$	$H_{m\text{-measure}}/H_0$
Jan	2.70	0.38
Feb	2.57	0.44
Mar	2.49	0.44
Apr	2.43	0.49
May	2.66	0.55
Jun	2.45	0.53
Jul	2.49	0.39
Aug	2.65	0.25
Sep	2.83	0.40
Oct	2.24	0.44
Nov	2.62	0.39
Dec	2.85	0.37



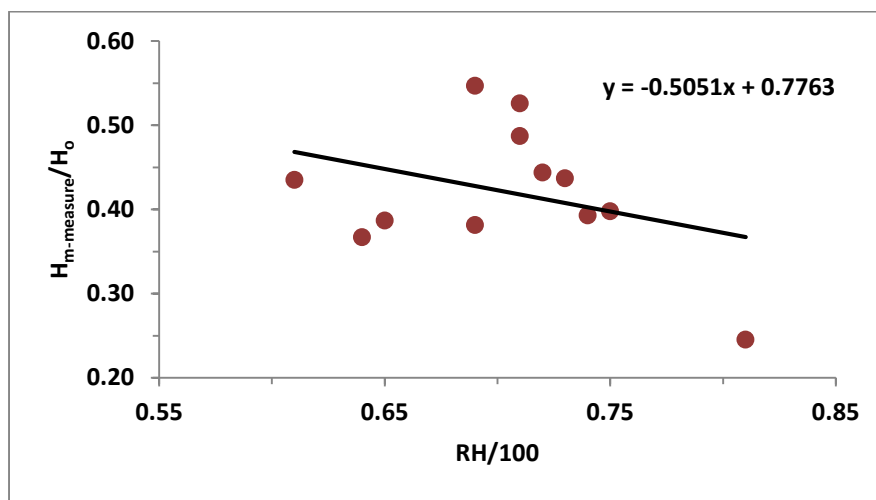
ภาพประกอบ 20(b) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 2 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $\Delta T^{0.5}$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.1616$, $b = 0$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (11) ของแบบจำลองที่ 2 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ (RH/100) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่ค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 12(c) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ RH/100 และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2553

Month	RH/100	$H_{m\text{-measure}}/H_o$
Jan	0.69	0.38
Feb	0.72	0.44
Mar	0.73	0.44
Apr	0.71	0.49
May	0.69	0.55
Jun	0.71	0.53
Jul	0.74	0.39
Aug	0.81	0.25
Sep	0.75	0.40
Oct	0.61	0.44
Nov	0.65	0.39
Dec	0.64	0.37



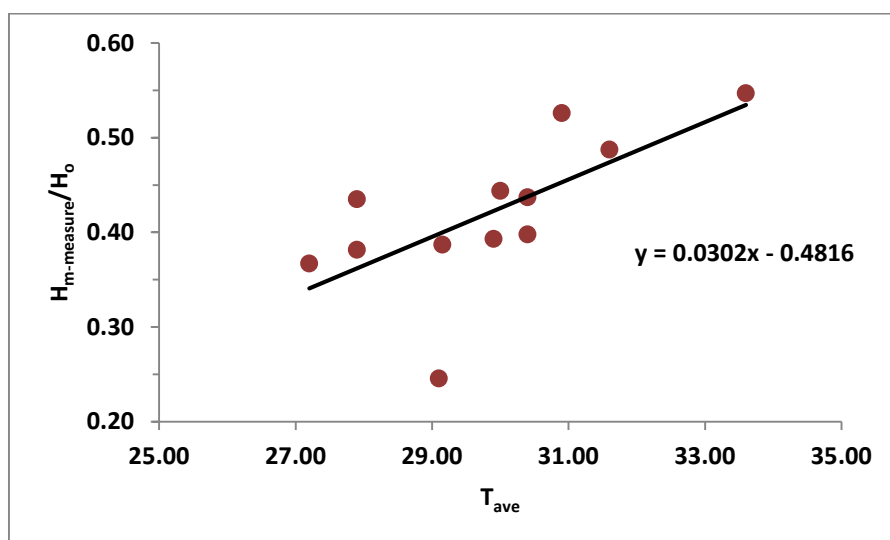
ภาพประกอบ 20(c) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 3 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $RH/100$ และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.7763$, $b = -0.5051$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (12) ของแบบจำลองที่ 3 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่อดังกล่าวการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 12(d) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ T_{ave} และ $H_{m-measure}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2553

Month	T_{ave}	$H_{m-measure}/H_o$
Jan	27.90	0.38
Feb	30.00	0.44
Mar	30.40	0.44
Apr	31.60	0.49
May	33.60	0.55
Jun	30.90	0.53
Jul	29.90	0.39
Aug	29.10	0.25
Sep	30.40	0.40
Oct	27.90	0.44
Nov	29.15	0.39
Dec	27.20	0.37



ภาพประกอบ 20(d) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 4 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

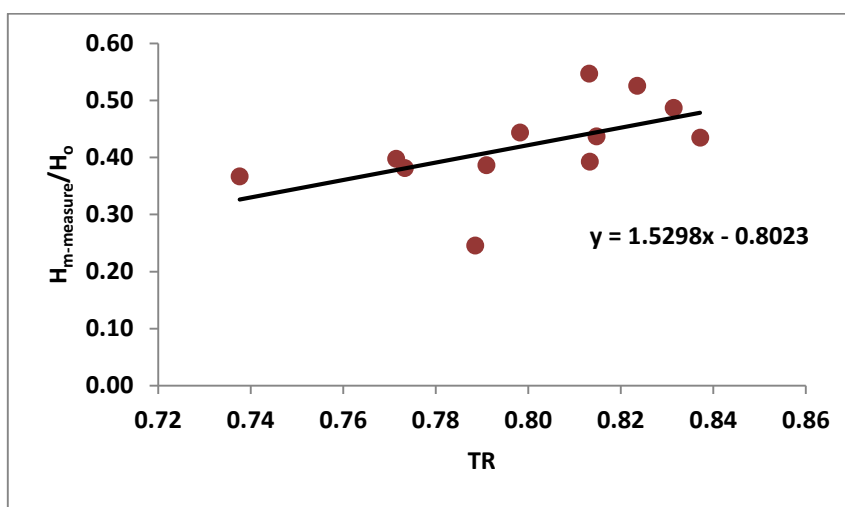
จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ T_{ave} และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = -0.4816$, $b = 0.0302$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (13) ของแบบจำลองที่ 4 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอุณหภูมิต่ำสุดกับสูงสุด (TR) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 12 (e) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ TR และ $H_{m-measure}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2553

Month	TR	$H_{m-measure}/H_o$
Jan	0.77	0.38
Feb	0.80	0.44
Mar	0.81	0.44
Apr	0.83	0.49
May	0.81	0.55
Jun	0.82	0.53
Jul	0.81	0.39
Aug	0.79	0.25
Sep	0.77	0.40
Oct	0.84	0.44
Nov	0.79	0.39
Dec	0.74	0.37

ตารางที่ 9(e) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ TR และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$

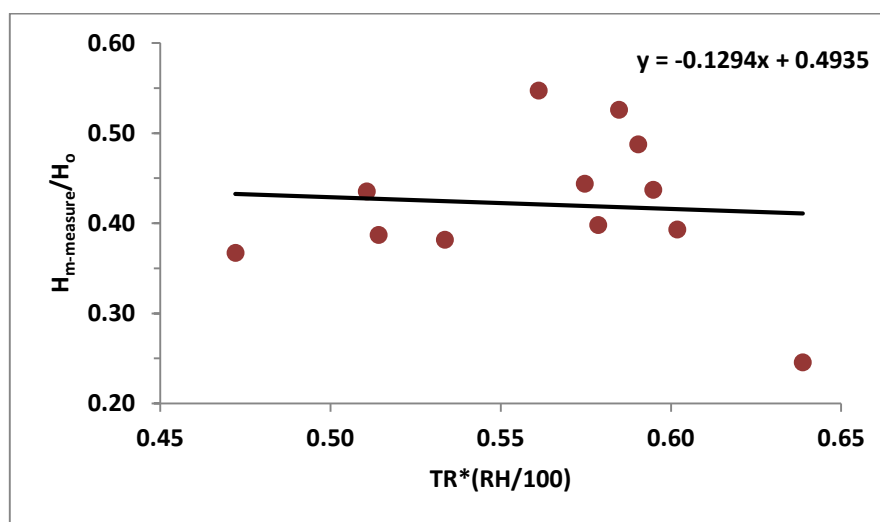


ภาพประกอบ 20(e) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 2 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ TR และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = -0.8023$, $b = 1.5298$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (14) ของแบบจำลองที่ 5 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของสัดส่วนอุณหภูมิต่ำสุดกับสูงสุดและค่าความชื้นสัมพัทธ์ ($TR(RH/100)$) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 12(f) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $TR^*(RH/100)$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2553

Month	$TR^*(RH/100)$	$H_{m\text{-measure}}/H_o$
Jan	0.53	0.38
Feb	0.57	0.44
Mar	0.59	0.44
Apr	0.59	0.49
May	0.56	0.55
Jun	0.58	0.53
Jul	0.60	0.39
Aug	0.64	0.25
Sep	0.58	0.40
Oct	0.51	0.44
Nov	0.51	0.39
Dec	0.47	0.37



ภาพประกอบ 20(f) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 2 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $TR^*(RH/100)$ และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์

$a = 0.4935$, $b = -0.1294$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (15) ของแบบจำลองที่ 2 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

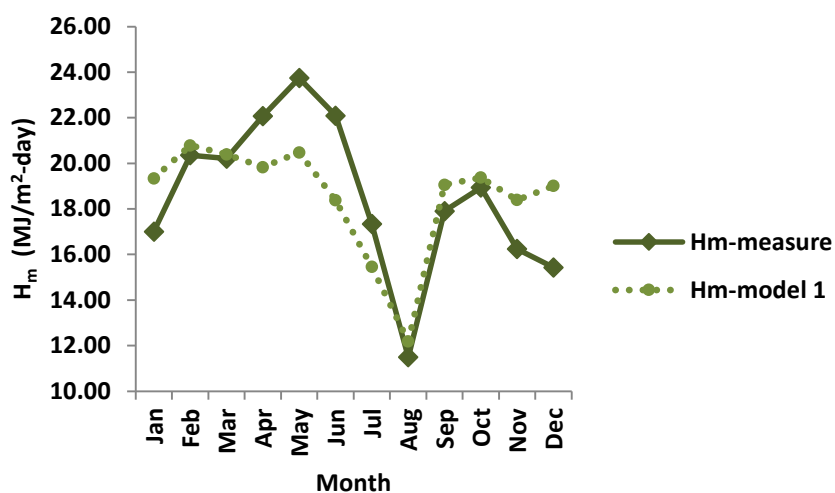
ตาราง 13 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a, b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 1-6 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) ในปี พ.ศ. 2553

Model	Solution	a	b	C
1	$H_m/H_o = a + b(s/s_o)$	0.18	0.34	0.73
2	$H_m/H_o = a(\Delta T^{0.5})$	0.16	0	-0.36
3	$H_m/H_o = a + b(RH/100)$	0.78	-0.51	-0.34
4	$H_m/H_o = a + b(T_{ave})$	-0.48	0.03	0.67
5	$H_m/H_o = a + b(TR)$	-0.80	1.53	0.55
6	$H_m/H_o = a + b(RH/100) \cdot (TR)$	0.49	-0.13	-0.08

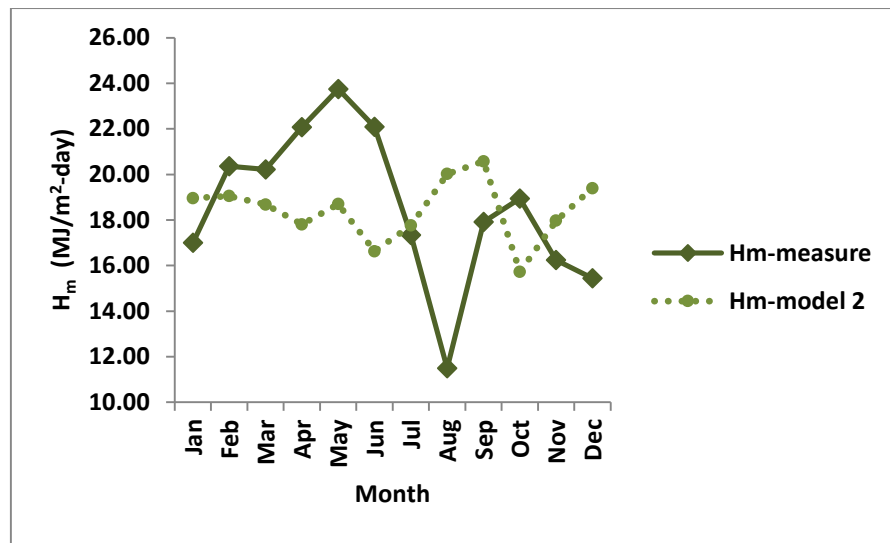
เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ไปแทนค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิตามแบบจำลองจะได้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิแสดงในตารางที่ 14

ตาราง 14 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิต่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2553

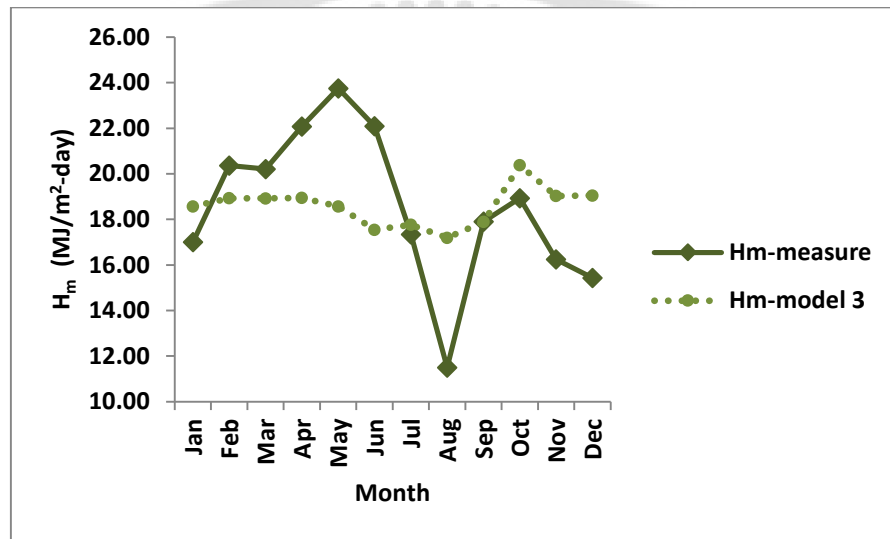
	ค่าที่ได้จากการวัด	ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่ได้จากแบบจำลอง (MJ/m ² -day)					
Month	H _{m-measure} (MJ/m ² -day)	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
Jan	17.01	19.34	18.96	18.57	15.67	16.53	17.08
Feb	20.36	20.79	19.05	18.93	19.47	19.21	17.90
Mar	20.21	20.39	18.68	18.92	20.26	20.61	18.02
Apr	22.08	19.84	17.80	18.95	21.44	21.30	17.50
May	23.75	20.48	18.70	18.57	23.15	19.18	16.86
Jun	22.09	18.38	16.63	17.55	18.97	19.22	16.25
Jul	17.34	15.45	17.76	17.76	18.59	19.50	17.13
Aug	11.50	12.18	20.02	17.19	18.60	18.91	18.33
Sep	17.91	19.06	20.57	17.89	19.65	17.01	17.72
Oct	18.94	19.37	15.73	20.38	15.71	20.82	16.76
Nov	16.24	18.39	17.97	19.03	16.94	17.32	16.62
Dec	15.44	19.01	19.40	19.05	14.29	13.71	16.74
mean	18.43	19.20	18.69	18.75	18.79	19.20	17.11
Coefficient of determination, R ² (%)		99.91	99.67	99.70	99.73	99.91	97.89



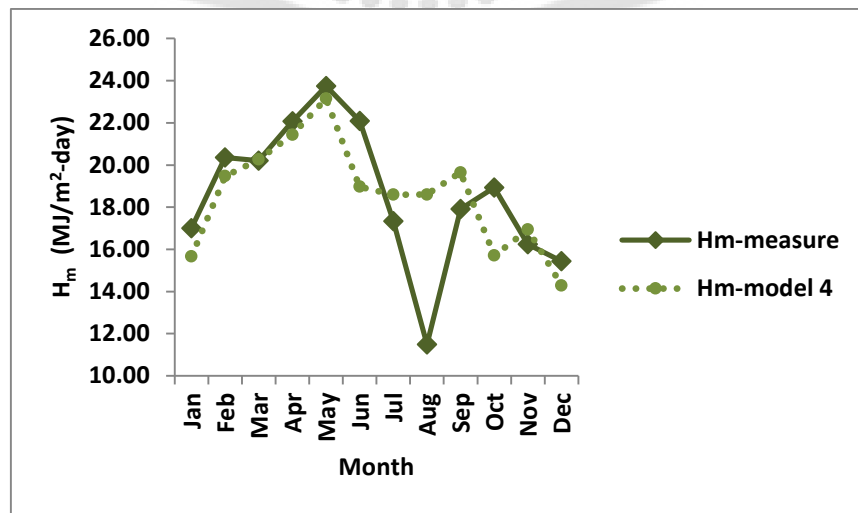
(a)



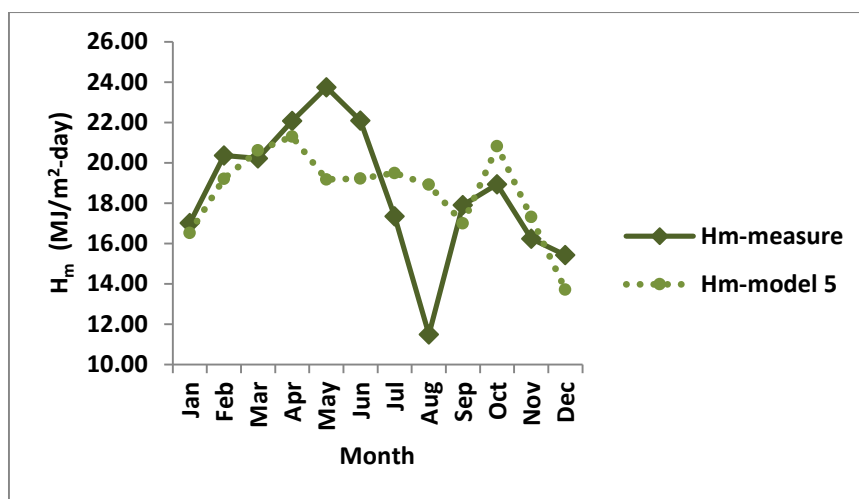
(b)



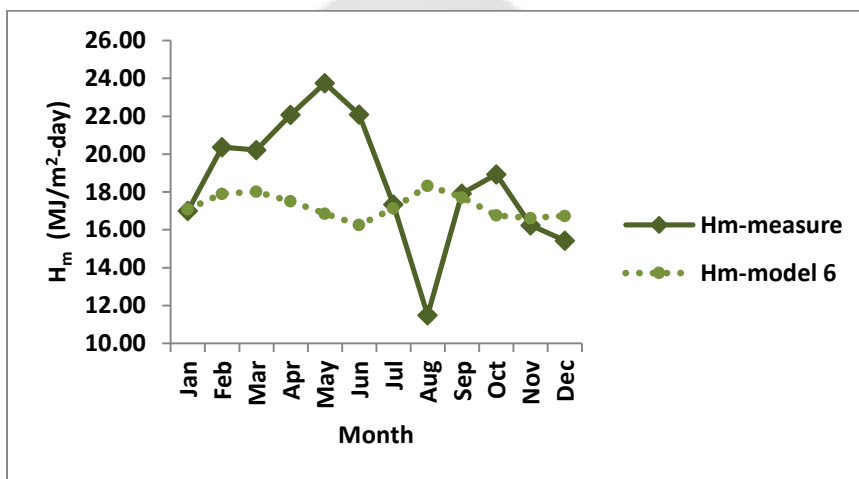
(c)



(d)

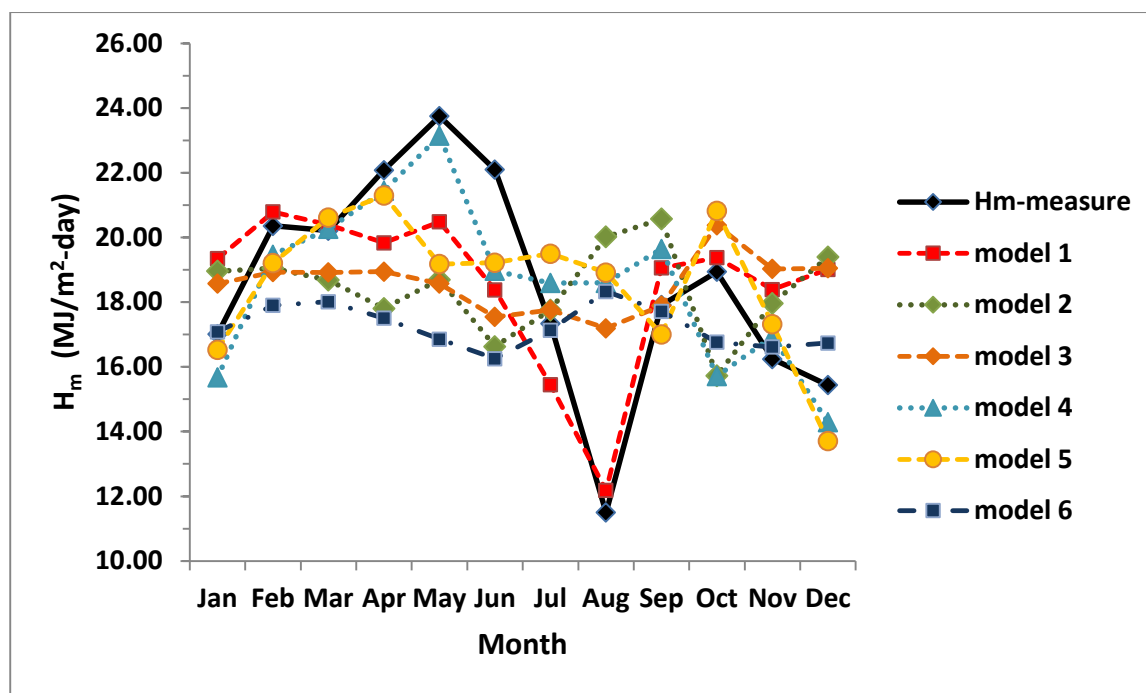


(e)



(f)

ภาพประกอบ 21(a)-(f) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทริที่ได้จากเครื่องมือวัด
และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6



ภาพประกอบ 22 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิตัวที่ได้จากการวัด
และค่าได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553

ตาราง 15 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1-6

Month (2553)	model 1		model 2		model 3		model 4		model 5		model 6	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
JAN	13.73	2.33	11.46	1.95	9.20	1.57	7.85	1.33	2.82	0.48	0.44	0.07
FEB	2.10	0.43	6.45	1.31	7.02	1.43	4.37	0.89	5.65	1.15	12.07	2.46
MAR	0.91	0.18	7.58	1.53	6.39	1.29	0.25	0.05	1.99	0.40	10.86	2.20
APR	10.17	2.24	19.36	4.28	14.20	3.13	2.89	0.64	3.53	0.78	20.72	4.58
MAY	13.76	3.27	21.27	5.05	21.79	5.17	2.53	0.60	19.25	4.57	29.01	6.89
JUN	16.82	3.72	24.74	5.47	20.58	4.55	14.14	3.12	13.01	2.87	26.43	5.84
JUL	10.88	1.89	2.40	0.42	2.44	0.42	7.24	1.25	12.44	2.16	1.19	0.21
AUG	5.95	0.68	74.14	8.52	49.54	5.70	61.78	7.10	64.53	7.42	59.44	6.83
SEP	6.40	1.15	14.87	2.66	0.11	0.02	9.70	1.74	5.04	0.90	1.06	0.19
OCT	2.30	0.44	16.95	3.21	7.60	1.44	17.04	3.23	9.94	1.88	11.48	2.17
NOV	13.20	2.14	10.60	1.72	17.15	2.79	4.27	0.69	6.60	1.07	2.29	0.37
DEC	23.16	3.58	25.66	3.96	23.40	3.61	7.43	1.15	11.18	1.73	8.42	1.30
MEAN	10.17	1.89	16.95	3.21	14.20	2.79	7.24	1.25	9.94	1.88	11.48	2.20

วิเคราะห์ผลสรุปผลปี พ.ศ.2553

จากการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยแสดงด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) พบว่า ปี พ.ศ. 2553 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 4 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง เมื่อทำการประมาณค่าเฉลี่ยรายเดือนการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิตพบว่ามีค่าการแผ่รังสีสุทธิอยู่ในช่วง 14.29-23.15 MJ/m²/day โดยค่าที่ได้จากเครื่องไพรานอมิเตอร์อยู่ในช่วง 11.50-23.75 MJ/m²/day ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, R²) ที่ 99.73 % และทำการทดสอบทางสถิติแสดงด้วยค่า MAPE ให้ค่า 7.24 และ RMSE ให้ค่า 1.25 ส่วนแบบจำลองที่ 2, 3 และ 6 ให้ค่าสหสัมพันธ์ของการพล็อตกราฟที่มีความสัมพันธ์ที่ต่ำจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สำหรับปี พ.ศ. 2553 ได้

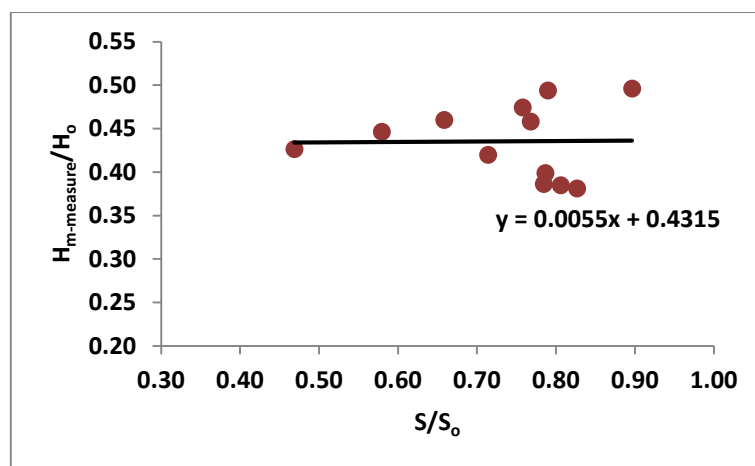
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีสุทธิ ในปี พ.ศ. 2554

โดยใช้แบบจำลอง ได้ผลดังนี้

แบบจำลองที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_o) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ (H_{m-measure}) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 16(a) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_o และ H_{m-measure}/H_o ในปี พ.ศ. 2554

Month	S/S _o	H _{m-measure} /H _o
Jan	0.81	0.38
Feb	0.83	0.38
Mar	0.66	0.46
Apr	0.90	0.50
May	0.76	0.47
Jun	0.47	0.43
Jul	0.79	0.49
Aug	0.77	0.46
Sep	0.58	0.45
Oct	0.71	0.42
Nov	0.79	0.40
Dec	0.78	0.39



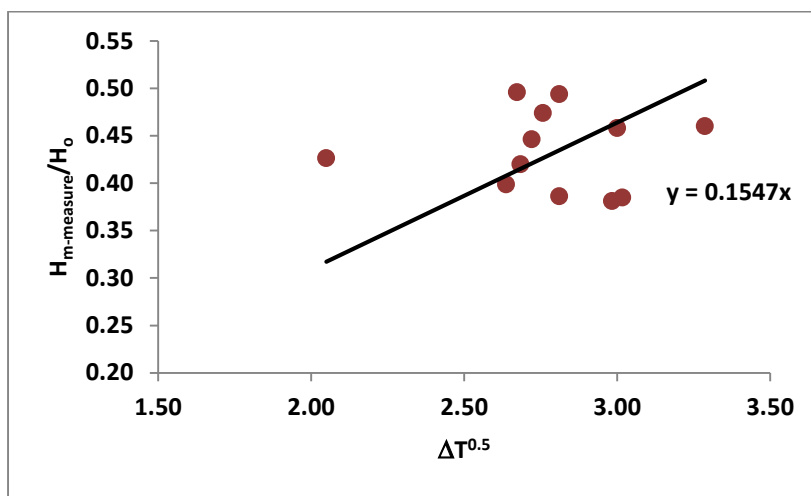
ภาพประกอบ 23(a) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 1 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_0 และ $H_{m\text{-measure}}/H_0$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.4315$, $b = 0.0055$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (10) ของแบบจำลองที่ 1 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศสูงสุดกับต่ำสุดรายวัน ($\Delta T^{0.5}$) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_0)

ตาราง 16(b) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $\Delta T^{0.5}$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_0$ ในปี พ.ศ. 2554

Month	$\Delta T^{0.5}$	$H_{m\text{-measure}}/H_0$
Jan	3.02	0.38
Feb	2.98	0.38
Mar	3.29	0.46
Apr	2.67	0.50
May	2.76	0.47
Jun	2.05	0.43
Jul	2.81	0.49
Aug	3.00	0.46
Sep	2.72	0.45
Oct	2.68	0.42
Nov	2.64	0.40
Dec	2.81	0.39



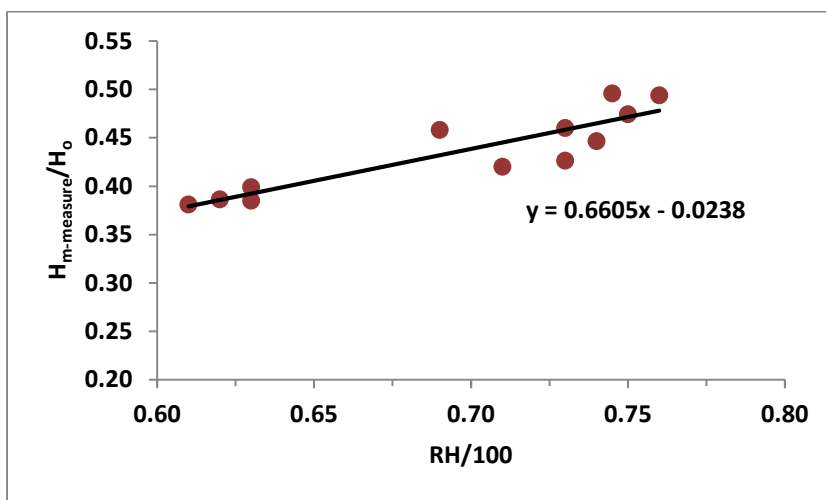
ภาพประกอบ 23(b) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 2 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $\Delta T^{0.5}$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.1547$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (11) ของแบบจำลองที่ 2 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ (RH/100) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 16(c) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ RH/100 และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2554

Month	RH/100	$H_{m\text{-measure}}/H_o$
Jan	0.63	0.38
Feb	0.61	0.38
Mar	0.73	0.46
Apr	0.75	0.50
May	0.75	0.47
Jun	0.73	0.43
Jul	0.76	0.49
Aug	0.69	0.46
Sep	0.74	0.45
Oct	0.71	0.42
Nov	0.63	0.40
Dec	0.62	0.39



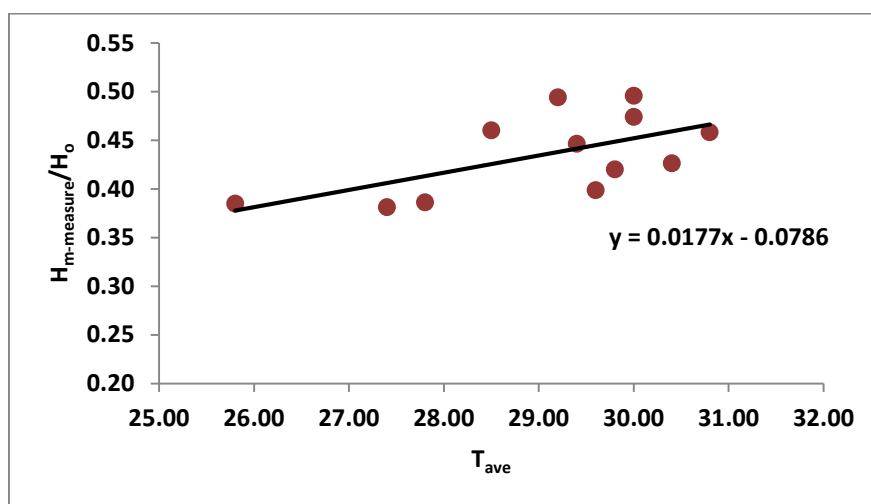
ภาพประกอบ 23(c) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 3 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ RH/100 และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.6605$, $b = -0.0238$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (12) ของแบบจำลองที่ 3 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่ค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 16(d) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ T_{ave} และ $H_{m-measure}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2554

Month	T_{ave}	$H_{m-measure}/H_o$
Jan	25.80	0.38
Feb	27.40	0.38
Mar	28.50	0.46
Apr	30.00	0.50
May	30.00	0.47
Jun	30.40	0.43
Jul	29.20	0.49
Aug	30.80	0.46
Sep	29.40	0.45
Oct	29.80	0.42
Nov	29.60	0.40
Dec	27.80	0.39



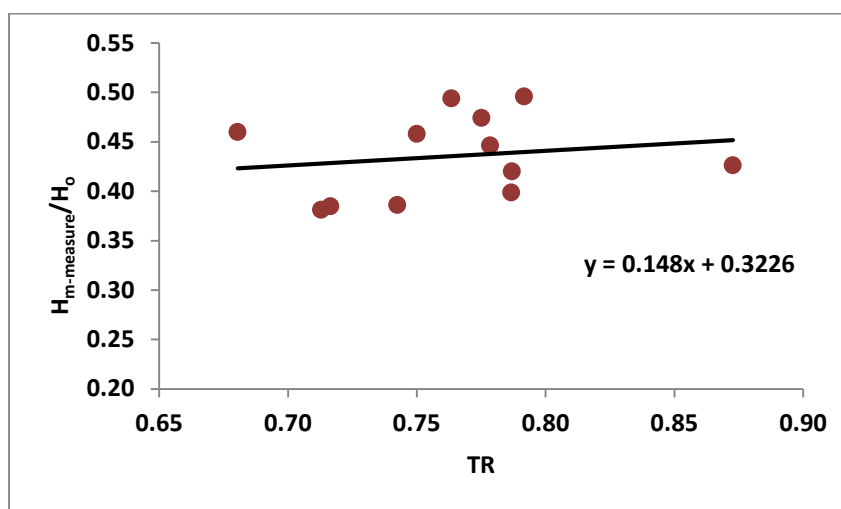
ภาพประกอบ 23(d) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 4 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ T_{ave} และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = -0.0786$, $b = 0.0177$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (13) ของแบบจำลองที่ 4 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอุณหภูมิต่ำสุดกับสูงสุด (TR) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m-measure}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 16(e) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ TR และ $H_{m-measure}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2554

Month	TR	$H_{m-measure}/H_o$
Jan	0.72	0.38
Feb	0.71	0.38
Mar	0.68	0.46
Apr	0.79	0.50
May	0.78	0.47
Jun	0.87	0.43
Jul	0.76	0.49
Aug	0.75	0.46
Sep	0.78	0.45
Oct	0.79	0.42
Nov	0.79	0.40
Dec	0.74	0.39

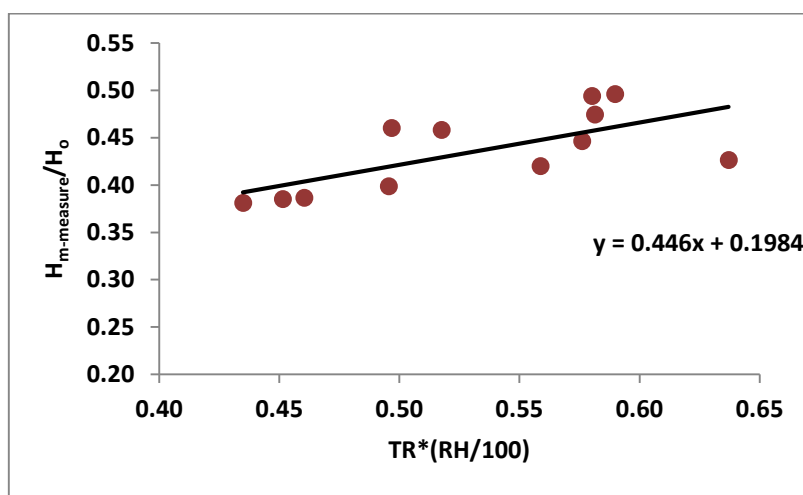


ภาพประกอบ 23(e) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 5 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ TR และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.3226$, $b = 0.148$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (14) ของแบบจำลองที่ 5 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีสุทธิ

แบบจำลองที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของสัดส่วนอุณหภูมิต่ำสุดกับสูงสุดและค่าความชื้นสัมพัทธ์ ($TR(RH/100)$) และ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่เครื่องมือวัดได้ ($H_{m\text{-measure}}$) ต่อค่าการแผ่รังสีนอกบรรยากาศโลก (H_o)

ตาราง 16(f) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $TR^*(RH/100)$ และ $H_{m\text{-measure}}/H_o$ ในปี พ.ศ. 2554

Month	$TR^*(RH/100)$	$H_{m\text{-measure}}/H_o$
Jan	0.45	0.38
Feb	0.43	0.38
Mar	0.50	0.46
Apr	0.59	0.50
May	0.58	0.47
Jun	0.64	0.43
Jul	0.58	0.49
Aug	0.52	0.46
Sep	0.58	0.45
Oct	0.56	0.42
Nov	0.50	0.40
Dec	0.46	0.39



ภาพประกอบ 23(f) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 6 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ $TR^*(RH/100)$ และ $H_{m-measure}/H_o$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.1984$, $b = 0.446$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (15) ของแบบจำลองที่ 6 เพื่อหาการแผ่รังสีสุทธิ

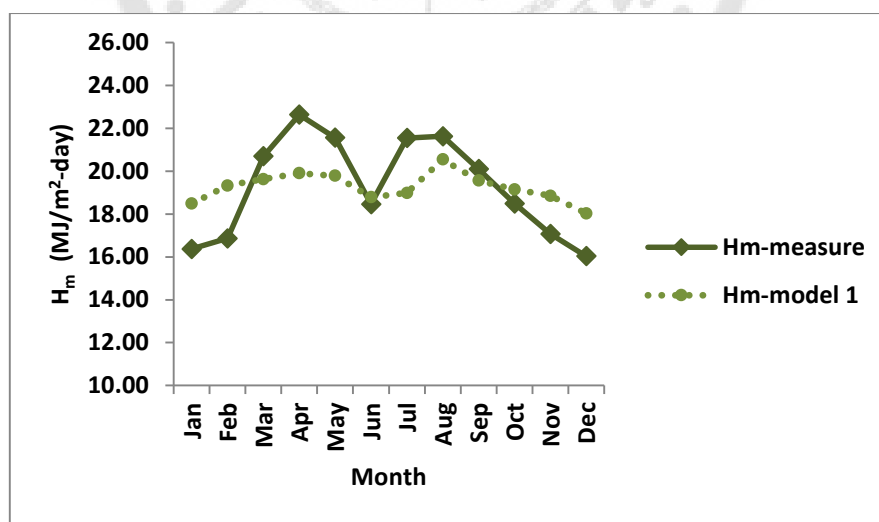
ตาราง 17 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a, b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 1-6 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) ในปี พ.ศ. 2554

Model	Solution	a	b	C
1	$H_m/H_o = a + b(s/s_o)$	0.43	0.0045	0.02
2	$H_m/H_o = a(\Delta T^{0.5})$	0.15	0	0.0003
3	$H_m/H_o = a + b(RH/100)$	-0.02	0.66	0.90
4	$H_m/H_o = a + b(T_{ave})$	-0.08	0.02	0.61
5	$H_m/H_o = a + b(TR)$	0.32	0.15	0.17
6	$H_m/H_o = a + b(RH/100) \cdot (TR)$	0.20	0.45	0.68

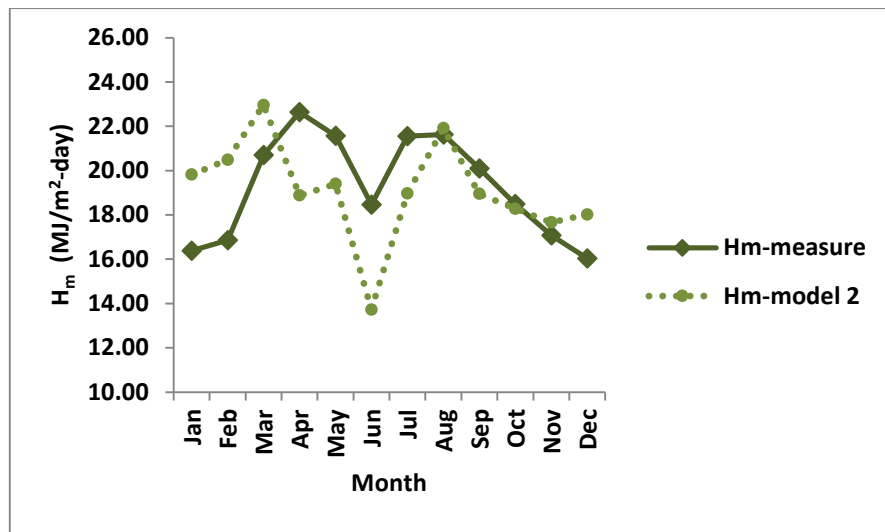
เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ไปแทนค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธินในแบบจำลองจะได้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิแสดงในตารางที่ 18

ตาราง 18 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิต่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2554

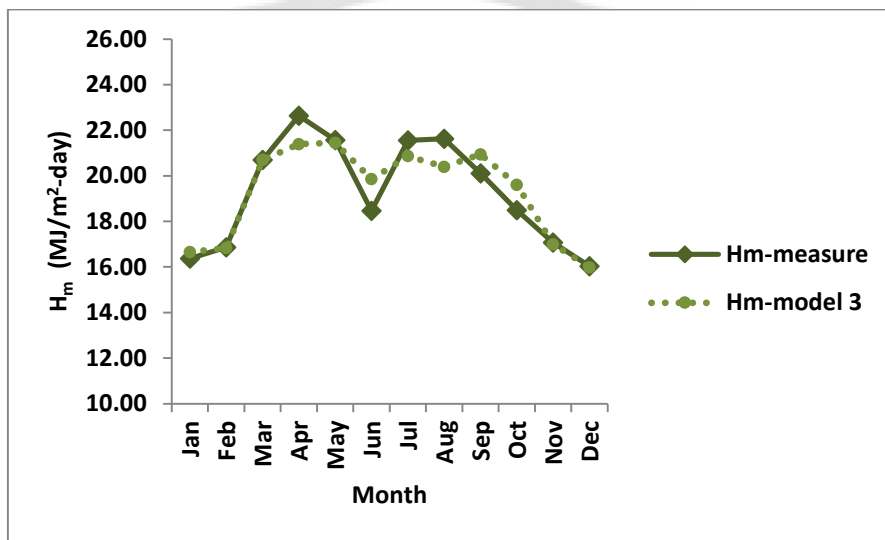
	ค่าที่ได้จากการวัด	ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิต่ได้จากแบบจำลอง ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)					
Month	$H_{m\text{-measure}}$ ($\text{MJ/m}^2\text{-day}$)	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5	model 6
Jan	16.38	18.49	19.82	16.66	16.05	18.20	16.97
Feb	16.86	19.33	20.49	16.83	18.04	19.01	17.42
Mar	20.70	19.63	22.96	20.70	19.23	19.12	18.96
Apr	22.64	19.90	18.88	21.39	20.67	20.09	21.08
May	21.57	19.79	19.40	21.45	20.58	19.89	20.82
Jun	18.47	18.79	13.73	19.85	19.90	19.56	20.90
Jul	21.55	18.99	18.97	20.86	19.12	19.00	19.95
Aug	21.63	20.55	21.91	20.39	22.03	20.47	20.27
Sep	20.10	19.56	18.95	20.94	19.90	19.72	20.51
Oct	18.50	19.15	18.28	19.60	19.77	19.34	19.71
Nov	17.08	18.85	17.67	17.00	19.29	19.02	18.17
Dec	16.03	18.03	18.02	15.98	17.13	17.92	16.73
mean	19.3	19.24	18.96	20.12	19.53	19.23	19.83
Coefficient of determination, R^2 (%)		99.93	99.82	99.95	99.99	99.92	99.99



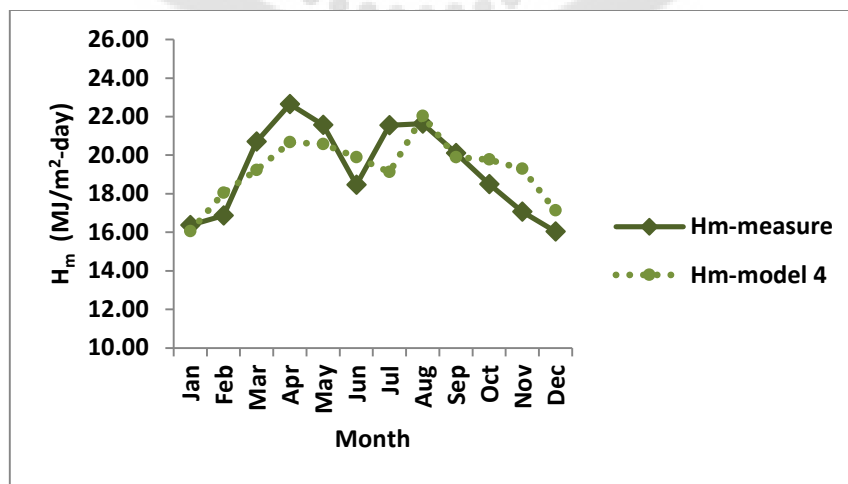
(a)



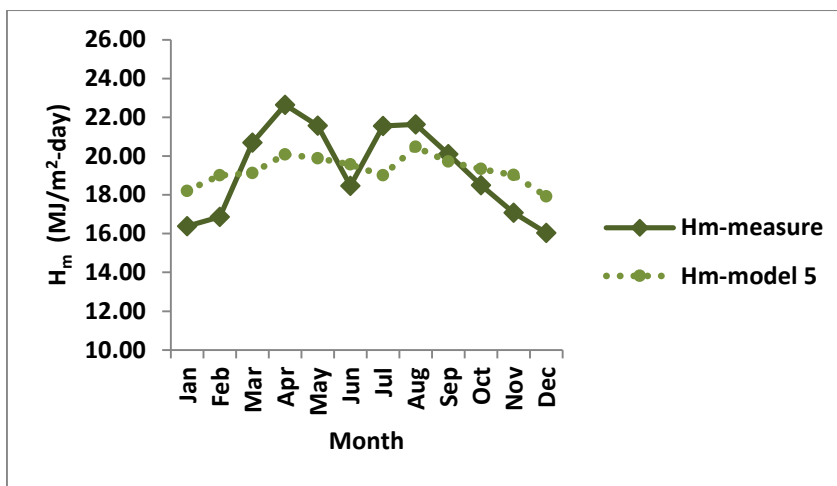
(b)



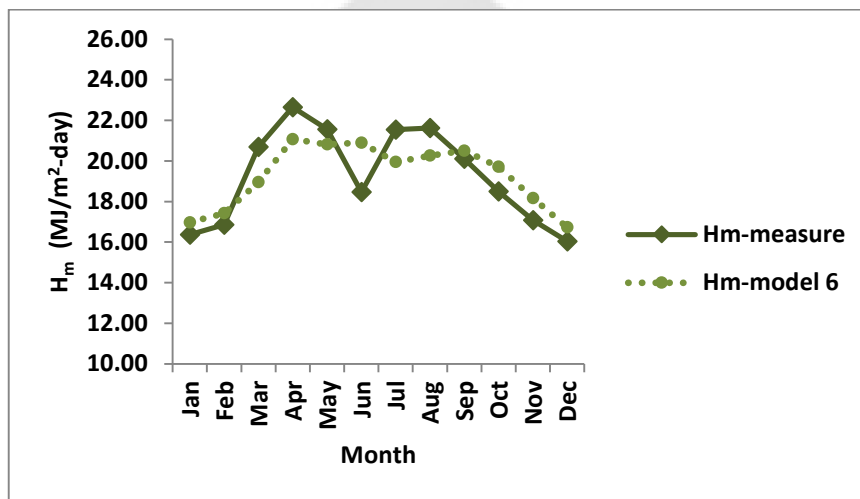
(c)



(d)

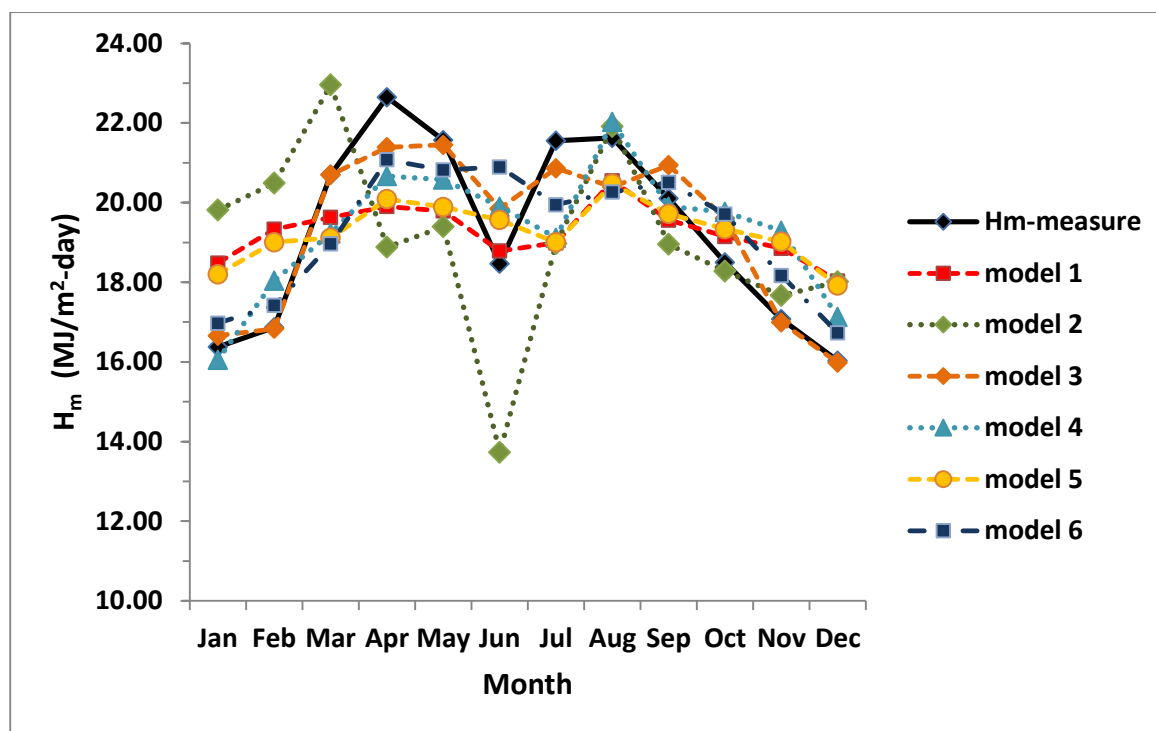


(e)



(f)

ภาพประกอบ 24(a)-(f) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทริที่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 1-6



ภาพประกอบ 25 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทิต์ที่ได้จากการวัด
และค่าได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2554

ตาราง 19 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 1-6

Month (2554)	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4		Model 5		Model 6	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
JAN	12.88	2.11	21.01	3.44	1.73	0.28	1.97	0.32	11.15	1.83	3.65	0.60
FEB	14.63	2.47	21.49	3.63	0.20	0.03	6.98	1.18	12.70	2.14	3.29	0.55
MAR	5.17	1.07	10.92	2.26	0.00	0.00	7.09	1.47	7.65	1.58	8.38	1.73
APR	12.10	2.74	16.61	3.76	5.53	1.25	8.73	1.98	11.28	2.55	6.91	1.56
MAY	8.24	1.78	10.06	2.17	0.55	0.12	4.59	0.99	7.77	1.68	3.47	0.75
JUN	1.73	0.32	25.65	4.74	7.49	1.38	7.75	1.43	5.94	1.10	13.16	2.43
JUL	11.88	2.56	11.97	2.58	3.19	0.69	11.28	2.43	11.81	2.55	7.44	1.60
AUG	5.01	1.08	1.31	0.28	5.71	1.23	1.85	0.40	5.35	1.16	6.31	1.36
SEP	2.70	0.54	5.72	1.15	4.17	0.84	1.03	0.21	1.92	0.39	2.01	0.40
OCT	3.55	0.66	1.16	0.22	5.99	1.11	6.87	1.27	4.54	0.84	6.57	1.22
NOV	10.42	1.78	3.47	0.59	0.47	0.08	12.98	2.22	11.38	1.94	6.42	1.10
DEC	12.46	2.00	12.36	1.98	0.33	0.05	6.84	1.10	11.76	1.88	4.32	0.69
MEAN	5.17	1.08	10.06	2.17	4.17	0.84	7.09	1.43	7.65	1.58	6.57	1.36

วิเคราะห์ผลสรุปผลปี พ.ศ.2554

จากการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยแสดงด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) พบว่า ปี พ.ศ. 2554 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 3 มีความสัมพันธ์ในระดับสูง เมื่อทำการประมาณค่าเฉลี่ยรายเดือนการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิ พบว่าแบบจำลองที่ 3 ให้ค่าการแผ่รังสีสุทธิอยู่ในช่วง 15.98-21.45 MJ/m²/day โดยค่าที่ได้จากเครื่องไพรานอมิเตอร์อยู่ในช่วง 16.03-22.64 MJ/m²/day ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, R²) ที่ 99.95 % และทำการทดสอบทางสถิติแสดงด้วยค่า MAPE ให้ค่า 4.17 และ RMSE ให้ค่า 0.84 ส่วนแบบจำลองที่ 1, 2 และ 5 ให้ค่าสหสัมพันธ์ของการพล็อตกราฟที่มีความสัมพันธ์ที่ต่ำจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สำหรับปี พ.ศ. 2554 ได้

4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีแปร ในปี พ.ศ. 2552

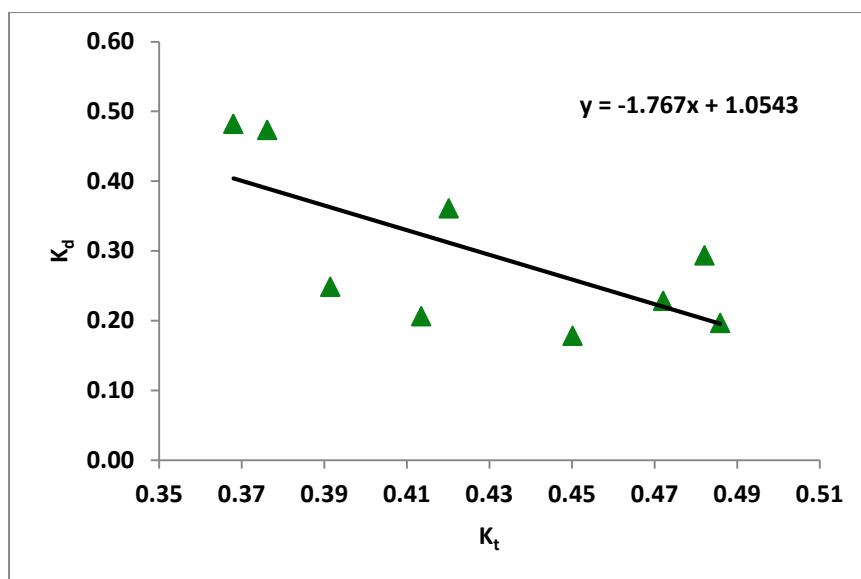
โดยใช้แบบจำลอง ได้ผลดังนี้

แบบจำลองที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ($H_{m-measure}/H_o = K_t$)

และ ดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า ($H_{d-measure}/H_{m-measure} = K_d$)

ตาราง 20(A) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_d ในปี พ.ศ. 2552

Month	K_t	K_d
Mar	0.42	0.36
Apr	0.48	0.29
May	0.37	0.48
Jul	0.38	0.47
Aug	0.49	0.20
Sep	0.47	0.23
Oct	0.45	0.18
Nov	0.41	0.21
Dec	0.39	0.25



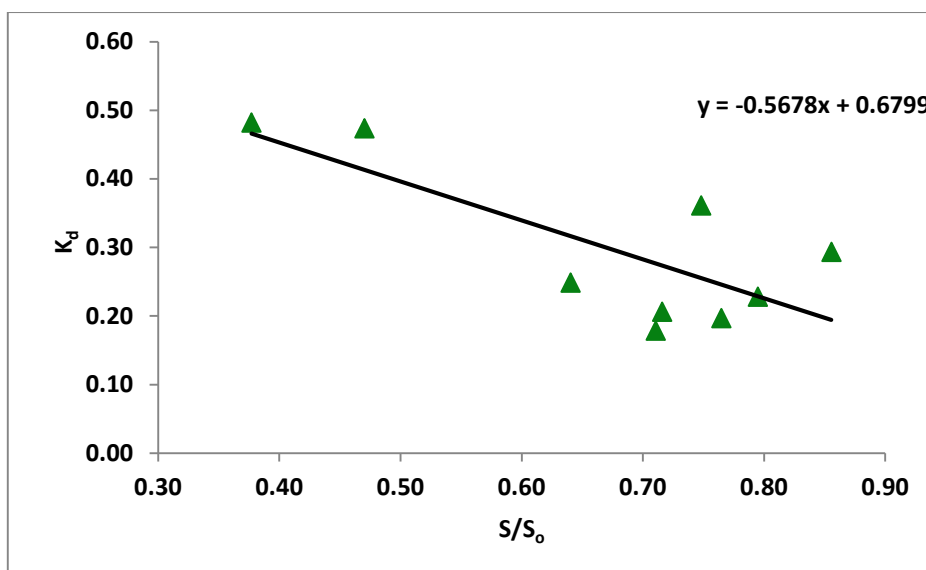
ภาพประกอบ 26(A) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 7 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_d และ K_d จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 1.0543$, $b = -1.767$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (25) ของแบบจำลองที่ 7 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่

แบบจำลองที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_0) และ ดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า ($H_{d\text{-measure}} / H_{m\text{-measure}} = K_d$)

ตาราง 20(B) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_0 และ K_d ในปี พ.ศ. 2552

Month	S/S_0	K_d
Mar	0.75	0.36
Apr	0.86	0.29
May	0.38	0.48
Jul	0.47	0.47
Aug	0.76	0.20
Sep	0.79	0.23
Oct	0.71	0.18
Nov	0.72	0.21
Dec	0.64	0.25



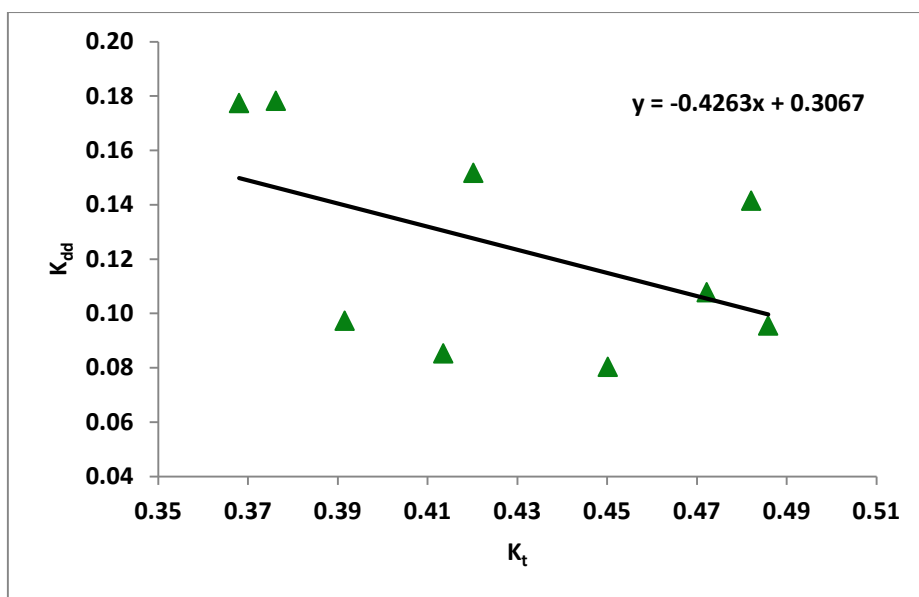
ภาพประกอบ 26(B) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 8 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_d จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.6799$, $b = -0.5678$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (28) ของแบบจำลองที่ 8 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่

แบบจำลองที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ($H_{m\text{-measure}}/H_o = K_t$) และ สัมประสิทธิ์การแพร่ ($H_{d\text{-measure}}/H_o = K_{dd}$)

ตาราง 20(C) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} ในปี พ.ศ. 2552

Month	K_t	K_{dd}
Mar	0.42	0.15
Apr	0.48	0.14
May	0.37	0.18
Jul	0.38	0.18
Aug	0.49	0.10
Sep	0.47	0.11
Oct	0.45	0.08
Nov	0.41	0.09
Dec	0.39	0.10



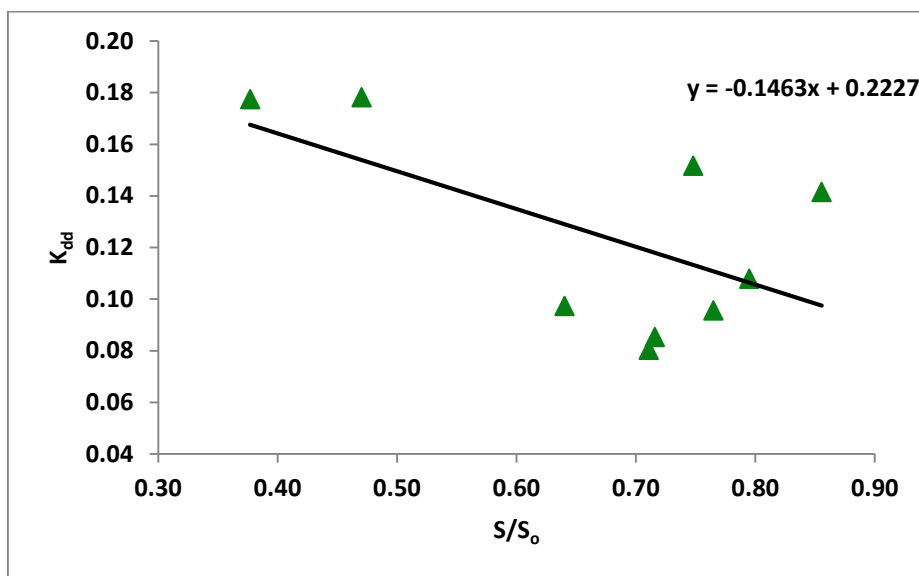
ภาพประกอบ 26(C) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 9 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a=0.3067$, $b=-0.4263$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (31) ของแบบจำลองที่ 9 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแปร

แบบจำลองที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_o) และ สัมประสิทธิ์การแปร ($H_{d\text{-measure}} / H_o = K_{dd}$)

ตาราง 20(D) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_o และ K_{dd} ในปี พ.ศ. 2552

Month	S/S_o	K_{dd}
Mar	0.75	0.15
Apr	0.86	0.14
May	0.38	0.18
Jul	0.47	0.18
Aug	0.76	0.10
Sep	0.79	0.11
Oct	0.71	0.08
Nov	0.72	0.09
Dec	0.64	0.10



ภาพประกอบ 26(D) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 10 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.2227$, $b = -0.1463$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (34) ของแบบจำลองที่ 10 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่

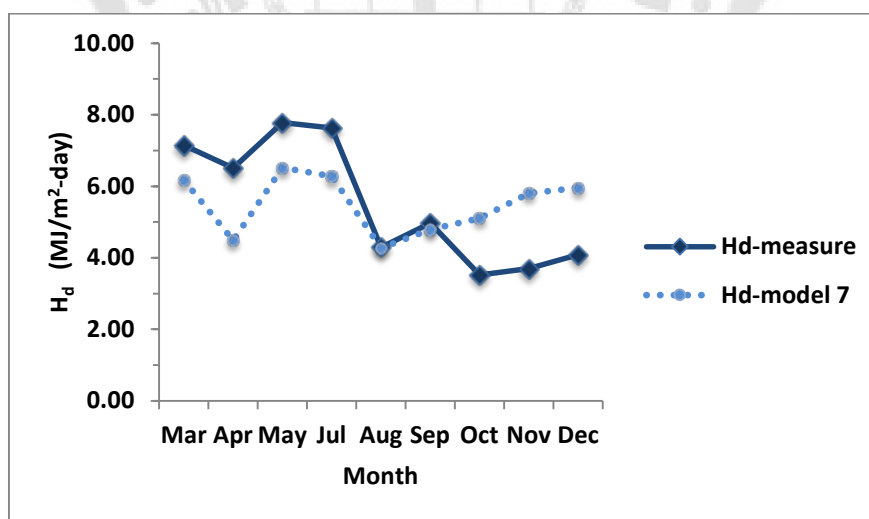
ตาราง 21 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a, b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 7-10 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) ในปี พ.ศ. 2552

Model	Solution	a	b	C
7	$K_d = a + b(K_t)$	1.05	-1.77	-0.69
8	$K_d = a + b(S/S_0)$	0.6799	-0.5678	-0.76
9	$K_{dd} = a + b(K_t)$	0.3067	-0.4263	-0.50
10	$K_{dd} = a + b(S/S_0)$	0.22	-0.15	-0.59

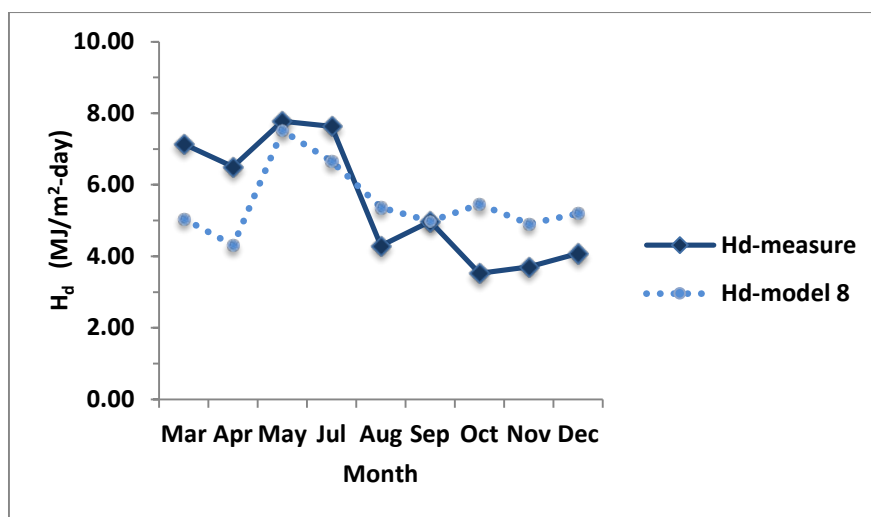
เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ไปแทนค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ในแบบจำลองจะได้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่แสดงในตารางที่ 22

ตาราง 22 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2552

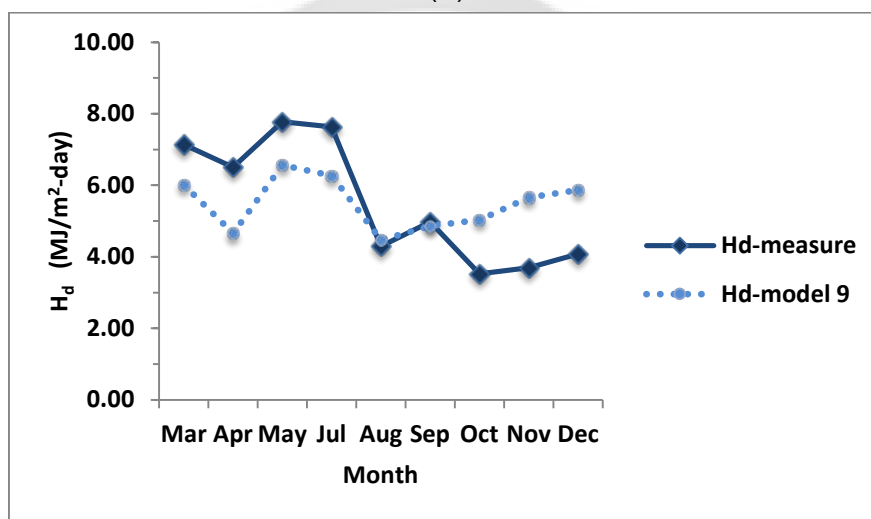
	ค่าที่ได้จากการวัด	ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากแบบจำลอง (MJ/m ² -day)			
Month	H _{d-measure} (MJ/m ² -day)	model 7	model 8	model 9	model 10
Mar	7.14	6.17	5.05	6.01	5.33
Apr	6.51	4.49	4.31	4.65	4.49
May	7.78	6.52	7.52	6.57	7.34
Jul	7.63	6.28	6.65	6.27	6.59
Aug	4.29	4.27	5.36	4.47	4.98
Sep	4.97	4.79	4.98	4.86	4.91
Oct	3.52	5.11	5.45	5.03	5.2
Nov	3.7	5.8	4.9	5.66	5.12
Dec	4.08	5.95	5.19	5.86	5.41
mean	4.97	5.8	5.19	5.66	5.2
Coefficient of determination, R ² (%)		96.68	99.77	97.71	99.75



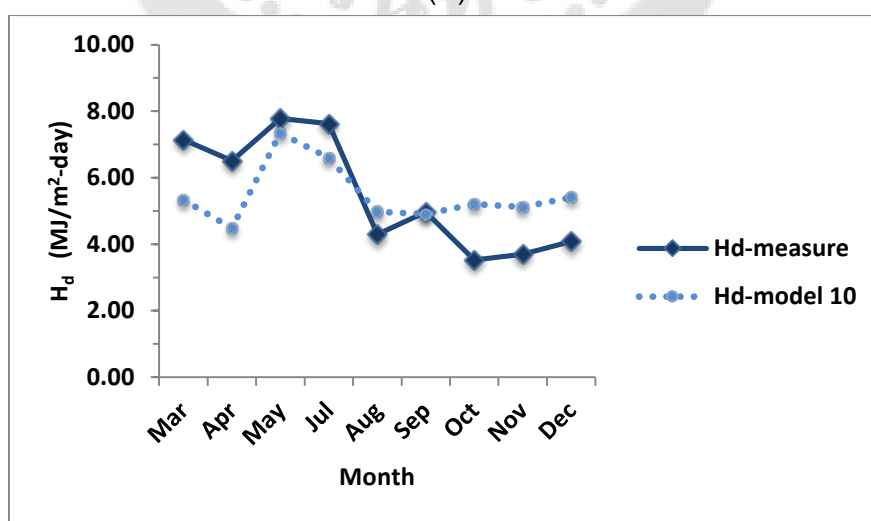
(A)



(B)

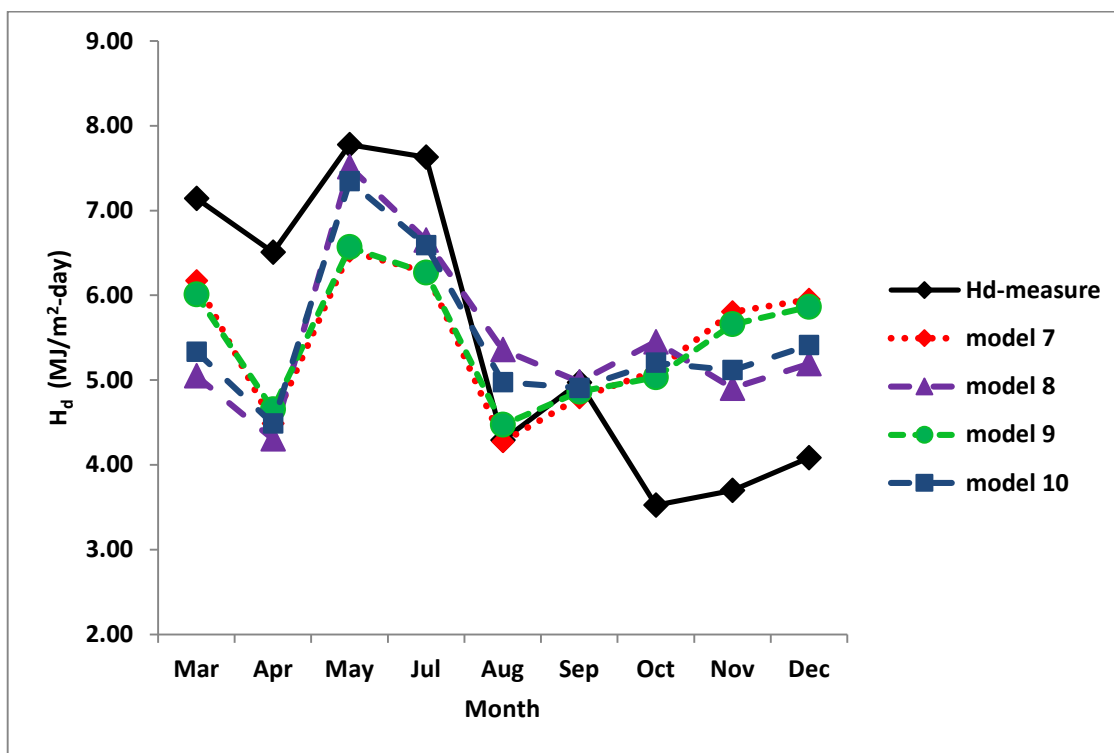


(C)



(D)

ภาพประกอบ 27(A)-(D) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10



ภาพประกอบ 28 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากการวัด และค่าได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2552

ตาราง 23 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 7-10

Month (2552)	Model 7		Model 8		Model 9		Model 10	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
Mar	13.63	0.97	29.32	2.09	15.91	1.14	25.34	1.81
Apr	31.02	2.02	33.83	2.20	28.48	1.85	31.05	2.02
May	16.21	1.26	3.39	0.26	15.57	1.21	5.58	0.43
Jul	17.77	1.36	12.84	0.98	17.89	1.37	13.64	1.04
Aug	0.49	0.02	24.89	1.07	4.17	0.18	15.94	0.68
Sep	3.65	0.18	0.13	0.01	2.22	0.11	1.29	0.06
Oct	44.98	1.58	54.77	1.93	42.82	1.51	47.70	1.68
Nov	56.94	2.11	32.60	1.21	52.95	1.96	38.35	1.42
Dec	45.78	1.87	27.21	1.11	43.60	1.78	32.53	1.33
MEAN	17.77	1.36	27.21	1.11	17.89	1.37	25.34	1.33

วิเคราะห์ผลสรุปผลปี พ.ศ.2552

จากการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยแสดงด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) พบว่า ปี พ.ศ. 2552 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 8 มีความสัมพันธ์ในระดับสูง เมื่อทำการประมาณค่าเฉลี่ยรายเดือนการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ พบว่าแบบจำลองที่ 8 ให้ค่าการแผ่รังสีแพร่อยู่ในช่วง 4.31-7.52 MJ/m²/day โดยค่าที่ได้จากเครื่องไพรานอมิเตอร์อยู่ในช่วง 3.52-7.63 MJ/m²/day ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, R²) ที่ 99.77 % และทำการทดสอบทางสถิติแสดงด้วยค่า MAPE ให้ค่า 27.21 และ RMSE ให้ค่า 1.11 ส่วนแบบจำลองที่ 9 และ 10 ให้ค่าสหสัมพันธ์ของการพล็อตกราฟที่มีความสัมพันธ์ที่ต่ำจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สำหรับปี พ.ศ. 2552 ได้

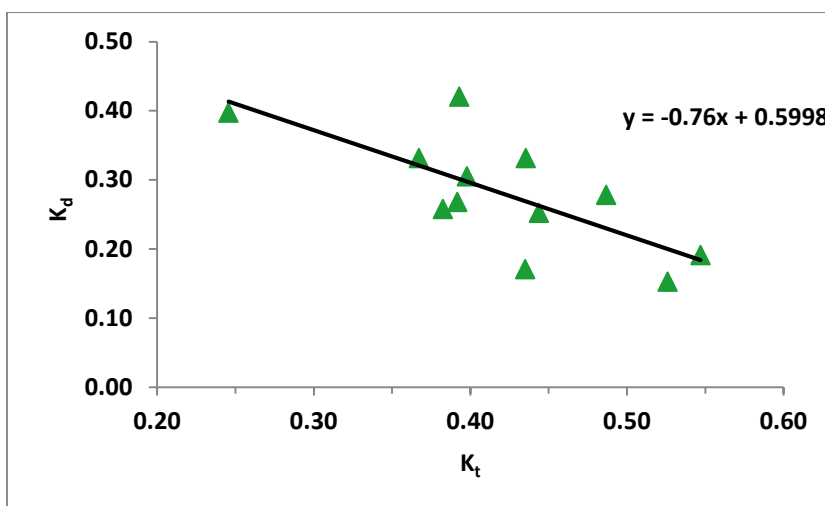
4.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีแพร่ ในปี พ.ศ. 2553

โดยใช้แบบจำลอง ได้ผลดังนี้

แบบจำลองที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ($H_{m\text{-measure}}/H_o = K_t$) และ ดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า ($H_{d\text{-measure}}/H_{m\text{-measure}} = K_d$)

ตาราง 24(A) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_d ในปี พ.ศ. 2553

Month	K_t	K_d
Jan	0.39	0.27
Feb	0.44	0.25
Mar	0.44	0.33
Apr	0.49	0.28
May	0.55	0.19
Jun	0.53	0.15
Jul	0.39	0.42
Aug	0.25	0.40
Sep	0.40	0.31
Oct	0.44	0.17
Nov	0.38	0.26
Dec	0.37	0.33



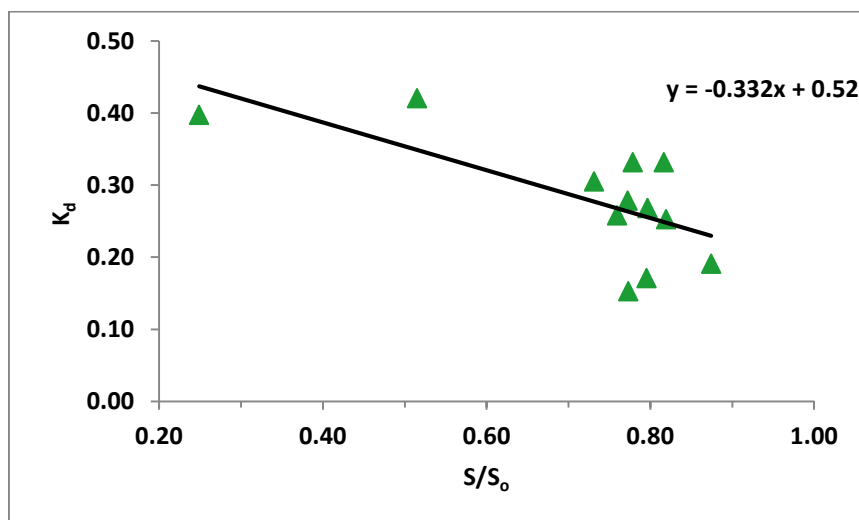
ภาพประกอบ 29(A) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 7 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_d จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 1.0543$, $b = -1.767$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (25) ของแบบจำลองที่ 7 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่

แบบจำลองที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_o) และ ดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า ($H_{d\text{-measure}} / H_{m\text{-measure}} = K_d$)

ตาราง 24(B) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_o และ K_d ในปี พ.ศ. 2553

Month	S/S_o	K_d
Jan	0.80	0.27
Feb	0.82	0.25
Mar	0.78	0.33
Apr	0.77	0.28
May	0.87	0.19
Jun	0.77	0.15
Jul	0.52	0.42
Aug	0.25	0.40
Sep	0.73	0.31
Oct	0.80	0.17
Nov	0.76	0.26
Dec	0.82	0.33



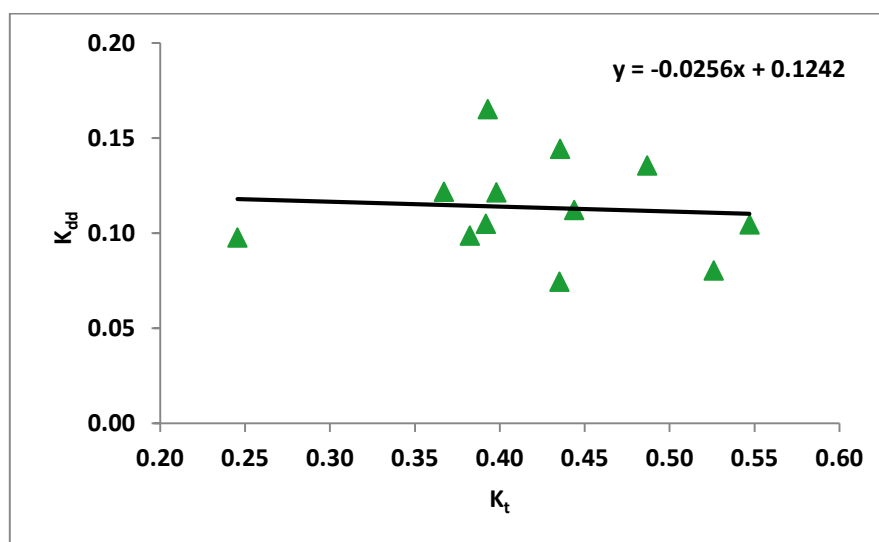
ภาพประกอบ 29(B) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 8 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_d จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.6799$, $b = -0.5678$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (28) ของแบบจำลองที่ 8 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่

แบบจำลองที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ($H_{m\text{-measure}}/H_o = K_t$) และ สัมประสิทธิ์การแพร่ ($H_{d\text{-measure}}/H_o = K_{dd}$)

ตาราง 24(C) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} ในปี พ.ศ. 2552

Month	K_t	K_{dd}
Jan	0.39	0.10
Feb	0.44	0.11
Mar	0.44	0.14
Apr	0.49	0.14
May	0.55	0.10
Jun	0.53	0.08
Jul	0.39	0.17
Aug	0.25	0.10
Sep	0.40	0.12
Oct	0.44	0.07
Nov	0.38	0.10
Dec	0.37	0.12



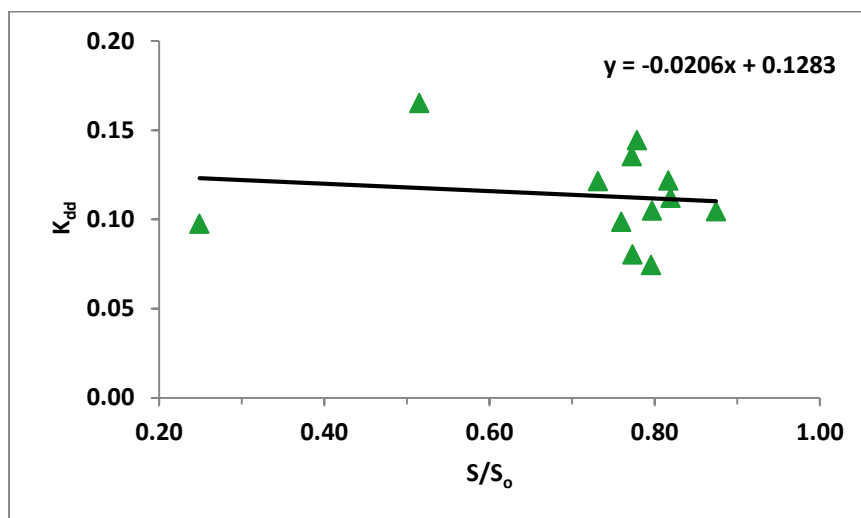
ภาพประกอบ 29(C) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 9 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.3067$, $b = -0.4263$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (31) ของแบบจำลองที่ 9 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแผ่

แบบจำลองที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_o) และ สัมประสิทธิ์การแผ่ ($H_{d\text{-measure}} / H_o = K_{dd}$)

ตาราง 24(D) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_o และ K_{dd} ในปี พ.ศ. 2552

Month	S/S_o	K_{dd}
Jan	0.80	0.10
Feb	0.82	0.11
Mar	0.78	0.14
Apr	0.77	0.14
May	0.87	0.10
Jun	0.77	0.08
Jul	0.52	0.17
Aug	0.25	0.10
Sep	0.73	0.12
Oct	0.80	0.07
Nov	0.76	0.10
Dec	0.82	0.12



ภาพประกอบ 29(D) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 10 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.2227$, $b = -0.1463$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (34) ของแบบจำลองที่ 10 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่

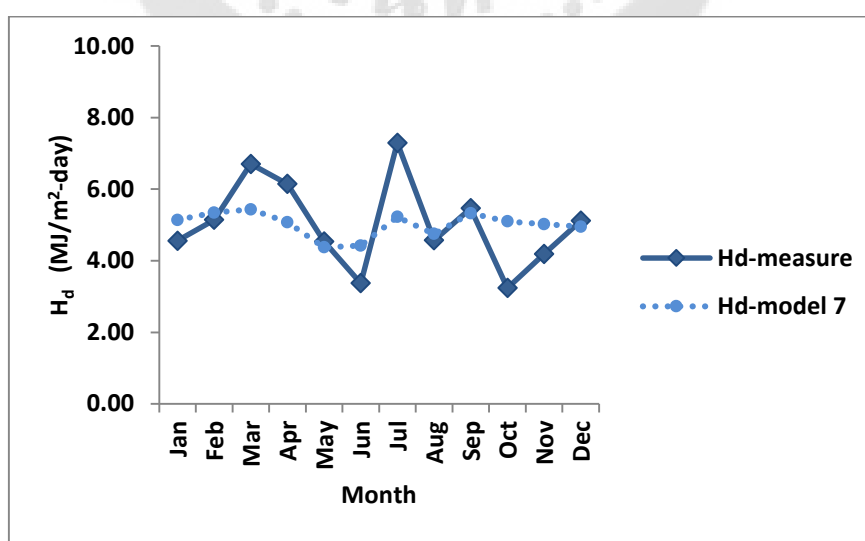
ตาราง 25 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a, b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 7-10 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) ในปี พ.ศ. 2553

Model	Solution	a	b	C
7	$K_d = a + b(K_t)$	0.60	-0.76	-0.72
8	$K_d = a + b(S/S_0)$	0.52	-0.33	-0.69
9	$K_{dd} = a + b(K_t)$	0.12	-0.03	-0.08
10	$K_{dd} = a + b(S/S_0)$	0.13	-0.02	-0.14

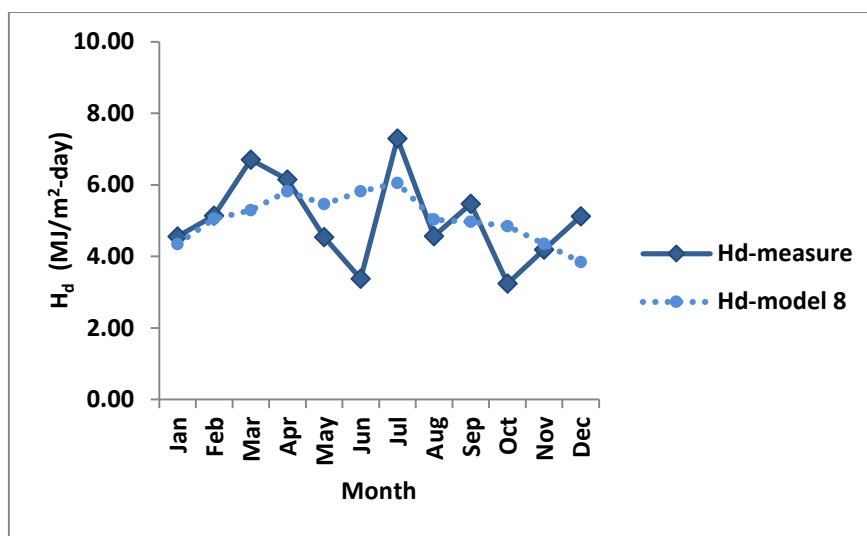
เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ไปแทนค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ในแบบจำลองจะได้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่แสดงในตารางที่ 26

ตาราง 26 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2553

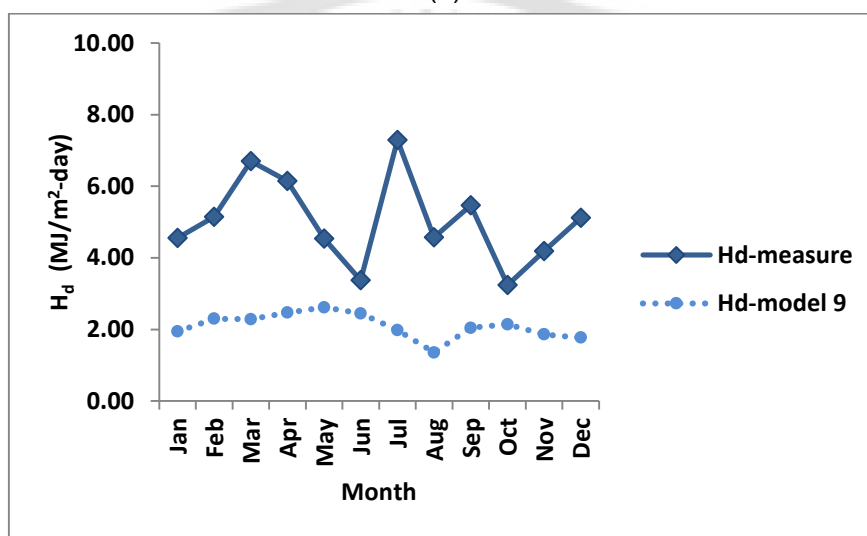
	ค่าที่ได้จากการวัด	ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากแบบจำลอง (MJ/m ² -day)			
Month	H _{d-measure} (MJ/m ² -day)	model 7	model 8	model 9	model 10
Jan	4.56	5.14	4.35	1.94	1.90
Feb	5.14	5.34	5.05	2.30	2.27
Mar	6.70	5.44	5.29	2.29	2.27
Apr	6.15	5.07	5.82	2.47	2.48
May	4.54	4.37	5.46	2.62	2.62
Jun	3.37	4.42	5.82	2.45	2.48
Jul	7.29	5.22	6.05	1.98	2.04
Aug	4.57	4.75	5.03	1.36	1.42
Sep	5.47	5.33	4.96	2.04	2.03
Oct	3.24	5.10	4.85	2.14	2.12
Nov	4.19	5.02	4.35	1.86	1.83
Dec	5.12	4.95	3.84	1.77	1.72
mean	4.85	5.09	5.04	2.09	2.08
Coefficient of determination, R ² (%)		99.94	99.98	60.04	59.76



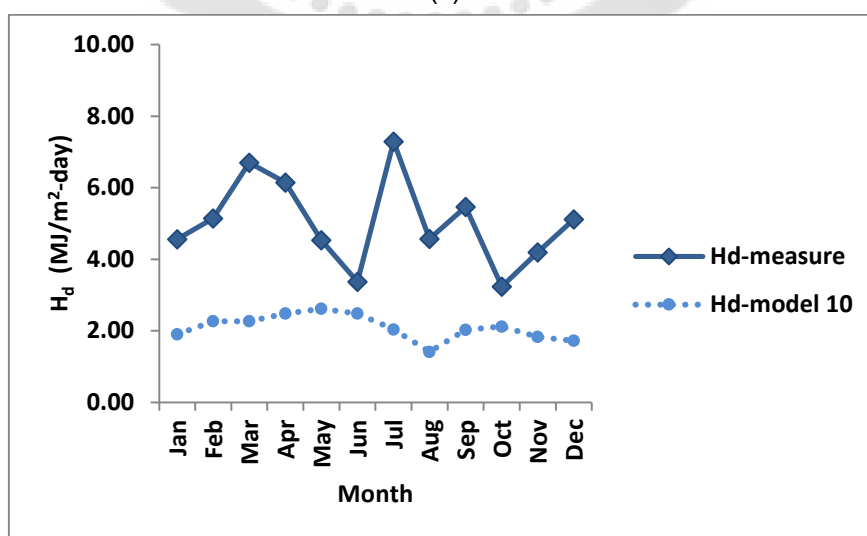
(a)



(b)

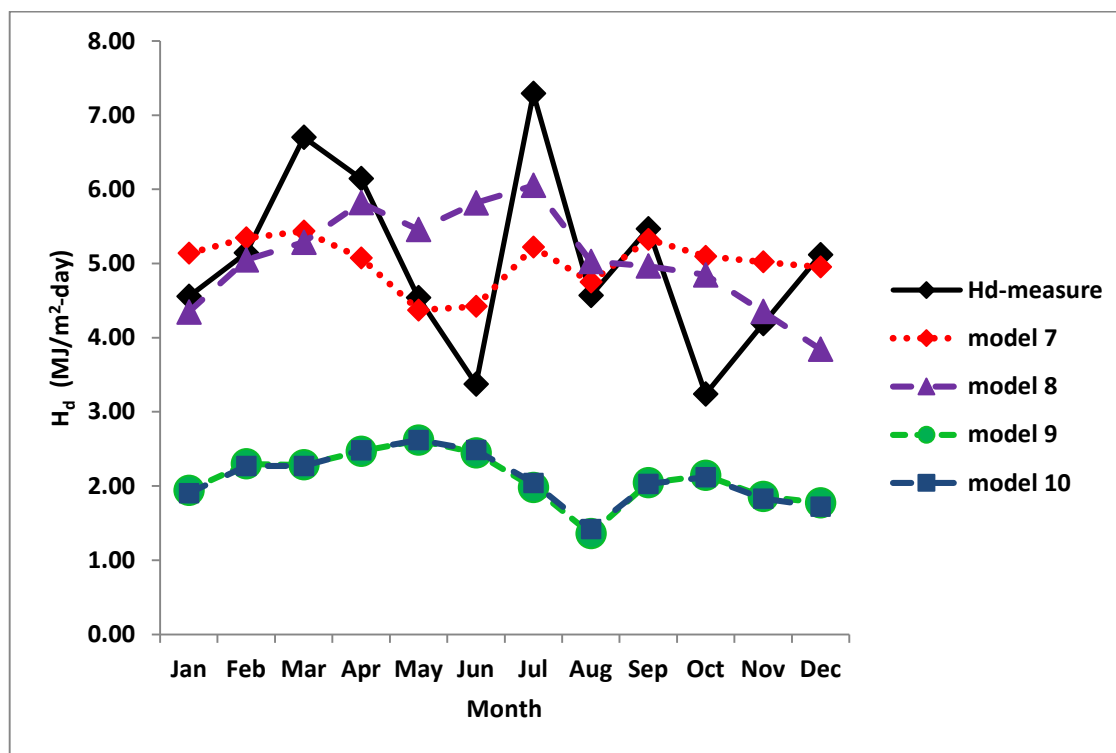


(c)



(d)

ภาพประกอบ 30(A)-(D) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัด
และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10



ภาพประกอบ 31 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากการวัด
และค่าได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2553

ตาราง 27 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 7-10

Month (2553)	Model 7		Model 8		Model 9		Model 10	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
Jan	12.74	0.58	4.65	0.21	57.39	2.62	58.24	2.65
Feb	3.95	0.20	1.80	0.09	55.32	2.84	55.88	2.87
Mar	18.91	1.27	21.12	1.42	65.91	4.42	66.15	4.43
Apr	17.42	1.07	5.31	0.33	59.85	3.68	59.62	3.66
May	3.64	0.17	20.25	0.92	42.33	1.92	42.28	1.92
Jun	31.08	1.05	72.53	2.45	27.45	0.93	26.38	0.89
Jul	28.38	2.07	17.00	1.24	72.86	5.31	72.01	5.25
Aug	3.94	0.18	10.02	0.46	70.34	3.21	69.01	3.15
Sep	2.55	0.14	9.17	0.50	62.64	3.42	62.90	3.44
Oct	57.38	1.86	49.63	1.61	33.88	1.10	34.55	1.12
Nov	19.85	0.83	3.84	0.16	55.65	2.33	56.33	2.36
Dec	3.24	0.17	24.91	1.27	65.37	3.35	66.37	3.40
MEAN	15.08	0.71	13.51	0.71	58.62	3.03	58.93	3.01

วิเคราะห์ผลสรุปผลปี พ.ศ.2553

จากการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยแสดงด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) พบว่า ปี พ.ศ. 2553 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 8 มีความสัมพันธ์ในระดับสูง เมื่อทำการประมาณค่าเฉลี่ยรายเดือนการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ พบว่าแบบจำลองที่ 8 ให้ค่าการแผ่รังสีแพร่อยู่ในช่วง 3.84-6.05 MJ/m²/day โดยค่าที่ได้จากเครื่องไพรานอมิเตอร์อยู่ในช่วง 3.24-7.29 MJ/m²/day ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, R²) ที่ 99.98 % และทำการทดสอบทางสถิติแสดงด้วยค่า MAPE ให้ค่า 13.51 และ RMSE ให้ค่า 0.71 ส่วนแบบจำลองที่ 9 และ 10 ให้ค่าสหสัมพันธ์ของการพล็อตกราฟที่มีความสัมพันธ์ที่ต่ำจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สำหรับปี พ.ศ. 2553 ได้

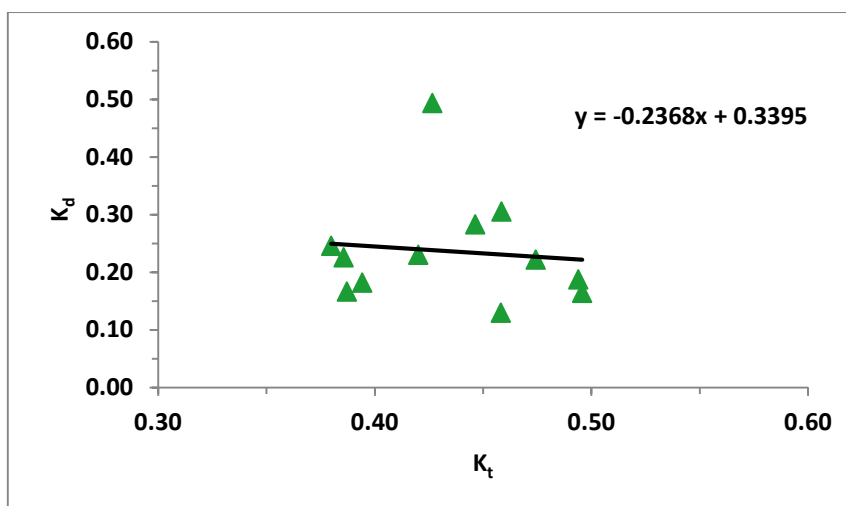
4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการแผ่รังสีแพร่ ในปี พ.ศ. 2554

โดยใช้แบบจำลอง ได้ผลดังนี้

แบบจำลองที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ($H_{m-measure}/H_o = K_i$) และ ดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า ($H_{d-measure}/H_{m-measure} = K_d$)

ตาราง 28(A) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_i และ K_d ในปี พ.ศ. 2554

Month	K_i	K_d
Jan	0.39	0.23
Feb	0.38	0.25
Mar	0.46	0.31
Apr	0.50	0.16
May	0.47	0.22
Jun	0.43	0.49
Jul	0.49	0.19
Aug	0.46	0.13
Sep	0.45	0.28
Oct	0.42	0.23
Nov	0.39	0.18
Dec	0.39	0.17



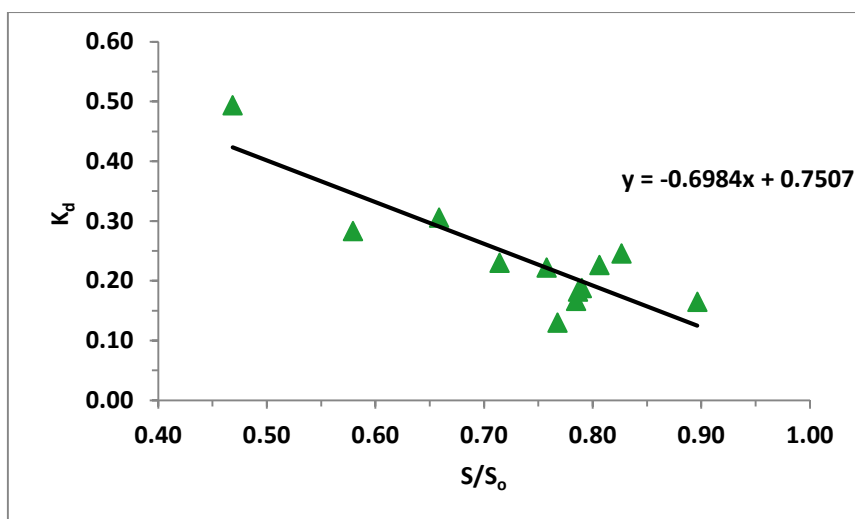
ภาพประกอบ 32(A) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 7 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_d จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.3395$, $b = -0.2368$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (25) ของแบบจำลองที่ 7 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแผ่

แบบจำลองที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_o) และ ดัชนีความชุ่มชื้นของท้องฟ้า ($H_{d\text{-measure}} / H_{m\text{-measure}} = K_d$)

ตาราง 28(B) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_o และ K_d ในปี พ.ศ. 2552

Month	S/S_o	K_d
Jan	0.81	0.23
Feb	0.83	0.25
Mar	0.66	0.31
Apr	0.90	0.16
May	0.76	0.22
Jun	0.47	0.49
Jul	0.79	0.19
Aug	0.77	0.13
Sep	0.58	0.28
Oct	0.71	0.23
Nov	0.79	0.18
Dec	0.78	0.17



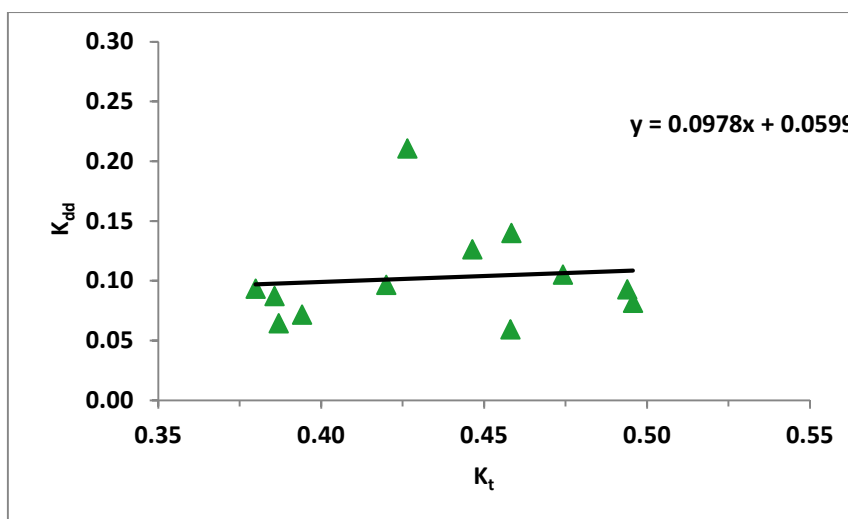
ภาพประกอบ 32(B) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 8 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_d จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.7507$, $b = -0.6984$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (28) ของแบบจำลองที่ 8 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแฟร์

แบบจำลองที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า ($H_{m\text{-measure}}/H_o = K_t$) และ สัมประสิทธิ์การแผ่ ($H_{d\text{-measure}}/H_o = K_{dd}$)

ตาราง 28(C) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} ในปี พ.ศ. 2552

Month	K_t	K_{dd}
Jan	0.39	0.09
Feb	0.38	0.09
Mar	0.46	0.14
Apr	0.50	0.08
May	0.47	0.11
Jun	0.43	0.21
Jul	0.49	0.09
Aug	0.46	0.06
Sep	0.45	0.13
Oct	0.42	0.10
Nov	0.39	0.07
Dec	0.39	0.06



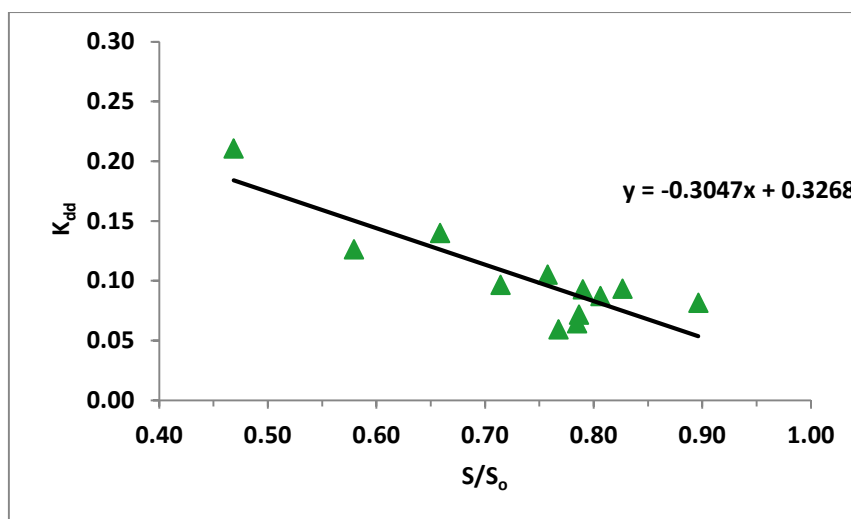
ภาพประกอบ 32(C) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 9 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ K_t และ K_{dd} จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.0599$, $b = 0.0978$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (31) ของแบบจำลองที่ 9 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแฟร์

แบบจำลองที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (S) ต่อความยาวนานของวัน (S_o) และ สัมประสิทธิ์การแผ่ ($H_{d\text{-measure}} / H_o = K_{dd}$)

ตาราง 28(D) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_o และ K_{dd} ในปี พ.ศ. 2552

Month	S/S_o	K_{dd}
Jan	0.81	0.09
Feb	0.83	0.09
Mar	0.66	0.14
Apr	0.90	0.08
May	0.76	0.11
Jun	0.47	0.21
Jul	0.79	0.09
Aug	0.77	0.06
Sep	0.58	0.13
Oct	0.71	0.10
Nov	0.79	0.07
Dec	0.78	0.06



ภาพประกอบ 32(D) กราฟสมการความสัมพันธ์แบบจำลองที่ 10 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b

จากการเขียนกราฟค่าเฉลี่ยรายเดือนของ S/S_0 และ K_{dd} จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ $a = 0.3268$, $b = -0.3047$ นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนในสมการที่ (34) ของแบบจำลองที่ 10 เพื่อหาค่าการแผ่รังสีแพร่

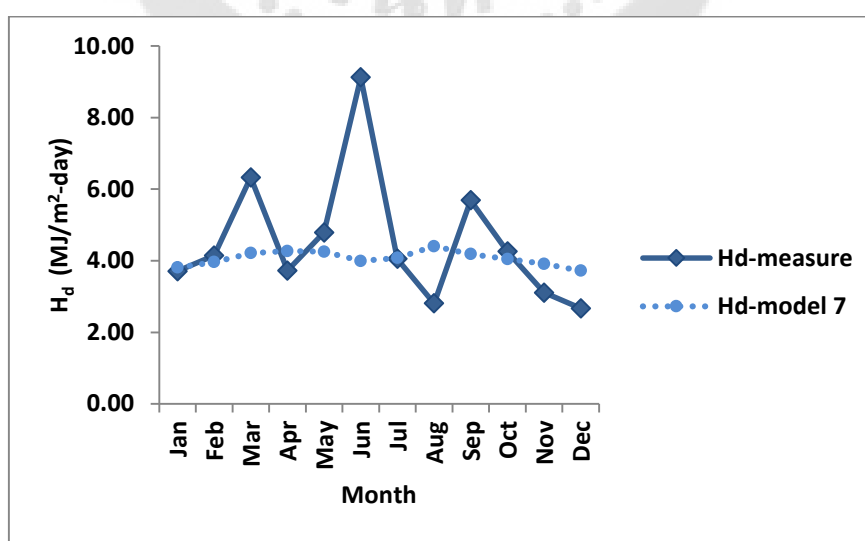
ตาราง 29 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ a, b ที่ได้จากการเขียนกราฟของแบบจำลองที่ 7-10 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) ในปี พ.ศ. 2554

Model	Solution	a	b	C
7	$K_d = a + b(K_t)$	0.39	-0.40	-0.10
8	$K_d = a + b(S/S_0)$	0.75	-0.70	-0.86
9	$K_{dd} = a + b(K_t)$	0.06	0.10	0.10
10	$K_{dd} = a + b(S/S_0)$	0.33	-0.30	-0.86

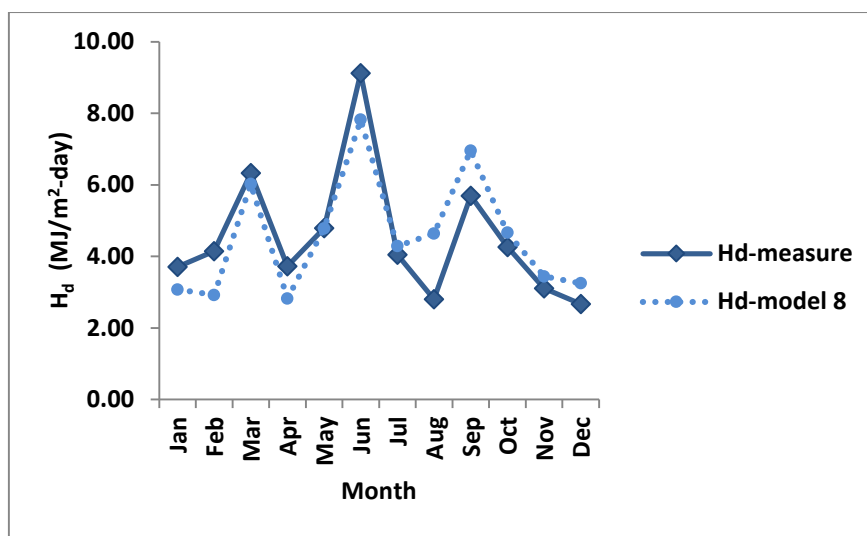
เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ไปแทนค่าเพื่อใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ในแบบจำลองจะได้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่แสดงในตารางที่ 30

ตาราง 30 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2554

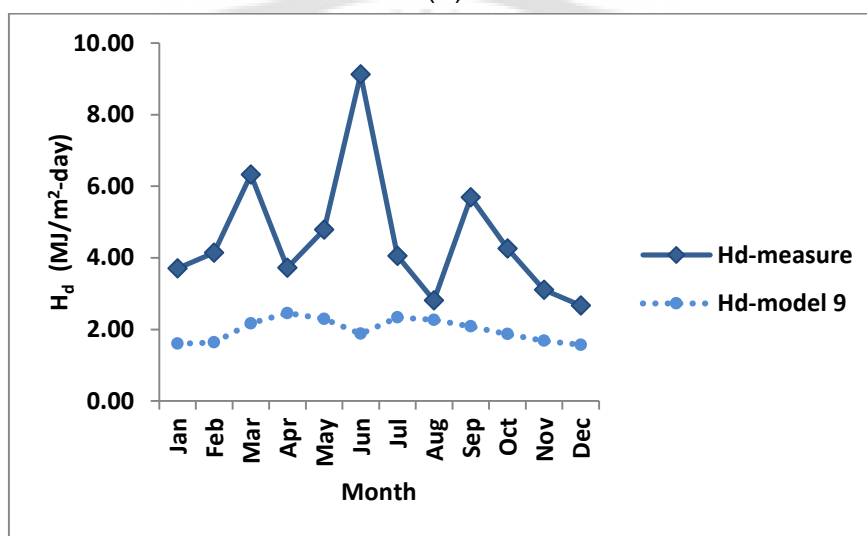
	ค่าที่ได้จากการวัด	ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากแบบจำลอง (MJ/m ² -day)			
Month	H _{d-measure} (MJ/m ² -day)	model 7	model 8	model 9	model 10
Jan	3.71	3.81	3.07	1.60	1.33
Feb	4.14	3.96	2.92	1.64	1.26
Mar	6.33	4.21	6.02	2.17	2.61
Apr	3.73	4.27	2.82	2.45	1.22
May	4.79	4.25	4.78	2.29	2.07
Jun	9.12	3.99	7.82	1.88	3.40
Jul	4.05	4.08	4.29	2.33	1.86
Aug	2.81	4.40	4.64	2.26	2.01
Sep	5.69	4.19	6.96	2.08	3.02
Oct	4.26	4.05	4.66	1.87	2.02
Nov	3.11	3.91	3.44	1.68	1.49
Dec	2.67	3.72	3.25	1.57	1.41
mean	4.10	4.07	4.47	1.98	1.94
Coefficient of determination, R ² (%)		96.05	98.77	56.93	55.62



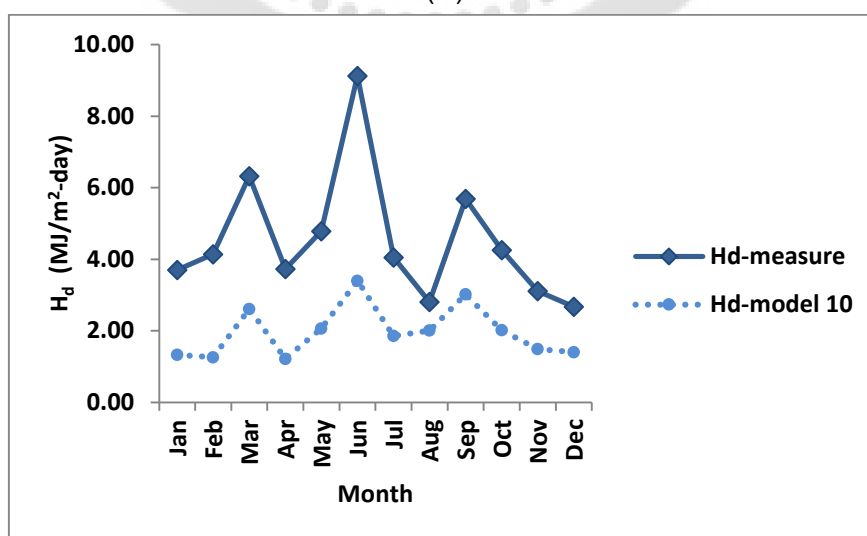
(A)



(B)

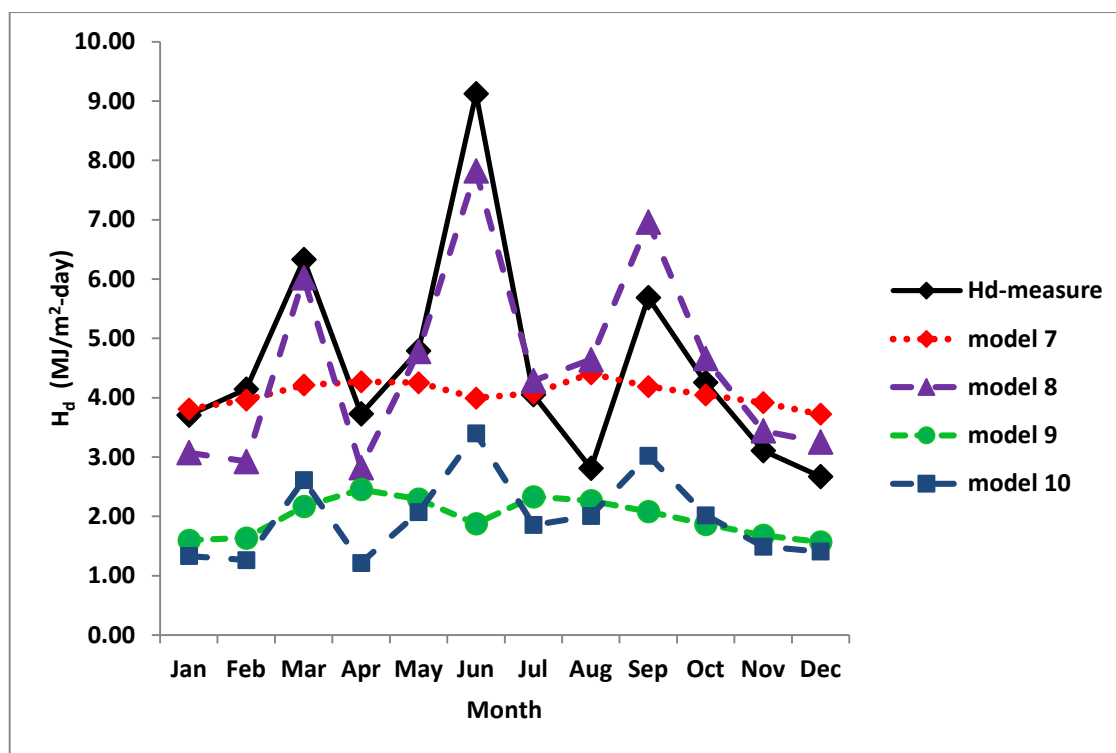


(C)



(D)

ภาพประกอบ 33(A)-(D) ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากเครื่องมือวัด และค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ 7-10



ภาพประกอบ 34 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรที่ได้จากการวัด
และค่าได้จากการใช้แบบจำลอง ในปี พ.ศ. 2554

ตาราง 31 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE และ RMSE ของแบบจำลองที่ 7-10

Month (2554)	Model 7		Model 8		Model 9		Model 10	
	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE	RMSE
Jan	2.81	0.10	17.03	0.63	56.86	2.11	64.12	2.38
Feb	4.40	0.18	29.44	1.22	60.51	2.51	69.51	2.88
Mar	33.42	2.11	4.83	0.31	65.73	4.16	58.72	3.71
Apr	14.57	0.54	24.21	0.90	34.14	1.27	67.37	2.51
May	11.19	0.54	0.21	0.01	52.13	2.50	56.79	2.72
Jun	56.21	5.13	14.27	1.30	79.43	7.25	62.74	5.72
Jul	0.69	0.03	5.88	0.24	42.43	1.72	54.19	2.19
Aug	56.81	1.60	65.22	1.83	19.36	0.54	28.47	0.80
Sep	26.39	1.50	22.31	1.27	63.41	3.61	46.89	2.67
Oct	4.94	0.21	9.43	0.40	56.14	2.39	52.57	2.24
Nov	25.90	0.81	10.67	0.33	45.93	1.43	52.11	1.62
Dec	39.38	1.05	21.75	0.58	41.30	1.10	47.31	1.26
MEAN	20.24	0.67	15.65	0.61	54.14	2.25	55.49	2.44

วิเคราะห์ผลสรุปผลปี พ.ศ.2554

จากการพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยแสดงด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, C) พบว่า ปี พ.ศ. 2554 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ 8 มีความสัมพันธ์ในระดับสูง เมื่อทำการประมาณค่าเฉลี่ยรายเดือนการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแพร่ พบว่าแบบจำลองที่ 8 ให้ค่าการแผ่รังสีแพร่อยู่ในช่วง 2.92-7.82 MJ/m²/day โดยค่าที่ได้จากเครื่องไพรานอมิเตอร์อยู่ในช่วง 2.67-9.12 MJ/m²/day ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, R²) ที่ 98.77 % และทำการทดสอบทางสถิติแสดงด้วยค่า MAPE ให้ค่า 15.65 และ RMSE ให้ค่า 0.61 ส่วนแบบจำลองที่ 9 และ 10 ให้ค่าสหสัมพันธ์ของการพล็อตกราฟที่มีความสัมพันธ์ที่ต่ำจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สำหรับปี พ.ศ. 2554 ได้

ตาราง 32 ค่าความน่าเชื่อถือที่แสดงด้วยค่า MAPE, RMSE, ค่าสหสัมพันธ์ (C) ที่ได้จากการพล็อตกราฟ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ของแบบจำลองที่ 1-10 ของปี พ.ศ. 2552- พ.ศ. 2554

แบบจำลองที่ทำการทดสอบในปี พ.ศ. 2552										
Statistic	แบบจำลองการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธี						แบบจำลองการประมาณค่าการแผ่รังสีแพร่			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAPE	3.96	5.53	7.76	5.38	10.26	26.85	17.77	27.21	17.89	25.34
RMSE	0.64	1.21	1.36	1.17	1.82	4.81	1.36	1.11	1.37	1.33
C	0.87	0.40	0.71	0.70	-0.11	0.61	-0.69	-0.76	-0.50	-0.59
R ² (%)	99.91	99.86	99.99	99.50	99.83	95.38	96.68	99.77	97.71	99.75

แบบจำลองที่ทำการทดสอบในปี พ.ศ. 2553										
Statistic	แบบจำลองการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธี						แบบจำลองการประมาณค่าการแผ่รังสีแพร่			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAPE	10.17	16.95	14.20	7.24	9.94	11.48	15.08	13.51	58.62	58.93
RMSE	1.89	3.21	2.79	1.25	1.88	2.20	0.71	0.71	3.03	3.01
C	0.73	-0.36	-0.34	0.67	0.55	-0.08	-0.72	-0.69	-0.08	-0.14
R ² (%)	99.91	99.67	99.70	99.73	99.91	97.89	99.94	99.98	60.04	59.76

ตาราง 32 (ต่อ)

Statistic	แบบจำลองที่ทำการทดสอบในปี พ.ศ. 2554									
	แบบจำลองการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิ						แบบจำลองการประมาณค่าการแผ่รังสี แพร่			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAPE	5.17	10.06	4.17	7.09	7.65	6.57	20.24	15.65	54.14	55.49
RMSE	1.08	2.17	0.84	1.43	1.58	1.36	0.67	0.61	2.25	2.44
C	0.02	0.0003	0.90	0.61	0.17	0.68	-0.10	-0.86	0.10	-0.86
R ² (%)	99.93	99.82	99.95	99.99	99.92	99.99	96.05	98.77	56.93	55.62

4.8 วิเคราะห์ดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d)

จากการใช้แบบจำลองในการหาค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) มาทำการพล็อตกราฟเพื่อเปรียบเทียบ

ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ (K_T) และ (K_d) ในปี พ.ศ. 2552 – ปี พ.ศ. 2554 แสดงในภาพประกอบ 41

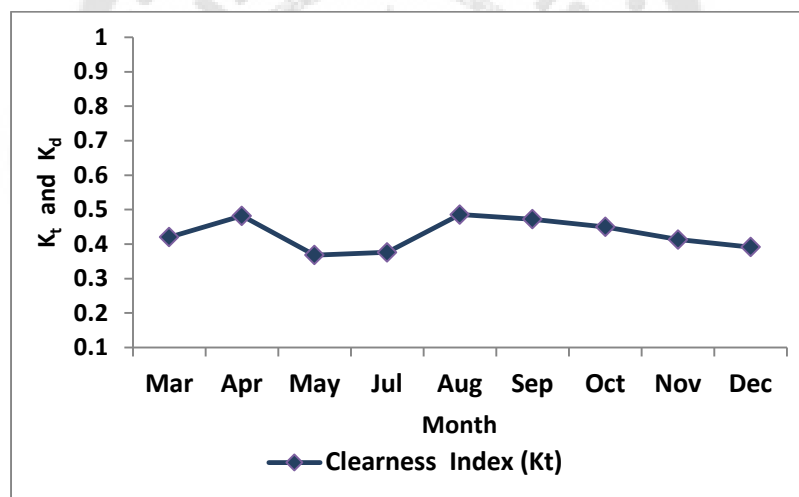
ตาราง 33 ดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_t) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) ในปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554

Month	ปี พ.ศ. 2552		ปี พ.ศ. 2553		ปี พ.ศ. 2554	
	K_t	K_d	K_t	K_d	K_t	K_d
Jan	-	-	0.39	0.27	0.39	0.23
Feb	-	-	0.44	0.25	0.38	0.25
Mar	0.42	0.36	0.44	0.33	0.46	0.31
Apr	0.48	0.29	0.49	0.28	0.5	0.16
May	0.37	0.48	0.55	0.19	0.47	0.22
Jun	-	-	0.53	0.15	0.43	0.49
Jul	0.38	0.47	0.39	0.42	0.49	0.19
Aug	0.49	0.2	0.25	0.4	0.46	0.13

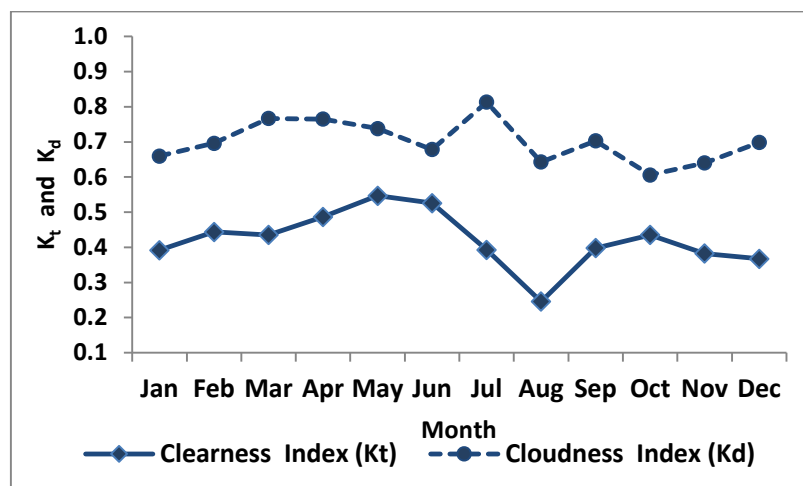
Sep	0.47	0.23	0.4	0.31	0.45	0.28
-----	------	------	-----	------	------	------

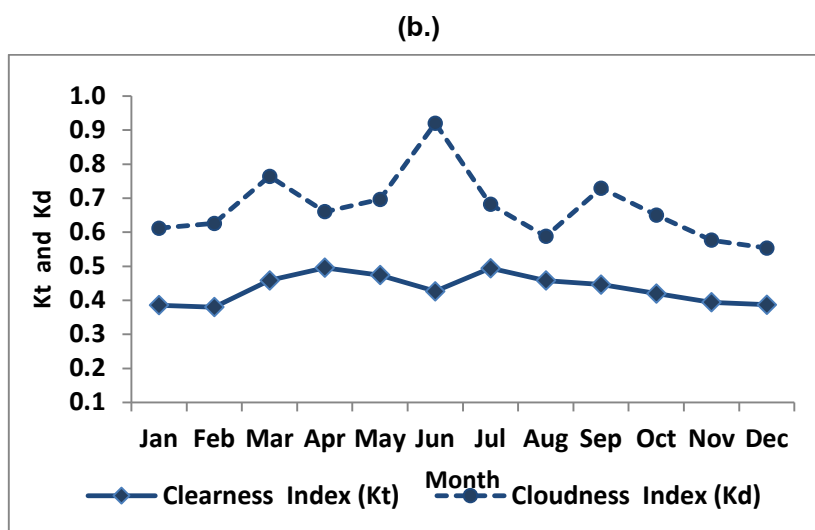
ตาราง 33 (ต่อ)

	ปี พ.ศ. 2552		ปี พ.ศ. 2553		ปี พ.ศ. 2554	
Month	K_t	K_d	K_t	K_d	K_t	K_d
Oct	0.45	0.18	0.44	0.17	0.42	0.23
Nov	0.41	0.21	0.38	0.26	0.39	0.18
Dec	0.39	0.25	0.37	0.33	0.39	0.17
Mean	0.42	0.25	0.42	0.28	0.44	0.23



(a.)





(c.)

ภาพประกอบ 35(a)-(c) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายเดือนของดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554

4.8.1 วิเคราะห์ผลดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) ปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554 โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

4.8.1.1 ฤดูที่สภาพอากาศแห้งแล้ง (Dry Season) ได้แก่ ฤดูร้อนและฤดูหนาว ได้ผลดังนี้ ฤดูร้อน (มีนาคม และเมษายน) ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) 0.47 ฤดูหนาว (พฤษภาคมและธันวาคม) ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) 0.39

4.8.1.2 ฤดูที่สภาพอากาศเปียกชื้น (Rainy Season) ได้แก่ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) 0.46

4.8.1.3 ค่าเฉลี่ยดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) ของปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554 อยู่ที่ 0.43

4.8.2 วิเคราะห์ผลดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) ปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554 โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

4.8.2.1 ฤดูที่สภาพอากาศแห้งแล้ง (Dry Season) ได้แก่ ฤดูร้อนและฤดูหนาว ได้ผลดังนี้ ฤดูร้อน (มีนาคม และเมษายน) ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) 0.31 ฤดูหนาว (พฤษภาคมและธันวาคม) ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) 0.23

4.8.2.2 ฤดูที่สภาพอากาศเปียกชื้น (Rainy Season) ได้แก่ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) 0.25

4.8.2.3 ค่าเฉลี่ยดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) ของปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ.2554

อยู่ที่ 0.26



บทที่ 5

สรุปวิจารณ์ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแผ่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานครมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประมาณค่าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผนวกกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องและแสดงแนวโน้มของค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณและแสดงความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง ซึ่งผลจากการศึกษามีดังนี้

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ข้อแรกและข้อสองของงานวิจัยเรื่องการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธิและรังสีแผ่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวนานแสงแดด ทำการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และทำการทดสอบทางสถิติด้วยค่า MAPE และ RMSE ในช่วงปี พ.ศ.2552 – พ.ศ. 2554 โดยใช้ แบบจำลองที่ 1-6 ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิตาม และ แบบจำลองที่ 7-10 ในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่ พบว่าในช่วงระยะเวลา 3 ปี แบบจำลองที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับการแผ่รังสีสุทธิ ได้แก่แบบจำลองที่ 1, 4 และ 3 ให้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบสุทธิตามในช่วง 15.71 - 23.15 MJ/m²-day ซึ่งผลที่ได้จากการประมาณค่าจากแบบจำลองให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่เครื่องไพรานอมิเตอร์วัดได้จริงจากสถานีวัด อยู่ในช่วง 11.50 – 23.75 MJ/m²-day จากนั้นทำการทดสอบทางสถิติให้ค่า MAPE ในช่วง 3.96-7.24 และค่า RMSE ในช่วง 0.64-1.25 และให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจคิดเป็น 99.91% 99.73% และ 99.95% ส่วนแบบจำลองที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับการแผ่รังสีแผ่ได้แก่แบบจำลองที่ 8 ให้ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่ในช่วง 2.92-7.82 MJ/m²-day ซึ่งผลที่ได้จากการประมาณค่าจากแบบจำลองให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่เครื่องไพรานอมิเตอร์วัดได้จริงจากสถานีวัด อยู่ในช่วง 2.67-9.12 MJ/m²-day ค่า MAPE ในช่วง 13.51-27.21 และค่า RMSE ในช่วง 0.61-1.11 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจคิดเป็น 99.77% 99.98% และ 98.77% ในส่วนของการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) นั้นพบว่า ค่าเฉลี่ย K_T ของปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554 อยู่ที่ 0.43 และค่าเฉลี่ย K_d ของปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554 อยู่ที่ 0.26

จากการเปรียบเทียบค่าปริมาณการแผ่รังสีสุทธิของประเทศไทย จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ในปี พ.ศ. 2550 พบว่า ปริมาณการแผ่รังสีสุทธิของประเทศไทยอยู่ในช่วง 13 – 21 MJ/m² -day โดยค่าสูงสุดจะอยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ – เดือนเมษายน และค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม – เดือนตุลาคม และข้อมูลการศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ในปี พ.ศ. 2555 พบว่า ค่า

ปริมาณการแผ่รังสีสุทธีในปี พ.ศ. 2555 ได้ค่าประมาณ $16.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ โดยที่เดือนเมษายนได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันมากที่สุด ถึง $21.5 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยฉบับนี้แล้วมีความใกล้เคียงกับค่าของปี พ.ศ. 2550 และ ปี พ.ศ. 2555 โดยในช่วงปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554 ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธีที่ได้จากการวัดอยู่ในช่วง $18.42 - 19.73 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ และค่าที่ได้จากแบบจำลองอยู่ในช่วง $18.49 - 20.12 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ โดยเดือนที่ให้ค่าการแผ่รังสีสุทธีสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม¹ ในส่วนของการวิเคราะห์ดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) นั้นพบว่า ค่าเฉลี่ย K_T ของปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554 อยู่ที่ 0.43 และค่าเฉลี่ย K_d ของปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554 อยู่ที่ 0.26 และจากข้อมูลการวิจัยของต่างประเทศที่ทำการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธีโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 6 แบบจำลองเดียวกันนี้ในประเทศไนจีเรีย² โดยวิเคราะห์ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 – พ.ศ. 2548 พบว่าแบบจำลองที่ 1 เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล 22 ปี ในเมือง Akure ประเทศไนจีเรีย และแบบจำลองให้ผลแม่นยำน้อยสุดคือแบบจำลองที่ 3 และ 6 ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าดัชนีความโปร่งของท้องฟ้า (K_T) และดัชนีความขุ่นมัวของท้องฟ้า (K_d) ในประเทศไนจีเรียนั้นพบพบว่า ในปี พ.ศ. 2551 – พ.ศ. 2554 พบว่าค่า K_T อยู่ที่ 0.34 และค่าเฉลี่ย K_d อยู่ที่ 0.61³ จะเห็นได้ว่าผลที่ได้มีความแตกต่างกันแตกต่างกัน เนื่องจากละติจูดของสถานที่ในการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์วิเคราะห์ข้อมูลและสภาพอากาศที่แตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย

จากผลของการประมาณค่าการแผ่รังสีสุทธีและรังสีแพร่ด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร ทางผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลและการเลือกวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้มีความเหมาะสม โดยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.2.1 การใช้แบบจำลองในการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เป็นการประมาณค่าโดยมีข้อจำกัดของแต่ละสถานที่ ซึ่งแต่ละสถานที่มีค่าละติจูดที่แตกต่างกันดังนั้นแบบจำลองแต่ละสถานที่อาจให้ผลที่แตกต่างกันออกไป

¹ ณรัล ลีวรศิริกุล และคณะ. (2555). รายงานการวิจัย เรื่อง ศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

² M.S. Adaramola (2012). *Estimation global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria*. Renewable Energy 47: 38-44.

³ Darlington I. Egeonu, Howard O. Njoku and Samuel O. Enibe. (2014). *SKY CONDITIONS AT NSUKKA AS CHARACTERIZED BY CLEARNESS INDEX AND CLOUDINESS INDEX*. International Journal of Scientific Research and Innovative Technology. Vol. 1 No. 5 Page 67–82.

5.2.2 การเลือกข้อมูลวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเลือกข้อมูลในอาจจะมีสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆเป็นบางส่วนเข้ามาด้วยทำให้ค่าการแผ่รังสีแบบรายเดือนอาจมีความคลาดเคลื่อนไป

5.2.3 การประมาณค่าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นฐานที่สารภีมารวัดได้โดยทั่วไปนั้น ผลของแต่ละสถานที่อาจให้ผลที่แตกต่างกันเนื่องจากค่าละติจูด หรืออาจให้ผลที่เหมือนกันหากสถานที่นั้นมีสภาพอากาศที่ใกล้เคียงกัน

5.2.4 การประมาณค่าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จำเป็นต้องมีการทดสอบทางสถิติเพื่อเป็นการแสดงถึงความเชื่อมั่นในการใช้แบบจำลองในการประมาณค่าการแผ่รังสี



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2551). *เครือข่ายการตรวจวัดความเข้มรังสีตรงและศักยภาพรังสีตรงในประเทศไทย*. รายงานวิจัย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- บำรุง สวัสดิ์คานนท์ กองการศึกษาและวิจัย กรมอุตุนิยมวิทยา. (2538). *อุตุนิยมวิทยาทั่วไป*. หน้า 5-10.
- รวิภา ยงประยูร และ วศินวิโรจน์ เนติศักดิ์. (2552). *การประเมินความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดลำปาง*. รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. หน้า 3- 4.
- สุทธิพันธุ์ จันทราศรี. (2553). *การสร้างโมเดลขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลพารามิเตอร์ของละอองลอยจากข้อมูลเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์)*. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2557). *รังสีอาทิตย์ (Solar radiation)*. นครปฐม: หน่วยวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ณรัล ลีวรศิริกุล และคณะ. (2555). *รายงานการวิจัย เรื่อง ศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*.
- C.N. Hewitt and A.V. Jackson. (2009). *Atmospheric Science for Environmental Scientists*. A John Wiley & Sons,Ltd.,Publication. Page 168-170.
- R.H.B. Exell. (1976). *The solar radiation climate of Thailand*. Solar Energy 18: 349 -354.
- R.H.B. Exell. K. Salicali. (1976). *The availability of solar energy in Thailand*. Research report No. 63, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- GH Hargreaves, RG Allen. (2003). *History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 129: 53-63.
- J. Hirunlabh, J. Santisirisomboon. P. Namprakai. (1994). *Assessment of solar radiation for Thailand*. Proceedings of International Workshop: Calculation Methods for Solar Energy Systems. 29-30 September. University of Perpignan. France.
- I. Muhammad. (1983). *An introduction to solar radiation*. Department of Mechanical Engineering The University of British Columbia Vancouver. BritishColumbia. Canada.

- S. Janjai, K. Tohsing. (2004). *A model for the estimation of global solar radiation from sunshine duration for Thailand*. Proceedings of the Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE) 1-3 December 2004, Hua Hin, Thailand.
- K. Ulgen, A. Hepbasli. (2008). *Diffuse solar radiation estimation models for Turkey's big cities*. Energy conversion and Management 50: 149-156.
- K.R. Lang. (2006). *Sun, Earth and Sky*. Springer, New York.
- M.S. Adaramola (2012). *Estimation global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria*. Renewable Energy 47: 38-44.
- P.J. Robinson and A. Henderson-seller. (1986). *Contemporary Climatology*. Wesley Longman Singapore (Pte) Ltd., Singapore. Page 26-28.
- G.W. Petty. (2004). *A First Course in Atmospheric Radiation*. Sundog Publishing, Madison, Wisconsin.
- J.A. Prescott. (1940). *Evaporation from a water surface in relation to solar radiation*. Transactions of the Royal Society of South Australia 64: 114-118.
- H. Aras. (2006). *Estimating the horizontal diffuse solar radiation over the Central Anatolia Region of Turkey*. Energy Conversion and Management 47: 2240–2249.
- H. Li, W. Ma, X. Wang and Y. Lian. (2011). *Estimating monthly average daily diffuse solar radiation with multiple predictors*. Renewable Energy 36: 1944-1948.
- R. K. Aruna, B. Janarthanan. (2014). *Study of Clearness and Cloudiness Index at Tropical Locations*. ISSN 2229-5518.
- F. Besharat, A.. Dehghan and A. Faghieh. (2013). *Empirical models for estimating global solar radiation*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 798–821
- D.I. Egeonu, H.O. Njoku and S.O. Enibe. (2014). *Sky condition at NSUKKA characterized by clearness index and cloudiness index*. International Journal of Scientific Research and Innovative Technology. Vol. 1 No. 5 Page 67–82.



ก. ค่าพารามิเตอร์ทางดาราศาสตร์ที่คำนวณได้ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554 มีดังนี้

ตารางที่ 1(ก) ค่า Ho รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	42.61	45.13	44.42	46.07	46.68	44.36	41.78	43.10	45.62	47.80	45.58	41.14
2	41.34	44.40	44.44	44.96	46.00	44.83	42.88	43.28	44.67	47.00	45.88	42.22
3	40.55	43.11	45.67	45.12	44.54	44.02	44.17	44.57	45.04	45.52	44.90	43.36
4	40.98	42.49	47.05	46.41	43.56	42.63	44.52	45.86	46.43	44.67	43.44	43.48
5	42.28	43.18	47.39	47.63	43.88	41.87	43.63	46.05	47.62	45.17	42.75	42.44
6	43.32	44.62	46.42	47.69	45.16	42.38	42.33	45.03	47.57	46.54	43.37	41.13
7	43.19	45.61	45.06	46.51	46.19	43.68	41.80	43.75	46.35	47.53	44.66	40.68
8	42.06	45.31	44.56	45.12	46.00	44.57	42.56	43.43	45.08	47.20	45.41	41.46
9	40.97	44.08	45.41	44.75	44.71	44.23	43.94	44.40	44.91	45.83	44.86	42.72
10	40.94	43.07	46.89	45.70	43.42	42.94	44.75	45.86	46.02	44.60	43.45	43.31
11	42.05	43.27	47.71	47.09	43.23	41.83	44.28	46.54	47.44	44.57	42.37	42.66
12	43.35	44.58	47.15	47.64	44.25	41.88	42.99	45.89	47.90	45.73	42.51	41.33
13	43.71	45.88	45.76	46.84	45.52	43.02	42.07	44.55	47.01	46.98	43.68	40.48
14	42.87	46.09	44.80	45.36	45.83	44.21	42.38	43.76	45.58	47.17	44.75	40.85
15	41.62	45.08	45.17	44.50	44.87	44.37	43.68	44.29	44.90	46.07	44.70	42.09
16	41.14	43.82	46.55	45.00	43.43	43.34	44.85	45.72	45.59	44.63	43.51	43.06
17	41.91	43.51	47.74	46.36	42.76	42.03	44.88	46.82	47.04	44.08	42.18	42.88
18	43.31	44.50	47.68	47.33	43.40	41.61	43.78	46.65	47.95	44.87	41.83	41.70
19	44.14	45.96	46.45	47.00	44.72	42.44	42.58	45.41	47.51	46.22	42.70	40.56
20	43.71	46.66	45.16	45.62	45.49	43.77	42.40	44.26	46.11	46.88	43.95	40.47
21	42.46	46.02	44.99	44.40	44.96	44.40	43.45	44.28	45.01	46.19	44.39	41.51
22	41.58	44.67	46.09	44.37	43.57	43.77	44.84	45.50	45.18	44.72	43.56	42.74
23	41.92	43.89	47.50	45.52	42.51	42.43	45.36	46.88	46.48	43.73	42.15	43.05
24	43.24	44.43	47.95	46.77	42.68	41.59	44.60	47.22	47.72	44.04	41.36	42.17
25	44.43	45.88	47.04	46.95	43.88	42.01	43.29	46.26	47.79	45.31	41.83	40.89
26	44.48	46.98	45.60	45.86	44.98	43.31	42.64	44.90	46.61	46.34	43.08	40.36
27	43.42	46.81	44.91	44.42	44.96	44.34	43.30	44.40	45.23	46.14	43.93	41.07
28	42.26	45.57	45.59	43.88	43.79	44.18	44.73	45.25	44.87	44.83	43.56	42.39
29	42.11		47.03	44.67	42.48	42.99	45.70	46.73	45.83	43.52	42.25	43.15
30	43.18		47.93	46.02	42.16	41.84	45.39	47.55	47.23	43.32	41.13	42.69
31	44.58		47.48		43.07		44.13	47.00		44.33		41.43
AVE	42.57	44.81	46.25	45.85	44.28	43.16	43.67	45.33	46.28	45.53	43.46	41.92

ตารางที่ 2(ก) ค่ามุมเดคลิเนชัน (δ) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-0.402	-0.303	-0.138	0.074	0.259	0.383	0.405	0.318	0.150	-0.050	-0.248	-0.379
2	-0.401	-0.298	-0.131	0.081	0.264	0.386	0.403	0.314	0.143	-0.057	-0.253	-0.381
3	-0.400	-0.293	-0.124	0.088	0.269	0.388	0.402	0.309	0.137	-0.064	-0.259	-0.384
4	-0.398	-0.288	-0.118	0.094	0.275	0.390	0.401	0.305	0.131	-0.070	-0.264	-0.386
5	-0.396	-0.282	-0.111	0.101	0.280	0.392	0.399	0.300	0.124	-0.077	-0.270	-0.389
6	-0.394	-0.277	-0.104	0.107	0.285	0.394	0.398	0.295	0.118	-0.084	-0.275	-0.391
7	-0.392	-0.272	-0.097	0.114	0.290	0.396	0.396	0.291	0.111	-0.091	-0.280	-0.393
8	-0.390	-0.266	-0.091	0.121	0.294	0.398	0.394	0.286	0.105	-0.097	-0.286	-0.395
9	-0.388	-0.261	-0.084	0.127	0.299	0.399	0.392	0.281	0.098	-0.104	-0.291	-0.397
10	-0.385	-0.255	-0.077	0.134	0.304	0.401	0.390	0.276	0.092	-0.111	-0.296	-0.399
11	-0.383	-0.249	-0.070	0.140	0.308	0.402	0.388	0.271	0.085	-0.117	-0.301	-0.400
12	-0.380	-0.244	-0.063	0.147	0.313	0.403	0.386	0.266	0.078	-0.124	-0.305	-0.402
13	-0.377	-0.238	-0.056	0.153	0.317	0.405	0.383	0.260	0.072	-0.130	-0.310	-0.403
14	-0.374	-0.232	-0.049	0.159	0.322	0.406	0.381	0.255	0.065	-0.137	-0.315	-0.404
15	-0.371	-0.226	-0.043	0.166	0.326	0.406	0.378	0.250	0.058	-0.143	-0.320	-0.405
16	-0.368	-0.220	-0.036	0.172	0.330	0.407	0.375	0.244	0.052	-0.150	-0.324	-0.406
17	-0.365	-0.214	-0.029	0.178	0.334	0.408	0.373	0.239	0.045	-0.156	-0.328	-0.407
18	-0.361	-0.208	-0.022	0.184	0.338	0.408	0.370	0.233	0.038	-0.163	-0.333	-0.408
19	-0.358	-0.202	-0.015	0.190	0.342	0.409	0.367	0.228	0.031	-0.169	-0.337	-0.408
20	-0.354	-0.196	-0.008	0.196	0.346	0.409	0.363	0.222	0.025	-0.176	-0.341	-0.409
21	-0.351	-0.189	-0.001	0.202	0.349	0.409	0.360	0.216	0.018	-0.182	-0.345	-0.409
22	-0.347	-0.183	0.006	0.208	0.353	0.409	0.357	0.210	0.011	-0.188	-0.349	-0.409
23	-0.343	-0.177	0.013	0.214	0.357	0.409	0.353	0.204	0.004	-0.194	-0.353	-0.409
24	-0.339	-0.170	0.020	0.220	0.360	0.409	0.350	0.199	-0.003	-0.200	-0.356	-0.409
25	-0.335	-0.164	0.026	0.226	0.363	0.409	0.346	0.193	-0.009	-0.207	-0.360	-0.408
26	-0.330	-0.157	0.033	0.231	0.366	0.408	0.342	0.187	-0.016	-0.213	-0.363	-0.408
27	-0.326	-0.151	0.040	0.237	0.369	0.408	0.339	0.181	-0.023	-0.219	-0.367	-0.407
28	-0.321	-0.144	0.047	0.243	0.372	0.407	0.335	0.174	-0.030	-0.225	-0.370	-0.407
29	-0.317		0.054	0.248	0.375	0.406	0.331	0.168	-0.036	-0.230	-0.373	-0.406
30	-0.312		0.061	0.253	0.378	0.406	0.327	0.162	-0.043	-0.236	-0.376	-0.405
31	-0.307		0.067		0.381		0.322	0.156		-0.242		-0.404
AVE	-0.363	-0.227	-0.036	0.167	0.326	0.402	0.371	0.242	0.054	-0.149	-0.318	-0.401

*หมายเหตุ... หน่วยค่ามุมเดคลิเนชัน คัดในหน่วยของ เรเดียน (Radian)

ตารางที่ 3(ก) ค่า So รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	12.79	12.58	12.26	11.86	11.51	11.25	11.20	11.39	11.72	12.09	12.47	12.74
2	12.79	12.57	12.24	11.85	11.50	11.24	11.21	11.40	11.73	12.11	12.48	12.75
3	12.79	12.56	12.23	11.84	11.49	11.24	11.21	11.41	11.74	12.12	12.49	12.75
4	12.78	12.55	12.22	11.82	11.48	11.23	11.21	11.42	11.76	12.13	12.50	12.76
5	12.78	12.54	12.21	11.81	11.47	11.23	11.21	11.42	11.77	12.14	12.51	12.76
6	12.77	12.53	12.19	11.80	11.46	11.23	11.22	11.43	11.78	12.16	12.52	12.77
7	12.77	12.52	12.18	11.79	11.45	11.22	11.22	11.44	11.79	12.17	12.54	12.77
8	12.77	12.51	12.17	11.77	11.44	11.22	11.23	11.45	11.80	12.18	12.55	12.78
9	12.76	12.50	12.16	11.76	11.43	11.21	11.23	11.46	11.82	12.19	12.56	12.78
10	12.75	12.48	12.14	11.75	11.42	11.21	11.23	11.47	11.83	12.21	12.57	12.78
11	12.75	12.47	12.13	11.74	11.41	11.21	11.24	11.48	11.84	12.22	12.58	12.79
12	12.74	12.46	12.12	11.73	11.40	11.21	11.24	11.49	11.85	12.23	12.59	12.79
13	12.74	12.45	12.10	11.71	11.39	11.20	11.25	11.50	11.87	12.24	12.60	12.79
14	12.73	12.44	12.09	11.70	11.38	11.20	11.26	11.52	11.88	12.26	12.61	12.80
15	12.72	12.43	12.08	11.69	11.37	11.20	11.26	11.53	11.89	12.27	12.62	12.80
16	12.72	12.42	12.07	11.68	11.36	11.20	11.27	11.54	11.90	12.28	12.62	12.80
17	12.71	12.40	12.05	11.67	11.35	11.20	11.27	11.55	11.92	12.29	12.63	12.80
18	12.70	12.39	12.04	11.65	11.35	11.19	11.28	11.56	11.93	12.31	12.64	12.80
19	12.70	12.38	12.03	11.64	11.34	11.19	11.29	11.57	11.94	12.32	12.65	12.80
20	12.69	12.37	12.01	11.63	11.33	11.19	11.29	11.58	11.95	12.33	12.66	12.81
21	12.68	12.36	12.00	11.62	11.32	11.19	11.30	11.59	11.97	12.34	12.67	12.81
22	12.67	12.34	11.99	11.61	11.31	11.19	11.31	11.60	11.98	12.35	12.68	12.81
23	12.66	12.33	11.98	11.60	11.31	11.19	11.31	11.61	11.99	12.37	12.68	12.81
24	12.66	12.32	11.96	11.58	11.30	11.19	11.32	11.63	12.00	12.38	12.69	12.81
25	12.65	12.31	11.95	11.57	11.29	11.19	11.33	11.64	12.02	12.39	12.70	12.81
26	12.64	12.29	11.94	11.56	11.29	11.19	11.34	11.65	12.03	12.40	12.71	12.80
27	12.63	12.28	11.93	11.55	11.28	11.20	11.34	11.66	12.04	12.41	12.71	12.80
28	12.62	12.27	11.91	11.54	11.27	11.20	11.35	11.67	12.06	12.42	12.72	12.80
29	12.61		11.90	11.53	11.27	11.20	11.36	11.68	12.07	12.44	12.73	12.80
30	12.60		11.89	11.52	11.26	11.20	11.37	11.70	12.08	12.45	12.73	12.80
31	12.59		11.87		11.26		11.38	11.71		12.46		12.80
AVE	12.71	12.43	12.07	11.69	11.37	11.21	11.28	11.54	11.90	12.28	12.61	12.79

ตารางที่ 4(ก) ค่า So รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	11.21	11.42	11.74	12.14	12.49	12.75	12.80	12.61	12.28	11.91	11.53	11.26
2	11.21	11.43	11.76	12.15	12.50	12.76	12.79	12.60	12.27	11.89	11.52	11.25
3	11.21	11.44	11.77	12.16	12.51	12.76	12.79	12.59	12.26	11.88	11.51	11.25
4	11.22	11.45	11.78	12.18	12.52	12.77	12.79	12.58	12.24	11.87	11.50	11.24
5	11.22	11.46	11.79	12.19	12.53	12.77	12.79	12.58	12.23	11.86	11.49	11.24
6	11.23	11.47	11.81	12.20	12.54	12.77	12.78	12.57	12.22	11.84	11.48	11.23
7	11.23	11.48	11.82	12.21	12.55	12.78	12.78	12.56	12.21	11.83	11.46	11.23
8	11.23	11.49	11.83	12.23	12.56	12.78	12.77	12.55	12.20	11.82	11.45	11.22
9	11.24	11.50	11.84	12.24	12.57	12.79	12.77	12.54	12.18	11.81	11.44	11.22
10	11.25	11.52	11.86	12.25	12.58	12.79	12.77	12.53	12.17	11.79	11.43	11.22
11	11.25	11.53	11.87	12.26	12.59	12.79	12.76	12.52	12.16	11.78	11.42	11.21
12	11.26	11.54	11.88	12.27	12.60	12.79	12.76	12.51	12.15	11.77	11.41	11.21
13	11.26	11.55	11.90	12.29	12.61	12.80	12.75	12.50	12.13	11.76	11.40	11.21
14	11.27	11.56	11.91	12.30	12.62	12.80	12.74	12.48	12.12	11.74	11.39	11.20
15	11.28	11.57	11.92	12.31	12.63	12.80	12.74	12.47	12.11	11.73	11.38	11.20
16	11.28	11.58	11.93	12.32	12.64	12.80	12.73	12.46	12.10	11.72	11.38	11.20
17	11.29	11.60	11.95	12.33	12.65	12.80	12.73	12.45	12.08	11.71	11.37	11.20
18	11.30	11.61	11.96	12.35	12.65	12.81	12.72	12.44	12.07	11.69	11.36	11.20
19	11.30	11.62	11.97	12.36	12.66	12.81	12.71	12.43	12.06	11.68	11.35	11.20
20	11.31	11.63	11.99	12.37	12.67	12.81	12.71	12.42	12.05	11.67	11.34	11.19
21	11.32	11.64	12.00	12.38	12.68	12.81	12.70	12.41	12.03	11.66	11.33	11.19
22	11.33	11.66	12.01	12.39	12.69	12.81	12.69	12.40	12.02	11.65	11.32	11.19
23	11.34	11.67	12.02	12.40	12.69	12.81	12.69	12.39	12.01	11.63	11.32	11.19
24	11.34	11.68	12.04	12.42	12.70	12.81	12.68	12.37	12.00	11.62	11.31	11.19
25	11.35	11.69	12.05	12.43	12.71	12.81	12.67	12.36	11.98	11.61	11.30	11.19
26	11.36	11.71	12.06	12.44	12.71	12.81	12.66	12.35	11.97	11.60	11.29	11.20
27	11.37	11.72	12.07	12.45	12.72	12.80	12.66	12.34	11.96	11.59	11.29	11.20
28	11.38	11.73	12.09	12.46	12.73	12.80	12.65	12.33	11.94	11.58	11.28	11.20
29	11.39		12.10	12.47	12.73	12.80	12.64	12.32	11.93	11.56	11.27	11.20
30	11.40		12.11	12.48	12.74	12.80	12.63	12.30	11.92	11.55	11.27	11.20
31	11.41		12.13		12.74		12.62	12.29		11.54		11.20
AVE	11.28	11.57	11.93	12.32	12.64	12.80	12.73	12.46	12.10	11.72	11.38	11.20

ตารางที่ 5(ก) ค่า So รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	11.21	11.42	11.74	12.14	12.49	12.75	12.80	12.61	12.28	11.91	11.53	11.26
2	11.21	11.43	11.76	12.15	12.50	12.76	12.79	12.60	12.27	11.89	11.52	11.25
3	11.21	11.44	11.77	12.16	12.51	12.76	12.79	12.59	12.26	11.88	11.51	11.25
4	11.22	11.45	11.78	12.18	12.52	12.77	12.79	12.58	12.24	11.87	11.50	11.24
5	11.22	11.46	11.79	12.19	12.53	12.77	12.79	12.58	12.23	11.86	11.49	11.24
6	11.23	11.47	11.81	12.20	12.54	12.77	12.78	12.57	12.22	11.84	11.48	11.23
7	11.23	11.48	11.82	12.21	12.55	12.78	12.78	12.56	12.21	11.83	11.46	11.23
8	11.23	11.49	11.83	12.23	12.56	12.78	12.77	12.55	12.20	11.82	11.45	11.22
9	11.24	11.50	11.84	12.24	12.57	12.79	12.77	12.54	12.18	11.81	11.44	11.22
10	11.25	11.52	11.86	12.25	12.58	12.79	12.77	12.53	12.17	11.79	11.43	11.22
11	11.25	11.53	11.87	12.26	12.59	12.79	12.76	12.52	12.16	11.78	11.42	11.21
12	11.26	11.54	11.88	12.27	12.60	12.79	12.76	12.51	12.15	11.77	11.41	11.21
13	11.26	11.55	11.90	12.29	12.61	12.80	12.75	12.50	12.13	11.76	11.40	11.21
14	11.27	11.56	11.91	12.30	12.62	12.80	12.74	12.48	12.12	11.74	11.39	11.20
15	11.28	11.57	11.92	12.31	12.63	12.80	12.74	12.47	12.11	11.73	11.38	11.20
16	11.28	11.58	11.93	12.32	12.64	12.80	12.73	12.46	12.10	11.72	11.38	11.20
17	11.29	11.60	11.95	12.33	12.65	12.80	12.73	12.45	12.08	11.71	11.37	11.20
18	11.30	11.61	11.96	12.35	12.65	12.81	12.72	12.44	12.07	11.69	11.36	11.20
19	11.30	11.62	11.97	12.36	12.66	12.81	12.71	12.43	12.06	11.68	11.35	11.20
20	11.31	11.63	11.99	12.37	12.67	12.81	12.71	12.42	12.05	11.67	11.34	11.19
21	11.32	11.64	12.00	12.38	12.68	12.81	12.70	12.41	12.03	11.66	11.33	11.19
22	11.33	11.66	12.01	12.39	12.69	12.81	12.69	12.40	12.02	11.65	11.32	11.19
23	11.34	11.67	12.02	12.40	12.69	12.81	12.69	12.39	12.01	11.63	11.32	11.19
24	11.34	11.68	12.04	12.42	12.70	12.81	12.68	12.37	12.00	11.62	11.31	11.19
25	11.35	11.69	12.05	12.43	12.71	12.81	12.67	12.36	11.98	11.61	11.30	11.19
26	11.36	11.71	12.06	12.44	12.71	12.81	12.66	12.35	11.97	11.60	11.29	11.20
27	11.37	11.72	12.07	12.45	12.72	12.80	12.66	12.34	11.96	11.59	11.29	11.20
28	11.38	11.73	12.09	12.46	12.73	12.80	12.65	12.33	11.94	11.58	11.28	11.20
29	11.39		12.10	12.47	12.73	12.80	12.64	12.32	11.93	11.56	11.27	11.20
30	11.40		12.11	12.48	12.74	12.80	12.63	12.30	11.92	11.55	11.27	11.20
31	11.41		12.13		12.74		12.62	12.29		11.54		11.20
AVE	11.28	11.57	11.93	12.32	12.64	12.80	12.73	12.46	12.10	11.72	11.38	11.20

ตารางที่ 6(ก) ค่า ω รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	95.94	94.35	91.93	88.97	86.31	84.38	84.02	85.41	87.90	90.70	93.53	95.55
2	95.92	94.28	91.83	88.87	86.23	84.34	84.04	85.47	87.99	90.79	93.61	95.60
3	95.89	94.20	91.74	88.78	86.15	84.30	84.06	85.54	88.08	90.89	93.69	95.64
4	95.87	94.12	91.65	88.68	86.07	84.26	84.09	85.61	88.17	90.98	93.77	95.68
5	95.84	94.04	91.55	88.59	86.00	84.23	84.11	85.68	88.26	91.08	93.86	95.72
6	95.81	93.96	91.46	88.50	85.92	84.20	84.14	85.76	88.35	91.17	93.94	95.75
7	95.77	93.88	91.36	88.40	85.85	84.17	84.16	85.83	88.44	91.26	94.02	95.79
8	95.74	93.80	91.26	88.31	85.77	84.14	84.19	85.90	88.54	91.36	94.09	95.82
9	95.70	93.72	91.17	88.22	85.70	84.11	84.23	85.98	88.63	91.45	94.17	95.85
10	95.66	93.64	91.07	88.13	85.63	84.09	84.26	86.05	88.72	91.55	94.25	95.88
11	95.62	93.55	90.98	88.03	85.56	84.06	84.30	86.13	88.81	91.64	94.32	95.91
12	95.58	93.47	90.88	87.94	85.49	84.04	84.33	86.21	88.91	91.73	94.40	95.93
13	95.53	93.38	90.79	87.85	85.42	84.02	84.37	86.29	89.00	91.83	94.47	95.95
14	95.48	93.29	90.69	87.76	85.35	84.01	84.41	86.37	89.09	91.92	94.54	95.97
15	95.43	93.21	90.59	87.67	85.28	83.99	84.46	86.45	89.19	92.01	94.61	95.99
16	95.38	93.12	90.50	87.58	85.22	83.98	84.50	86.53	89.28	92.11	94.68	96.00
17	95.33	93.03	90.40	87.49	85.16	83.97	84.55	86.61	89.37	92.20	94.75	96.02
18	95.28	92.94	90.30	87.40	85.09	83.96	84.59	86.69	89.47	92.29	94.82	96.03
19	95.22	92.85	90.21	87.32	85.03	83.95	84.64	86.77	89.56	92.38	94.89	96.04
20	95.16	92.76	90.11	87.23	84.97	83.95	84.69	86.86	89.66	92.47	94.95	96.04
21	95.10	92.67	90.02	87.14	84.92	83.94	84.74	86.94	89.75	92.56	95.01	96.05
22	95.04	92.58	89.92	87.06	84.86	83.94	84.80	87.02	89.84	92.65	95.07	96.05
23	94.98	92.49	89.82	86.97	84.80	83.94	84.85	87.11	89.94	92.74	95.13	96.05
24	94.92	92.40	89.73	86.88	84.75	83.95	84.91	87.20	90.03	92.83	95.19	96.05
25	94.85	92.30	89.63	86.80	84.70	83.95	84.97	87.28	90.13	92.92	95.25	96.04
26	94.78	92.21	89.54	86.72	84.65	83.96	85.03	87.37	90.22	93.01	95.30	96.03
27	94.71	92.12	89.44	86.63	84.60	83.97	85.09	87.46	90.32	93.10	95.36	96.02
28	94.64	92.02	89.35	86.55	84.55	83.98	85.15	87.54	90.41	93.18	95.41	96.01
29	94.57		89.25	86.47	84.50	83.99	85.21	87.63	90.51	93.27	95.46	96.00
30	94.50		89.16	86.39	84.46	84.01	85.28	87.72	90.60	93.36	95.51	95.98
31	94.43		89.06		84.42		85.34	87.81		93.44		95.96
AVE	95.31	93.23	90.50	87.64	85.27	84.06	84.56	86.56	89.24	92.09	94.60	95.92

*หมายเหตุ... ค่ามุมดวงอาทิตย์ขึ้น/ตก (Sunset hour angle, ω) คำนวณในหน่วยของ องศา (Degree)

ตารางที่ 7(ก) ค่า ω รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	84.1	85.6	88.1	91.0	93.7	95.6	96.0	94.6	92.1	89.3	86.5	84.4
2	84.1	85.7	88.2	91.1	93.8	95.7	96.0	94.5	92.0	89.2	86.4	84.4
3	84.1	85.8	88.3	91.2	93.8	95.7	95.9	94.5	91.9	89.1	86.3	84.4
4	84.1	85.9	88.4	91.3	93.9	95.7	95.9	94.4	91.8	89.0	86.2	84.3
5	84.2	86.0	88.4	91.4	94.0	95.8	95.9	94.3	91.7	88.9	86.1	84.3
6	84.2	86.0	88.5	91.5	94.1	95.8	95.9	94.2	91.6	88.8	86.1	84.2
7	84.2	86.1	88.6	91.6	94.2	95.8	95.8	94.2	91.6	88.7	86.0	84.2
8	84.3	86.2	88.7	91.7	94.2	95.9	95.8	94.1	91.5	88.6	85.9	84.2
9	84.3	86.3	88.8	91.8	94.3	95.9	95.8	94.0	91.4	88.5	85.8	84.1
10	84.3	86.4	88.9	91.9	94.4	95.9	95.7	93.9	91.3	88.5	85.8	84.1
11	84.4	86.4	89.0	92.0	94.4	95.9	95.7	93.9	91.2	88.4	85.7	84.1
12	84.4	86.5	89.1	92.1	94.5	96.0	95.7	93.8	91.1	88.3	85.6	84.1
13	84.5	86.6	89.2	92.1	94.6	96.0	95.6	93.7	91.0	88.2	85.5	84.0
14	84.5	86.7	89.3	92.2	94.6	96.0	95.6	93.6	90.9	88.1	85.5	84.0
15	84.6	86.8	89.4	92.3	94.7	96.0	95.5	93.6	90.8	88.0	85.4	84.0
16	84.6	86.9	89.5	92.4	94.8	96.0	95.5	93.5	90.7	87.9	85.3	84.0
17	84.7	87.0	89.6	92.5	94.8	96.0	95.5	93.4	90.6	87.8	85.2	84.0
18	84.7	87.1	89.7	92.6	94.9	96.0	95.4	93.3	90.5	87.7	85.2	84.0
19	84.8	87.1	89.8	92.7	95.0	96.0	95.4	93.2	90.4	87.6	85.1	84.0
20	84.8	87.2	89.9	92.8	95.0	96.1	95.3	93.1	90.3	87.5	85.1	84.0
21	84.9	87.3	90.0	92.9	95.1	96.1	95.3	93.1	90.2	87.4	85.0	84.0
22	85.0	87.4	90.1	92.9	95.1	96.1	95.2	93.0	90.2	87.3	84.9	84.0
23	85.0	87.5	90.2	93.0	95.2	96.1	95.1	92.9	90.1	87.3	84.9	84.0
24	85.1	87.6	90.3	93.1	95.3	96.1	95.1	92.8	90.0	87.2	84.8	84.0
25	85.2	87.7	90.4	93.2	95.3	96.0	95.0	92.7	89.9	87.1	84.8	84.0
26	85.2	87.8	90.5	93.3	95.4	96.0	95.0	92.6	89.8	87.0	84.7	84.0
27	85.3	87.9	90.6	93.4	95.4	96.0	94.9	92.5	89.7	86.9	84.6	84.0
28	85.4	88.0	90.7	93.4	95.5	96.0	94.9	92.5	89.6	86.8	84.6	84.0
29	85.4		90.7	93.5	95.5	96.0	94.8	92.4	89.5	86.7	84.5	84.0
30	85.5		90.8	93.6	95.5	96.0	94.7	92.3	89.4	86.6	84.5	84.0
31	85.6		90.9		95.6		94.7	92.2		86.6		84.0
AVE	84.6	86.7	89.5	92.4	94.8	96.0	95.5	93.5	90.8	87.9	85.4	84.0

*หมายเหตุ... ค่ามุมดวงอาทิตย์ขึ้น/ตก (Sunset hour angle, ω) คำนวณในหน่วยของ องศา (Degree)

ตารางที่ 8(ก) ค่า ω รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	84.1	85.6	88.1	91.0	93.7	95.6	96.0	94.6	92.1	89.3	86.5	84.4
2	84.1	85.7	88.2	91.1	93.8	95.7	96.0	94.5	92.0	89.2	86.4	84.4
3	84.1	85.8	88.3	91.2	93.8	95.7	95.9	94.5	91.9	89.1	86.3	84.4
4	84.1	85.9	88.4	91.3	93.9	95.7	95.9	94.4	91.8	89.0	86.2	84.3
5	84.2	86.0	88.4	91.4	94.0	95.8	95.9	94.3	91.7	88.9	86.1	84.3
6	84.2	86.0	88.5	91.5	94.1	95.8	95.9	94.2	91.6	88.8	86.1	84.2
7	84.2	86.1	88.6	91.6	94.2	95.8	95.8	94.2	91.6	88.7	86.0	84.2
8	84.3	86.2	88.7	91.7	94.2	95.9	95.8	94.1	91.5	88.6	85.9	84.2
9	84.3	86.3	88.8	91.8	94.3	95.9	95.8	94.0	91.4	88.5	85.8	84.1
10	84.3	86.4	88.9	91.9	94.4	95.9	95.7	93.9	91.3	88.5	85.8	84.1
11	84.4	86.4	89.0	92.0	94.4	95.9	95.7	93.9	91.2	88.4	85.7	84.1
12	84.4	86.5	89.1	92.1	94.5	96.0	95.7	93.8	91.1	88.3	85.6	84.1
13	84.5	86.6	89.2	92.1	94.6	96.0	95.6	93.7	91.0	88.2	85.5	84.0
14	84.5	86.7	89.3	92.2	94.6	96.0	95.6	93.6	90.9	88.1	85.5	84.0
15	84.6	86.8	89.4	92.3	94.7	96.0	95.5	93.6	90.8	88.0	85.4	84.0
16	84.6	86.9	89.5	92.4	94.8	96.0	95.5	93.5	90.7	87.9	85.3	84.0
17	84.7	87.0	89.6	92.5	94.8	96.0	95.5	93.4	90.6	87.8	85.2	84.0
18	84.7	87.1	89.7	92.6	94.9	96.0	95.4	93.3	90.5	87.7	85.2	84.0
19	84.8	87.1	89.8	92.7	95.0	96.0	95.4	93.2	90.4	87.6	85.1	84.0
20	84.8	87.2	89.9	92.8	95.0	96.1	95.3	93.1	90.3	87.5	85.1	84.0
21	84.9	87.3	90.0	92.9	95.1	96.1	95.3	93.1	90.2	87.4	85.0	84.0
22	85.0	87.4	90.1	92.9	95.1	96.1	95.2	93.0	90.2	87.3	84.9	84.0
23	85.0	87.5	90.2	93.0	95.2	96.1	95.1	92.9	90.1	87.3	84.9	84.0
24	85.1	87.6	90.3	93.1	95.3	96.1	95.1	92.8	90.0	87.2	84.8	84.0
25	85.2	87.7	90.4	93.2	95.3	96.0	95.0	92.7	89.9	87.1	84.8	84.0
26	85.2	87.8	90.5	93.3	95.4	96.0	95.0	92.6	89.8	87.0	84.7	84.0
27	85.3	87.9	90.6	93.4	95.4	96.0	94.9	92.5	89.7	86.9	84.6	84.0
28	85.4	88.0	90.7	93.4	95.5	96.0	94.9	92.5	89.6	86.8	84.6	84.0
29	85.4		90.7	93.5	95.5	96.0	94.8	92.4	89.5	86.7	84.5	84.0
30	85.5		90.8	93.6	95.5	96.0	94.7	92.3	89.4	86.6	84.5	84.0
31	85.6		90.9		95.6		94.7	92.2		86.6		84.0
AVE	84.6	86.7	89.5	92.4	94.8	96.0	95.5	93.5	90.8	87.9	85.4	84.0

*หมายเหตุ... ค่ามุมดวงอาทิตย์ขึ้น/ตก (Sunset hour angle, ω) คัดในหน่วยของ องศา(Degree)

ข. ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่นำมาใช้ในแบบจำลองในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554 มีดังนี้

ตารางที่ 1(ข) ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	26.1	27.6	28.4	29.2	29.3	30.2	29.0	29.4	27.2	25.2	29.0	27.2
2	25.8	27.9	28.8	30.4	30.3	28.5	29.5	30.1	28.6	27.7	28.6	27.3
3	25.2	27.8	29.4	29.9	31.1	29.5	29.3	29.9	29.2	29.4	25.3	27.1
4	26.0	27.7	29.7	29.0	30.2	29.2	30.1	29.7	29.4	29.9	26.1	26.5
5	26.7	27.8	29.7	29.9	30.0	29.0	28.8	30.6	28.9	28.3	28.3	26.2
6	26.7	28.2	29.9	28.0	31.2	29.6	27.0	29.5	29.1	29.4	29.3	25.8
7	27.2	27.8	29.9	28.6	31.5	30.1	27.5	29.5	29.1	28.4	30.2	25.5
8	26.8	27.8	30.5	29.2	32.0	30.4	27.2	29.8	28.6	29.2	29.6	26.4
9	25.1	28.4	30.4	29.0	31.9	30.7	29.2	29.6	28.9	28.2	29.4	26.8
10	21.8	27.7	30.0	28.8	28.2	30.0	30.7	29.2	29.4	27.7	29.7	26.8
11	21.0	28.6	30.2	27.9	27.6	29.7	31.6	29.8	28.2	28.1	30.2	26.8
12	21.3	28.6	30.0	29.5	27.9	29.4	30.6	30.7	30.2	27.5	30.1	27.3
13	22.4	29.9	30.5	31.2	27.3	29.8	28.3	29.8	29.5	26.7	30.8	28.6
14	21.8	29.0	27.9	31.0	26.4	29.6	27.4	29.5	30.0	27.9	29.0	29.2
15	21.6	28.0	27.9	31.2	26.5	28.6	29.2	30.3	30.3	28.1	28.7	28.8
16	22.2	28.8	29.4	32.3	28.7	29.7	29.6	29.9	29.1	28.5	29.7	29.7
17	24.1	28.9	29.8	32.3	29.2	29.7	29.9	28.1	28.7	27.3	29.9	29.6
18	25.0	29.5	28.1	31.9	28.7	30.1	29.8	28.6	29.7	27.6	27.2	29.0
19	25.0	29.7	29.0	31.8	29.8	30.3	29.6	29.4	28.4	28.2	26.9	28.0
20	24.9	29.6	29.3	32.3	29.2	29.8	30.0	30.9	29.5	28.8	26.8	27.2
21	25.5	29.7	29.1	32.0	29.2	30.4	27.6	31.8	30.2	26.8	25.6	26.7
22	26.3	29.3	29.8	32.2	28.7	29.6	28.7	29.8	28.2	28.0	23.6	26.6
23	26.2	29.4	30.6	32.9	29.4	30.0	27.8	29.6	28.2	27.2	24.8	26.9
24	26.9	29.6	30.9	32.9	30.6	30.3	28.5	28.2	28.1	28.0	25.6	27.5
25	27.5	29.8	30.9	32.4	30.4	30.7	28.7	30.4	27.2	29.1	26.6	27.7
26	27.4	29.6	30.4	28.8	28.8	30.7	28.5	31.1	28.2	29.8	26.4	28.3
27	27.3	29.6	30.2	27.8	29.0	30.2	29.2	28.6	28.6	29.7	27.5	28.6
28	27.6	29.7	30.7	28.8	29.0	28.8	29.6	29.0	27.6	28.9	28.8	28.9
29	27.9		31.0	30.4	29.3	27.1	30.0	29.3	29.6	28.7	28.9	28.9
30	27.3		30.9	30.7	28.0	27.4	29.8	28.4	29.0	29.3	27.7	27.5
31	27.5		28.7		29.4		29.0	27.4		28.9		29.0
AVE	25.3	28.8	29.7	30.4	29.3	29.6	29.1	29.6	28.9	28.3	28.0	27.6

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 2(ข) ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	28.9	29.3	29.7	30.7	30.7	32	29.8	30.1	30.1	28.8	25.3	28.5
2	28.1	29.3	30	31.3	30.6	31.6	27.8	27.7	29.4	28.6	26.3	29
3	28.7	29.2	30	31.4	30.8	31.7	28.4	28.3	27.9	27.8	26.9	27.8
4	28.4	29.1	30.2	31.5	30.4	32.3	29.1	28	28.9	27.1	27.1	27.3
5	29.3	29.3	31	31.6	31.7	30.6	29.2	27.6	30.3	27.1	26.4	28
6	27.8	28.9	30.4	31.6	30	30.9	29.8	27.7	30.4	28.1	27.4	28.2
7	28.3	29.2	30	31.8	31.6	31.5	30.9	27.8	29.8	29.3	28.2	28.2
8	27.3	29	30	31.6	32.4	31	31.7	28.5	29.7	29.7	29.3	27.7
9	27.2	28.8	30.1	31.7	32.7	29.5	31.1	28.8	30.5	28.5	28.3	27.2
10	28.1	29	29	31.4	33.6	28.4	30.6	28.9	28.6	29.4	28.2	27.2
11	27.8	29.4	28.2	31.6	31.8	29.5	31.1	28	27	29.1	27.9	28
12	28.4	29.2	30.1	31.8	29.9	30.4	30.5	28.6	28.5	28.3	27.6	28.4
13	27.9	29.3	30.5	32.5	31.5	31.2	30.9	27.6	28.8	28.3	28.3	28.1
14	26.7	29.3	30.2	31.4	32.9	31.3	29.8	27.9	27.1	27.1	29.2	28.6
15	26.2	29.6	30.3	31.9	32.7	31.5	28.5	28.7	27.9	25.8	29.2	29
16	27.1	29.6	30.8	31.6	31.1	31.5	29.4	29	27.8	25	28.3	28.3
17	26.1	29.3	28.4	28.3	31.4	31.9	29.7	29.1	27.1	25.7	28.3	24.3
18	25	29.3	30.2	29.5	31.1	31.5	29.7	28.8	27.1	27.6	28.9	24.6
19	26.7	29.5	30.6	31.4	30.9	29.6	28.2	29.5	28.2	28.5	28.8	26.2
20	27.6	29.2	30.3	31.8	31.7	30.5	29.5	28.2	29.9	27.7	28.8	27.7
21	26.7	29.6	30.6	32.2	32.6	30.7	31.2	28.4	30.4	27.8	28.5	27.8
22	26.5	29.7	30.5	32.7	31.4	29	29.6	27.9	29.8	28.9	29.2	28.2
23	27.6	29.6	30.7	32.1	30.3	29.2	29.4	28.8	29.3	29.9	29.4	28.3
24	27.1	29.7	30.9	29.3	30.6	30.5	29.9	29.1	30	29.6	29.3	28
25	28.3	30.2	31	31.2	29.4	30.9	29.4	29.8	30.8	30	29.1	27.8
26	28.3	30.5	27	32.1	28.4	31.1	28.8	29.5	29.8	28.5	28.2	27.2
27	28.5	30	28.4	31.6	30.6	29.9	28.7	30.3	27.8	29.2	28	25.2
28	28.8	30.2	30.7	30.9	29.9	29.5	29.5	28.7	28.3	29.1	29	25.6
29	28.5		31.5	31.2	29.7	29	28.3	28.4	28	27.9	29.3	26.2
30	27.7		29.1	32.1	30.8	29.6	29.4	29.4	28.7	25.7	29.3	26.7
31	29		30.7		31.5		29.9	30.1		25.1		25.4
AVE	27.8	29.3	30.2	31.6	31.1	30.8	29.6	28.7	28.85	28.3	28.3	27.8

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) คิดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 3(ข) ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	25	25.7	29.3	28.1	28.9	30.4	26.1	26.8	29	29	29.5	29.4
2	25.7	26.6	29.5	29.2	30.5	30.2	27.4	29.1	28.6	29.4	29.6	27.9
3	27.5	26.9	28.8	29.3	31	28.9	28	30	29.4	28.6	29.9	26.5
4	28.1	27.4	27.3	29.1	31.8	28.3	28.8	30.3	28.8	27	29.8	26.7
5	27.5	27.8	29.5	28.6	29.9	29.2	29.2	29.5	28.3	28.5	29.5	27.6
6	29	27.9	30.1	29.1	31.1	29.5	30.3	29	28.7	27.8	30.3	27.9
7	27.5	28.1	30	29.3	29.8	28.6	30.9	29	28.6	27.8	30.2	28.6
8	26.5	29	29	29.1	30	29.2	31.3	29.2	27.8	26	30.1	28.1
9	26.6	28.4	28.3	29	30.2	30.2	30.2	28.8	28.2	27.8	29.7	28.4
10	25.8	27.9	29.5	28.2	30	27.2	28.6	28.3	26.7	26.8	28	26.3
11	26.4	28.4	29.9	29.1	29.6	29.5	29.6	27.8	26.4	28.1	27.4	24
12	25.5	28.3	29.7	29.2	29.7	28.1	29.7	27.7	28.4	27.7	28	23.8
13	25.8	28.5	29.1	28.3	29.6	27.6	29.4	28.9	29.3	27.6	28.9	24.2
14	25.8	28.4	29.8	28.4	27.3	28.7	29.8	29.7	29.2	26.4	29.3	26
15	25.5	27.3	28.1	29.4	27.7	29.4	28.5	27.3	28.2	27.5	29.3	28.1
16	23.8	28.1	24.5	29.7	29.3	29	28.7	26.9	28.7	26.1	29.7	28.4
17	23.6	28.9	19.1	30.3	30.2	29.3	27.9	27.7	29	27.5	30.1	26.4
18	24.1	29	21.7	30.8	28.8	29.4	29.1	28.9	29.2	28	30.1	26.3
19	25.3	29.5	25.9	29.4	29.4	29.8	28.9	28.4	29.6	29.1	29.9	25.8
20	26	29.1	28.5	29.8	30	29.7	28.9	28.6	29.2	28.4	29.3	26
21	26.4	28.4	29.6	29.9	30.5	29.4	27.4	28.4	28.2	29	29.5	26.9
22	26.7	27.9	29.9	31	29.8	29.7	27.4	30.2	27.2	29.4	30.3	28.1
23	28.2	28.1	26.8	28.3	31	29.5	28.7	30.9	27.4	29.1	30.1	28.3
24	28.7	27.8	27.8	28.4	31	29.9	28.6	30.8	27.7	29.8	28.5	26.6
25	28.5	29.3	27.7	26.8	28.9	30	28.5	28.9	29.1	29.4	28.1	23.4
26	28.1	28.1	27.1	28.4	29.1	30.4	29.1	27.3	29.8	29.5	29	23.1
27	28.7	28.7	26	29.4	29.2	28.8	28.2	27.8	27.2	30.5	29.7	24.8
28	28.8	27.8	22.7	30.3	29.7	30.1	29.4	27.7	28.7	28.9	29.3	26.7
29	27.6		21.5	30.2	30.2	29.9	29.3	27.6	28.9	29.3	28.7	27.9
30	25.6		22	30.5	30.8	29.3	28.5	29	28.8	29.5	29.4	27.8
31	25.3		24.2		29.8		27.6	29.6		29.8		28
AVE	26.4	28.1	28.3	29.2	29.8	29.4	28.8	28.9	28.7	28.5	29.5	26.7

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{ave}) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 4(ข) ค่าอุณหภูมิสูงสุด ($T_{\max}$) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	27.8	31.0	30.8	33.6	33.5	32.0	33.0	32.5	31.2	26.0	32.6	31.4
2	28.9	32.1	34.0	35.5	34.0	32.2	32.0	32.5	31.4	31.0	32.0	31.3
3	30.0	31.6	33.5	35.2	34.2	33.0	32.8	32.0	33.5	32.5	27.0	31.0
4	31.0	31.1	33.0	33.4	32.3	31.0	32.8	31.9	33.4	34.1	30.2	30.2
5	31.6	31.4	33.0	34.1	33.5	31.9	31.1	34.0	32.6	30.5	32.2	30.2
6	31.8	32.3	33.0	31.7	35.1	31.6	30.6	33.0	32.2	33.5	33.2	30.9
7	32.2	32.2	33.4	33.9	34.3	32.5	31.9	31.8	31.6	30.5	34.0	30.9
8	30.6	32.8	34.1	33.1	35.1	33.2	32.6	31.1	32.7	32.3	33.7	31.5
9	28.6	34.0	33.8	34.0	34.8	33.3	34.2	31.8	32.3	33.0	33.8	31.4
10	25.9	33.3	33.0	33.0	35.2	32.8	34.0	30.8	33.8	32.0	33.5	32.2
11	25.8	34.2	33.0	31.1	31.2	31.3	35.1	33.0	32.0	33.0	33.0	32.0
12	27.0	33.3	33.0	34.1	32.0	32.9	35.0	34.5	33.6	29.0	34.0	32.3
13	27.0	35.7	34.0	34.3	30.5	33.0	29.7	33.2	32.1	30.0	34.0	32.8
14	26.2	35.9	29.9	34.0	29.0	34.2	31.0	32.1	33.9	31.9	33.1	33.0
15	26.3	34.5	32.7	34.5	28.2	33.3	33.2	33.0	33.0	31.9	32.4	33.1
16	27.4	35.0	35.1	36.0	32.3	32.8	32.6	33.9	32.7	32.0	33.2	34.0
17	28.8	34.0	34.0	37.0	33.4	31.0	31.7	31.0	31.0	31.2	34.0	33.5
18	30.3	33.0	32.2	38.0	31.3	32.3	32.7	33.0	33.1	33.2	29.2	32.8
19	31.0	33.1	33.0	35.2	32.9	33.0	32.2	33.4	34.0	32.3	30.4	31.0
20	31.0	33.4	33.8	37.7	32.2	32.8	32.0	35.1	33.2	31.8	30.2	30.2
21	31.0	33.3	33.0	37.0	33.0	32.9	29.5	36.0	34.0	29.8	30.0	30.0
22	32.5	32.5	33.0	37.2	33.2	31.1	31.2	35.2	34.7	32.0	25.4	30.8
23	31.0	33.2	35.0	38.0	32.9	32.5	30.5	34.1	33.5	30.9	29.9	31.2
24	32.1	33.6	34.6	37.7	34.0	33.5	32.0	31.0	32.1	31.4	30.0	33.3
25	31.4	33.1	35.2	36.9	34.4	33.9	31.2	35.0	31.5	33.0	31.9	32.8
26	32.0	33.1	34.0	33.3	31.1	33.5	32.0	36.3	31.0	33.4	32.0	32.0
27	30.7	33.0	34.2	31.0	32.0	33.2	32.3	34.9	33.7	33.4	32.2	32.1
28	32.0	32.7	34.8	33.7	32.0	33.1	33.0	32.6	32.8	33.0	33.0	33.0
29	32.6		35.8	33.9	32.2	32.0	32.5	32.0	33.5	33.2	33.1	32.0
30	31.2		35.0	34.0	32.9	32.5	31.5	31.2	32.5	33.1	31.5	30.9
31	32.0		33.0		32.4		30.0	31.0		33.1		32.4
AVE	29.9	33.2	33.5	34.7	32.7	32.6	32.1	33.0	32.8	31.9	31.8	31.8

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิสูงสุด ($T_{\max}$) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 5(ข) ค่าอุณหภูมิสูงสุด ($T_{\max}$) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	32.7	32.7	32.2	33.4	34	36	30.8	33	33.9	33	28.4	32.1
2	32.1	32.3	33	34.7	34.7	35	31	30.9	32.8	33	28.7	32.9
3	34	32.7	32.9	34.5	33.1	36	30.8	30.6	32.7	31.6	29	30.5
4	32	32.4	33.4	34.7	33.8	37	32.1	31	33	29	30.5	30.5
5	33	32.4	36.6	34.7	34.8	34.5	32	32.6	33.8	28.4	29.5	32.5
6	29.8	31.5	35.3	34.5	33.1	34.6	32.8	32	34	30.5	30.1	30.2
7	32	32.2	33.5	35.2	34.8	34.5	35	32.9	34.8	32.8	31.7	30
8	30.3	32.1	33.3	34.8	35.5	33.9	35.9	32.7	33.1	32.8	32.7	31
9	31	32.1	33.4	35.1	35.9	33.2	35	32	33.7	32.7	30.5	31.1
10	33	32.2	31	34	38	31	33.7	32.9	30.8	33.4	31.4	31.8
11	32.2	33.9	32.2	34.9	35	33.9	34.2	30.1	29.9	32.1	30.7	31.5
12	33	32	35.2	35	32.5	34	35	32.1	32.5	31.4	30	31.3
13	31.9	32.4	34	37.5	35.4	35.5	35	30	31.8	31.9	32	32.3
14	29.8	32.5	33.2	34.9	36	34	33.5	30.2	31.5	28.8	33.2	32.1
15	30.2	32.8	34	35	36	34.5	31.4	32.7	31.8	28.5	32	33
16	31.6	32.7	34.2	35.5	32.7	36.3	32.9	32.7	32	27	31.8	31.6
17	30.4	32.3	30.4	30	35.6	35.3	32	33.1	31.3	27.1	32	26.5
18	29	32.9	35.5	33.5	34.1	34.8	32	31.9	30	30.9	32.8	28.6
19	31.3	32.8	35	34.1	34.9	35.1	29.4	34.2	32	31.7	32	31
20	30.9	31.9	33.5	35.6	35.6	35	33.8	34	33.5	30.5	32.6	31.5
21	29	32.4	33.5	35.5	36	34.3	34.4	31	35	31	32.4	32.4
22	30	32.5	33.6	36.3	35	32	34.1	32.2	34	32.7	33.5	32.4
23	31.3	32.8	33.9	35.2	35	32	32.5	32.5	33	34	32.5	32.3
24	30	32.5	33.9	32	34.3	32.5	34	32.5	34.1	34.7	33.2	31.3
25	32.7	34.2	34.4	35.3	34	34	31.7	33	34.2	33.8	33.1	33.1
26	32	35	29.5	35.1	32	34.3	32.8	33	34.5	31.7	31	31
27	32.2	33.3	34	35	33.3	34.5	32.4	33.9	32.5	32.3	31	29
28	33.3	33.4	35.9	35.7	33.5	32.9	32.9	30.7	33	31	32.8	30.3
29	32.3		35.5	35	33.4	32.5	31.8	30.6	32.9	30.7	33	31
30	31		34.4	35.5	34.2	33.1	32.8	32	33.7	28.9	32.7	31.5
31	32.7		34.1		35		33.2	34		27.3		30.5
AVE	31.9	32.5	33.9	35	34.8	34.4	32.8	32.5	33	31.6	32	31.3

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิสูงสุด ($T_{\max}$) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 6(ข) ค่าอุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	31	30.4	32.4	32.6	31	34.6	29.8	28.5	32.9	32.4	33.3	33.5
2	30.9	31	32.9	34	34.5	33.2	31.2	31.4	31.8	32.5	32.4	31.7
3	32	31.9	33.8	32.8	34	31	32	32.9	33.4	32.1	33.2	30
4	32.2	32.8	30.3	32.4	35.8	30	32.6	34	33	30.8	33.2	30.6
5	31.5	32.5	34.4	32.8	34	32.7	33.4	33.4	30.8	32.6	33.1	31.2
6	32	33.1	34.5	33	34.6	32.5	34.2	33	32.1	32	33	32
7	30	32.3	33.4	32.2	33.6	32.2	35.4	33.2	32	30.4	32.9	32.8
8	29.8	33.5	32.3	33	33.3	32.4	36	33.4	32.2	27.5	34.2	30.8
9	30.9	32.3	32	33	32.5	34.6	35	33	32.5	31.3	33.5	31.2
10	29	32.6	33	32.1	32.1	31.5	33.6	31.2	28.1	29.8	30.4	29.9
11	30.3	32.6	34	32.5	34	32.5	33	30	28	32.3	29.7	28.1
12	28.8	31.6	33.8	32.2	34.5	29	33	32	31.2	30	32	28
13	30.9	31.6	33.2	32.3	34	30	31.8	32.8	32	30	32	28.8
14	30.2	31.6	33	30.8	30.6	32	33.5	33	32	31.2	33.1	30.5
15	30.3	29.9	33.4	32.9	29	32.1	30.8	32.2	32.5	31.7	33	32
16	27.6	32	26.5	34.5	33.3	31.6	32.5	29.9	33	28.5	33	31.6
17	28	32.7	20.5	34.1	33	30.4	32.4	31.9	32	31	33.6	29.5
18	30.1	32.2	25.5	34.5	32	31.4	32	32	33.1	30.6	34	30
19	31.4	33	32.2	32	33.5	32.9	30.8	30.1	33	33	34.8	29.4
20	31.8	32.2	33.8	33.8	33.8	32.3	33	32	31.6	31.3	32.6	30.2
21	32.8	32	33.8	34.4	33.5	32.4	29.3	31.8	29.7	32.8	32.5	31.4
22	31.5	32	33.6	34.7	34.7	33	30	35.1	29	33	32.9	31.9
23	32.8	30.7	29	33	34.9	33.8	33	35.7	30.4	33.2	32.4	31.8
24	33	31.7	31.1	34	35	32.7	32.7	36	31.4	33.8	31	29
25	32.2	32.5	30.3	32	33	32.5	31.2	35.1	33	34	31.8	27
26	32.1	30	28	32.4	34.4	33	33.4	31.1	34.2	33	32.6	27.1
27	32.2	32	27	33	31.5	30.5	32.8	31.8	31	33.8	33.4	29.3
28	32.4	32.2	24.1	33.7	33.6	33	33	30.6	31.9	32	34	31.5
29	31.7		22.3	32.8	35	33.8	34.4	29.5	32	32.2	32.1	32
30	29.6		25	34.6	34.2	32.2	30	33.2	32.7	32.8	34.2	32.5
31	29.1		28.8		34.2		28.9	33.4		33.2		31.9
AVE	31	32.1	32.3	32.95	33.8	32.4	32.7	32.2	32	32.1	33	30.8

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิสูงสุด (T_{max}) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 7(ข) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ($T_{\min}$) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	24.0	24.8	26.8	24.7	27.0	29.0	26.0	26.2	25.4	23.9	25.4	23.5
2	23.9	24.6	25.1	24.5	27.2	25.2	27.5	28.1	26.1	24.9	25.0	23.4
3	21.0	25.0	26.0	25.1	28.3	26.5	25.2	28.0	26.9	26.4	22.8	23.7
4	21.1	25.0	27.0	25.0	27.9	28.3	28.3	27.7	26.4	27.0	22.4	22.9
5	20.8	24.1	27.3	25.4	26.0	27.5	27.0	28.8	26.7	25.8	24.0	22.8
6	20.9	24.8	27.8	25.9	28.0	27.9	24.0	26.0	27.0	26.5	26.1	20.8
7	21.2	24.0	27.1	25.2	28.9	28.0	24.5	27.5	26.8	27.0	26.9	20.6
8	22.0	22.5	28.0	26.0	29.0	28.6	24.2	28.0	26.1	26.0	26.7	21.8
9	21.8	23.5	27.7	25.0	29.3	29.0	25.2	28.0	26.0	23.5	27.0	22.7
10	18.0	22.0	28.3	26.0	24.9	28.0	27.0	28.0	26.2	25.0	26.2	22.0
11	16.0	23.4	28.1	26.0	25.5	28.2	28.4	26.3	25.7	25.0	28.8	22.7
12	16.2	24.5	28.1	25.2	24.9	26.0	28.2	27.2	27.0	26.0	27.0	22.8
13	18.0	26.0	28.0	29.0	25.3	27.0	26.8	25.6	27.0	25.0	28.0	24.4
14	17.7	23.3	25.4	28.1	25.0	26.1	26.0	25.1	27.3	24.5	26.4	25.6
15	17.0	22.0	23.0	28.8	25.2	25.0	26.4	28.4	28.0	25.6	26.0	24.8
16	16.1	23.0	23.9	29.0	26.0	26.9	27.8	26.0	26.5	26.1	27.5	25.4
17	19.0	24.0	26.3	28.2	26.7	28.7	28.4	25.9	27.1	26.0	26.9	26.0
18	20.4	27.1	24.5	28.0	26.0	28.7	28.2	25.7	27.0	24.5	25.0	25.5
19	19.8	26.8	25.5	28.2	27.2	27.0	28.0	27.0	26.0	25.4	23.6	25.0
20	19.0	27.0	26.5	28.2	26.0	27.5	28.1	26.0	26.0	26.7	23.0	23.9
21	20.5	27.0	25.2	28.0	26.5	28.2	25.5	28.2	26.7	25.1	22.0	23.0
22	21.2	27.3	27.3	28.6	25.7	28.4	26.8	24.3	24.0	24.9	21.4	22.3
23	21.2	26.8	27.4	28.7	26.0	28.6	24.9	25.9	24.6	24.0	20.6	22.0
24	23.0	26.8	28.0	29.2	28.3	28.0	26.0	25.8	25.8	26.0	22.0	23.0
25	24.6	27.2	28.0	28.6	27.2	28.5	26.0	26.0	25.2	26.0	21.7	22.7
26	23.6	27.0	27.4	25.1	27.0	28.0	26.4	26.0	25.7	26.8	20.9	25.0
27	24.2	27.0	26.0	26.0	26.4	25.1	26.0	25.0	24.4	26.1	22.0	25.2
28	24.6	27.0	27.2	25.0	27.3	24.0	28.0	26.0	24.0	25.4	25.0	25.2
29	24.0		26.9	26.8	26.2	24.1	28.0	27.0	26.0	25.0	25.0	26.4
30	25.0		27.7	27.8	24.6	25.3	28.2	27.0	25.1	25.6	23.5	25.0
31	24.0		25.8		26.9		27.9	24.5		24.4		26.0
AVE	21.0	25.1	26.7	26.8	26.7	27.2	26.7	26.6	26.1	25.5	24.6	23.7

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ($T_{\min}$) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 8(ข) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ($T_{\min}$) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	26.2	27	28	28	28	29.4	28	27	27	26.5	22	25
2	25	27.1	27.5	28.8	27.1	27.7	25	25.3	26.8	25.8	23.4	25
3	24	26.1	27.5	29	29	28.2	25.2	26.5	25.3	25.7	25	24.8
4	25	26	27.8	29.6	25.4	28.4	26.6	24	26	25.7	24.5	24
5	26.4	27	27.4	29.4	29.1	27.1	26.2	25	26.8	26	23.3	23.6
6	25.8	26.7	26.7	29.6	25	27.2	27	25.4	27.2	25.5	24.4	26.2
7	25	26.9	26.5	29.5	29.9	29.8	27	25.3	26.2	26.2	25.2	26.7
8	25.2	26	27.1	29.2	30	29	29.4	25.7	27.2	27.3	26.9	25.5
9	23.8	26	27.2	29.7	30.3	25.8	28.8	25.9	28.8	26.6	26	24.3
10	23.4	26.4	27.3	29.9	30.9	25.5	27	25.8	25.7	25.6	25	23.4
11	23.2	26.6	23.8	29.6	29	25.8	28	26.5	25	26.5	25.1	25.1
12	25	26.9	25.2	29.9	28	26.9	26.5	26.9	25.5	26.3	26	26
13	25.1	27.2	28	29.2	27.9	27.8	28.2	26	26.4	25.2	25.2	25.2
14	23.8	27.5	27.8	29	30.6	29.3	27.6	25.5	25.2	25.3	25.4	26
15	21.9	26.7	27.7	29.1	30.7	28	26.2	25.8	25.1	24	26.2	25.7
16	23	27.7	28.5	30	30.3	28	26.7	24.8	25	23.9	24.6	26
17	22	27	26	25	29	29	27.5	26.1	25	24	24.8	22.2
18	21	26.8	25.3	25.5	28.9	28.4	27.1	27	24	25.2	26	20.5
19	22.6	27	27	29	27	25	26.2	24.8	25.5	25.6	26.7	22.5
20	25	27.2	27.9	28.4	28	26.9	26	25.6	26.9	24.7	26	24
21	25	27.9	28.3	30	30.5	27.9	28.4	25.8	27	25.7	25	24
22	24.3	27.6	28.8	30.1	27	26	25.8	24.8	26.8	25.2	25.4	24.2
23	25	27.6	28	29.8	26.5	26.5	27	26.5	27.2	26.7	26	25.1
24	25.2	27.7	28.5	27.6	27.2	28.6	27	26.7	26.6	26	26	25
25	24.9	26	28.2	27.1	25.6	28	27.1	27.7	28	27	24.6	24.5
26	25.5	27.2	24.4	30	27	28.3	26	26	25	25.3	25.3	24.4
27	24.9	26.8	23.9	27.6	28.3	26.4	26	26.8	25.1	26	24.7	21.3
28	25.4	28.5	26.7	28.2	27.2	26.3	26.8	26.8	25	27.4	25.3	20.9
29	26		28	28	25.6	26.6	25.5	26.1	25.6	25.7	25.8	22
30	25		24.6	30	28	26.8	27.2	27	26	22.8	26	22.6
31	26		28.3		28.8		27	27.2		23		20
AVE	25	27	27.5	29.2	28	27.75	27	26	26	25.7	25.25	24.4

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ($T_{\min}$) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 9(ข) ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ($T_{\min}$) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	18.8	20.3	27	24.8	26.4	26.9	24.2	26	27	26.3	26.7	25.7
2	20.1	22.1	27	25.2	26.9	27	25	27.4	26	26.5	26.5	25
3	23	22	24.4	26.9	28.6	26.4	26	28	26	25	26.3	22.9
4	24	22	25.1	26.5	28.4	26.7	25.6	27	25.5	23.2	26	23
5	23.5	24	25.4	26	24.6	26.3	25.5	26.7	25.9	25.7	26.8	25
6	26	25	26.7	26.5	29	26.7	25.9	26.7	26.2	25.3	27	23.3
7	24.8	25	27.2	26.9	26	24.9	27	27	26.2	25.5	27.9	24.4
8	23.4	25.7	27.7	26.2	28.8	25	27.9	26.7	25	24.4	26.2	26.4
9	21.8	25.5	26	26.2	28.8	24.8	26	25.1	25.7	25.5	26.2	25.8
10	22.5	24.4	26.5	25.1	28	25.7	25.5	25.6	25.7	25	25.2	22.2
11	22	25	25.9	25.8	26.1	26	26.2	25	25	26	25	20
12	23	26	26.7	26.7	26.6	27	26.8	25	26	25.9	25	19.7
13	21.1	26.7	26.2	26.9	26.3	26.5	27.5	25	27.8	25.2	26.2	20
14	21.3	26.2	27.5	26.2	26	26.1	28	26.2	27	24.4	25	21.4
15	21.2	26	23	26.5	25.7	27.8	27	25	26.2	24.4	25.8	24.5
16	20	25	22.4	26.8	26	26.2	25	25	25.9	24	26	26.5
17	20	25.9	18.5	27.5	27.7	28	25.2	25.1	26.1	25.7	27.3	23.2
18	19	26.5	18.5	28	26	28	26.2	26	26	25.4	26.5	22.9
19	20	27	20.6	28	25.4	27	27.8	26.2	26.7	26	25	22
20	21.1	26.9	23	26.2	26.2	27.8	26.6	26	27	26	27	22
21	20	26.9	26	26.2	27.1	28	26.2	26.7	27	26.3	26	23.1
22	21	24.8	27	28.8	25.8	27.3	25.4	26	25.2	26	27	24.5
23	24.5	26.5	24	25	27.2	26	25.8	27	25.8	26.2	27	25
24	23.9	24.7	25.2	25.4	26.4	27.2	25.4	27	25.1	26.6	25	24.1
25	25.6	26.9	25.8	24.5	25.8	28	27	25	25.7	27	23.8	20
26	23	26.2	26	24.8	25	28.8	25.4	24	26.7	26.5	25.2	18.7
27	25.7	26.6	24.7	26.9	27	27.8	25.2	24.9	25	27	26.8	20.7
28	25.8	23.5	21.8	27.5	26.3	28	25.7	25.5	26	26.7	25.3	21.5
29	24.4		20.2	27.8	27.5	27.9	26.5	26	25.7	26.6	25	24.2
30	22		19.4	27.2	27.9	26.9	26.4	26.2	25.8	26.1	25.7	23.7
31	21.1		20.7		27		25.8	26.5		26		24
AVE	22	25.6	25.4	26.5	26.4	26.95	26	26	26	26	26.1	23.2

*หมายเหตุ... ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ($T_{\min}$) คัดในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 10(ข) ค่าอัตราส่วนอุณหภูมิ (TR) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0.86	0.80	0.87	0.74	0.81	0.91	0.79	0.81	0.81	0.92	0.78	0.75
2	0.83	0.77	0.74	0.69	0.80	0.78	0.86	0.86	0.83	0.80	0.78	0.75
3	0.70	0.79	0.78	0.71	0.83	0.80	0.77	0.88	0.80	0.81	0.84	0.76
4	0.68	0.80	0.82	0.75	0.86	0.91	0.86	0.87	0.79	0.79	0.74	0.76
5	0.66	0.77	0.83	0.74	0.78	0.86	0.87	0.85	0.82	0.85	0.75	0.75
6	0.66	0.77	0.84	0.82	0.80	0.88	0.78	0.79	0.84	0.79	0.79	0.67
7	0.66	0.75	0.81	0.74	0.84	0.86	0.77	0.86	0.85	0.89	0.79	0.67
8	0.72	0.69	0.82	0.79	0.83	0.86	0.74	0.90	0.80	0.80	0.79	0.69
9	0.76	0.69	0.82	0.74	0.84	0.87	0.74	0.88	0.80	0.71	0.80	0.72
10	0.69	0.66	0.86	0.79	0.71	0.85	0.79	0.91	0.78	0.78	0.78	0.68
11	0.62	0.68	0.85	0.84	0.82	0.90	0.81	0.80	0.80	0.76	0.87	0.71
12	0.60	0.74	0.85	0.74	0.78	0.79	0.81	0.79	0.80	0.90	0.79	0.71
13	0.67	0.73	0.82	0.85	0.83	0.82	0.90	0.77	0.84	0.83	0.82	0.74
14	0.68	0.65	0.85	0.83	0.86	0.76	0.84	0.78	0.81	0.77	0.80	0.78
15	0.65	0.64	0.70	0.83	0.89	0.75	0.80	0.86	0.85	0.80	0.80	0.75
16	0.59	0.66	0.68	0.81	0.80	0.82	0.85	0.77	0.81	0.82	0.83	0.75
17	0.66	0.71	0.77	0.76	0.80	0.93	0.90	0.84	0.87	0.83	0.79	0.78
18	0.67	0.82	0.76	0.74	0.83	0.89	0.86	0.78	0.82	0.74	0.86	0.78
19	0.64	0.81	0.77	0.80	0.83	0.82	0.87	0.81	0.76	0.79	0.78	0.81
20	0.61	0.81	0.78	0.75	0.81	0.84	0.88	0.74	0.78	0.84	0.76	0.79
21	0.66	0.81	0.76	0.76	0.80	0.86	0.86	0.78	0.79	0.84	0.73	0.77
22	0.65	0.84	0.83	0.77	0.77	0.91	0.86	0.69	0.69	0.78	0.84	0.72
23	0.68	0.81	0.78	0.76	0.79	0.88	0.82	0.76	0.73	0.78	0.69	0.71
24	0.72	0.80	0.81	0.77	0.83	0.84	0.81	0.83	0.80	0.83	0.73	0.69
25	0.78	0.82	0.80	0.78	0.79	0.84	0.83	0.74	0.80	0.79	0.68	0.69
26	0.74	0.82	0.81	0.75	0.87	0.84	0.83	0.72	0.83	0.80	0.65	0.78
27	0.79	0.82	0.76	0.84	0.83	0.76	0.80	0.72	0.72	0.78	0.68	0.79
28	0.77	0.83	0.78	0.74	0.85	0.73	0.85	0.80	0.73	0.77	0.76	0.76
29	0.74		0.75	0.79	0.81	0.75	0.86	0.84	0.78	0.75	0.76	0.83
30	0.80		0.79	0.82	0.75	0.78	0.90	0.87	0.77	0.77	0.75	0.81
31	0.75		0.78		0.83		0.93	0.79		0.74		0.80
AVE	0.70	0.76	0.80	0.77	0.82	0.84	0.83	0.81	0.80	0.80	0.77	0.75

*หมายเหตุ... อัตราส่วนอุณหภูมิ (TR) คำนวณในหน่วยของ องศาเซลเซียส (C°)

ตารางที่ 11(ข) ค่าอัตราส่วนอุณหภูมิจาน (TR) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0.80	0.83	0.87	0.84	0.82	0.82	0.91	0.82	0.80	0.80	0.77	0.78
2	0.78	0.84	0.83	0.83	0.78	0.79	0.81	0.82	0.82	0.78	0.82	0.76
3	0.71	0.80	0.84	0.84	0.88	0.78	0.82	0.87	0.77	0.81	0.86	0.81
4	0.78	0.80	0.83	0.85	0.75	0.77	0.83	0.77	0.79	0.89	0.80	0.79
5	0.80	0.83	0.75	0.85	0.84	0.79	0.82	0.77	0.79	0.92	0.79	0.73
6	0.87	0.85	0.76	0.86	0.76	0.79	0.82	0.79	0.80	0.84	0.81	0.87
7	0.78	0.84	0.79	0.84	0.86	0.86	0.77	0.77	0.75	0.80	0.79	0.89
8	0.83	0.81	0.81	0.84	0.85	0.86	0.82	0.79	0.82	0.83	0.82	0.82
9	0.77	0.81	0.81	0.85	0.84	0.78	0.82	0.81	0.85	0.81	0.85	0.78
10	0.71	0.82	0.88	0.88	0.81	0.82	0.80	0.78	0.83	0.77	0.80	0.74
11	0.72	0.78	0.74	0.85	0.83	0.76	0.82	0.88	0.84	0.83	0.82	0.80
12	0.76	0.84	0.72	0.85	0.86	0.79	0.76	0.84	0.78	0.84	0.87	0.83
13	0.79	0.84	0.82	0.78	0.79	0.78	0.81	0.87	0.83	0.79	0.79	0.78
14	0.80	0.85	0.84	0.83	0.85	0.86	0.82	0.84	0.80	0.88	0.77	0.81
15	0.73	0.81	0.81	0.83	0.85	0.81	0.83	0.79	0.79	0.84	0.82	0.78
16	0.73	0.85	0.83	0.85	0.93	0.77	0.81	0.76	0.78	0.89	0.77	0.82
17	0.72	0.84	0.86	0.83	0.81	0.82	0.86	0.79	0.80	0.89	0.78	0.84
18	0.72	0.81	0.71	0.76	0.85	0.82	0.85	0.85	0.80	0.82	0.79	0.72
19	0.72	0.82	0.77	0.85	0.77	0.71	0.89	0.73	0.80	0.81	0.83	0.73
20	0.81	0.85	0.83	0.80	0.79	0.77	0.77	0.75	0.80	0.81	0.80	0.76
21	0.86	0.86	0.84	0.85	0.85	0.81	0.83	0.83	0.77	0.83	0.77	0.74
22	0.81	0.85	0.86	0.83	0.77	0.81	0.76	0.77	0.79	0.77	0.76	0.75
23	0.80	0.84	0.83	0.85	0.76	0.83	0.83	0.82	0.82	0.79	0.80	0.78
24	0.84	0.85	0.84	0.86	0.79	0.88	0.79	0.82	0.78	0.75	0.78	0.80
25	0.76	0.76	0.82	0.77	0.75	0.82	0.85	0.84	0.82	0.80	0.74	0.74
26	0.80	0.78	0.83	0.85	0.84	0.83	0.79	0.79	0.72	0.80	0.82	0.79
27	0.77	0.80	0.70	0.79	0.85	0.77	0.80	0.79	0.77	0.80	0.80	0.73
28	0.76	0.85	0.74	0.79	0.81	0.80	0.81	0.87	0.76	0.88	0.77	0.69
29	0.80		0.79	0.80	0.77	0.82	0.80	0.85	0.78	0.84	0.78	0.71
30	0.81		0.72	0.85	0.82	0.81	0.83	0.84	0.77	0.79	0.80	0.72
31	0.80		0.83		0.82		0.81	0.80		0.84		0.66
AVE	0.78	0.83	0.82	0.84	0.82	0.81	0.82	0.81	0.79	0.81	0.80	0.78

*หมายเหตุ... อัตราส่วนอุณหภูมิจาน (TR) คำนวณในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 12(ข) ค่าอัตราส่วนอุณหภูมิจานวน (TR) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0.61	0.67	0.83	0.76	0.85	0.78	0.81	0.91	0.82	0.81	0.80	0.77
2	0.65	0.71	0.82	0.74	0.78	0.81	0.80	0.87	0.82	0.82	0.82	0.79
3	0.72	0.69	0.72	0.82	0.84	0.85	0.81	0.85	0.78	0.78	0.79	0.76
4	0.75	0.67	0.83	0.82	0.79	0.89	0.79	0.79	0.77	0.75	0.78	0.75
5	0.75	0.74	0.74	0.79	0.72	0.80	0.76	0.80	0.84	0.79	0.81	0.80
6	0.81	0.76	0.77	0.80	0.84	0.82	0.76	0.81	0.82	0.79	0.82	0.73
7	0.83	0.77	0.81	0.84	0.77	0.77	0.76	0.81	0.82	0.84	0.85	0.74
8	0.79	0.77	0.86	0.79	0.86	0.77	0.78	0.80	0.78	0.89	0.77	0.86
9	0.71	0.79	0.81	0.79	0.89	0.72	0.74	0.76	0.79	0.81	0.78	0.83
10	0.78	0.75	0.80	0.78	0.87	0.82	0.76	0.82	0.91	0.84	0.83	0.74
11	0.73	0.77	0.76	0.79	0.77	0.80	0.79	0.83	0.89	0.80	0.84	0.71
12	0.80	0.82	0.79	0.83	0.77	0.93	0.81	0.78	0.83	0.86	0.78	0.70
13	0.68	0.84	0.79	0.83	0.77	0.88	0.86	0.76	0.87	0.84	0.82	0.69
14	0.71	0.83	0.83	0.85	0.85	0.82	0.84	0.79	0.84	0.78	0.76	0.70
15	0.70	0.87	0.69	0.81	0.89	0.87	0.88	0.78	0.81	0.77	0.78	0.77
16	0.72	0.78	0.85	0.78	0.78	0.83	0.77	0.84	0.78	0.84	0.79	0.84
17	0.71	0.79	0.90	0.81	0.84	0.92	0.78	0.79	0.82	0.83	0.81	0.79
18	0.63	0.82	0.73	0.81	0.81	0.89	0.82	0.81	0.79	0.83	0.78	0.76
19	0.64	0.82	0.64	0.88	0.76	0.82	0.90	0.87	0.81	0.79	0.72	0.75
20	0.66	0.84	0.68	0.78	0.78	0.86	0.81	0.81	0.85	0.83	0.83	0.73
21	0.61	0.84	0.77	0.76	0.81	0.86	0.89	0.84	0.91	0.80	0.80	0.74
22	0.67	0.78	0.80	0.83	0.74	0.83	0.85	0.74	0.87	0.79	0.82	0.77
23	0.75	0.86	0.83	0.76	0.78	0.77	0.78	0.76	0.85	0.79	0.83	0.79
24	0.72	0.78	0.81	0.75	0.75	0.83	0.78	0.75	0.80	0.79	0.81	0.83
25	0.80	0.83	0.85	0.77	0.78	0.86	0.87	0.71	0.78	0.79	0.75	0.74
26	0.72	0.87	0.93	0.77	0.73	0.87	0.76	0.77	0.78	0.80	0.77	0.69
27	0.80	0.83	0.91	0.82	0.86	0.91	0.77	0.78	0.81	0.80	0.80	0.71
28	0.80	0.73	0.90	0.82	0.78	0.85	0.78	0.83	0.82	0.83	0.74	0.68
29	0.77		0.91	0.85	0.79	0.83	0.77	0.88	0.80	0.83	0.78	0.76
30	0.74		0.78	0.79	0.82	0.84	0.88	0.79	0.79	0.80	0.75	0.73
31	0.73		0.72		0.79		0.89	0.79		0.78		0.75
AVE	0.72	0.79	0.81	0.80	0.79	0.83	0.79	0.80	0.82	0.80	0.80	0.75

*หมายเหตุ... อัตราส่วนอุณหภูมิจานวน (TR) คำนวณในหน่วยของ องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)

ตารางที่ 13(ข) ค่าความยาวนานแสงแดด (S_{sum}) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	3.2	8.0	0.0	9.2	4.0	3.9	6.5	4.7	0.5	0.0	9.2	8.5
2	4.7	6.8	6.8	9.0	4.2	5.7	5.2	6.0	4.5	4.5	8.6	7.0
3	8.6	7.8	7.3	6.6	8.8	6.8	9.1	5.4	5.5	6.5	0.0	9.2
4	9.5	7.8	9.3	6.6	8.4	1.7	7.1	5.1	6.8	7.7	5.2	7.8
5	9.1	9.0	8.6	6.8	7.7	2.3	0.0	7.2	5.8	3.5	8.5	7.8
6	8.9	9.0	9.4	2.1	9.9	6.9	1.4	4.1	5.6	7.0	8.0	9.1
7	9.2	9.4	10.4	8.2	9.0	8.3	6.1	0.0	5.4	3.6	9.3	8.2
8	7.1	9.1	10.2	6.5	10.7	7.9	1.3	0.7	3.7	5.2	7.6	7.6
9	8.5	9.5	9.9	8.6	10.4	8.4	9.0	0.2	4.0	4.5	5.1	5.7
10	9.3	9.6	8.6	5.0	4.5	5.3	11.2	0.2	7.3	5.8	6.1	7.9
11	9.4	7.6	9.4	3.1	1.8	1.5	10.4	7.8	4.1	6.2	3.9	9.2
12	9.4	8.5	9.1	9.0	4.1	6.2	7.5	8.0	8.4	2.8	8.9	9.0
13	9.1	9.6	8.7	10.1	1.0	10.0	0.3	3.4	5.2	2.0	6.2	6.4
14	8.6	9.6	0.7	9.4	1.5	9.1	0.8	4.0	8.0	1.4	4.5	7.5
15	9.4	8.8	9.0	6.5	0.0	7.4	3.2	8.2	4.7	1.0	5.0	4.3
16	9.4	9.8	6.8	9.1	2.5	6.9	1.0	4.9	0.8	3.7	5.7	8.1
17	9.4	8.7	8.4	9.9	6.0	6.2	4.2	3.9	1.8	2.7	8.0	9.3
18	8.0	7.8	2.9	9.7	1.4	7.5	2.3	4.2	7.5	4.4	7.6	9.2
19	9.4	9.3	7.4	9.7	5.4	8.3	0.8	5.6	3.5	4.6	7.8	7.7
20	8.3	9.6	7.9	10.2	2.9	5.9	0.9	10.1	9.5	5.5	9.2	7.7
21	9.0	10.1	7.9	9.9	6.6	7.2	2.4	10.0	5.3	0.4	9.3	9.0
22	9.5	9.5	7.5	10.6	6.0	1.2	0.8	8.9	6.6	5.8	2.2	8.4
23	9.1	10.1	10.1	9.7	4.0	5.1	2.4	6.2	6.5	2.1	9.1	8.0
24	8.1	9.6	8.6	10.0	6.1	10.6	6.1	2.5	5.4	2.1	6.9	8.0
25	7.1	9.9	7.1	8.9	5.7	10.4	2.6	8.9	0.9	4.2	9.0	7.5
26	9.4	9.9	8.7	1.5	0.3	7.1	3.1	8.7	2.3	0.0	9.2	7.7
27	8.3	10.0	8.8	1.0	4.2	7.4	2.8	8.1	6.9	9.1	9.1	8.2
28	8.5	10.1	9.7	4.8	3.4	5.7	5.0	5.4	4.9	6.7	8.2	8.5
29	8.0		9.3	6.4	9.7	1.3	0.9	1.4	8.1	7.8	8.5	9.1
30	7.3		9.3	7.5	6.1	2.6	1.3	1.2	2.7	9.2	9.2	3.4
31	9.3		5.2		6.0		0.1	1.2		8.5		6.5
AVE	8.5	9.1	7.8	7.5	5.2	6.2	3.7	5.0	5.1	4.5	7.2	7.8

*หมายเหตุ... ค่าความยาวนานแสงแดด (S_{sum}) มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h.)

ตารางที่ 14(ข) ค่าความยาวนานแสงแดด (S_{sum}) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	7.6	8.8	7.7	9.2	5.0	7.5	1.1	4.1	4.7	4.6	2.7	8.4
2	7.2	8.5	9.6	9.5	7.5	9.4	2.4	1.0	5.3	7.4	3.2	6.8
3	9.0	9.5	9.8	8.5	3.5	8.2	0.8	0.0	4.0	6.3	1.4	9.0
4	9.1	9.6	9.5	7.6	1.2	10.2	5.1	1.3	7.3	0.0	8.2	8.5
5	7.4	9.6	9.4	9.9	10.5	6.5	1.4	5.8	9.4	0.2	5.3	5.8
6	1.7	9.2	9.6	9.5	4.1	8.7	5.5	5.5	8.5	1.0	4.9	3.9
7	6.3	9.1	9.2	9.6	10.2	5.8	8.1	5.1	6.2	5.9	0.6	1.2
8	3.0	8.7	9.7	9.5	8.5	7.0	8.8	4.3	4.6	6.7	8.1	3.7
9	7.5	7.5	9.6	9.2	10.2	2.0	9.0	8.0	7.0	2.9	3.9	9.2
10	8.6	9.1	2.2	8.7	11.0	0.1	10.6	8.9	0.7	7.3	7.6	8.2
11	6.8	7.5	8.3	8.9	8.8	7.7	9.2	0.3	1.7	1.0	0.0	6.6
12	7.3	7.7	9.1	9.6	1.3	10.5	9.4	4.7	2.4	2.7	0.3	8.9
13	8.6	7.4	9.3	9.6	10.5	8.5	6.6	0.0	4.0	2.9	4.3	4.2
14	8.8	8.1	9.9	9.5	10.4	8.8	4.1	0.5	0.4	0.8	9.6	8.5
15	7.5	9.2	9.6	9.6	10.0	9.6	3.8	5.4	3.0	0.0	8.2	8.8
16	7.9	7.5	9.2	5.3	0.0	8.6	3.2	3.8	3.4	0.0	6.0	5.2
17	9.0	9.1	1.9	0.0	3.4	11.0	1.3	3.1	3.6	0.7	7.1	1.3
18	9.0	7.9	9.0	9.0	4.0	11.1	2.5	1.9	1.0	2.2	5.0	9.2
19	9.0	3.4	8.0	9.1	10.5	7.3	0.0	8.8	4.0	3.4	8.5	7.1
20	1.7	6.3	9.3	8.7	0.0	10.1	9.0	4.1	5.3	4.4	4.9	7.1
21	1.0	7.1	9.2	9.4	0.0	5.2	9.3	0.0	8.8	6.6	7.3	6.3
22	1.6	9.1	9.4	9.0	6.8	6.6	6.0	4.4	4.8	8.7	7.6	8.8
23	2.6	9.6	9.9	10.0	7.7	2.7	3.9	4.4	4.6	9.1	8.4	6.2
24	1.3	8.8	9.1	0.0	4.0	8.7	3.0	5.0	8.4	7.2	9.1	6.5
25	7.6	8.9	9.3	9.7	6.9	9.9	2.5	5.1	6.7	4.8	8.7	6.0
26	8.5	9.1	3.8	10.0	0.3	6.6	2.2	7.2	7.4	0.6	9.3	9.1
27	8.2	9.6	5.3	7.2	4.4	6.9	4.1	8.4	6.5	7.2	6.6	9.2
28	8.7	8.2	8.5	6.3	6.5	2.2	7.2	0.2	6.0	6.4	6.3	9.2
29	6.2		6.5	8.5	6.3	0.4	3.8	1.7	6.6	9.2	8.1	8.0
30	3.7		8.9	8.9	9.1	4.6	4.5	3.8	8.9	7.7	8.8	9.2
31	9.5		9.1		7.6		6.5	7.0		1.5		8.4
AVE	7.5	8.8	9.2	9.2	6.8	7.6	4.1	4.3	5.1	4.4	6.9	8.0

*หมายเหตุ... ค่าความยาวนานแสงแดด (S_{sum}) มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h.)

ตารางที่ 15(ข) ค่าความยาวนานแสงแดด (S_{sum}) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	9.0	7.2	9.4	5.6	0.0	7.3	0.2	0.0	4.7	4.1	8.9	8.6
2	9.2	9.5	6.4	5.4	9.7	3.8	1.1	2.0	4.0	6.9	8.8	8.9
3	8.3	9.3	4.1	6.7	7.8	0.0	1.4	7.5	7.1	1.3	6.6	5.8
4	9.1	9.7	0.7	5.9	10.0	0.3	11.3	8.0	7.8	3.8	8.9	8.8
5	8.6	8.6	6.5	4.5	7.5	2.8	10.1	5.2	3.8	7.4	7.0	7.9
6	5.7	7.7	9.4	6.7	9.8	0.4	10.3	7.4	5.0	4.3	8.6	8.7
7	9.2	9.0	9.3	8.7	5.5	0.3	11.2	0.8	5.6	1.7	8.8	8.2
8	6.8	9.5	2.2	7.9	4.4	7.9	10.1	3.3	2.9	0.0	9.2	1.2
9	9.3	9.1	3.7	4.3	7.7	5.8	7.9	1.9	3.2	3.5	7.1	7.2
10	9.1	8.8	5.7	2.2	1.8	5.9	8.4	1.4	0.0	0.0	8.2	8.8
11	4.7	9.0	9.3	6.9	8.6	5.3	7.3	0.0	0.0	7.6	3.4	8.6
12	2.3	6.0	7.2	5.5	2.7	0.4	6.9	6.8	5.0	2.6	9.0	8.6
13	8.7	7.0	5.0	3.5	5.1	0.0	5.7	5.9	4.6	0.7	6.1	8.6
14	8.5	8.6	8.4	2.2	2.8	3.6	5.2	3.5	5.7	3.9	8.2	6.1
15	8.4	3.9	5.4	10.7	0.8	2.9	0.0	3.3	1.9	2.2	8.8	5.9
16	8.7	8.2	0.0	10.9	5.9	4.9	4.5	0.5	6.2	2.0	9.0	4.2
17	9.1	9.2	0.0	11.2	6.0	2.9	3.0	6.4	6.3	3.9	8.9	7.1
18	9.0	9.0	4.2	9.2	4.0	1.2	2.7	6.5	6.9	3.8	8.9	7.7
19	8.8	9.2	7.0	1.7	6.3	6.8	2.3	0.0	7.1	5.9	8.9	9.0
20	9.2	9.0	10.1	5.7	9.6	1.3	2.4	1.7	4.2	2.2	8.6	8.3
21	9.2	0.9	7.9	5.8	7.2	3.9	0.0	4.0	0.0	7.8	8.7	7.5
22	7.5	4.2	5.6	9.8	9.6	0.9	0.7	9.0	0.7	8.9	9.0	6.9
23	8.2	4.5	0.3	4.0	10.1	6.8	6.8	9.4	0.9	6.9	8.2	8.9
24	9.3	5.8	3.4	4.2	7.8	1.7	4.2	9.5	2.5	8.3	8.2	2.5
25	8.0	9.5	0.0	0.6	3.0	6.0	2.4	4.0	7.8	8.4	9.1	9.1
26	9.4	4.9	0.1	6.4	7.4	6.0	5.5	3.5	8.3	7.9	8.7	8.6
27	6.0	2.8	0.0	5.2	2.2	0.4	6.3	3.9	0.2	8.8	8.9	8.7
28	7.9	9.1	0.0	9.7	7.0	7.1	8.1	1.8	3.9	6.0	6.3	8.8
29	9.2		0.0	5.8	5.9	4.2	7.8	0.0	7.7	7.6	5.5	7.4
30	9.1		1.6	9.4	7.9	0.3	0.0	3.0	5.7	8.0	7.6	8.9
31	9.4		1.3		5.3		0.0	3.3		8.1		9.0
AVE	8.8	8.7	4.2	5.8	6.3	3.3	5.2	3.5	4.7	4.3	8.7	8.6

*หมายเหตุ... ค่าความยาวนานแสงแดด (S_{sum}) มีหน่วยเป็นชั่วโมง (h.)

ตารางที่ 16(ข) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2552

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	59	76	76	66	76	74	76	72	88	90	67	60
2	59	75	73	64	69	79	77	69	78	81	63	62
3	61	76	74	74	61	71	75	71	73	77	67	62
4	64	74	72	74	59	72	71	74	74	77	71	64
5	64	77	75	73	63	74	78	72	77	84	65	63
6	60	72	75	83	64	69	85	75	73	79	64	67
7	55	63	76	80	70	73	82	77	72	84	64	73
8	62	66	71	78	69	72	84	73	77	80	73	72
9	57	65	73	79	70	70	74	72	80	82	78	73
10	56	62	73	79	79	73	63	77	76	84	77	69
11	52	65	70	82	84	73	62	74	85	82	77	69
12	58	72	73	74	82	74	68	70	76	87	78	68
13	58	63	73	70	87	73	78	78	80	89	75	62
14	60	56	70	70	91	75	85	79	74	84	85	64
15	57	62	58	74	92	81	79	76	74	85	84	71
16	61	64	61	66	85	76	70	75	81	82	81	65
17	56	70	72	64	82	73	69	85	85	88	72	68
18	59	74	78	65	82	74	65	80	78	85	67	66
19	62	73	72	61	79	73	70	79	83	83	64	67
20	68	77	76	59	78	75	74	68	78	81	63	67
21	77	72	75	57	75	74	86	65	75	90	63	64
22	73	75	71	59	82	75	79	72	80	84	62	66
23	78	73	68	57	74	73	80	76	79	85	56	68
24	72	72	69	60	72	69	76	83	82	87	61	69
25	62	74	70	59	74	72	77	68	85	80	64	72
26	71	76	71	79	83	71	80	68	82	78	67	80
27	82	75	69	86	78	75	76	78	81	72	64	79
28	77	75	67	79	78	80	72	81	82	74	59	78
29	74		63	70	75	88	71	80	69	73	61	77
30	79		68	73	83	84	69	85	73	70	61	83
31	77		69		77		74	84		68		77
AVE	62	72.5	72	71.5	78	73.5	76	75	78	82	66	68

*หมายเหตุ... ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ตารางที่ 17(ข) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2553

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	78.0	77.0	75.0	75.0	73.0	71.0	80.0	72.0	71.0	82.0	64.0	65.0
2	80.0	76.0	75.0	72.0	77.0	70.0	85.0	85.0	81.0	81.0	64.0	63.0
3	74.0	75.0	75.0	72.0	78.0	73.0	83.0	84.0	85.0	84.0	57.0	63.0
4	79.0	77.0	75.0	73.0	80.0	67.0	82.0	79.0	79.0	85.0	51.0	64.0
5	76.0	76.0	62.0	73.0	76.0	74.0	80.0	84.0	68.0	82.0	61.0	64.0
6	84.0	79.0	69.0	72.0	81.0	75.0	78.0	85.0	71.0	82.0	64.0	68.0
7	80.0	74.0	74.0	70.0	77.0	72.0	72.0	79.0	76.0	78.0	63.0	68.0
8	80.0	77.0	75.0	72.0	77.0	73.0	70.0	79.0	81.0	79.0	58.0	62.0
9	74.0	78.0	74.0	71.0	75.0	81.0	68.0	76.0	72.0	86.0	52.0	64.0
10	70.0	78.0	67.0	71.0	69.0	83.0	70.0	79.0	83.0	76.0	58.0	75.0
11	74.0	77.0	54.0	74.0	75.0	78.0	69.0	88.0	89.0	77.0	66.0	78.0
12	78.0	78.0	58.0	73.0	77.0	74.0	76.0	86.0	83.0	82.0	69.0	80.0
13	72.0	78.0	70.0	65.0	75.0	72.0	70.0	88.0	81.0	80.0	70.0	83.0
14	66.0	78.0	74.0	72.0	70.0	78.0	78.0	86.0	88.0	89.0	65.0	79.0
15	69.0	75.0	74.0	71.0	71.0	74.0	86.0	83.0	84.0	90.0	70.0	81.0
16	64.0	76.0	73.0	72.0	79.0	71.0	83.0	80.0	82.0	92.0	73.0	85.0
17	61.0	75.0	83.0	84.0	79.0	67.0	81.0	81.0	85.0	91.0	71.0	68.0
18	61.0	78.0	68.0	78.0	79.0	70.0	79.0	82.0	88.0	85.0	73.0	63.0
19	57.0	78.0	70.0	74.0	73.0	77.0	88.0	77.0	84.0	81.0	69.0	66.0
20	59.0	77.0	74.0	69.0	72.0	73.0	79.0	86.0	78.0	84.0	70.0	69.0
21	76.0	75.0	71.0	69.0	70.0	76.0	72.0	85.0	75.0	83.0	77.0	74.0
22	82.0	74.0	73.0	69.0	74.0	82.0	79.0	84.0	78.0	79.0	76.0	77.0
23	78.0	72.0	71.0	72.0	78.0	81.0	75.0	82.0	81.0	72.0	72.0	77.0
24	85.0	72.0	72.0	77.0	76.0	74.0	69.0	79.0	77.0	76.0	69.0	79.0
25	77.0	72.0	72.0	73.0	81.0	71.0	71.0	73.0	74.0	77.0	65.0	80.0
26	74.0	62.0	75.0	71.0	81.0	72.0	75.0	77.0	76.0	83.0	65.0	69.0
27	69.0	74.0	65.0	70.0	72.0	77.0	80.0	74.0	85.0	76.0	65.0	62.0
28	72.0	74.0	63.0	71.0	78.0	78.0	78.0	83.0	84.0	70.0	64.0	63.0
29	79.0		68.0	72.0	79.0	80.0	83.0	79.0	84.0	61.0	64.0	62.0
30	82.0		74.0	70.0	77.0	77.0	78.0	73.0	81.0	63.0	64.0	59.0
31	77.0		73.0		73.0		74.0	70.0		60.0		60.0
AVE	76.0	76.0	73.0	72.0	77.0	74.0	78.0	81.0	81.0	81.0	65.0	68.0

*หมายเหตุ... ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ตารางที่ 18(ข) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) รายเดือน ในปี พ.ศ. 2554

วันที่	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	63.0	62.0	78.0	65.0	81.0	77.0	92.0	92.0	77.0	77.0	70.0	63.0
2	63.0	60.0	77.0	71.0	76.0	77.0	85.0	81.0	77.0	73.0	66.0	64.0
3	63.0	61.0	77.0	75.0	75.0	85.0	84.0	74.0	74.0	76.0	63.0	61.0
4	61.0	61.0	84.0	78.0	72.0	88.0	78.0	74.0	79.0	81.0	65.0	60.0
5	64.0	73.0	76.0	81.0	77.0	85.0	76.0	78.0	83.0	79.0	66.0	59.0
6	60.0	78.0	73.0	76.0	73.0	84.0	74.0	79.0	82.0	83.0	64.0	63.0
7	61.0	77.0	78.0	79.0	78.0	86.0	69.0	82.0	80.0	80.0	66.0	67.0
8	61.0	64.0	80.0	76.0	76.0	79.0	68.0	77.0	85.0	91.0	67.0	73.0
9	66.0	73.0	81.0	79.0	73.0	74.0	71.0	77.0	82.0	85.0	65.0	64.0
10	64.0	76.0	72.0	84.0	73.0	87.0	78.0	80.0	89.0	87.0	72.0	61.0
11	66.0	77.0	69.0	80.0	76.0	74.0	76.0	78.0	92.0	81.0	74.0	60.0
12	72.0	75.0	74.0	77.0	78.0	83.0	79.0	84.0	81.0	87.0	64.0	60.0
13	64.0	74.0	80.0	80.0	77.0	85.0	78.0	75.0	77.0	87.0	60.0	62.0
14	68.0	78.0	76.0	80.0	91.0	77.0	77.0	78.0	79.0	89.0	57.0	61.0
15	65.0	83.0	76.0	75.0	89.0	77.0	78.0	88.0	82.0	86.0	62.0	59.0
16	62.0	79.0	80.0	74.0	81.0	80.0	79.0	87.0	79.0	90.0	62.0	64.0
17	63.0	77.0	81.0	75.0	79.0	78.0	85.0	84.0	75.0	84.0	65.0	60.0
18	64.0	77.0	71.0	77.0	81.0	78.0	79.0	78.0	73.0	79.0	67.0	61.0
19	63.0	74.0	72.0	78.0	79.0	74.0	82.0	77.0	76.0	70.0	65.0	63.0
20	65.0	78.0	73.0	74.0	75.0	74.0	83.0	80.0	74.0	78.0	57.0	63.0
21	62.0	80.0	78.0	75.0	71.0	79.0	87.0	80.0	78.0	78.0	59.0	60.0
22	62.0	81.0	79.0	72.0	77.0	75.0	87.0	69.0	83.0	74.0	60.0	62.0
23	62.0	79.0	85.0	84.0	69.0	72.0	79.0	67.0	85.0	80.0	63.0	64.0
24	62.0	78.0	76.0	81.0	71.0	71.0	82.0	69.0	81.0	71.0	59.0	62.0
25	58.0	76.0	71.0	86.0	81.0	70.0	83.0	79.0	73.0	76.0	61.0	57.0
26	57.0	81.0	64.0	82.0	78.0	73.0	79.0	88.0	73.0	75.0	64.0	60.0
27	56.0	80.0	62.0	79.0	80.0	83.0	81.0	85.0	85.0	69.0	63.0	57.0
28	58.0	82.0	70.0	75.0	77.0	80.0	77.0	87.0	79.0	76.0	67.0	60.0
29	61.0		69.0	77.0	73.0	77.0	77.0	84.0	75.0	72.0	73.0	61.0
30	58.0		68.0	75.0	74.0	81.0	75.0	78.0	81.0	69.0	69.0	62.0
31	60.0		67.0		78.0		81.0	76.0		68.0		62.0
AVE	62.0	77.0	76.0	77.0	77.0	78.0	79.0	79.0	79.0	79.0	64.5	61.0

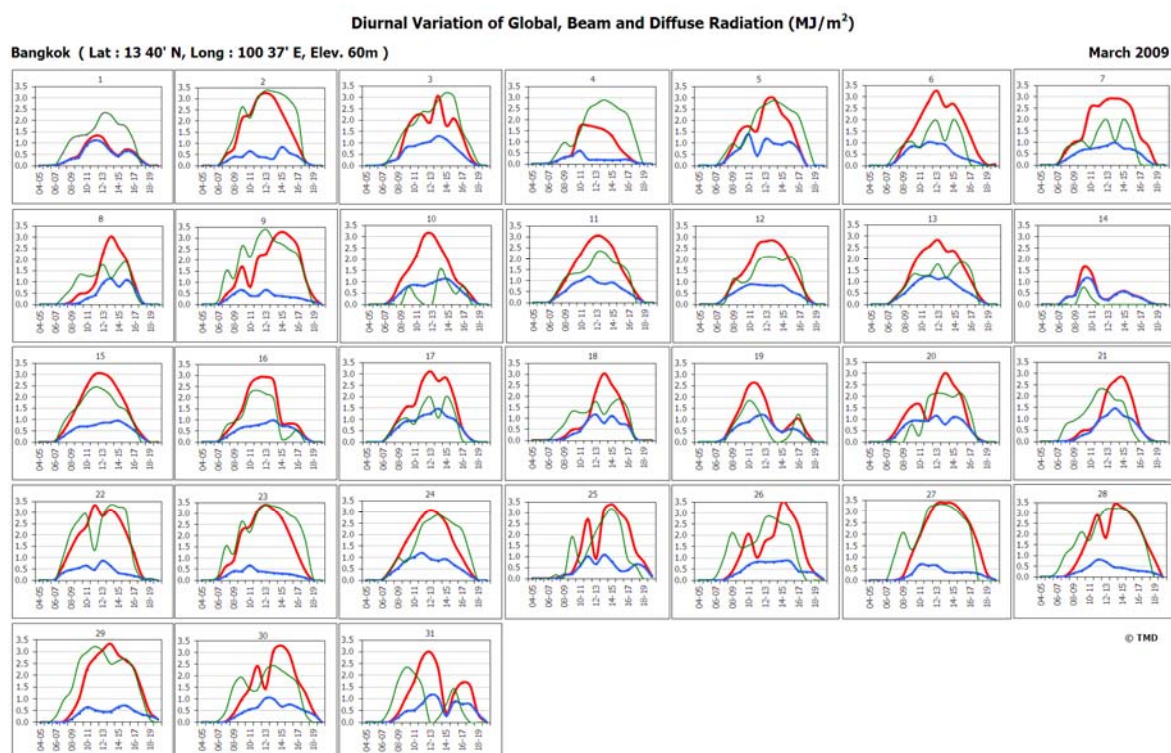
*หมายเหตุ... ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (RH) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ค. ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมที่บันทึกค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์รายวันจากเครื่องไพ
รานอมิเตอร์ ที่ติดตั้ง ณ กรมอุตุนิยมวิทยา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร ที่ใช้ในการเลือก
วันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง

Hourly Average of Global Radiation, MJ/m ²																		
Station	Bangkok (Lat : 13 40' N, Long : 100 37' E, Elev. 60m)																	Country
Instrument	Pyranometer (EKO MS-802)																	Thailand
	Month Year																	March 2009
Date/Time	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	Totals	
1	0.00	0.00	0.02	0.12	0.31	0.46	1.03	1.32	1.27	0.75	0.47	0.73	0.62	0.24	0.01	0.01	7.35	
2	0.00	0.00	0.00	0.51	0.80	2.12	2.29	3.07	3.28	3.07	2.41	1.70	0.96	0.22	0.00	0.00	20.44	
3	0.00	0.00	0.03	0.20	0.36	1.53	2.13	2.23	1.90	3.06	1.77	2.06	1.34	0.42	0.01	0.01	17.06	
4	0.00	0.00	0.02	0.13	0.31	0.46	1.71	1.75	1.67	1.56	1.28	0.72	0.36	0.09	0.01	0.00	10.09	
5	0.00	0.00	0.00	0.18	0.85	1.58	1.75	1.55	2.83	3.00	2.31	1.87	0.89	0.05	0.00	0.00	16.85	
6	0.00	0.00	0.00	0.18	0.85	1.40	2.09	2.77	3.27	2.59	2.69	2.13	1.32	0.48	0.06	0.07	19.90	
7	0.00	0.00	0.05	0.59	1.01	1.18	2.54	2.60	2.89	2.93	2.86	2.48	1.26	0.84	0.05	0.00	21.29	
8	0.00	0.00	0.01	0.01	0.16	0.48	0.54	0.97	2.30	3.03	2.50	1.93	0.91	0.08	0.00	0.00	12.92	
9	0.00	0.00	0.00	0.46	0.84	1.71	0.80	2.12	2.30	3.01	3.28	3.07	2.60	1.12	0.34	0.00	21.65	
10	0.00	0.00	0.03	0.34	1.08	1.56	2.16	3.04	3.11	2.56	1.93	1.11	0.80	0.39	0.00	0.00	18.12	
11	0.00	0.00	0.03	0.45	1.02	1.70	2.25	2.81	3.07	2.92	2.50	1.62	1.00	0.38	0.00	0.00	19.75	
12	0.00	0.00	0.02	0.33	0.99	1.35	1.89	2.69	2.83	2.84	2.52	1.81	1.07	0.32	0.00	0.00	18.67	
13	0.00	0.00	0.02	0.37	0.81	1.71	2.29	2.56	2.84	2.35	2.33	1.71	1.02	0.34	0.00	0.00	18.34	
14	0.00	0.00	0.00	0.33	0.44	1.62	1.40	0.38	0.23	0.47	0.60	0.43	0.31	0.12	0.00	0.00	6.33	
15	0.00	0.00	0.04	0.45	1.03	1.74	2.47	3.00	3.05	2.85	2.33	1.67	0.85	0.34	0.00	0.00	19.83	
16	0.00	0.00	0.04	0.43	0.86	1.47	2.57	2.89	2.93	2.77	0.88	0.83	0.75	0.23	0.00	0.00	16.66	
17	0.00	0.00	0.03	0.46	1.07	1.56	1.65	2.71	3.12	2.70	2.83	1.96	0.63	0.17	0.00	0.00	18.90	
18	0.00	0.00	0.02	0.01	0.16	0.48	0.54	0.95	2.24	3.03	2.53	1.97	0.94	0.09	0.00	0.00	12.95	
19	0.00	0.00	0.00	0.18	0.85	1.57	2.50	2.60	1.91	0.78	0.48	0.78	1.05	0.43	0.00	0.00	13.13	
20	0.00	0.00	0.04	0.43	1.08	1.56	1.65	0.95	2.24	3.03	2.53	1.96	0.63	0.17	0.00	0.00	16.27	
21	0.00	0.00	0.02	0.01	0.16	0.48	0.54	0.95	2.24	2.70	2.83	1.96	0.63	0.17	0.00	0.00	12.68	
22	0.00	0.00	0.04	0.65	1.39	2.03	2.40	3.32	2.86	3.11	2.83	2.13	1.23	0.23	0.01	0.00	22.22	
23	0.00	0.00	0.07	0.62	0.91	2.23	2.40	3.12	3.39	3.18	2.82	2.09	1.23	0.45	0.01	0.00	22.52	
24	0.00	0.00	0.03	0.45	1.02	1.70	2.25	2.81	3.07	2.92	2.49	1.61	0.98	0.37	0.00	0.00	19.70	
25	0.00	0.00	0.00	0.02	0.17	0.28	1.20	2.72	0.90	3.11	3.40	3.01	2.57	1.25	0.76	0.14	19.54	
26	0.00	0.00	0.00	0.03	0.38	1.13	2.07	1.00	1.74	2.01	3.47	3.10	2.42	0.95	0.31	0.03	18.66	
27	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21	1.10	1.96	2.77	3.35	3.38	3.35	2.99	2.44	1.50	0.30	0.00	23.38	
28	0.00	0.00	0.00	0.03	0.41	1.10	2.00	2.91	1.84	3.37	3.27	3.00	2.47	1.61	0.84	0.00	22.85	
29	0.00	0.00	0.00	0.03	0.40	1.05	2.27	2.74	3.08	3.33	2.86	2.62	2.28	1.39	0.45	0.15	22.65	
30	0.00	0.00	0.00	0.03	0.39	0.98	1.47	2.43	1.45	3.07	3.30	2.93	1.85	1.27	0.50	0.01	19.68	
31	0.00	0.00	0.00	0.03	0.39	1.08	1.74	2.74	2.99	2.31	0.40	1.25	1.69	1.56	0.34	0.01	16.53	
N	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	
Avg. Global	0.00	0.00	0.02	0.26	0.67	1.30	1.82	2.27	2.46	2.64	2.32	1.91	1.26	0.56	0.13	0.01	17.64	
Max. Global	0.00	0.00	0.07	0.65	1.39	2.23	2.57	3.32	3.39	3.38	3.47	3.10	2.60	1.61	0.84	0.15	23.38	
Min. Global	0.00	0.00	0.00	0.01	0.16	0.28	0.54	0.38	0.23	0.47	0.40	0.43	0.31	0.05	0.00	0.00	6.33	

© TMD





ง. ทดสอบทางสถิติด้วยค่า Standards divisions (SD) ของแบบจำลองที่ 1-6 ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554

ตารางที่ 1(ง) วิเคราะห์ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ของปี พ.ศ. 2552

2552	SD-model1	SD-model2	SD-model3	SD-model4	SD-model5	SD-model6
Mar	0.92	0.13(min)	0.62	0.75	0.16(min)	4.06
Apr	0.23	1.13	1.55(max)	0.02(min)	1.77	1.76
May	0.45	2.58(max)	0.96	1.05	2.03(max)	4.81
Jul	0.03(min)	0.14	1.10	1.64(max)	1.29	5.44(max)
Aug	1.08(max)	0.85	1.35	0.82	1.66	1.19(min)
Sep	0.41	2.01	0.07(min)	1.39	1.53	2.26
Oct	0.37	0.46	0.61	0.88	0.60	2.44
Nov	0.80	0.59	0.98	0.67	0.60	3.40
Dec	0.86	0.94	0.23	0.20	1.19	4.03
MEAN	0.45	0.85	0.96	0.82	1.29	3.40

ตารางที่ 2(ง) วิเคราะห์ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ของปี พ.ศ. 2553

2553	SD-model1	SD-model2	SD-model3	SD-model4	SD-model5	SD-model6
Jan	1.65	1.38	1.11	0.94	0.34	0.05(min)
Feb	0.30	0.93	1.01	0.63	0.81	1.74
Mar	0.13(min)	1.08	0.91	0.04(min)	0.28(min)	1.55
Apr	1.59	3.02	2.22	0.45	0.55	3.24
May	2.31	3.57	3.66	0.42	3.23	4.87(max)
Jun	2.63 (max)	3.86	3.22	2.21	2.03	4.13
Jul	1.33	0.29(min)	0.30	0.89	1.52	0.15
Aug	0.48	6.03(max)	4.03(max)	5.02(max)	5.25(max)	4.83
Sep	0.81	1.88	0.01(min)	1.23	0.64	0.13
Oct	0.31	2.27	1.02	2.28	1.33	1.54
Nov	1.52	1.22	1.97	0.49	0.76	0.26
Dec	2.53	2.80	2.55	0.81	1.22	0.92
MEAN	1.43	2.08	1.54	0.85	1.02	1.54

ตารางที่ 3(ง) วิเคราะห์ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ของปี พ.ศ. 2554

2554	SD-model1	SD-model2	SD-model3	SD-model4	SD-model5	SD-model6
Jan	1.49	2.43	0.20	0.23	1.29	0.42
Feb	1.74	2.56	0.02	0.83	1.51	0.39
Mar	0.76	1.60	0.00(min)	1.04	1.12	1.23
Apr	1.94(max)	2.66	0.89	1.40	1.81(max)	1.11
May	1.26	1.53	0.08	0.70	1.18	0.53
Jun	0.23(min)	3.35(max)	0.98(max)	1.01	0.78	1.72(max)
Jul	1.81	1.82	0.49	1.72(max)	1.80	1.13
Aug	0.77	0.20	0.87	0.28	0.82	0.96
Sep	0.38	0.81	0.59	0.15(min)	0.27(min)	0.29(min)
Oct	0.46	0.15(min)	0.78	0.90	0.59	0.86
Nov	1.26	0.42	0.06	1.57	1.37	0.77
Dec	1.41	1.40	0.04	0.78	1.33	0.49
MEAN	1.26	1.57	0.34	0.87	1.24	0.82

สรุปผลจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติซึ่งแสดงด้วยค่าเฉลี่ย (Standard deviation, SD) พบว่า ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554 แบบจำลองที่ให้ผลการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิได้ดีที่สุดสำหรับทุกเดือนคือแบบจำลองที่ 1, 4 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดสอบทางสถิติที่แสดงด้วยค่า MAPE, RMSE, C และ R^2

Year	SD-model1	SD-model2	SD-model3	SD-model4	SD-model5	SD-model6
2552	0.45	0.85	0.96	0.82	1.29	3.4
2553	1.43	2.08	1.54	0.85	1.02	1.54
2554	1.26	1.57	0.34	0.87	1.24	0.82
Mean	1.26	1.57	0.96	0.85	1.24	1.54

จ. ทดสอบทางสถิติด้วยค่า **Standards divisions (SD)** ของแบบจำลองที่ 7-10 ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554

ตารางที่ 1(จ) ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ของปี พ.ศ. 2552

ปี พ.ศ.2552	ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ในปี พ.ศ. 2552 ของแบบจำลองที่ 7-10			
	SD-model 7	SD-model 8	SD-model 9	SD-model 10
Mar	0.69	1.48	0.80	1.28
Apr	1.43	1.56(max)	1.31	1.43(max)
May	0.89	0.19(min)	0.86	0.31
Jul	0.96	0.69	0.97	0.74
Aug	0.01(min)	0.76	0.13	0.48
Sep	0.13	0.00	0.08(min)	0.05(min)
Oct	1.12	1.36	1.07	1.19
Nov	1.49(max)	0.85	1.38(max)	1.00
Dec	1.32	0.79	1.26	0.94
MEAN	0.96	0.79	0.97	0.94

ตารางที่ 2(จ) ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ของปี พ.ศ. 2553

ปี พ.ศ.2553	ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ในปี พ.ศ. 2553 ของแบบจำลองที่ 7-10			
	SD-model 7	SD-model 8	SD-model 9	SD-model 10
Jan	0.41	0.15	1.85	1.88
Feb	0.14	0.07(min)	2.01	2.03
Mar	0.90	1.00	3.12	3.13(max)
Apr	0.76	0.23	2.60	2.59
May	0.12	0.65	1.36	1.36
Jun	0.74	1.73(max)	0.65(min)	0.63(min)
Jul	1.46(max)	0.88	3.76(max)	3.71
Aug	0.13	0.32	2.27	2.23
Sep	0.10(min)	0.35	2.42	2.43
Oct	1.31	1.14	0.78	0.79
Nov	0.59	0.11	1.65	1.67
Dec	0.12	0.90	2.37	2.40
Mean	0.50	0.50	2.14	2.13

ตารางที่ 3(จ) ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ของปี พ.ศ. 2554

ปี พ.ศ.2554	ค่าความผิดพลาดแสดงด้วยค่า SD ในปี พ.ศ. 2554 ของแบบจำลองที่ 7-10			
	SD-model 7	SD-model 8	SD-model 9	SD-model 10
Jan	0.07(min)	0.45	1.49	1.68
Feb	0.13	0.86	1.77	2.04
Mar	1.49	0.22	2.94	2.63
Apr	0.38	0.64	0.90	1.77
May	0.38	0.01(min)	1.76	1.92
Jun	3.63(max)	0.92	5.12(max)	4.05(max)
Jul	0.02	0.17	1.21	1.55
Aug	1.13	1.30(max)	0.38(min)	0.57(min)
Sep	1.06	0.90	2.55	1.89
Oct	0.15	0.28	1.69	1.58
Nov	0.57	0.23	1.01	1.15
Dec	0.74	0.41	0.78	0.89
Mean	0.48	0.43	1.59	1.73

สรุปผลจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติซึ่งแสดงด้วยค่าเฉลี่ย (Standard deviation, SD) พบว่า ในปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554 แบบจำลองที่ให้ผลการประมาณค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แบบแปรผันได้ดีที่สุดสำหรับทุกเดือนคือแบบจำลองที่ 8 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดสอบทางสถิติที่แสดงด้วยค่า MAPE, RMSE, C และ R^2

ตารางที่ 4(จ) ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรายปีแสดงด้วยค่า SD ของปี พ.ศ. 2554

Year	SD-model 7	SD-model 8	SD-model 9	SD-model 10
2552	0.50	0.50	2.14	2.13
2553	0.53	0.42	1.40	1.57
2554	0.48	0.43	1.59	1.73
Mean	0.50	0.43	1.59	1.73

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ – ชื่อสกุล

กীরติ วงศ์พะตาย

วัน-เดือน-ปีเกิด

11 มกราคม พ.ศ. 2533

สถานที่เกิด

นครศรีธรรมราช

ที่อยู่ปัจจุบัน

11/2 หมู่ 3 ต.ถ้ำใหญ่ อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษาปลาย

จาก โรงเรียนสตรีทุ่งสง (วิทย์-คณิต)

ระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

จาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พ.ศ.2559

ระดับปริญญาโทสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

