



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการกลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

การจัดการกลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม
สาขา

อนุรักษ์วิทยา
ภาควิชา

เรื่อง การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E ในการ
ประเมินค่าปริมาณฝนในประเทศไทย

Application of Artificial Neural Networks (ANNs) and FY-2E Satellite Image for Rainfall
Estimation in Thailand

นามผู้วิจัย นายฟาตา มรรยทวิ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ปิยพงษ์ ทองดินนอก, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

รักษาราชการแทน (อาจารย์สุกฤษฎี เกิดแสง, วท.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชชัย ดันตลีรินทร์, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กาญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E ในการประเมินค่า
ปริมาณฝนในประเทศไทย

Application of Artificial Neural Networks (ANNs) and FY-2E Satellite Image for Rainfall
Estimation in Thailand

โดย

นายฟาตา มรรยทวิ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฟาตา มรรยทวิ 2557: การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและภาพถ่ายดาวเทียม
FY-2E ในการประเมินค่าปริมาณฝนในประเทศไทย ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการ
ลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม) สาขาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ปิยพงษ์ ทองคีนอก, ปร.ค. 106 หน้า

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าปริมาณฝนจากดาวเทียม FY-2E โดยการใช้ข้อมูลช่วงคลื่น
ความร้อน 4 ช่วงความยาวคลื่น ประกอบด้วย IR1, IR2, WV และ IR4 บันทึกข้อมูลทุกชั่วโมงในช่วงระหว่างวันที่
1 กรกฎาคม ถึง 31 ธันวาคม 2553 โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างกับความเข้มฝนที่
ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน โดยการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
(Artificial Neural Networks; ANNs) จากนั้นทำการปรับแก้ความถูกต้อง โดยใช้ค่าความผิดพลาดโดยประมาณ
(percentage error) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE)

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิส่องสว่าง มีค่าผันแปรสูงสุดปรากฏในช่วงฤดูหนาว และ
มีค่าต่ำสุดในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากช่วงฤดูฝนมีค่าความเปียกของพื้นที่ดินสูงทำให้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำลง
มากกว่าช่วงฤดูอื่น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนกับค่าปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัด
ได้ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเกิดฝนนั้นมีหลายปัจจัย และมีเงื่อนไขของสภาพบรรยากาศ
สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในระดับปานกลางและสูง โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 58 ถึง 99
ทั้งนี้ค่าความสัมพันธ์สูงปรากฏในช่วงที่มีปริมาณฝนตกสูง ส่วนค่าความสัมพันธ์ต่ำปรากฏในช่วงที่มีค่าปริมาณ
น้ำฝนต่ำและเมื่อทดสอบความถูกต้องพบว่ามีค่าร้อยละความผิดพลาดโดยประมาณอยู่ในช่วง 29.96-40.72 และค่า
รากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าอยู่ในช่วง 29.07-45.62 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในทาง
อุตุนิยมนวิทยา

Fatah Masthawee 2014: Application of Artificial Neural Networks (ANNs) and FY-2E Satellite Image for Rainfall Estimation in Thailand. Master of Science (Watershed and Environmental Management), Major Field: Watershed and Environmental Management, Department of Conservation. Thesis Advisor: Mr.Piyapong Tongdeenok, Ph.D. 106 pages.

The objectives of this research were estimate brightness temperature from remotely sensed data as FY-2E satellite, and evaluate rain rate amount by using Artificial Neural Networks (ANNs) model. The brightness temperature belong to satellite wave length were limiting parameter in ANNs model and correlated with automatic rainfall field recording data. The percentage error and root of the mean square error (RMSE) were employ to calibration and validation approach. The data were compile during 1 July to 31 December 2010 and bands resolution within FY-2E were used as IR1, IR2, WV and IR4 for find out brightness temperature.

The results showed that the average monthly brightness temperature highest appeared in winter season and lowest was in rainy season due to the wetness of land cover affected to decrease surface temperature. The relationship between brightness temperature and rain rate were no significant in every region of Thailand due to rainfall amount were cause from various factors and atmospheric condition. The ranged of correlation between rainfall estimation and observation was moderated to high as 58 – 99 percentage which high correlation in heavy rainy period and moderately showed in dry period. The model calibration and validation were found that the relationship seem to be low with ranged 29.96 to 40.72 of parameter error and 29.07 to 45.62 of RSME respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณในความเมตตากรุณาของ ดร.ปิยพงษ์ ทองดินนอก อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ดร.สุกฤษฎ์ เกิดแสง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ประสงค์
สงวนธรรม ประธานกรรมการสอบ ดร.ประเสริฐ อังสุรัตน์ ผู้ทรงคุณวุฒิ รศ.ดร.วีระศักดิ์ อุดมโชค
และ อ.บุญเลิศ อาชีวะระงับโรค ที่สอนให้ข้าพเจ้ารู้จักคิด และเรียนรู้การทำวิจัย ตลอดจนให้
คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ ตรวจสอบแก้ไข และเป็นกำลังใจที่สำคัญตลอดมา จนทำให้
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่น้อง และเพื่อนๆ ทั้งที่สาขาวิชาการจัดการกลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อมและที่กรม
อุตุนิยมหาวิทยาลัยทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ หวังดี และคอยเป็นกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมทั้งภรรยา ที่ให้การสนับสนุนด้านการเรียน
การศึกษา รวมทั้งญาติพี่น้อง ครู อาจารย์ ที่คอยให้ความรักความเมตตา ห่วงใย อบรมสั่งสอน และ
เป็นกำลังใจที่ดีให้เสมอมาจนทำให้มีวันนี้ คุณค่าแห่งความดี และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์
เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ฟาตา มรรยทวี

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	93
สรุป	93
ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	96
ภาคผนวก	101
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ข้อมูลการตรวจวัดของดาวเทียม FY-2E	30
2 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ	40
3 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ	42
4 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ	44
5 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	45
6 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	47
7 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	49
8 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคกลาง	51
9 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคกลาง	53
10 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคกลาง	54
11 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก	56
12 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก	58
13 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก	59
14 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคใต้	61
15 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคใต้	63
16 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคใต้	65
17 ค่าทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียม	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- 18 ค่าทางสถิติของการทดสอบค่าระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลอง
โครงข่ายประสาทเทียม

92



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะของการเกิดฝน	6
2	โครงสร้างถึงวัดน้ำฝนแบบแก้วดวง	8
3	โครงสร้างถึงวัดน้ำฝนแบบชั่งน้ำหนัก	9
4	โครงสร้างถึงวัดน้ำฝนแบบถ้วยกระดก	10
5	โครงสร้างถึงวัดน้ำฝนแบบลูกกลอย	11
6	ตัวอย่างภาพที่ได้จากเรดาร์	12
7	ตัวอย่างภาพที่ได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา	12
8	โครงสร้างระบบประสาทในสมองของมนุษย์	14
9	โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม	15
10	รูปแบบการเชื่อมต่อและการไหลของข้อมูลในระบบการสำรวจระยะไกล	17
11	คุณสมบัติของข้อมูลดิจิทัล	21
12	การเคลื่อนที่ของดาวเทียมแบบโคจรรอบโลก	23
13	ดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้า	24
14	ตัวอย่างของภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงอุณหภูมิยอดเมฆในช่วงคลื่น IR1 ของดาวเทียม FY-2E	29
15	จุดติดตั้งสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา	31
16	สถานีตรวจวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา	32
17	ขั้นตอนการศึกษา	33
18	ตัวอย่างโปรแกรมการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินอุณหภูมิยอดเมฆ	34
19	ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อตัวของเมฆ อุณหภูมิยอดเมฆ และปริมาณฝน	35
20	ผลการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้เทคนิค ANNs เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริง (mm/sec)	36
21	ความผันแปรของค่าอุณหภูมิสองสัปดาห์เฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคเหนือ	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
22 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคเหนือ	43
23 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคเหนือ	45
24 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	46
25 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ	48
26 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	50
27 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคกลาง	52
28 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาค กลาง	54
29 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคกลาง	55
30 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคตะวันออก	57
31 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาค ตะวันออก	59
32 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคตะวันออก	60
33 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่น ในพื้นที่ภาคใต้	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
34 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคใต้	64
35 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคใต้	66
36 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคเหนือ	67
37 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคเหนือ	68
38 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคเหนือ	68
39 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคเหนือ	69
40 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	70
41 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	71
42 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	71
43 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	72
44 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคกลาง	73
45 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคกลาง	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
46 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคกลาง	74
47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคกลาง	75
48 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคตะวันออก	76
49 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคตะวันออก	77
50 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคตะวันออก	77
51 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคตะวันออก	78
52 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคใต้	79
53 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคภาคใต้	79
54 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคภาคใต้	80
55 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคภาคใต้	81
56 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคเหนือ	82
57 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
58 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคกลาง	84
59 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออก	85
60 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคใต้	86
61 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคเหนือ	88
62 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	89
63 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคกลาง	90
64 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออก	90
65 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคใต้	91

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
artificial neuron networks (ANNs)	หมายถึงแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
brighthness temperature	หมายถึงค่าอุณหภูมิการแผ่รังสี โดยแสดงในรูป ความสว่างของก้อนเมฆ
FY-2E	หมายถึงดาวเทียม Fengyun ซึ่งเป็นดาวเทียม อุตุนิยมวิทยาของประเทศจีน
geostaionary	หมายถึง ดาวเทียมที่มีวงโคจรค้างฟ้า
IR1	หมายถึงช่วงคลื่นเทอมอลอินฟราเรดโดยมีความยาว คลื่นอยู่ระหว่าง 10.3-11.3 ไมโครเมตร
IR2	หมายถึงช่วงคลื่นเทอมอลอินฟราเรดโดยมีความยาว คลื่นอยู่ระหว่าง 11.5-12.5 ไมโครเมตร
IR4	หมายถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นโดยมีความ ยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 3.5-4.0 ไมโครเมตร
K	หมายถึงเคลวิน ซึ่งเป็นหน่วยวัดอุณหภูมิ
rain rate	หมายถึงปริมาณฝนมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อ ชั่วโมง
WV	หมายถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดโดยมีความยาวคลื่นอยู่ ระหว่าง 6.3-7.6 ไมโครเมตร โดยจะให้ค่าไอน้ำที่ อยู่ในบรรยากาศ

การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E ในการ ประเมินค่าปริมาณฝนในประเทศไทย

Application of Artificial Neural Networks (ANNs) and FY-2E Satellite Image for Rainfall Estimation in Thailand

คำนำ

ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยเผชิญกับภัยธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะทางด้าน อุทกภัยซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2553 และปี พ.ศ. 2554 ซึ่ง เฉพาะในปี พ.ศ. 2554 นั้นพบว่า ได้มีปรากฏการณ์น้ำท่วมหนักที่สุดอย่างที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลางและกรุงเทพมหานคร ซึ่งพบว่าสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งเกิดจาก ปริมาณน้ำที่มีมากเกินไปจนบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดการท่วมจากการหลาก ของน้ำในลำน้ำหรือน้ำล้นตลิ่ง โดยทั่วไปการคาดการณ์เหตุการณ์น้ำล้นตลิ่งสามารถทำได้หากมี ข้อมูลที่ถูกต้องและเพียงพอ ขณะเดียวกันเหตุการณ์น้ำท่วมอีกรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นรวดเร็วและอาจ เป็นอันตรายถึงชีวิตมากกว่าหากไม่สามารถทำการเตือนภัยได้ทันทั่วทั้งที่ ได้แก่การเกิดน้ำท่วม จับพลันซึ่งมีสาเหตุมาจากฝนที่ตกหนักและต่อเนื่อง โดยสาเหตุหลักของการเกิดเหตุดังกล่าวนี้ก็คือ ปริมาณน้ำฝน ซึ่งน้ำฝนเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถพยากรณ์ได้ เนื่องจากการมีความแปรปรวนอย่าง มากไม่ว่าจะในเรื่องของปริมาณการเกิด และเวลาที่คาดว่าจะตกลงมา ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือเรดาร์ ซึ่งให้ค่าการประมาณฝนที่มีความถูกต้องสูง แต่ก็มีค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วย รวมทั้งเรดาร์ มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่เนื่องจากสัญญาณไม่ครอบคลุม รวมทั้งไม่สามารถตรวจวัดในหลายพื้นที่ได้ เช่นบริเวณเทือกเขา หรือทะเล ขณะที่อีกวิธีการหนึ่งที่ก้าวหน้าอย่างมากในปัจจุบัน และเป็นที่ยอมรับ มากขึ้นในการนำมาประเมินค่าปริมาณฝน รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายที่ถูกลงกว่ามาก นั่นก็คือการพยากรณ์ฝน จากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งการประเมินค่าปริมาณน้ำฝนจากภาพถ่ายดาวเทียมให้ถูกต้องได้นั้นขึ้นอยู่กับ คุณภาพของภาพที่ดาวเทียมบันทึกในระยะไกล รวมถึงวิธีการแปลภาพถ่ายดาวเทียมด้วย

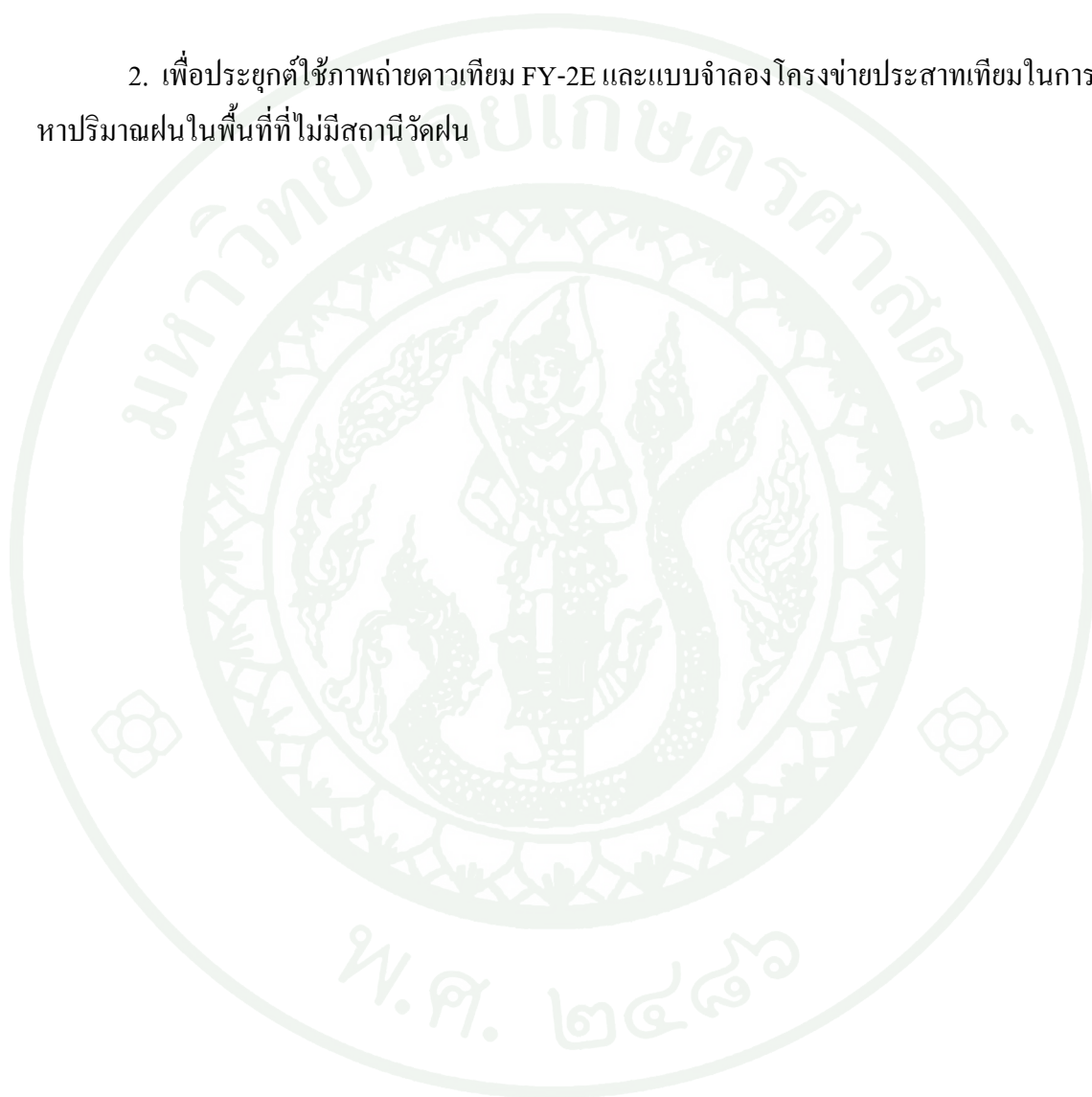
สำหรับข้อดีของการนำข้อมูลดาวเทียมมาประยุกต์ใช้นั้นพบว่า ดาวเทียม FY-2E นั้นมี ความละเอียดทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา โดยเฉพาะในจุดตรวจวัดที่สามารถเข้าถึงได้ยาก รวมถึงจุดวัด ที่ไม่สามารถติดตั้งถึงวัดน้ำฝน รวมทั้งจุดที่เรดาร์ไม่สามารถตรวจวัดได้ อาทิเช่น พื้นที่หลังเขา มหาสมุทรหรือภูเขาน้ำแข็ง เป็นต้น และเนื่องจากดาวเทียม FY-2E นั้นเป็นดาวเทียมมีวงโคจรอยู่ที่

105 องศาตะวันออก บริเวณประเทศสิงคโปร์ ดังนั้นจึงสามารถถ่ายภาพประเทศไทยได้โดยไม่ต้องปรับแก้ความถูกต้องต่างกับดาวเทียมอวกาศอื่น ที่ต้องมีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีทางเรขาคณิต ด้วยวิธีการทางสถิติต่าง ๆ เนื่องจากพื้นที่ตั้งประเทศไทยอยู่บริเวณขอบของภาพถ่าย อย่างไรก็ตามการวัดค่าปริมาณน้ำฝนจากภาพถ่ายดาวเทียมนั้นเป็นการวัดทางอ้อม และต้องการข้อมูลการตรวจวัดจากภาคสนาม มาปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเพื่อให้มีความถูกต้องสูง ทั้งนี้พบว่าประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินอย่างรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้แบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดที่ทันต่อเวลามากขึ้นไปด้วย

ส่วนโครงข่ายประสาทเทียม หรือ ANNs นั้นเป็นแบบจำลองที่อาศัยการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ โดยมีความโดดเด่นในเรื่องของการเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนและไม่เชิงเส้น (เลอพงษ์, 2546) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมและปริมาณน้ำฝนนั้นเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยเป็นข้อมูลที่ได้จากระบบเปิดซึ่งมีปัจจัยแวดล้อมหลายปัจจัยและไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายดาวเทียม จะทำให้การประเมินค่าปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยการทำการศึกษาวิธีการประเมินปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียม FY-2E เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับค่าอุณหภูมิส่องสว่างในช่วงคลื่นที่แตกต่างกันโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อนำไปใช้ในการประเมินค่าปริมาณฝนในพื้นที่ที่เข้าถึงยากและไม่มีสถานีวัดฝน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ในการประมาณค่าน้ำฝนโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
2. เพื่อประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการหาปริมาณฝนในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดฝน



การตรวจเอกสาร

ในส่วนของการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องนั้น สามารถแบ่งประเด็นหลักออกได้เป็น 4 ประเด็นสำคัญดังนี้

1. คุณลักษณะและการวัดปริมาณน้ำฝน
2. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม
3. การสำรวจระยะไกล
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. คุณลักษณะและการวัดปริมาณน้ำฝน

น้ำฝนเป็นลักษณะหนึ่งของหยาดน้ำฟ้า (precipitation) นั่นคือเป็นน้ำจากอากาศที่อยู่ในรูปของของเหลว ซึ่งถ้าหยาดน้ำฟ้าอยู่ในรูปของของแข็งก็จะเรียกว่าลูกเห็บ หรือหิมะ โดยหยาดน้ำฟ้าก็คือน้ำที่เกิดจากความชื้นที่มีอยู่ในอากาศที่ได้รับความเย็นจนมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีน้ำหนักมากกว่าแรงลอยตัวและแรงต้านทานหรือแรงเสียดทานระหว่างน้ำกับอากาศ จึงตกลงมาสู่ผิวโลก (กิริติ, 2552) ส่วนวีระพล (2528) ให้ความหมายไว้ว่าเป็นลักษณะที่ไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศเย็นตัวลงและควบแน่นกันจนมีขนาดโตและมีน้ำหนักมากขึ้น จนไม่สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้ จึงตกลงมาสู่พื้นดิน

สำหรับน้ำฝนนั้นพบว่าเป็นปัจจัยนำเข้าสำคัญของระบบอุทกวิทยา ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของ การกระจายของฝน ความเข้มฝน และระยะเวลาที่ฝนตก นั้นมีผลกระทบต่อการไหลของน้ำ ความชื้นของดิน การชะล้างพังทลายของดิน การสูญเสียธาตุอาหาร และการกระจายของพันธุ์พืช ซึ่งจะเห็นได้ว่าการศึกษาด้านอุทกวิทยา หรือการศึกษาด้านลุ่มน้ำนั้นเรื่องของปริมาณฝนนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง (Chang, 2003) ซึ่งส่งผลต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นในด้านของ กายภาพและชีวภาพ อย่างไรก็ตามแม้ว่าปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยนำเข้าปัจจัยสำคัญ แต่พบว่าน้ำฝนนั้นเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ และมีความแปรปรวนสูง ซึ่งเป็นการยากที่จะทำการวัด ปริมาณฝนมีความถูกต้องมากที่สุด (Davie, 2008)

1.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดฝน

ตามหลักการทางวิทยาศาสตร์แล้ว พบว่า เมฆนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องกลายมาเป็นน้ำฝนเสมอไป ซึ่งการก่อตัวของเมฆนั้นก็อาจใช้เวลาเป็นวัน หรือหลาย ๆ วัน และการที่จะกลายเป็นฝนได้นั้นต้องหยดน้ำต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะตกลงมาได้ (Ahrens, 2010) ซึ่งมีปัจจัยดังต่อไปนี้

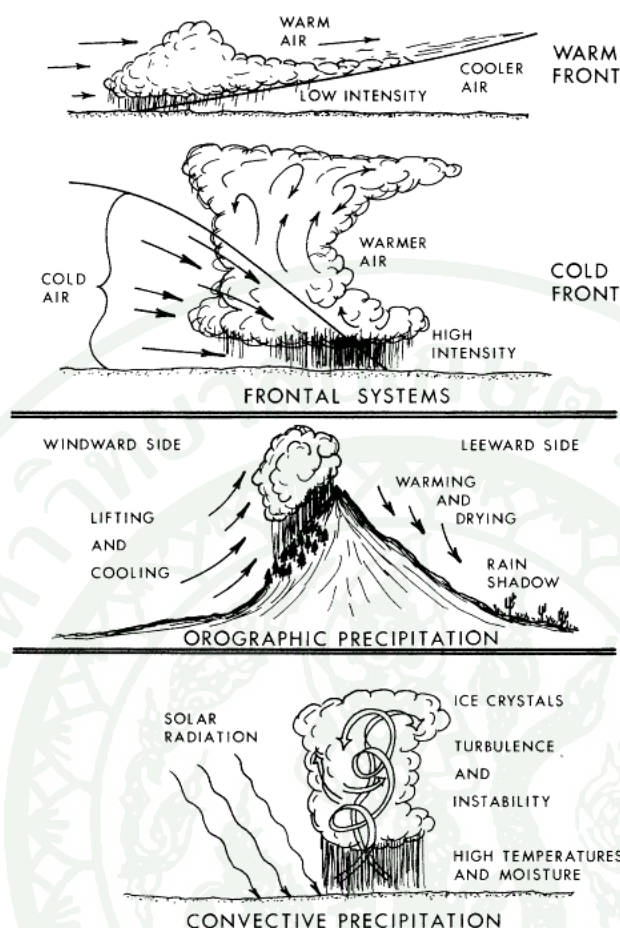
1.1.1 ความชื้นในอากาศหรือปริมาณน้ำในอากาศ (moisture) โดยถ้าความชื้นในอากาศมีมากกว่าไอน้ำอิ่มตัวที่อากาศจะรับไว้ได้ ก็จะทำให้เกิดฝนตกลงมา (กิริติ, 2552)

1.1.2 กระบวนการควบแน่น (mechanism of condensation) โดยทั่วไปจะเกิดจากการยกตัวของมวลอากาศ (Davie, 2008) ซึ่งขณะที่มวลอากาศลอยตัวสูงขึ้น มวลอากาศดังกล่าวจะขยายตัวเนื่องจากความดันบรรยากาศรอบ ๆ ตัวลดลง ขณะเดียวกันนั้นก็เกิดการเย็นตัวลง และเมื่ออุณหภูมิของมวลอากาศดังกล่าวเย็นลงจนถึงจุดน้ำค้าง จะทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการอิ่มตัว และเกิดการควบแน่นกลายมาเป็นน้ำฝน (กิริติ, 2552)

1.1.3 แกนการควบแน่น (condensation nuclei) เป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่ลอยอยู่ในอากาศ โดยจะให้ไอน้ำสามารถเกาะอยู่ที่บริเวณผิว มารวมตัวกันเป็นหยดน้ำใหญ่จนอากาศไม่สามารถจะรับไว้ได้ และมีลักษณะการตกที่แรงกว่าแรงเสียดทานระหว่างหยดน้ำกับอากาศและแรงลอยตัวของหยดน้ำ จึงตกลงมาเป็นฝนได้ ซึ่งแกนการควบแน่นนั้นได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ไอเกลือจากทะเลเกลือแกง เป็นต้น (Davie, 2008)

1.2 ชนิดของฝน

Ahrens (2010) ได้แบ่งลักษณะของฝนตามพฤติกรรมการพัฒนาตัวของเมฆฝนออกเป็น 4 ชนิดด้วยกันคือฝนที่เกิดจากการพาความร้อน ฝนภูเขา ฝนที่เกิดจากแนวปะทะอากาศ และฝนที่เกิดจากลมพัดสอบ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะของการเกิดฝน

ที่มา: Brooks (1997)

1.2.1 ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน (convective rain) คือฝนที่เกิดจากการที่มวลอากาศที่อยู่ใกล้บริเวณผิวโลกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ทำให้มวลอากาศบริเวณที่ได้รับความร้อนมากกว่าจะมีการขยายตัว ทำให้น้ำหนักเบา อุณหภูมิสูงขึ้น และจะลอยตัวขึ้นสู่ท้องฟ้า ซึ่งอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงตามแนวดิ่ง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง มวลอากาศนั้น ๆ ก็จะเกิดการกลั่นตัวและตกลงมากลายเป็นน้ำฝน (กิริติ, 2552)

ส่วน ธนิต (2547) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า จากการที่เมื่อพื้นดินได้รับความร้อนเต็มที่ ซึ่งทำให้อากาศบริเวณนั้นร้อนกว่าบริเวณใกล้เคียง ทำให้อากาศถูกยกตัวสูงขึ้น เพราะเบา

กว่าอากาศโดยรอบ และขณะที่มวลอากาศลอยตัวขึ้นนั้นจะเย็นตัวลงโดยไม่รับและสูญเสียความร้อนและไม่มีการควบแน่นจนถึงจุดหนึ่งที่อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะควบแน่นเป็นละอองน้ำและรวมตัวกันเป็นเมฆ

1.2.2 ฝนภูเขา (orographic rain) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวนอนนั่นคือเมื่อมวลอากาศเคลื่อนที่แล้วไม่สามารถผ่านอุปสรรคที่มีขนาดใหญ่หรือภูเขา ทำให้มวลอากาศถูกบังคับให้ยกตัวขึ้น (Ahrens, 2010) ซึ่งการที่มีทิศทางการเคลื่อนตัวไปปะทะกับแนวเขา แล้วเกิดการลอยตัวจากเชิงเขาขึ้นสู่เบื้องบนนั้น จะทำให้อุณหภูมิลดลงตามอัตราการลดลงของอุณหภูมิในแนวตั้งจนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งจะกลั่นตัวแล้วตกลงมาเป็นน้ำฝน (กิริติ, 2552)

1.2.3 ฝนที่เกิดจากแนวปะทะอากาศ (frontal precipitation) เกิดจากการที่มวลอากาศ 2 มวลที่มีอุณหภูมิและความหนาแน่นของมวลอากาศต่างกันมาปะทะกันทำให้เกิดการควบแน่นและเกิดฝนบริเวณรอบแนวปะทะนั้น ๆ (Raghunath, 2006) ซึ่งมวลอากาศอุ่น (warm air) จะมีความหนาแน่นน้อยกว่ามวลอากาศเย็น (cold air) แต่มวลอากาศอุ่นจะมีความชื้นมากกว่ามวลอากาศเย็น ดังนั้นในแนวปะทะอากาศมวลอากาศอุ่นจะลอยตัวเหนือมวลอากาศเย็นเสมอ (กิริติ, 2552)

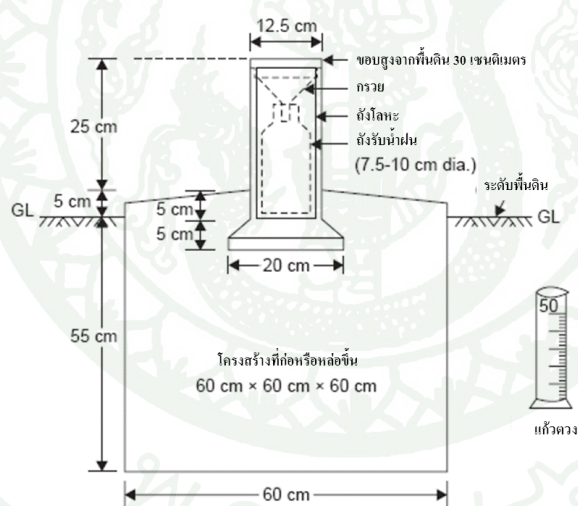
1.2.4 ฝนที่เกิดจากแนวลมพัดสอบ (convergence) เกิดจากการเคลื่อนที่ของลมสองทิศทางพัดเข้าหากันทำให้ลมดังกล่าวไม่มีทางออก หรือทางออกแคบลง ทำให้กระแสลมดังกล่าวเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบน และนำเอามวลอากาศขึ้นไปด้วย และเมื่ออุณหภูมิของมวลอากาศดังกล่าวลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ก็จะเกิดการกลั่นตัวลงมาเป็นน้ำฝน (กิริติ, 2552)

1.3 การตรวจวัดปริมาณฝน

การตรวจวัดปริมาณฝนสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือการตรวจวัดฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน การตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ และการตรวจวัดฝนด้วยดาวเทียม อุตุนิยมนิเทศ (Yilmaz *et al.*, 2005)

สำหรับการตรวจวัดฝนด้วยเครื่องวัดน้ำฝนภาคพื้นดินนั้นเป็นการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนเฉพาะจุด ส่วนการวัดปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ และดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานั้นเป็นการตรวจวัดที่สามารถบอกได้ถึงปริมาณฝนที่กระจายอยู่ตามสถานที่ต่าง ๆ และเวลาต่าง ๆ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

1.3.1 เครื่องวัดน้ำฝนแบบไม่บันทึกข้อมูลต่อเนื่อง (non-recording rain gauge) มีลักษณะเป็นแก้วทรงดงภาพที่ 2 โดยการวัดจะมีถึงฝนที่คอยรับน้ำฝนที่ตกลงมา และเมื่อถึงเวลาที่ต้องการวัดก็นำแก้วตวงมาวัดปริมาณน้ำที่ได้จากถังฝน ซึ่งวิธีนี้จะใช้วัดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในแต่ละครั้งเท่านั้น ไม่สามารถวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนอย่างต่อเนื่องได้ (กิริติ, 2552) เป็นเครื่องมือวัดน้ำฝนที่ไม่สามารถบันทึกปริมาณน้ำฝนได้ตลอดเวลา แต่จะวัดปริมาณน้ำฝนรวมในการอ่านแต่ละครั้งเท่านั้น โดยปกติแล้วการอ่านปริมาณน้ำฝนด้วยเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบไม่อัตโนมัตินี้จะกระทำวันละหนึ่งครั้งในเวลา 07.00 น. (ธนิต, 2547)



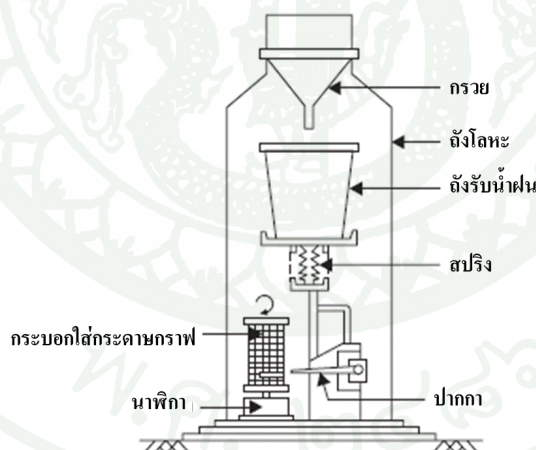
ภาพที่ 2 โครงสร้างถังวัดน้ำฝนแบบแก้วตวง

ที่มา: Raghunath (2006)

1.3.2 เครื่องวัดน้ำฝนแบบข้อมูลต่อเนื่อง (recording rain gauge) เป็นเครื่องมือวัดน้ำฝนที่สามารถคำนวณหาความเข้มของฝนที่ตก (intensity) และช่วงเวลาฝนตก (duration) ได้ ความลึกของน้ำฝนที่ตกจะบันทึกลงบนแผ่นกราฟ ซึ่งจะแบ่งเวลาให้ได้แผ่นละ 24 ชั่วโมง สำหรับ

การเก็บการเปลี่ยนแปลงกระดาศกราฟทุก ๆ วัน เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ อัตโนมัตินิยมใช้กันมีอยู่ 3 ชนิด คือ แบบชั่งน้ำหนัก (weighing gauge) แบบถังกระดก (tipping bucket gauge) และแบบทุ่นลอย (floating gauge) (กมลเดช, 2549)

ก. เครื่องวัดน้ำฝนแบบชั่งน้ำหนัก (weighing gauge) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 3 โดยจะประกอบไปด้วยที่รองรับน้ำฝน ถังครอบด้านบน กรวยรับน้ำฝน ถังชั่งน้ำหนักฝน เครื่องชั่งน้ำหนัก ปากกา และกระบอกหมุนพร้อมกราฟ ซึ่งหลักการของการวัดน้ำฝนแบบนี้ก็คือ เมื่อน้ำฝนตกลงมาผ่านที่รองรับน้ำฝนและกรวยสู่เครื่องชั่งน้ำหนักฝน ก็จะสะสมปริมาณน้ำฝนเรื่อย ๆ ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปกดจานเครื่องชั่งน้ำหนักที่เชื่อมโยงกับระบบกลไกของสปริงที่ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลปริมาณฝน โดยที่ปลายปากกาจะบันทึกผลลงบนกระดาศกราฟ ซึ่งกระดาศกราฟนั้นจะพันรอบอุปกรณ์ทรงกระบอกที่หมุนตามเข็มนาฬิกา ด้วยวิธีการดังกล่าวจึงสามารถทราบปริมาณฝนตามเวลาต่าง ๆ ได้ อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบนี้จำเป็นต้องจำเป็นที่จะต้องคอยตรวจสอบปริมาณน้ำในถังอยู่เสมอเพื่อเทน้ำออก เนื่องจากไม่มีระบบระบายน้ำออกจากถัง (กิริติ, 2552)

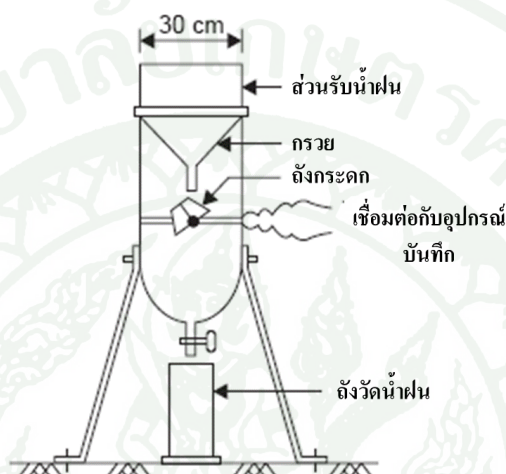


ภาพที่ 3 โครงสร้างถังวัดน้ำฝนแบบชั่งน้ำหนัก

ที่มา: Raghunath (2006)

ข. เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบถ้วยกระดก (tipping bucket gauge) ซึ่งประกอบไปด้วยที่รองรับน้ำฝน กรวยรับน้ำฝน ถ้วยกระดก ถังเก็บน้ำ และกระบอกรับน้ำ โดยการทำงานมี

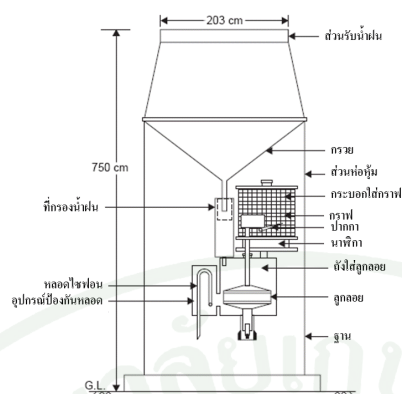
หลักการที่จะปล่อยให้น้ำฝนตกลงมาผ่านที่รับน้ำฝนแล้วไหลลงผ่านกรวย ลงสู่ถ้วยกระดกข้างใดข้างหนึ่งจากจำนวนสองข้าง ซึ่งเมื่อน้ำไหลเข้าสู่ถ้วยกระดกจนเต็มแล้ว ก็จะกระดกอีกฝั่งหนึ่งขึ้นมาแทนเพื่อรับน้ำต่อไป ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับว่าการกระดกหนึ่งครั้งเครื่องมืออื่น ๆ จะกำหนดให้เท่ากับค่าฝนเท่าใด ซึ่งรายละเอียดจะแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่นของเครื่องมือวัด ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 4 (กิริติ, 2552)



ภาพที่ 4 โครงสร้างถังวัดน้ำฝนแบบถ้วยกระดก

ที่มา: Raghunath (2006)

ค. เครื่องวัดน้ำฝนแบบลูกลอย (floating gauge) มีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 5 โดยมีหลักการคือ เมื่อน้ำฝนตกผ่านที่รองรับน้ำและกรวยรับน้ำมาแล้ว ก็จะลงสู่ถังฝน และเมื่อระดับน้ำในถังวัดฝนสูงขึ้น ก็จะทำให้ลูกลอยที่มีก้านต่ออยู่กับปากกาสูงขึ้นด้วย ซึ่งปากกาดังกล่าวจะบันทึกผลลงบนกราฟที่พันอยู่รอบลานนาฬิกา และเมื่อระดับน้ำสูงขึ้นจนถึงส่วนบนสุดของก้านน้ำ น้ำก็จะไหลออกจากถังผ่านท่ออากาศน้ำ ระดับน้ำก็จะลดลงไปต่ำสุด และก็จะเริ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ อีกครั้ง เป็นอย่างนี้สลับกันไป ซึ่งเทคนิคดังกล่าวทำให้สามารถทราบปริมาณฝนที่ตกตามเวลาที่ต้องการได้ (กิริติ, 2552)

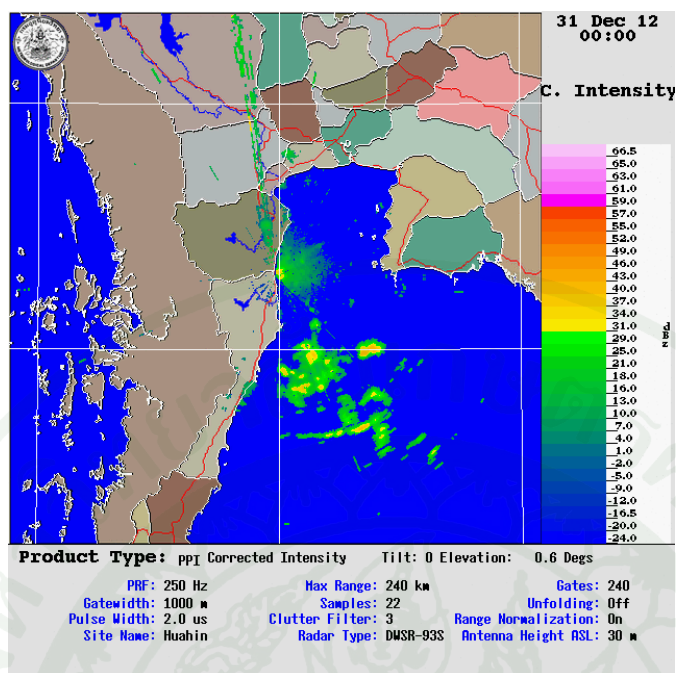


ภาพที่ 5 โครงสร้างถึงวัดน้ำฝนแบบตุลกลอย

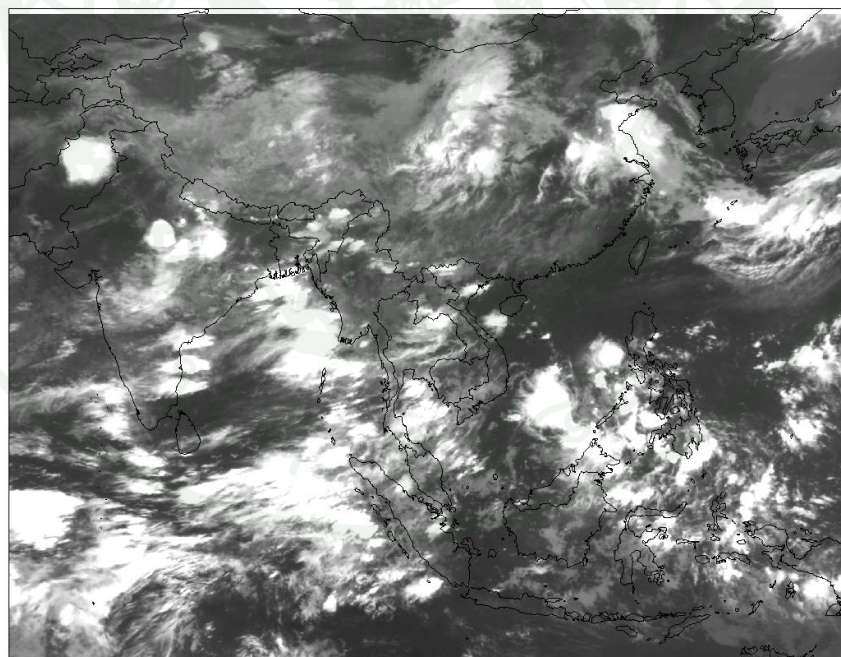
ที่มา: Raghunath (2006)

1.3.3 การตรวจวัดฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ (weather radar) เป็นการตรวจวัดปริมาณฝนโดยใช้คลื่นวิทยุ โดยมีหลักการในการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากจานเรดาร์ เข้าไปกระทบกับสิ่งกีดขวางไม่ว่าจะเป็น กลุ่มเมฆ กลุ่มฝน ต้นไม้ ภูเขา ซึ่งจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับ (reflection) ของสัญญาณจากเป้าหมาย โดยสิ่งที่ปรากฏอยู่บนจอเรดาร์ จะเป็นสัญญาณสะท้อน (echo) หรือ ความเข้มสะท้อน (echo intensity) ตามขนาดของกำลังสะท้อนกลับที่ตรวจวัดได้ (กิริติ, 2552) ดังตัวอย่างในภาพที่ 6 ซึ่งความเข้มของภาพจะมีความสัมพันธ์กับฝนที่ตก ดังนั้นหน้าจอเรดาร์ไม่เพียงแต่จะให้ข้อมูลปริมาณฝนเท่านั้น ยังสามารถที่จะบอกถึงความรุนแรงและการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝนได้ด้วย (Ahrens, 2010)

1.3.4 การตรวจวัดฝนด้วยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา (meteorological satellite) ซึ่งดาวเทียมคือยานอวกาศที่มนุษย์สร้างขึ้นมาใช้โคจรรอบ โลกและส่งภาพ (image) ของพื้นผิวและชั้นบรรยากาศของโลกกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน โดยดาวเทียมถูกนำมาใช้ในการประมาณฝนโดยใช้สัญญาณคลื่นที่สะท้อนหรือแผ่ออกมาจากพื้นดินและชั้นบรรยากาศ (ชนิต, 2547) โดยดาวเทียมดังกล่าวจะติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เอาไว้ โดยข้อมูลที่จะได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยานั้นประกอบไปด้วย ค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศที่ระดับความสูงต่าง ๆ จำนวนและความสูงของเมฆที่ลอยอยู่บนท้องฟ้า อุณหภูมิและค่าสะท้อนแสงของวัตถุที่ผิวพื้น เป็นต้น (กิริติ, 2552) ดังได้แสดงตัวอย่างไว้ในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ตัวอย่างภาพที่ได้จากรadar



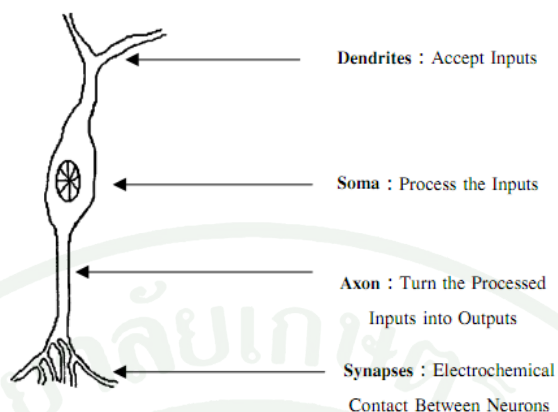
ภาพที่ 7 ตัวอย่างภาพที่ได้จากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

2. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neuron networks, ANNs) เป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาในยุคคอมพิวเตอร์ โครงข่ายประสาทเทียมคือระบบการคำนวณที่สร้างเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์เพื่อประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากข้อมูลที่มีอยู่เช่น การพยากรณ์อากาศ การพยากรณ์หุ้นในตลาดหลักทรัพย์ การพยากรณ์ทางดานอุทกวิทยา เป็นต้น (วรารุช, 2544)

จากแนวความคิดข้างต้น อาจกล่าวได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมคือ แบบอย่างกระบวนการบริหารข้อมูลอันยอดเยี่ยม โดยให้หลักการของระบบประสาทในสมองของมนุษย์ ซึ่งหัวใจหลักของระบบนั้นก็คือระบบการประมวลผลข้อมูล อันประกอบไปด้วยกลุ่มเซลล์ประสาทที่ทำงานรวมกันอย่างพร้อมเพรียง เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะด้าน โดยมีความสามารถคล้ายกับคนก็สามารถเรียนรู้จากตัวอย่างได้ ซึ่งเทคนิคนี้ได้ถูกค้นพบและพัฒนาครั้งแรก โดย McCulloch และ Pitts ในปี ค.ศ. 1943 (วรารุช และคณะ, 2547)

องค์ประกอบพื้นฐานของสมองมนุษย์คือกลุ่มเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ในการจดจำ คิด นำความรู้ และประสบการณ์ที่บันทึกไว้ในสมองมาใช้ตัดสินใจในชีวิตประจำวัน โดยแต่ละเซลล์ประสาท (neurons) อาจจะเชื่อมต่อกับเซลล์ประสาทอื่น ๆ มากถึง 200,000 เซลล์ประสาทพลังสมองของมนุษย์เกิดจากเซลล์ประสาทจำนวนมากมาย และระบบการเชื่อมต่อแบบซับซ้อนของเซลล์ประสาทจำนวนมากเหล่านี้ของมนุษย์ตามหลักวิชาประสาทวิทยา (neuroscience) จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ เดนไดรต์ (dendrites) ซึ่งทำหน้าที่ส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูล โซมา (soma) ทำหน้าที่ในส่วนประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น แอ็กซอน (axon) ทำหน้าที่ในส่วนที่แปลงข้อมูลที่ได้ประมวลเบื้องต้นเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ และจุดประสาน (synapses) หมายถึงเส้นประสาทที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารกับเซลล์ประสาทอื่นในระบบสมอง ดังแสดงในภาพที่ 8 (วรารุช, 2544)



ภาพที่ 8 โครงสร้างระบบประสาทในสมองของมนุษย์

ที่มา: วราวุธ (2544)

2.1 วิธีการประมวลผลโครงข่ายประสาทเทียม

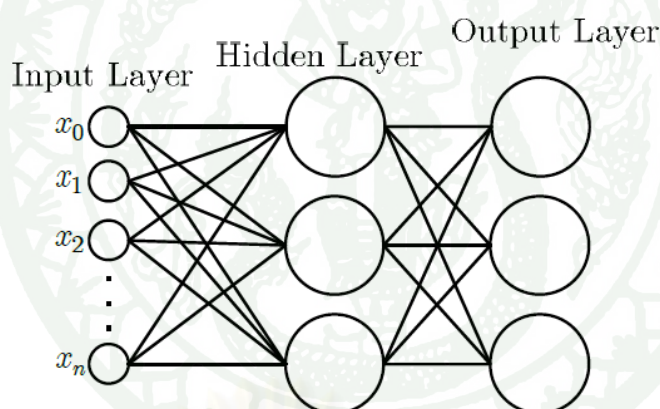
โครงข่ายประสาทเทียม (ANNs) จะจำลองการทำงานของหน้าที่ทั้ง 4 ในสมองมนุษย์ อย่างไรก็ตามโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างการทำงานที่ง่ายกว่าระบบประสาทในสมองมนุษย์มาก โดยโครงสร้างการทำงานของ 1 เซลล์ประสาทจะประกอบไปด้วยชุดข้อมูลนำเข้า (input) โดยให้เป็น X_i ค่าน้ำหนัก (weight) โดยให้เป็น W_i หลักการทั่วไปคือจะป้อนชุดข้อมูลนำเข้า X_i จากนั้นค่าน้ำหนัก W_i จะทำหน้าที่เชื่อมต่อชุดข้อมูลนำเข้า โดยการคูณเข้ากับ X_i ในแต่ละตัว (คำเกิง, 2544) จึงได้ผลรวมดังแสดงในสมการที่ (1)

$$I = \sum W_i \cdot X_i \quad (1)$$

หลังจากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะแปลงค่าผลรวมดังกล่าวให้เป็นผลลัพธ์ (Y) โดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก เช่น โลจิสติกส์ (logistic) สมการเชิงเส้น (linear) หรือ เกาส์เซียน (gaussian) เป็นต้น ดังในสมการที่ (2) โดยให้ฟังก์ชัน $f(I)$ คือ ฟังก์ชันตอบสนอง (response function)

$$Y = f(I) \quad (2)$$

ในส่วนของโครงสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบเคลื่อนไปข้างหน้าหลายชั้น (multilayer feedforward) จะประกอบด้วย โครงสร้างทั้งหมด 3 ชั้น คือ input layer, hidden layer และ output layer แสดงดังภาพที่ 9 โดยกระบวนการเรียนรู้จะใช้วิธีการเรียนรู้จากรูปแบบของข้อมูลด้านเข้าและข้อมูลด้านออกที่มีอยู่ โดยข้อมูลด้านเข้าจะถูกป้อนเข้าไปในแต่ละหน่วย (node) ใน input layer จากนั้นข้อมูลด้านเข้าจะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) เฉพาะของการเชื่อมโยงระหว่างชั้น ซึ่งค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักอาจถูกกำหนดโดยการสุ่ม ผลคูณที่ได้จะนำมารวมกันเพื่อแปลงเป็นข้อมูลด้านออกโดยผ่านฟังก์ชันการกระตุ้น (activation function) จากนั้นข้อมูลด้านออกที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ ข้อมูลจริงที่ได้จากการตรวจวัด เพื่อนำไปสู่การปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักและเพื่อลดค่าความแตกต่างหรือข้อผิดพลาดในแต่ละรอบของการคำนวณ การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะดำเนินการไปจนกระทั่งข้อผิดพลาดมีค่าน้อยและยอมรับได้ การคำนวณจึงจะสิ้นสุด (ศิริกัญญา, 2547)



ภาพที่ 9 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

ที่มา: ไพริชน์ (2549)

3. การสำรวจระยะไกล

การสำรวจระยะไกลเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ได้รับความสนใจอย่างมากได้ปัจจุบัน และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ ที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการติดตามและประเมินผลสิ่งแวดล้อม การติดตามและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของโลก การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ การทำแผนที่ การทหาร การเกษตร หรือ อุตุนิยมวิทยา เป็นต้น (Schowengerdt, 2007)

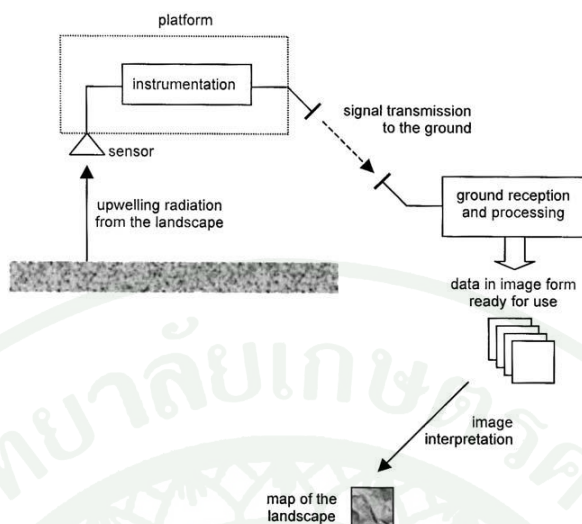
3.1 ความหมายของการสำรวจระยะไกล

การสำรวจระยะไกล (remote sensing) หมายถึง การบันทึกหรือการได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่เป้าหมายด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (sensor) โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้น ๆ ซึ่งอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (spectral) รูปทรงस्थาน (spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (temporal) ของสิ่งต่าง ๆ บนพื้นผิวโลก

นอกจากนั้นแล้ว Elachi and van Zyl (2006) ได้ให้ความหมายไว้ว่า การสำรวจระยะไกลหมายถึง การได้มาซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุนั้น ๆ โดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง ซึ่งข้อมูลที่จะได้มานั้นจะเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบและจากการวัดการเปลี่ยนแปลงรอบข้าง ไม่ว่าจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นเสียงที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะรวมถึงสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยหรือสะท้อนออกมาโดยวัตถุ นอกจากนั้นการสะท้อนหรือการถูกรบกวนโดยคลื่นเสียง รวมทั้งการรบกวนของแรงโน้มถ่วงที่อยู่โดยรอบหรือสนามแม่เหล็กจากการมีวัตถุนั้น ๆ ดำรงอยู่ ก็ได้ถูกนำมาใช้ในการสำรวจระยะไกลเช่นกัน

อย่างไรก็ตามการนิยามของคำว่า การสำรวจระยะไกลนั้นโดยส่วนมากแล้ว จะนำไปใช้ในเรื่องของการได้มาซึ่งข้อมูลจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเทคนิคนี้จะครอบคลุมถึงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากคลื่นวิทยุความถี่ต่ำจนถึงคลื่นไมโครเวฟ อินฟราเรด อุลตราไวโอเลต และช่วงสเปกตรัมอื่น ๆ

ส่วน Richards and Jia (2006) ได้ให้ความหมายไว้ว่า การสำรวจระยะไกลเป็นการวัดที่ห่างจากผิวพื้นโลก โดยการใช้อุปกรณ์การตรวจวัดที่ติดตั้งบนอากาศยานหรือยานอวกาศ ซึ่งจะทำให้การวัดโดยการสร้างภาพภูมิทัศน์ภายใต้แพลตฟอร์ม ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 รูปแบบการเชื่อมต่อและการไหลของข้อมูลในระบบการสำรวจระยะไกล

ที่มา: Richards and Jia (2006)

สำหรับ Rees (2001) ได้กล่าวถึงความหมายของการสำรวจระยะไกลไว้ว่า ในความหมายอย่างกว้าง ๆ ของคำว่า การสำรวจระยะไกล นั้นหมายถึงการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้น ๆ ทางกายภาพ ซึ่งเป็นความหมายง่าย ๆ แต่คลุมเครือในการนำไปใช้จริง ซึ่งควรจะจำกัดเฉพาะความสนใจแต่ในส่วนของพื้นผิวโลกและบรรยากาศซึ่งจะดูได้จากลักษณะการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น

ส่วน Schowengerdt (2007) ได้ให้นิยามและวัตถุประสงค์ไว้ว่า การสำรวจระยะไกล เป็นการวัดคุณสมบัติของวัตถุบนพื้นผิวโลก โดยใช้ข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องบินและดาวเทียม ซึ่งเป็นการตรวจวัดบางสิ่งซึ่งอยู่ห่างไกลจากวัตถุ เนื่องจากไม่สามารถที่จะสัมผัสกับวัตถุที่เราสนใจได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้การการแพร่กระจายสัญญาณของบางสิ่ง อาทิเช่น แสงหรือการมองเห็น คลื่นเสียง หรือคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การสำรวจระยะไกลนั้นหมายถึง การได้มาซึ่งข้อมูลของพื้นผิวโลกหรือบรรยากาศโลก ซึ่งเป็นการวัดโดยอ้อม โดยใช้คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงคลื่น พื้นที่ และเวลา

3.2 แนวคิดของการสำรวจระยะไกล

เนื่องด้วยรูปแบบการตรวจวัดจะเป็นการวิเคราะห์จากคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีรูปแบบการส่งข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 10 โดยความสามารถที่จะสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งจะทำให้สามารถบันทึกภาพได้ ซึ่งก็จะใกล้เคียงกับมุมมองที่มองลงมาจากพื้นผิวโลกจากเครื่องบิน แต่ความยาวคลื่นที่ได้นำมาใช้ในการสำรวจระยะไกลนั้นจะเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ในนอกเหนือการมองเห็นของมนุษย์ นอกจากนั้นแล้วยังมีทางเลือกอื่นอีก นั่นก็คือการที่มีพลังงานจากพื้นผิวโลกแผ่ออกมาด้วย ซึ่งมาจากอุณหภูมิของผิวโลกหรือรูปแบบของช่วงคลื่นอินฟราเรดนั่นเอง และสุดท้ายพลังงานที่กระเจิงจากพื้นโลกที่ถูกตรวจพบอาจเกิดมาจากการสร้างแหล่งพลังงานขึ้นมาก็ได้ซึ่งก็จะเป็นรูปแบบของการสำรวจระยะไกลแบบแอ็คทีฟ (active) อาทิเช่น รูปแบบของเลเซอร์ หรือเรดาร์ เป็นต้น (Richards and Jia, 2006)

สำหรับการทำการบันทึกนั้น จะทำการบันทึกช่วงคลื่นแสงที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศสู่ผิวโลก และสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าบรรยากาศของโลกมีอิทธิพลต่อความสามารถในการบันทึกข้อมูล เพราะชั้นบรรยากาศก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของคลื่นแสงในด้านทิศทางความเข้ม ความยาว และความถี่ของช่วงคลื่น ทั้งนี้เพราะชั้นบรรยากาศประกอบด้วยฝุ่นละออง ไอน้ำ และก๊าซต่าง ๆ ซึ่งทำให้มีปฏิกิริยากับคลื่นพลังงาน 3 กระบวนการ คือ การกระจาย (scattering) การดูดซึม (absorption) และการหักเห (refraction) ทำให้ปริมาณพลังงานตกกระทบผิวโลกน้อยลง (ณัฐพร, 2548) รายละเอียดดังนี้

3.2.1 การกระจาย (scattering) เกิดเนื่องจากอนุภาคเล็ก ๆ ในชั้นบรรยากาศมีทิศทางการกระจายไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค และความยาวคลื่น

3.2.2 การดูดซึม (absorption) ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งการดูดซึมพลังงานจะเกิดขึ้นที่ความยาวของคลื่นบางช่วง สารที่ดูดซึมพลังงานที่สำคัญในบรรยากาศ ได้แก่ ไอน้ำในอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน เนื่องจากสารเหล่านี้จะดูดซึมพลังงานที่มีความยาวคลื่นเฉพาะ ดังนั้นจะมีบางช่วงคลื่นที่สามารถทะลุทะลวง หรือผ่านชั้นบรรยากาศลงมาถึงผิวโลกได้ เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (atmospheric window) ซึ่งมีหน้าต่างบรรยากาศในช่วงความยาวคลื่นตามมองเห็น (0.3-0.7 μm) และช่วงอินฟราเรดสะท้อนกับอินฟราเรดช่วงความร้อน ช่วงของหน้าต่าง

บรรยากาศเหล่านี้จะมีประโยชน์ต่อการเลือกกระบวนการอนุรักษ์บันทึกภาพให้สัมพันธ์กับการสะท้อนของช่วงคลื่นต่าง ๆ

3.2.3 การหักเห (refraction) เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางผ่านบรรยากาศที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณการหักเหกำหนดโดยค่าดัชนีของการหักเห ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในสุญญากาศกับความเร็วของแสงในชั้นบรรยากาศ

หลังจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านชั้นบรรยากาศ และตกกระทบพื้นผิวโลก จะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ 3 ลักษณะคือ (ณัฐพร, 2548)

3.2.4 การสะท้อนพลังงาน (reflection) ซึ่งจะผันแปรไปตามลักษณะพื้นผิวโลก และขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุเป็นองค์ประกอบ เช่น ลักษณะพื้นผิว มุมตกกระทบของแสง ความสามารถและอัตราการสะท้อนแสงของพื้นผิว เป็นต้น โดยการสะท้อนแสงสามารถเกิดขึ้นได้ใน 3 ลักษณะ ได้แก่ การสะท้อนกลับหมดในทิศทางตรงกันข้าม เกิดในกรณีพื้นผิวราบเรียบและมักเกิดกับแสงในช่วงคลื่นยาว การสะท้อนแบบกระจาย เกิดในกรณีที่พื้นผิวก่อนข้างขรุขระและมักเกิดในช่วงคลื่นที่มองเห็น ส่วนการสะท้อนแบบผสม จะเป็นลักษณะการสะท้อนที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ โดยเป็นการผสมกันของรูปแบบการสะท้อนทั้งแบบที่หนึ่งและแบบที่สอง

3.2.5 การดูดกลืน (absorption) เป็นการดูดซับพลังงานของผิวโลกเกิดขึ้นเช่นเดียวกับชั้นบรรยากาศ แต่ปริมาณการดูดซับขึ้นอยู่กับพื้นผิวตามความยาวช่วงคลื่น เมื่อเกิดการดูดซับพลังงานแล้วจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปความร้อน ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเป็นต้นกำเนิดพลังงาน ซึ่งการแผ่พลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรด หรืออินฟราเรดความร้อนสามารถวัดได้ทั้งกลางวันกลางคืน จึงเป็นประโยชน์ในการสำรวจระยะไกล

3.2.6 การส่งผ่านพลังงาน (transmission) เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกับการดูดซับพลังงานที่ถูกถ่ายทอดต่อไป ค่าการส่งผ่านรังสีของมวลหนึ่ง ๆ คือสัดส่วนของปริมาณพลังงาน ณ จุดซึ่งพลังงานเคลื่อนที่ไปต่อพลังงานที่ตกกระทบทั้งหมด ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของพื้นผิวและความยาวช่วงคลื่น

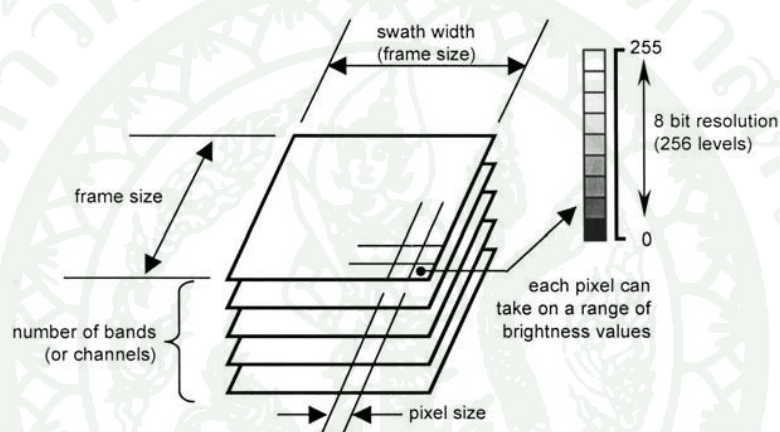
พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อกระทบพื้นผิวใด ๆ จะเกิดปรากฏการณ์ทั้ง 3 ลักษณะ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของการสะท้อนพลังงานของวัตถุแต่ละชนิดกับความยาวช่วงคลื่น เรียกว่าลายเซ็นเชิงคลื่น (spectral signature) ซึ่งช่วยในการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลในสาขาต่าง ๆ

คุณสมบัติอีกประการที่สำคัญของข้อมูลภาพที่ได้มาโดยอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนอากาศยานหรือยานอวกาศนั้นก็คือการที่เป็นข้อมูลที่พร้อมใช้งานในรูปแบบของดิจิทัล โดยข้อมูลเชิงพื้นที่จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบภาพที่ไม่ต่อเนื่องหรือพิกเซล อาทิเช่นความสว่าง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แบ่งเป็นระดับที่ไม่ต่อเนื่อง และแม้แต่ข้อมูลที่ไม่ได้บันทึกในรูปแบบของดิจิทัลอย่างเช่นข้อมูลในยุคแรก ๆ ก็สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นดิจิทัลได้เช่นกัน ซึ่งปัจจุบันข้อมูลมาตรฐานจะเป็นรูปแบบดิจิทัลทั้งหมดซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ซึ่งมีข้อดีคือสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำกว่าการวิเคราะห์ด้วยตาเปล่าแบบเดิม (Richards and Jia, 2006)

อาจจะกล่าวได้ว่าลักษณะที่สำคัญที่สุดของข้อมูลภาพที่ได้จากระบบการสำรวจระยะไกลนั้นคือความยาวคลื่น หรือระยะห่างของความยาวคลื่น ซึ่งถูกใช้ในกระบวนการสร้างภาพถ่าย โดยถ้ามีการสะท้อนของพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะทำให้สามารถสร้างภาพขึ้นมาได้ ซึ่งในหลักการจะถูกเก็บอยู่ในรูปของช่วงคลื่นอุลตราไวโอเล็ต ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) ช่วงคลื่นใกล้ถึงกลางอินฟราเรด (near-to-middle infrared) เนื่องมาจากคุณสมบัติการดูดซับของบรรยากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งการที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันนั้นจะช่วยให้เข้าใจคุณสมบัติของพื้นผิวโลกได้หลากหลายมากขึ้น

สำหรับช่วงคลื่นที่มองเห็นและช่วงคลื่นอินฟราเรดนั้นเป็นเพียงช่วงคลื่นส่วนหนึ่งที่นำมาใช้ในการสำรวจระยะไกล ซึ่งบางครั้งช่วงคลื่นอื่น เช่น ไมโครเวฟ ที่โดยทั่วไปแล้วจะนำไปใช้ในเทคโนโลยีของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โทรทัศน์ และเรดาร์ ก็ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการสำรวจระยะไกล เนื่องจากว่าพื้นผิวโลกนั้นก็ได้มีการแผ่รังสีไมโครเวฟออกมาเช่นกัน แต่โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กมากเกินกว่าที่จะนำมาทำเป็นแผนที่ได้ ซึ่งการวัดและการเก็บข้อมูลจากการสะท้อนกลับโดยพลังงานรังสีจากพื้นผิวโลก ซึ่งมีโลกและดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเรียกว่าแบบพาสซีฟ (passive)

จากการใช้ข้อมูลและการวิเคราะห์จุดที่สนใจในข้อมูลภาพถ่าย สิ่งที่สำคัญก็คือจำนวนและพื้นที่ของการวัดค่าสเปกตรัม หรือช่วงสัญญาณ หรือช่องสัญญาณความถี่ (spectral bands or channels) โดยจะมีเครื่องมือตรวจวัดเฉพาะช่วงความถี่นั้น ๆ โดยจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่อาจแตกต่างกันในแต่ละอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 11 นอกจากนั้นจำนวนและช่วงของค่าความสว่างที่ไม่ต่อเนื่องนั้น จะถูกบันทึกอยู่ในระบบของเลขฐานสองหรือบิต ซึ่งข้อมูลที่มี 8 บิตก็จะมีค่าละเอียดของข้อมูล 256 ระดับ (Richards and Jia, 2006)



ภาพที่ 11 คุณสมบัติของข้อมูลดิจิทัล

ที่มา: Richards and Jia (2006)

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและอุณหภูมิส่องสว่าง

อุณหภูมิส่องสว่าง (brightness temperature) เป็นการแสดงค่าอุณหภูมิเทียบเท่าการแผ่รังสีของวัตถุดำ (equivalent blackbody temperature) หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเป็นการจำแนกค่าสเปกตรัมของการแผ่รังสีในช่วงคลื่นอินฟราเรด (Kidder and Vonder Haar, 1995) โดยความสว่างของภาพถ่ายดาวเทียมมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบต่าง ๆ ของเมฆ รวมทั้งความสูงเมฆด้วย (Kelkar, 2007) โดยพบว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างค่าความยาวคลื่น ค่าการแผ่รังสีและอุณหภูมิดังแสดงไว้ในสมการที่ 3 (Kidder and Vonder Haar, 1995)

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2\lambda^{-5}}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)} - 1} \quad (3)$$

โดยที่ B_λ คือค่าการแผ่รังสี มีหน่วยเป็น $\text{W m}^{-2} \mu^{-1}$

T คือค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีของวัตถุ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

λ คือความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นไมโครเมตร หรือ ไมครอน (μ)

h คือค่าคงที่ของพลังค์ มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} (J s)

k คือค่าคงที่โบลต์ซมานน์ มีค่าเท่ากับ 1.380×10^{-23} (J K^{-1})

c คือค่าความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 2.998×10^8 (m s^{-1})

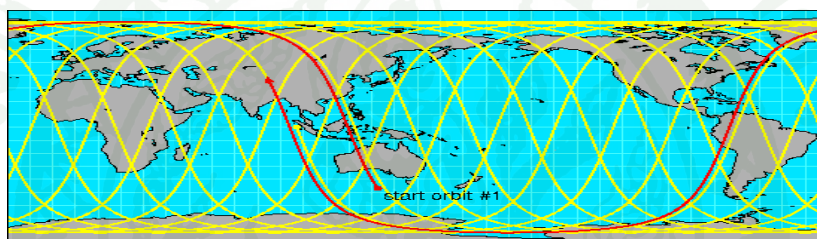
จากสมการที่ 3 พบว่าปัจจัยที่จะส่งผลต่อค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (T) นั่นก็คือค่าการแผ่รังสีจากวัตถุ ซึ่งหมายถึงการแผ่รังสีจากพื้นโลก นอกจากนั้นความยาวคลื่น (λ) ก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีผลต่อค่าอุณหภูมิเช่นกัน โดยแต่ละค่าความยาวคลื่นที่นำมาใช้วัดถูกกำหนดด้วยเครื่องมือตรวจวัดที่ติดตั้งอยู่กับดาวเทียม ซึ่งดาวเทียม FY-2E ได้กำหนดความยาวคลื่นในช่วงคลื่นอินฟราเรดไว้ที่ $10.8 \mu\text{m}$ (IR1), $12.0 \mu\text{m}$ (IR2), $6.8 \mu\text{m}$ (WV) และ $3.8 \mu\text{m}$ (IR4) ซึ่งจากการกำหนดให้ค่าแต่ละช่วงคลื่นเป็นค่าคงที่ และจากสมการที่ 3 สามารถอธิบายได้ว่าค่าอุณหภูมิแปรผันไปในทิศทางเดียวกับค่าการแผ่รังสี ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าในแต่ละช่วงคลื่นค่าอุณหภูมิแปรเปลี่ยนตามค่าการแผ่รังสีที่พื้นโลกได้แผ่ออกมา ซึ่งแต่ละช่วงคลื่นก็จะให้ค่าอุณหภูมิส่องสว่างที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่ใช้ทำการตรวจวัด

3.4 ชนิดของดาวเทียม

ดาวเทียมนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของรูปแบบวงโคจร นั่นคือดาวเทียมแบบโคจรรอบโลก (polar orbiting satellites) ซึ่งจะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตร กับดาวเทียมชนิดโคจรเสมือนหนึ่งอยู่กับที่ (geostationary satellites) (บุญเลิศ และคณะ, 2550)

3.4.1 ดาวเทียมแบบโคจรรอบโลก (polar orbiting satellites) ดาวเทียมชนิดนี้มีแนวการโคจรรอบขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ ระยะความสูงของการโคจรรอบโลกจะน้อยกว่าดาวเทียมแบบอยู่กับที่ ความสูงของรอบการโคจรของดาวเทียมอย่างเช่น ดาวเทียมชื่อ NOAA-8 NOAA-9 ของสหรัฐอเมริกา โคจรสูง 840-860 กิโลเมตร ดาวเทียมของรัสเซีย ชื่อ METEOR โคจรสูง 900

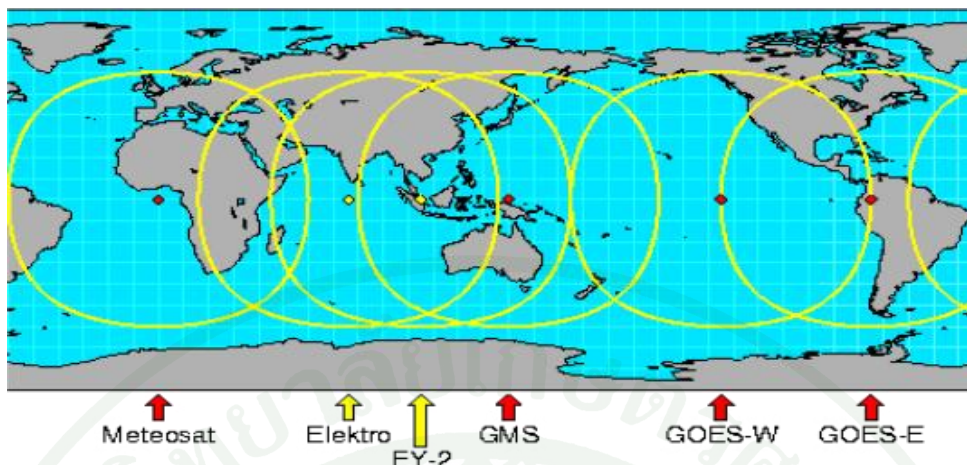
กิโลเมตร การถ่ายภาพของดาวเทียมชนิดนี้จะถ่ายภาพและส่งสัญญาณสู่ภาคพื้นดินในเวลาจริง โดยจะโคจรรอบโลกประมาณ 102 นาที ต่อ 1 รอบ ในหนึ่งวันจะหมุนรอบโลกประมาณ 14 รอบ และจะเคลื่อนที่ผ่านแนวเดิม 2 ครั้ง โดยจะโคจรเคลื่อนที่จากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้ 1 ครั้ง และโคจรเคลื่อนที่จากขั้วโลกใต้ไปยังขั้วโลกเหนืออีก 1 ครั้ง การถ่ายภาพของดาวเทียมชนิดนี้จะถ่ายภาพและส่งสัญญาณข้อมูลสู่ภาคพื้นดินในเวลาจริง (real time) ในขณะที่ดาวเทียมโคจรผ่านพื้นที่นั้น ๆ โดยมี track ความกว้าง 2,700 กิโลเมตร ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดโคจรรอบโลกถูกส่งเข้าสู่วงโคจรที่เหมือนกับดวงอาทิตย์ ในความหมายของคำว่าเสมือนดวงอาทิตย์คือดาวเทียมจะโคจรผ่านจุดเดิมในเวลาเดิมเสมอ ซึ่งลักษณะการโคจรของดาวเทียมชนิดนี้ดังแสดงในภาพที่ 12 (กมลเดช, 2549)



ภาพที่ 12 การเคลื่อนที่ของดาวเทียมแบบโคจรรอบโลก

ที่มา: กมลเดช (2549)

3.4.2 ดาวเทียมชนิดโคจรเสมือนหนึ่งอยู่กับที่ (geostationary satellites) ดาวเทียมชนิดนี้จะโคจรรอบโลกที่ความสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตร และโคจรอยู่ในตำแหน่งที่เส้นศูนย์สูตรเสมอ ใช้เวลาในการโคจรครบรอบ 24 ชั่วโมง โดยโคจรทิศทางเดียวกับโลกหมุนรอบตัวเอง ตำแหน่งของดาวเทียมจึงสัมพันธ์กับตำแหน่งบนพื้นโลกบริเวณเดิมตลอดการโคจร ดังแสดงในภาพที่ 13 วงโคจรของดาวเทียมชนิดนี้จะอยู่ที่จุดเดิมตลอดเวลาเมื่อเทียบกับจุดบนพื้นดิน และคอยเฝ้าดูในส่วนพื้นที่บริเวณเดิมบนโลก ดังนั้นจึงมีความละเอียดตามเวลาสูง ซึ่งทำให้สามารถทำการตรวจสอบสภาพลมฟ้าอากาศได้อย่างต่อเนื่อง ในทางกลับกันในการที่มีความสูงของวงโคจรเหนือพื้นดินสูง ทำให้ความละเอียดตามระยะทางต่ำ (กมลเดช, 2549) โดยดาวเทียมที่โคจรเสมือนหนึ่งอยู่กับที่นั้นสามารถที่จะสำรวจการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศได้อย่างต่อเนื่องทุกชั่วโมง และในช่วงหน้าฝนก็สามารถรับข้อมูลได้ทุกครั้งชั่วโมง (บุญเลิศ และคณะ, 2550)



ภาพที่ 13 ดาวเทียมชนิดโคจรค้างฟ้า

ที่มา: บุญเลิศ และคณะ (2550)

3.5 การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล

การนำภาพถ่ายทางดาวเทียมมาใช้ในการศึกษาด้านอุตุนิยมวิทยา ปัจจุบันได้กลายเป็นภารกิจหนึ่งของหน่วยงานด้านอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบัน ซึ่งสามารถทำให้การเฝ้าติดตามลักษณะของอากาศร้ายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และในการนำข้อมูลดาวเทียมไปวิเคราะห์เพื่อให้ได้ข้อมูลฝนนั้น พบว่าการประยุกต์ใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible; VIS) กับข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรด (infrared; IR) นั้นพบว่าเป็นแนวความคิดแรกเริ่มอย่างง่าย ๆ ในการประยุกต์เพื่อหาความสัมพันธ์กับปริมาณฝน (Kidder and Vonder Haar, 1995) ซึ่งในปัจจุบันนี้จะมีวิธีการหลากหลายมากขึ้นในการที่จะหาปริมาณฝนจากข้อมูลดาวเทียม ซึ่งสามารถที่จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้ดังต่อไปนี้ (Levizzani *et al.*, 2002)

3.5.1 วิเคราะห์โดยใช้ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด (IR) หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิยอดเมฆกับปริมาณฝน โดยมีด้วยกัน 3 ลักษณะดังนี้

ก. หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการเส้นตรง โดยใช้อุณหภูมิยอดเมฆที่น้อยกว่า 253K โดยปริมาณฝนที่นำมาใช้นั้น ได้จากข้อมูลเรดาร์ที่ทำการเปรียบเทียบกับปริมาณฝนมาก่อนแล้ว (Negri and Adler, 1987)

ข. หาความสัมพันธ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เนื่องจากลักษณะความสัมพันธ์นั้นไม่เป็นเส้นตรง (Wardah *et al.*, 2008)

ค. หาความสัมพันธ์โดยใช้ดัชนี GPI (GOES precipitation index) โดยใช้ข้อมูลภูมิอุตุนิยมวิทยาที่ต่ำกว่า 235K ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Arkin ตั้งปี ค.ศ.1979 ซึ่งปัจจุบันนี้ดัชนี GPI กลายเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์การเกิดฝนในช่วงเวลานาน (Arkin and Janowiak, 1991)

3.5.2 วิเคราะห์โดยใช้ความยาวช่วงคลื่นไมโครเวฟ เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ความยาวช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นการสะท้อนจากอนุภาคน้ำในบรรยากาศโดยตรง (Levizzani *et al.*, 2002) โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

ก. วิเคราะห์โดยข้อมูลที่เป็นลักษณะภาพถ่าย โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณฝนเรียกว่า SSM/I (special sensor microwave/imager) โดยใช้ความถี่ในช่วง 37.0 GHz และ 85.8 GHz

ข. วิเคราะห์โดยข้อมูลที่เป็นลักษณะการหยั่งอากาศ (sounders) โดยมีลักษณะคล้ายกับการส่งบอลดูนตรวจอากาศ โดยมีชื่อเรียกว่า advance microwave sounding unit (AMSU-B) โดยใช้ความถี่ในช่วง 23.8 31.4 50.3 และ 89.0 GHz

3.5.3 วิเคราะห์โดยติดตั้งอุปกรณ์ Active บนดาวเทียม มีการติดตั้งระบบ PR (precipitation radar) โดยใช้ความถี่ในช่วง 13.8 GHz โดยระบบดังกล่าวนี้ได้ทำการติดตั้งในโครงการ TRMM (tropical rainfall measurement mission) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณฝนโดยใช้ความสัมพันธ์ Z-R เหมือนกับเรดาร์ตรวจอากาศ (Levizzani *et al.*, 2002)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการที่จะนำข้อมูลดาวเทียมมาประยุกต์หาค่าปริมาณน้ำฝนนั้น พบว่า Wardah *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษา นำท่อมจับปล้นบริเวณลุ่มน้ำแกลง (Klang) โดยใช้ข้อมูลฝนจากดาวเทียม GSM-5 ซึ่งเป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้า (geostationary meteorological satellite) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเมฆกับปริมาณฝน โดยใช้ ANN (artificial neural network) เมื่อได้

ข้อมูลฝนแล้วจึงนำไปเข้าแบบจำลอง rainfall-runoff model เพื่อทำการพยากรณ์น้ำท่วมฉับพลันต่อไป ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณฝนที่ได้จากการประมาณค่าโดยใช้วิธีการไชเสน (thiessen method) พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.77 และพบว่าการใช้เทคนิคดังกล่าวนี้สามารถใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วมฉับพลันในช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมงได้เป็นอย่างดี

ส่วน Mishra *et al.* (2011) ได้ทำการพัฒนาการวัดปริมาณน้ำฝนในบริเวณประเทศอินเดียโดยใช้ดาวเทียม Kalpana ในช่วงคลื่นอินฟราเรด ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการพัฒนาเทคนิคที่เรียกว่า GOES Precipitation Index (GPI) ให้ใช้งานได้ดีขึ้นในแถบประเทศอินเดียโดยนำปัจจัยในเรื่องของความชื้นในบรรยากาศมาใช้ในการคำนวณร่วมด้วย ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับถึงวัดน้ำฝน และข้อมูลตรวจวัด 3B42 จากดาวเทียม TRMM (tropical rainfall measuring mission) แล้วพบว่าข้อมูลจากเทคนิคดังกล่าวนี้ได้ผลออกมาดีกว่าการคำนวณฝนโดยใช้ GPI แบบเดิม

สำหรับ Wei *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาการรวมข้อมูลฝนจากถึงวัดฝนกับข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมในการพยากรณ์น้ำท่วม โดยใช้ดาวเทียม GOES และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (recurrent neural network; RNN) ที่ลุ่มน้ำวู่ทู่ (Wu-Tu) ประเทศไต้หวัน โดยผลที่ได้จากการทดลองพบว่า มีความถูกต้องมากโดยเฉพาะอย่างยิ่ง สามารถใช้ในการพยากรณ์น้ำท่วมในช่วงฤดูพายุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

และในงานวิจัยการหาปริมาณฝนโดยใช้โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ของ Sorooshian *et al.* (2007) นั้น เป็นการหาปริมาณน้ำฝนทั่วโลกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยผ่านอัลกอริทึมที่เรียกว่า PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks) ซึ่งอัลกอริทึมนี้จะใช้ภาพอินฟราเรดจากดาวเทียมทุกชั่วโมงมาใช้ในการคำนวณ

ส่วน Bankert (1994) ได้ทำการแยกแยะประเภทของเมฆโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจากลักษณะของอุณหภูมิยอดเมฆจากช่วงคลื่นอินฟราเรด และค่าอัลบิโดจากช่วงคลื่นที่มองเห็นได้พบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้องร้อยละ 79.8 แต่ถ้าทำการแยกแยะว่าเป็นชนิดเมฆชั้นต่ำ ชั้นกลาง ชั้นสูง เมฆฝน ความถูกต้องก็จะเพิ่มเป็นร้อยละ 91.2

สำหรับงานวิจัยของ Hsu *et al.* (1997) นั้นได้ทำการประเมินค่าน้ำฝนด้วยภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมภายใต้อัลกอริทึม PERSIANN โดยนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม GMS ของประเทศญี่ปุ่นมาใช้ในการศึกษาในพื้นที่เกาะญี่ปุ่นและที่บริเวณรัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกา ซึ่งก็ประสบความสำเร็จแม้ว่าจะถูกจำกัดด้วยข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ได้นำมาใช้มีเฉพาะข้อมูลตรวจวัดภาคพื้นดินเท่านั้น

สำหรับในประเทศไทยนั้นพบว่า กมลเดช (2549) ได้ใช้วิธีเทมแซตและวิธีลดอุณหภูมิตามความสูง มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณฝนจากดาวเทียม GMS-5 ของประเทศญี่ปุ่น โดยนำอุณหภูมิยอดเมฆจากช่วงคลื่น IR1 มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณฝนภาคพื้นดินในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก พบว่าถ้าวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลฝนที่มากกว่า 40 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิยอดเมฆต่ำกว่า -50 องศาเซลเซียส จะพบว่าข้อมูลทั้งมีความสัมพันธ์กันโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) เท่ากับ 0.97 สำหรับวิธีเทมแซต และเท่ากับ 0.99 สำหรับวิธีลดอุณหภูมิตามความสูง

ส่วนธนิต (2547) ได้ทำการประมาณค่าฝนจากดาวเทียมในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จากดาวเทียม GMS-5 โดยใช้วิธีเทมแซต และวิธีลดอุณหภูมิตามความสูง มาหาความสัมพันธ์เช่นเดียวกัน พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า -30 องศาเซลเซียสมาใช้จะได้ค่า สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) เท่ากับ 0.74 สำหรับวิธีเทมแซต และเท่ากับ 0.75 สำหรับวิธีลดอุณหภูมิตามความสูง

สำหรับเจน (2550) ได้ทำการประมาณค่าฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลาโดยใช้วิธีการเทมแซตและสมการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย พบว่าในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นั้นพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดฝนบริเวณลุ่มน้ำอู่ตะเภาคือ 224 เคลวินหรือ -49 องศาเซลเซียส ส่วนค่าปริมาณฝนและค่าอุณหภูมิยอดเมฆที่ได้จากดาวเทียม GMS-5 นั้นเมื่อหาจากสมการเชิงเส้นอย่างง่าย โดยใช้ช่วงคลื่นความถี่ IR1, IR2 และ IR3 พบว่า สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) อยู่ในช่วง 0.49-0.68

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผนที่ขอบเขตจังหวัด บริเวณพื้นที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000 ชุดที่ L7018 จากกรมแผนที่ดิน
2. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E ความถี่ทุกชั่วโมงตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 ถึง 31 ธันวาคม 2553 จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และช่วงวันที่ 1 กรกฎาคม 2555 ถึง 31 สิงหาคม 2555 จากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมีรายละเอียด 5 X 5 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมบริเวณ 75.0 องศาตะวันออก ถึง 145.0 องศาตะวันออก และ 40.0 องศาเหนือ ถึง 14.0 องศาใต้ หรือค่า X อยู่ระหว่าง -1580111 ถึง 5824094 ค่า Y อยู่ระหว่าง -2261517 ถึง 4705431 ในระบบพิกัด UTM
3. ข้อมูลตรวจวัดปริมาณฝนอัตโนมัติ (รายวินาที) ทั่วประเทศ ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 ถึง 31 สิงหาคม 2553 และวันที่ 1 กรกฎาคม 2555 ถึง 31 สิงหาคม 2555 จากกรมอุตุนิยมวิทยา
4. โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซึ่งประกอบด้วย โปรแกรม ArcGIS 9.2 และ โปรแกรม Surfer 7.0
5. โปรแกรม Python 2.6
6. โปรแกรม Microsoft Office
7. เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์

วิธีการ

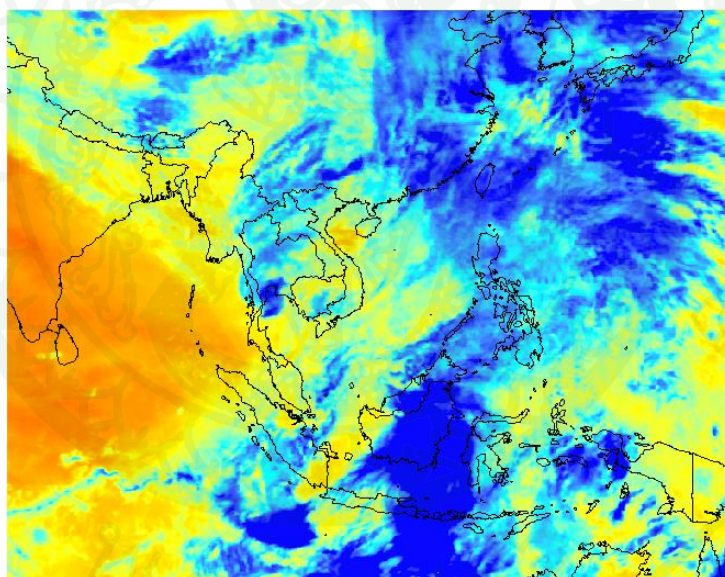
1. การรวบรวมข้อมูล

ตรวจสอบข้อมูลและเอกสาร งานวิจัยจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณน้ำฝน และการนำเอาวิธีการวิเคราะห์แบบโครงข่ายประสาทเทียมประยุกต์กับการใช้งานในด้านต่าง ๆ เพื่อที่จะนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม

สำหรับการรวบรวมข้อมูลและเอกสารทางวิชาการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม นั้น เป็นกระบวนการเพื่อหาแนวคิด และรูปแบบวิธีในการประยุกต์ใช้ข้อมูล เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม และในส่วนของข้อมูลนั้นมีความจำเป็นที่ต้องติดต่อเพื่อขอข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย

1.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E ที่จะนำมาใช้นั้น ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวมีความถี่ในการถ่ายภาพทุกชั่วโมง โดยในการศึกษาจะใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2553 ถึง 31 ธันวาคม 2553 และตั้งแต่ และวันที่ 1 กรกฎาคม 2555 ถึง 31 สิงหาคม 2555 (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ตัวอย่างของภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงอุณหภูมิยอดเมฆในช่วงคลื่น IR1 ของดาวเทียม FY-2E

สำหรับดาวเทียม FY-2E นั้นเป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาชนิดค้างฟ้าของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่ง FY มาจากคำว่า Fengyun ซึ่งหมายถึงเมฆและลม ส่วนที่ต้องเป็น FY-2 นั้นจะแสดงถึงว่าดาวเทียมดังกล่าวเป็นดาวเทียมชนิดค้างฟ้า โดยดวงแรกที่ได้ส่งขึ้นไปสำรวจนั้นมีชื่อว่า FY-2A ซึ่งทางสาธารณรัฐประชาชนจีน ได้ส่งขึ้นไปในปี 2540 สำหรับดาวเทียม FY-2E ที่ได้

เลือกมาทำการวิเคราะห์นั้นได้ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศในวันที่ 23 ธันวาคม 2550 และเริ่มใช้งานจริงในปี 2551 ดังได้แสดงข้อมูลการตรวจวัดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการตรวจวัดของดาวเทียม FY-2E

ข้อมูล	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)
VIS	0.50-0.75
IR1	10.3-11.3
IR2	11.5-12.5
WV	6.3-7.6
IR4	3.5-4.0

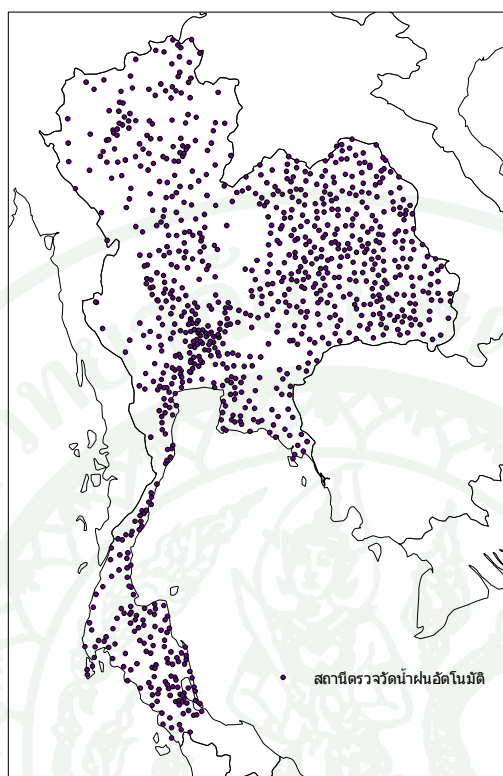
ที่มา: World Meteorological Organization (2011)

1.2 ข้อมูลขอบเขตลุ่มน้ำ ขอบเขตจังหวัด และขอบเขตประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000 ชุดแผนที่ L7018 จากกรมพัฒนาที่ดิน

1.3 ข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำฝน และปริมาณน้ำฝน

โดยข้อมูลในส่วนของปริมาณน้ำฝนนั้น ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมีจำนวนสถานีที่ใช้ทั้งสิ้น 930 สถานี ดังแสดงในภาพที่ 15 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติ โดยนำข้อมูลรายวินาทีมาทำการวิเคราะห์ความเข้มของฝน (intensity) ณ เวลาเดียวกับที่ดาวเทียมทำการถ่ายภาพ

สำหรับสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าระบบโทรมาตรนั้นหมายถึงระบบการตรวจวัดข้อมูลจากระยะไกล (remote terminal unit หรือ remote station) อัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ การทำงานของระบบจะทำงานทั้งตรวจวัดข้อมูล รับ-ส่งและจัดเก็บข้อมูลจากระยะไกลอัตโนมัติโดยไม่ต้องใช้เจ้าหน้าที่ คือเมื่อเครื่องมือตรวจวัดข้อมูลแล้ว



ภาพที่ 15 จุดติดตั้งสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา

ส่วนการรับ-ส่งข้อมูลอัตโนมัติ (I/O module) จะทำการแปลงสัญญาณข้อมูล (sensor) เป็นระบบตัวเลข (digital) แล้วส่งผ่านระบบสื่อสารข้อมูล ซึ่งอาจเป็นการส่งผ่านระบบดาวเทียม ระบบใยแก้ว ระบบคลื่นวิทยุหรือระบบโทรศัพท์ไปยังสถานีรับข้อมูล (receiving unit ที่ master station หรือ center) โดยอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถดำเนินการประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ โดยระบบโทรมาตร ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ ดังนี้ สถานีตรวจวัดข้อมูลอัตโนมัติ (remote terminal unit หรือ RTU) ระบบสื่อสารข้อมูล (data communication) และสถานีรับข้อมูล (receiving unit) ซึ่งทุกส่วนสามารถเชื่อมต่อกันได้โดยใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (computer network) (กมลเดช, 2549)

ซึ่งในส่วน of สถานี of กรมอุตุนิยมวิทยา จะใช้เครื่องมือวัดฝนแบบถังกระดก (tipping bucket) โดยจะกระดกทุกครั้งเมื่อมีฝนสะสมได้ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งนอกจากจะเก็บค่าฝนรวม

ทุก 15 นาทีเพื่อส่งข้อมูลมายังศูนย์ปฏิบัติการระบบโทรมาตรแล้ว ยังได้มีการเก็บข้อมูลเวลาของถึงวัดฝนที่กระดกแต่ละครั้งไว้ด้วย (ภาพที่ 16)



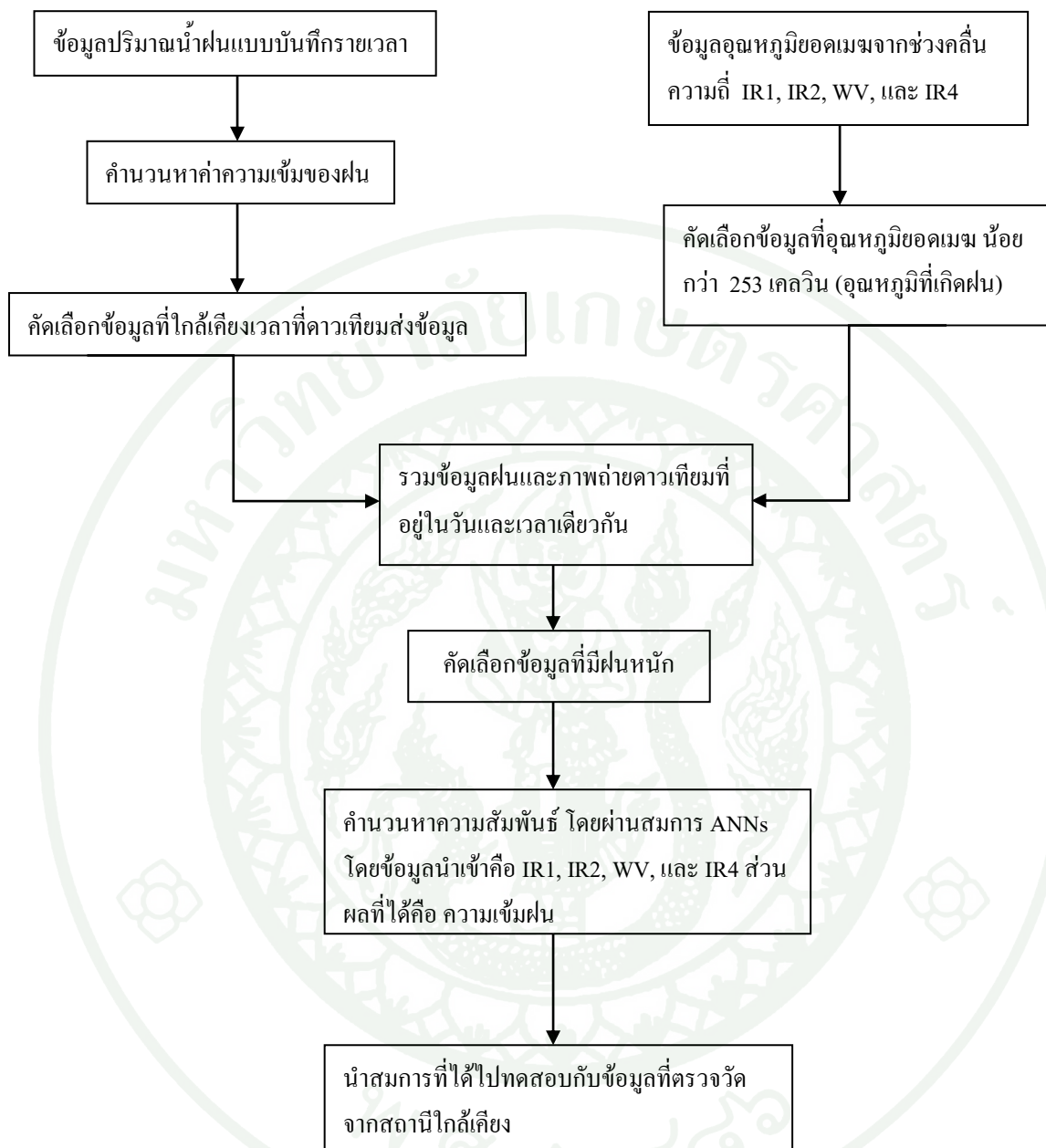
ภาพที่ 16 สถานีตรวจวัดและเครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา

1.3.1 การคำนวณหาเวลาที่ห่างกันของการกระดกของถึงวัดฝนแต่ละครั้ง ซึ่งจะได้ค่าคาบการตกของฝน (time duration, T) ซึ่งเป็นค่าคาบเวลาของฝน 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากการกระดก 1 ครั้งเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากการบันทึกข้อมูลฝนเป็นการบันทึกเวลาที่ถึงวัดฝนกระดก ดังนั้นจะได้ข้อมูลระยะเวลา ความห่างของการกระดกแต่ละครั้ง ซึ่งจะเป็นคาบของการตกของฝน

1.3.2 การคำนวณหาความเข้มของฝน (intensity, I) จากปริมาณฝนต่อเวลา ตามสมการที่ (4) ซึ่งจะได้ความเข้มของฝนที่เกิดขึ้นทั้งหมดของทุกช่วงเวลาที่มิฝนเกิดขึ้น

$$I = \frac{0.5}{T} \quad (4)$$

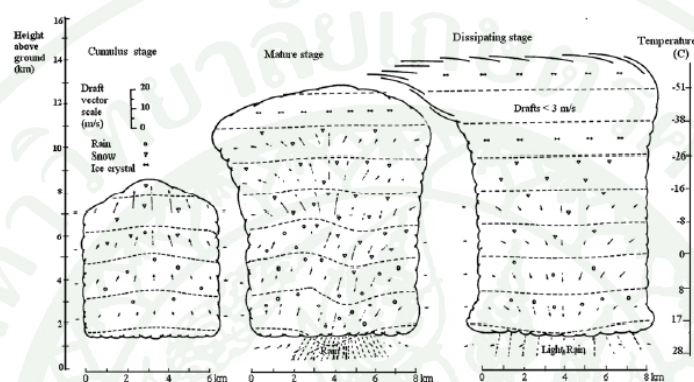
1.3.3 คัดเลือกหาความเข้มของฝนเพื่อเป็นตัวแทนของช่วงเวลานาทีที่ 00 แต่อย่างไรก็ตาม เวลาที่ได้จากข้อมูลฝนนั้นเป็นเวลาท้องถิ่น (UTC+7) แต่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมนั้นเป็นข้อมูลตามเวลา UTC ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแปลงค่าเวลาให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน นั่นคือเอาเวลาที่ได้จากการวัดฝนบวกไปอีก 7 ชั่วโมง ดังแสดงไว้ในขั้นตอนการศึกษา (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการศึกษา

2.2 การรวมข้อมูลความเข้มฝนกับอุณหภูมิยอดเมฆ

จากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอุณหภูมิยอดเมฆกับปริมาณน้ำฝนนั้น จึงต้องนำข้อมูลทั้งความเข้มของฝนกับอุณหภูมิยอดเมฆมาเปรียบเทียบกันเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งในขั้นตอนนี้มีวิธีการดำเนินการดังนี้ (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อตัวของเมฆ อุณหภูมิยอดเมฆ และปริมาณฝน

ที่มา: Wardah *et al.* (2008)

2.2.1 เปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละชั่วโมงของทั้งสองข้อมูลเพื่อให้เวลาตรงกัน แล้วบันทึกเก็บไว้

2.2.2 คัดเลือกข้อมูลฝนที่มีค่าความเข้มฝนต่ำออก อันเนื่องมาจากค่าความเข้มฝนที่ต่ำนั้นเกิดจากเวลาที่กระดกนั้นใช้เวลายาวนานมากเกินไป อาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ประกอบกับฝนที่มีความเข้มฝนต่ำนั้นมักไม่ได้เกิดจากฝนที่เป็นลักษณะที่ยกตัวในแนวตั้ง โดยจะคัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่มีค่าต่ำกว่า 1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงออกตามวิธีของ Negri and Adler (1987)

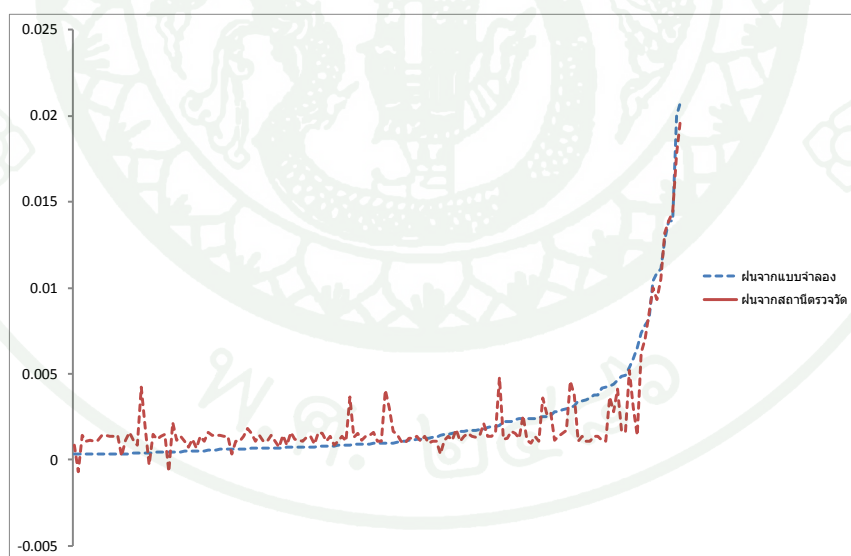
2.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับอุณหภูมิยอดเมฆ

ในส่วนของการหาความสัมพันธ์นั้นเนื่องจากมีตัวแปรนำเข้าที่เลือกไว้ด้วยกันทั้งสิ้น 4 ตัวแปร อันได้แก่ IR1 IR2 WV และ IR4 ดังนั้นจึงทำการเลือกเอาเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks) ใช้ในการวิเคราะห์

สำหรับการวิเคราะห์นั้นจะวิเคราะห์โดยใช้ข่ายงานประสาทเทียมหลายชั้น (multiple layer perception) โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ เป็นฟังก์ชันกระตุ้น ซึ่งจะทำให้การหาอนุพันธ์ทำได้ง่ายขึ้น (ไพรัช, 2549) ซึ่งในส่วนของการทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้นั้นสามารถแยกวิธีดำเนินงานออกได้เป็น

2.3.1 การคัดเลือกข้อมูลในส่วนของอุณหภูมิยอดเมฆ โดยจะถือว่าเมฆที่จะมีโอกาสเป็นเมฆฝนได้นั้นควรมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 253 K (Wardah *et al.*, 2000) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคัดเลือกข้อมูลที่มีค่าอุณหภูมิยอดเมฆในช่วงคลื่นใดก็ตามที่มากกว่า 253 K ออก

2.3.2 การคัดเลือกข้อมูลในส่วนของข้อมูลฝน โดยเอาลักษณะที่ความเข้มฝนต่ำ ออกเนื่องจากถ้าฝนบาง อาจไม่ใช่เกิดจากเมฆที่เป็นลักษณะก่อตัวในแนวตั้ง (convective cloud) ได้อย่างไรก็ตามได้ทดลองหาความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 20 นั้นได้เลือกตัดข้อมูลที่มีความเข้มของฝน ประมาณ 1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 20 ผลการเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้เทคนิค ANNs เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริง (mm/sec)

2.3.3 การหาความสัมพันธ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยนำอุณหภูมิยอดเมฆของช่วงคลื่นทั้ง 4 ช่วงคลื่นมาเป็นข้อมูลนำเข้า (input) และลองใช้ชั้นซ่อน (hidden layer) จำนวน 8 ตัว

แปร เพื่อหาค่าความเข้มข้นที่เป็นตัวแปรตาม จากการใช้ช่วงเวลาของข้อมูลในการวิเคราะห์ 1 สัปดาห์

สำหรับตัวแปรซ่อน โดย Berry and Linoff (1997) ได้แนะนำว่า ไม่ควรเกิน 2 เท่าของจำนวนข้อมูลนำเข้า ส่วน Boger and Guterman (1997) นั้นได้ให้ความเห็นว่าสามารถมีได้หลายตัวแปร แต่ค่าสหสัมพันธ์ควรอยู่ระหว่างร้อยละ 70-90 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ตัวแปรซ่อน 8 ตัวแปร

2.3.4 การหาค่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิยอดเมนและความเข้มข้นของพื้นที่ทั้งประเทศไทย รวมทั้งหาสมการดังกล่าวของแต่ละภาค โดยจะแบ่งออกเป็น 6 ภาค ตามลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา อันได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคใต้ฝั่งตะวันออก และภาคใต้ฝั่งตะวันตก

สำหรับสมการที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปของสมการ

$$Y_k = S_y \left(d_k + \sum_{j=1}^{N_H} (b_{jk} H_j) \right) \quad (5)$$

โดยที่ d และ b เป็นค่าคงที่ และ H_j นั้นเป็นค่าที่ได้มาจากแต่ละประสาทที่ซ่อนอยู่ (hidden node) โดยที่แต่ละเซลล์ประสาทนั้นคำนวณได้จากสมการ

$$H_j = S_H \left(c_j + \sum_{i=1}^{N_x} (a_{ij} x_i) \right) \quad (6)$$

สำหรับ S_y นั้นมาจากสมการ

$$S(x) = 1 + \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (7)$$

ซึ่งเมื่อรวมแล้วจะได้สมการดังนี้

$$Y_k = S_y \left\{ d_k + \sum_{j=1}^{N_H} \left(b_{jk} \left(S_H \left(c_j + \sum_{i=1}^{N_x} (a_{ij} x_i) \right) \right) \right) \right\} \quad (8)$$

หรือสมการที่ (9) นั่นเอง

$$Y_k = 1 + \frac{1}{1+e^{-\left\{d_k + \sum_{j=1}^N \left(b_{jk} \left(1 + \frac{1}{1+e^{-\left(c_j + \sum_{i=1}^{N_X} (a_{ij} x_i) \right) \right)} \right) \right\}}} \quad (9)$$

2.3.5 การปรับค่าแบบจำลอง โดยในการหาความสัมพันธ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้น จำเป็นที่ต้องแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนหนึ่งไว้ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ อีกส่วนหนึ่งไว้ทำการตรวจสอบความถูกต้อง โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 1 กรกฎาคม 2553 ถึง 31 สิงหาคม 2553 สำหรับการปรับค่า และใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 1 กรกฎาคม 2555 ถึง 31 สิงหาคม 2555 สำหรับการทดสอบสมการ

ซึ่งหลังจากทำการปรับค่าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาทำการวิเคราะห์แล้ว ก็จะได้ค่าคงที่ a, b, c, d ของแต่ละชุดข้อมูล

2.3.6 จากที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์หรือค่าคงที่ของสมการแล้ว จึงนำสมการดังกล่าวที่ได้ไปทดสอบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีใกล้เคียงที่ได้เลือกไว้จำนวน 186 สถานีเพื่อทำการทดสอบค่า สมการได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถนำมาใช้ได้จริงด้วยวิธีหาความผิดพลาดโดยประมาณ (approximate percentage error) จากสมการ

$$\mathcal{E} = \left| \frac{R_{Obs} - R_{Est}}{R_{Obs}} \right| \times 100 \quad (10)$$

โดยที่ $\mathcal{E}$ = ความผิดพลาดโดยประมาณ (approximate percentage error)

R_{Obs} = ปริมาณฝนภาคพื้นดินจากการรวบรวมข้อมูล

R_{Est} = ปริมาณฝนที่ประมาณได้จากความสัมพันธ์ที่คำนวณได้

โดยนำข้อมูลปริมาณฝน และภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ของปีที่หาความสัมพันธ์มาทำการหาค่าความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ โดยหาค่าความผิดพลาดโดยประมาณ ตั้งแต่ร้อยละ ± 70 ขึ้นไป เป็นความผิดพลาดโดยประมาณที่ไม่มีประโยชน์ในเชิงอุตุนิยมวิทยา และถ้าค่าความผิดพลาดร้อยละ ± 20 ลงไป จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์สูงสุดในทางปฏิบัติ (Kalnary, 2003)

ผลและวิจารณ์

1. การประมาณค่าอุณหภูมิส่องสว่างและความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน

1.1 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่าง

เนื่องจากค่าอุณหภูมิผันแปรตามค่าการแผ่รังสีที่พื้นโลกได้รับและแผ่ออกมา ทำให้อุณหภูมิส่องสว่างมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสิ่งปกคลุมผิวโลก โดยต้องขึ้นอยู่กับแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ทำการตรวจวัด

1.1.1 ความผันแปรในพื้นที่ภาคเหนือ

ก. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือน (monthly average)

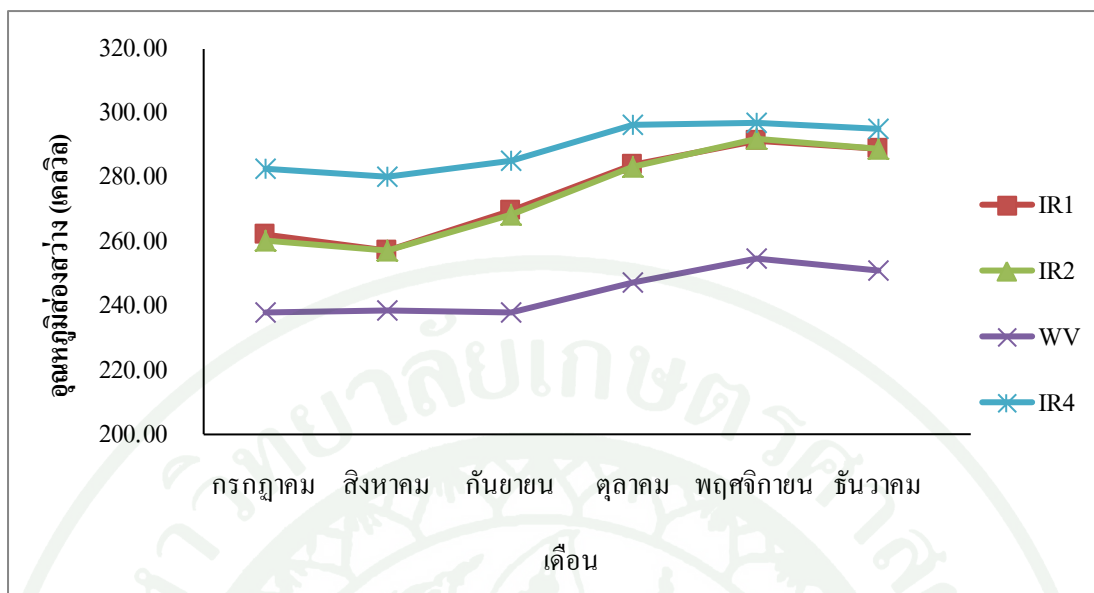
จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของภาคเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 275.5 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 291.5 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 257.2 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR2 ในภาคเหนือพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 274.9 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 291.8 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 257.1 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น WV ในภาคเหนือพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 244.4 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 254.6 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 237.8 K ในเดือนกรกฎาคม และอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR4 ในภาคเหนือพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 289.2 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 296.9 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 280.1 K ในเดือนสิงหาคม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ทั้งนี้ IR1 และ IR2 นั้นมีความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงกันที่เรียกว่าช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรด (thermal infrared) ซึ่งอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้นั้นเรียกว่าอุณหภูมียอดเมฆ ซึ่งถ้าอุณหภูมียอดเมฆต่ำ แสดงว่าลักษณะเมฆก่อตัวขึ้นสูงในบรรยากาศ ซึ่งเป็นลักษณะของเมฆฝน ขณะที่ WV จะให้ค่าของไอน้ำในบรรยากาศ ขณะที่ IR4 หรือ อินฟราเรดคลื่นสั้น (shortwave infrared) นั้นจะให้ภาพที่ใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (visible) ที่สามารถแยกลักษณะของเมฆได้ชัด แต่สามารถตรวจวัดได้ในช่วงเวลากลางคืน

ตารางที่ 2 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	262.1	257.2	269.5	284.0	291.5	288.9	275.5
IR2	260.4	257.1	268.1	283.2	291.8	289.0	274.9
WV	237.8	238.3	237.9	246.8	254.6	250.9	244.4
IR4	282.5	280.1	284.8	296.0	296.9	294.9	289.2

โดยค่าอุณหภูมิส่องสว่างจะมีค่าแปรผกผันกับอุณหภูมิยอดเมฆ จากข้อมูล ที่ตรวจวัดได้พบว่า ในทุกช่วงความยาวคลื่นมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำในช่วงเดือนกรกฎาคมถึง เดือนกันยายน และจะมีค่าสูงขึ้นตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ภาคเหนือ นั้นจะมีฝนมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนเนื่องจากมีร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านบริเวณ ดังกล่าว ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนดังกล่าวอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่นในทุกช่วง คลื่น และในเดือนกรกฎาคมนั้นจะมีบางช่วงที่เป็นลักษณะฝนทิ้งช่วง ซึ่งหมายความว่าร่องความกด อากาศต่ำทรงตัวพาดผ่านบริเวณประเทศจีน ก่อนที่จะลงมาพาดผ่านประเทศไทยตอนบนอีกครั้ง ทำ ให้ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงเดือนกรกฎาคมจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในเดือน สิงหาคม ซึ่งเป็นเดือนที่ร่องความกดอากาศต่ำพาดอยู่บริเวณภาคเหนือและค่อย ๆ เคลื่อนลงทางใต้ ดังนั้นจึงทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิส่องสว่างมีเพิ่มค่าสูงขึ้น และคงที่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนและ เดือนธันวาคม ซึ่งจะเป็นลักษณะอากาศที่มีมวลอากาศเย็นมาปกคลุม ทำให้โอกาสเกิดเมฆฝนมีน้อย แต่อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบข้อมูลฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่าในช่วงเดือนธันวาคม ใน ภาคเหนือมีฝนตกหนักอยู่หนึ่งช่วง จึงทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิส่องสว่างมีค่าต่ำกว่าเดือน พฤศจิกายนเล็กน้อย (ภาพที่ 21) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) ที่ ทำการศึกษาค่าอุณหภูมิส่องสว่าง ในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่รัฐฟลอริดา สหรัฐอเมริกา พบว่าการลดลง ของอุณหภูมิส่องสว่างมีความสัมพันธ์กับการที่ฝนตกหนักมากขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งก็คืออุณหภูมิส่อง สว่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาณฝนที่ตก



ภาพที่ 21 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคเหนือ

ข. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือน (extreme minimum)

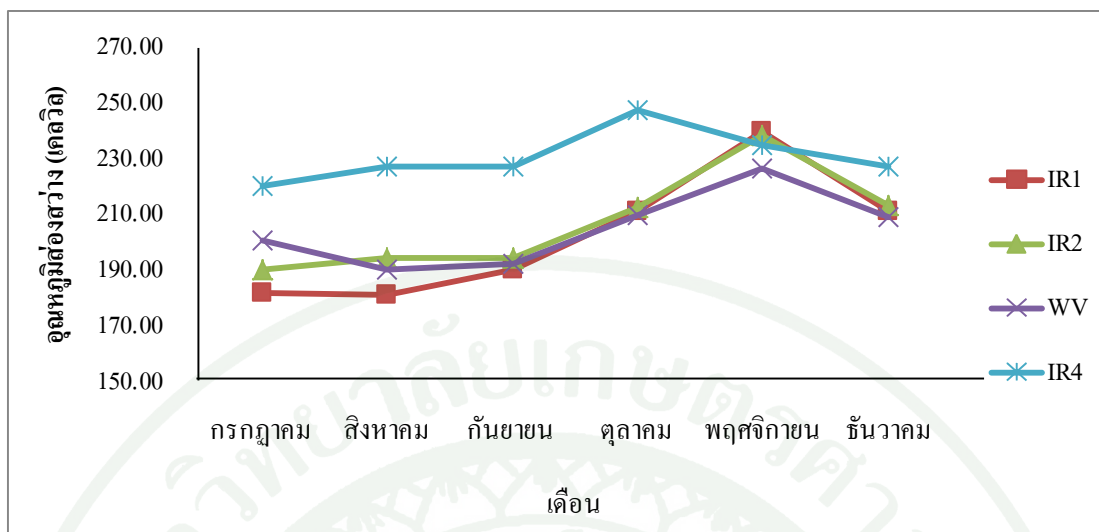
จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดรายเดือนของภาคเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 239.6 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 181.2 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดในช่วงคลื่น IR2 ในภาคเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 238.5 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 190.3 K ในเดือนกรกฎาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดในช่วงคลื่น WV ในภาคเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 226.3 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 190.0 K ในเดือนสิงหาคม และอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดในช่วงคลื่น IR4 ในภาคเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 247.5 K ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 220.0 K ในเดือนกรกฎาคม (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	181.9	181.2	189.9	211.1	239.6	211.1	202.4
IR2	190.3	194.0	194.2	212.3	238.5	212.9	207.0
WV	200.8	190.0	191.9	209.5	226.3	209.1	204.6
IR4	220.0	227.1	227.1	247.5	234.9	227.1	230.6

ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้นั้น เป็นค่าความสามารถต่ำสุดที่วัตถุปกคลุมโลกจะสะท้อนค่าพลังงานความร้อนออกมาได้ เป็นค่าที่บ่งบอกโอกาสการเกิดฝนได้ โดยหากค่าต่ำสุดที่เคยวัดได้มีค่าสูงจะมีโอกาสเกิดฝนได้น้อย ในทางตรงกันข้ามหากค่านี้มีแนวโน้มต่ำลงก็มีโอกาสเกิดฝนได้ง่ายขึ้น

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าภาคเหนือนั้นจะมีฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ซึ่งเกิดจากการมีร่องความกดอากาศต่ำพัดผ่านบริเวณดังกล่าว ทำให้เห็นได้ว่าในช่วงเดือนดังกล่าวอุณหภูมิส่องสว่างจะมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่น อุณหภูมิส่องสว่างแปรผกผันกับปริมาณฝนเพราะอุณหภูมิส่องสว่างที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นดินแห้งจะมีค่าสูงกว่าพื้นดินเปียก จึงพบว่าอุณหภูมิส่องสว่างมีค่าสูงขึ้นหลังจากผ่านช่วงฤดูฝนไปแล้ว อย่างไรก็ตามอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดนั้นจะเป็นการบอกถึงความรุนแรงสูงของปริมาณฝนที่เกิดในเดือนนั้น ๆ นั่นคือการที่มีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำ ๆ นั้นบอกถึงความรุนแรงของปริมาณฝน ดังนั้นอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละเดือนจึงบอกถึงความรุนแรงของฝนสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน แม้ว่าจะเกิดขึ้นแค่เหตุการณ์เดียว จึงเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดของเดือนตุลาคมมีค่าใกล้เคียงกับเดือนธันวาคม เนื่องจากมีความรุนแรงสูงสุดใกล้เคียงกัน แม้ว่าในเดือนธันวาคมจะมีฝนเป็นระยะเวลาดสั้น ๆ ก็ตาม (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคเหนือ

จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิส่องสว่างในช่วงคลื่น WV มากกว่าช่วงคลื่น IR1 ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนนั้น ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะของการเกิดฝนตกหนัก (Kurino, 1997) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากภาพที่ 22 แล้วพบว่าในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกหนักกว่าช่วงเดือนอื่นในภาคเหนือ

ค. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือน (extreme maximum)

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของภาคเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 305.8 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 397.9 K ในเดือนตุลาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคเหนือพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 304.5 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 296.4 K ในเดือนตุลาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคเหนือพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 297.2 K ในเดือนสิงหาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 253.8 K ในเดือนตุลาคม และอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 335.7 K ในเดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 318.8 K ในเดือนตุลาคม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ

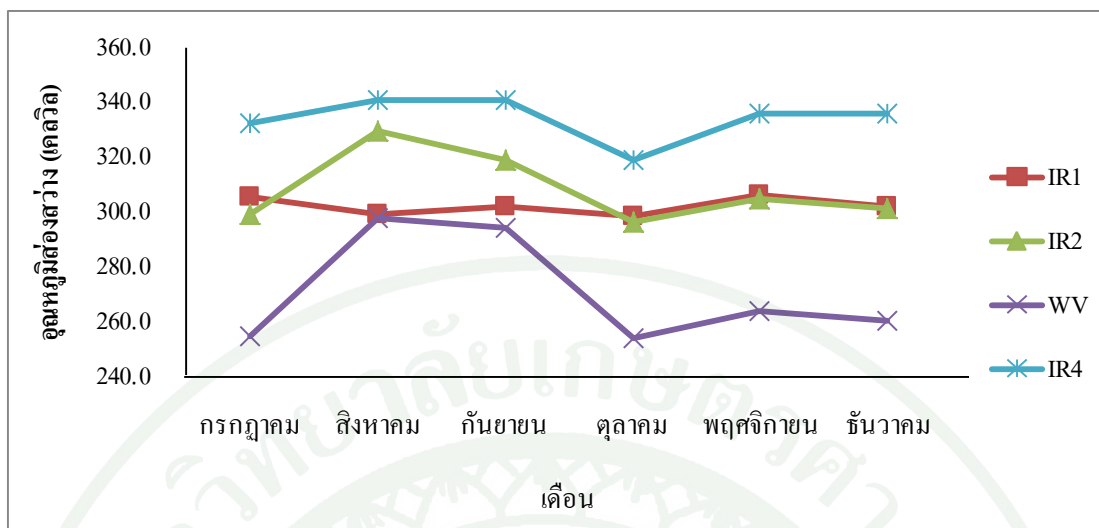
ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	305.2	298.9	301.7	297.9	305.8	302.0	301.9
IR2	299.1	329.7	318.5	296.4	304.5	301.1	308.2
WV	254.5	297.2	294.2	253.8	263.9	259.7	270.6
IR4	332.1	341.0	341.0	318.8	335.7	335.6	334.0

อุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดเป็นค่าที่สามารถบอกโอกาสการเกิดฝนและความรุนแรงของฝนที่เกิดขึ้นได้ โดยหากมีค่าสูงจะมีโอกาสการเกิดฝนต่ำ ส่วนหากมีค่าต่ำมาก ๆ โอกาสเกิดฝนที่มีความรุนแรงมากจะเกิดขึ้นได้ จากการที่อุณหภูมิส่องสว่างเป็นการบอกถึงลักษณะการแผ่รังสีของพื้นผิวโลกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ โดยมีความสัมพันธ์เป็นไปดังสมการที่ 3 ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะสะท้อนถึงการไม่มีเมฆบนท้องฟ้า ดังนั้นซึ่งอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้นั้นนอกจากจะสะท้อนถึงลักษณะของท้องฟ้าในเวลาหนึ่งเวลาใดแต่ละเดือนแล้วยังสะท้อนถึงการแผ่รังสีของพื้นผิวโลกของเวลานั้น ๆ ด้วย (ภาพที่ 23) แสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายนนั้นจะมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้มากกว่าช่วงเวลาอื่น โดยให้ค่าแนวโน้มไปในทางเดียวกัน 3 ช่วงคลื่น ขณะที่ช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันทุกความยาวคลื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามวลอากาศนั้นค่อนข้างมีความเสถียรในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งสาเหตุเกิดจากในช่วงเวลาดังกล่าวกำลังเข้าสู่ฤดูหนาวโดยความกดอากาศสูงจะเป็นปัจจัยที่ทำให้มวลอากาศมีความเสถียรมากขึ้น

1.1.2 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ก. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือน (monthly average)

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 275.1 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 289.6 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 253.5 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ย



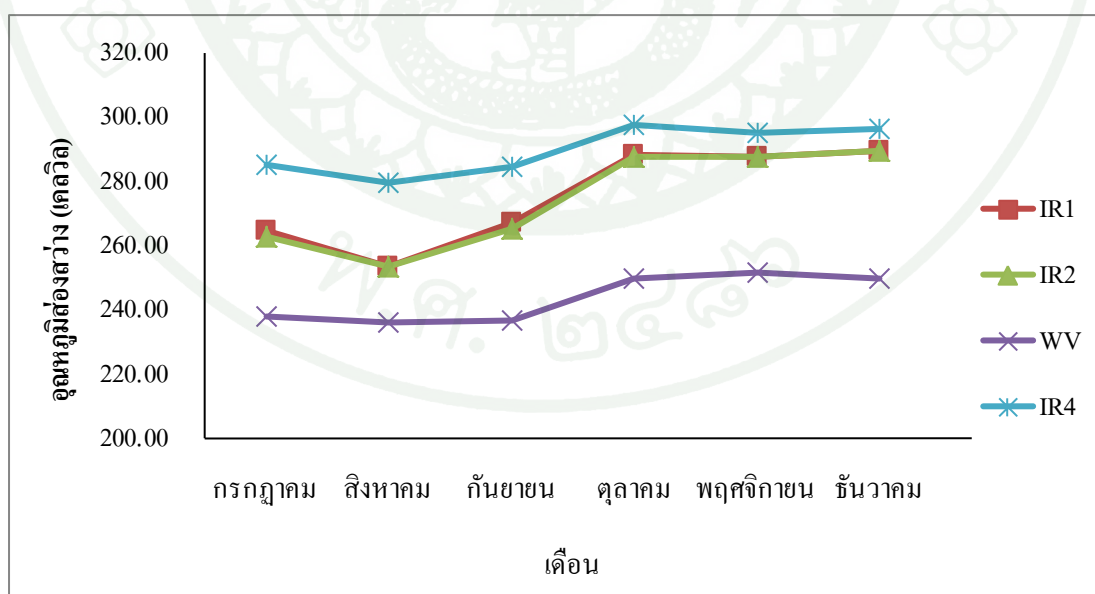
ภาพที่ 23 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคียวด์ได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคเหนือ

ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 274.2 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 289.3 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 253.1 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น WV ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 243.5 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 251.6 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 236.2 K ในเดือนสิงหาคม และอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR4 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 289.6 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 297.3 K ในเดือนตุลาคม ต่ำสุดเท่ากับ 284.5 K ในเดือนกันยายน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	264.8	253.5	267.2	288.0	287.5	289.6	275.1
IR2	262.7	253.1	265.4	287.3	287.3	289.3	274.2
WV	238.1	236.2	236.4	249.5	251.6	249.3	243.5
IR4	285.2	279.3	284.5	297.3	295.1	296.4	289.6

ทั้งนี้เนื่องจากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีฝนมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน โดยมีร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านบริเวณดังกล่าว ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนดังกล่าวอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่นในทุกช่วงคลื่น ซึ่งในเดือนกรกฎาคมนั้นจะมีบางช่วงที่เป็นลักษณะฝนทิ้งช่วง ซึ่งหมายความว่าร่องความกดอากาศต่ำทรงตัวอยู่บริเวณประเทศจีน ก่อนที่จะลงมาพาดผ่านประเทศไทยภาคตะวันออกเฉียงเหนืออีกครั้ง ทำให้ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงเดือนกรกฎาคมจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในเดือนสิงหาคม หลังจากนั้นร่องความกดอากาศต่ำก็ค่อย ๆ เคลื่อนลงทางใต้ ดังนั้นจึงทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิส่องสว่างมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และคงที่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม ซึ่งจะเป็ลักษณะอากาศที่มีมวลอากาศเย็นมาปกคลุม ทำให้โอกาสเกิดเมฆฝนมีน้อย ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าช่วงอื่น ดังแสดงไว้ในภาพที่ 24 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) ที่ทำการศึกษาที่รัฐฟลอริดา โดยใช้วิธีลดอุณหภูมิส่องสว่าง พบว่าปริมาณฝนที่มากขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิส่องสว่างที่ลดลง และเมื่อเทียบกับอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของภาคเหนือพบว่าความชันของกราฟของภาคเหนือช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคมนั้นจะน้อยกว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมฆในเดือนตุลาคมของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีน้อยกว่าภาคเหนือ และสามารถวิเคราะห์ได้ว่ามวลอากาศเย็นจากประเทศจีนซึ่งเข้ามาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือก่อนที่จะแผ่ไปทางภาคเหนือเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เมฆลดน้อยลง



ภาพที่ 24 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

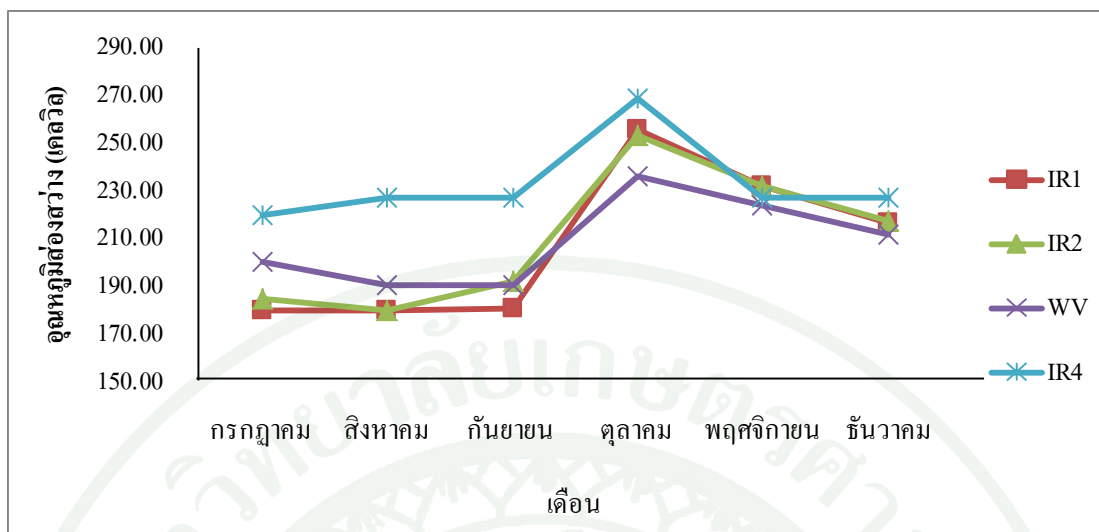
ข. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือน (extreme minimum)

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 232.0 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 180.0 K ในเดือนกรกฎาคมและเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 231.6 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 180.0 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 236.6 K ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 190.0 K ในเดือนสิงหาคม และกันยายน ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 268.7 K ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 220.0 K ในเดือนกรกฎาคม (ตารางที่ 6) เมื่อเทียบกับภาคเหนือพบว่าในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ต่ำกว่าภาคเหนือใน 3 ส่วนช่วงคลื่น IR4 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 6 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	180.0	180.0	180.5	255.2	232.0	216.5	207.4
IR2	184.5	180.0	191.7	252.8	231.6	217.5	209.7
WV	199.6	190.0	190.0	236.2	223.6	211.3	208.5
IR4	220.0	227.1	227.1	268.7	227.1	227.1	232.9

เนื่องจากอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้นั้นจะเป็นการบอกถึงความรุนแรงที่สุดของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ซึ่งการมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำนั้นแสดงว่าในเดือนนั้น ๆ มีวันที่มีฝนตกหนัก (ภาพที่ 25) จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนนั้น จะมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำกว่าในช่วงเดือนอื่น



ภาพที่ 25 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เนื่องจากอุณหภูมิส่องสว่างแปรผันกับปริมาณฝนเพราะอุณหภูมิส่องสว่างเกิดจากการสะท้อนของพื้นดินซึ่งพื้นดินแห้งจะมีค่าสูงกว่าพื้นดินเปียก ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนนั้นมีฝนสูงสุดในหนึ่งวันสูงกว่าเดือนอื่น และเมื่อเทียบกับอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในภาคเหนือนั้นพบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีความชันของกราฟของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดมากกว่าภาคเหนือในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากฤดูฝนเข้าสู่ฤดูหนาว ซึ่งอากาศหนาวที่แผ่ลงมาจากประเทศจีนนั้นเข้าสู่ประเทศไทยในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ก่อนจะแผ่เข้าสู่พื้นที่ภาคเหนือเป็นระยะต่อไป

จากเทคนิคของ Kurino (1997) นั้น สามารถวิเคราะห์ได้ว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายนนั้น ในแต่ละเดือนจะเกิดเหตุการณ์ฝนตกหนัก เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีอุณหภูมิส่องสว่างในช่วงคลื่น WV มากกว่าช่วงคลื่น IR1

ค. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือน

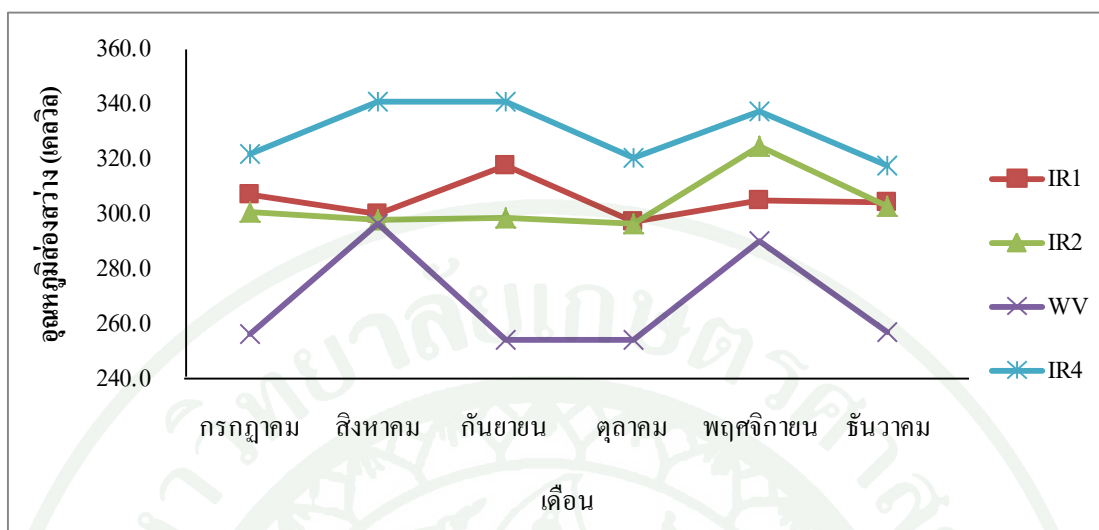
จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 317.3 K ในเดือนกันยายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 297.2 K ในเดือนตุลาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น

IR2 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 324.2 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 297.7 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 296.0 K ในเดือนสิงหาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 253.3 K ในเดือนกันยายน และอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 341.0 K ในเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 317.2 K ในเดือนธันวาคมดังแสดงไว้ในตารางที่ 7 ซึ่งเมื่อเทียบกับภาคเหนือพบว่ามีในช่วงเดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้สูงกว่าภาคเหนือ

ตารางที่ 7 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	306.6	299.9	317.3	297.2	304.3	304.2	304.9
IR2	300.7	297.7	298.4	296.4	324.2	302.3	303.3
WV	255.7	296.0	253.3	253.7	289.4	256.5	267.4
IR4	321.8	341.0	341.1	320.3	337.0	317.2	329.7

จากการที่อุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้เป็นการบอกลักษณะของพื้นใด ๆ ที่ไม่พบเมฆ ซึ่งทำให้การแผ่รังสีทำได้เต็มที่ เนื่องจากความชื้นในอากาศจะทำให้การแผ่รังสีลดลง ดังนั้นการที่อุณหภูมิส่องสว่างมีค่ามากนั้นสามารถบอกได้ว่าการแผ่รังสีของพื้นโลกมีมากขึ้นตามไปด้วย (สมการที่ 3) (ภาพที่ 26) ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม พบว่าแนวโน้มของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ขณะที่ช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมจะให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงสะท้อนให้เห็นว่ามวลอากาศช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมมีความเสถียรมากกว่าเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม และเมื่อเทียบกับอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในภาคเหนือพบว่า แนวโน้มของเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมมีทิศทางไปในทิศทางเดียวกันแต่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าสูงกว่าแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่แห้งแล้งที่สุดในภาคเหนือแห้งแล้งน้อยกว่าพื้นที่ที่แห้งแล้งที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.1.3 ความผันแปรของอุณหภูมิส่องสว่างในพื้นที่ภาคกลาง

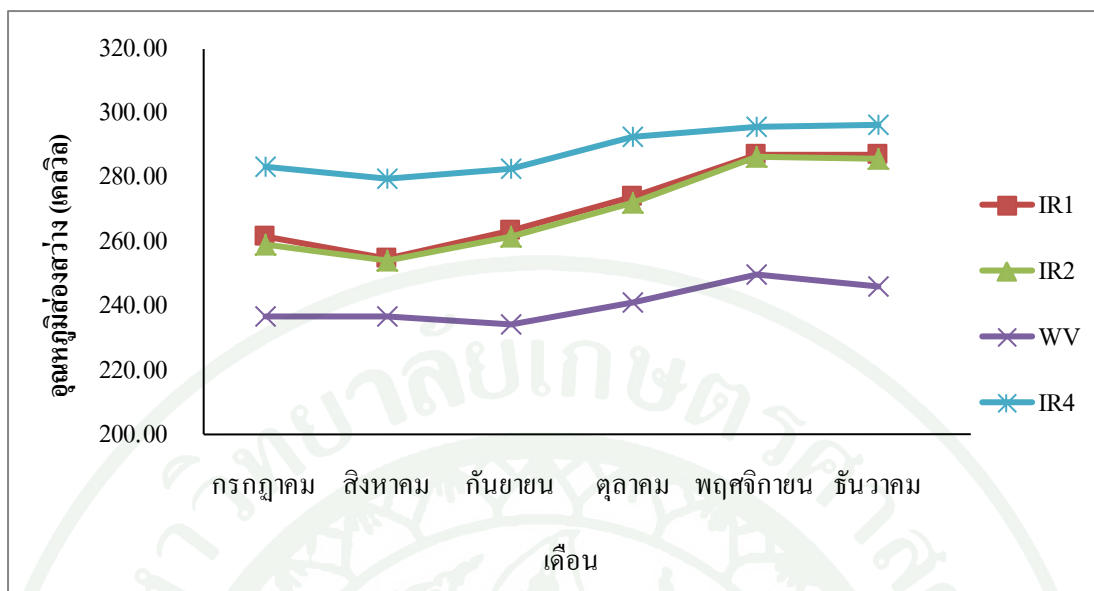
ก. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของภาคกลางพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 271.1 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 287.1 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 254.4 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR2 ในภาคกลางพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 269.6 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 286.1 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 253.8 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น WV ในภาคกลางพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 240.6 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 249.6 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 234.2 K ในเดือนกันยายน และอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR4 ในภาคกลางพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 288.4 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 296.1 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 282.5 K ในเดือนกันยายน (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคกลาง

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	261.5	254.4	263.1	273.7	287.0	287.1	271.1
IR2	259.1	253.8	261.1	272.1	286.1	285.8	269.6
WV	236.4	236.7	234.2	240.7	249.6	246.1	240.6
IR4	283.4	279.7	282.8	292.3	295.9	296.1	288.4

ทั้งนี้เนื่องจากในภาคกลางนั้นจะมีฝนมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม โดยอิทธิพลของร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่านบริเวณดังกล่าว ประกอบกับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่นำความชื้นเข้ามา ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนดังกล่าวอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่น และเนื่องจากช่วงเดือนกรกฎาคมจะมีช่วงเวลาที่มึลพิษเป็นฝนทิ้งช่วง ทำให้ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงเดือนกรกฎาคมจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในเดือนสิงหาคม หลังจากนั้นร่องความกดอากาศต่ำก็เคลื่อนที่ลงทางทิศใต้ ดังนั้นจึงทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิส่องสว่างมีเพิ่มค่าสูงขึ้น และคงที่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นลักษณะอากาศที่มีมวลอากาศเย็นมาปกคลุม ซึ่งอุณหภูมิส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าช่วงอื่น (ภาพที่ 27) และเมื่อเปรียบเทียบกับภาคเหนือซึ่งเป็นลักษณะของภูเขาสูงและพื้นที่ป่าไม้ที่พบว่ามีแนวโน้มมีลักษณะใกล้เคียงกันแต่ทางภาคกลางจะมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยเกือบทั้งหมดต่ำกว่าในทุกช่วงเวลา ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลักษณะของพื้นที่ราบสูง พบว่าก็ยังมีความต่ำกว่าในทุกช่วงเวลาเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภาคกลางนั้นมีโอกาสเกิดฝนมากกว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งอยู่ในพื้นที่ที่ละติจูดสูงกว่าและห่างไกลทะเลมากกว่าทำให้ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นั้นน้อยตามลงไปด้วย



ภาพที่ 27 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคกลาง

ข. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของภาคกลางพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 211.4 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 180.0 K ในเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคกลางพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 212.9 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 188.3 K ในเดือนกันยายน สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคกลางพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 208.7 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 190.0 K ในเดือนสิงหาคม และกันยายน ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคกลางพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 227.1 K ตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงกันธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 220.0 K ในเดือนกรกฎาคม (ตารางที่ 9) เมื่อเทียบกับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า จะมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้น้อยกว่าในช่วงเดือนสิงหาคมถึงธันวาคมเมื่อเทียบกับภาคเหนือ แต่เมื่อเทียบกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าน้อยกว่าในช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม เนื่องจากในช่วงเดือนกรกฎาคมร่องความกดอากาศจะเคลื่อนขึ้นเหนือทำให้ละติจูดต่ำจะมีการก่อตัวของเมฆฝนต่ำกว่า ขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีละติจูดใกล้เคียงกับภาคกลางมากกว่าภาคเหนือ ทำให้ค่าที่ได้มีช่วงเวลาของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ใกล้เคียงมากกว่าภาคเหนือ

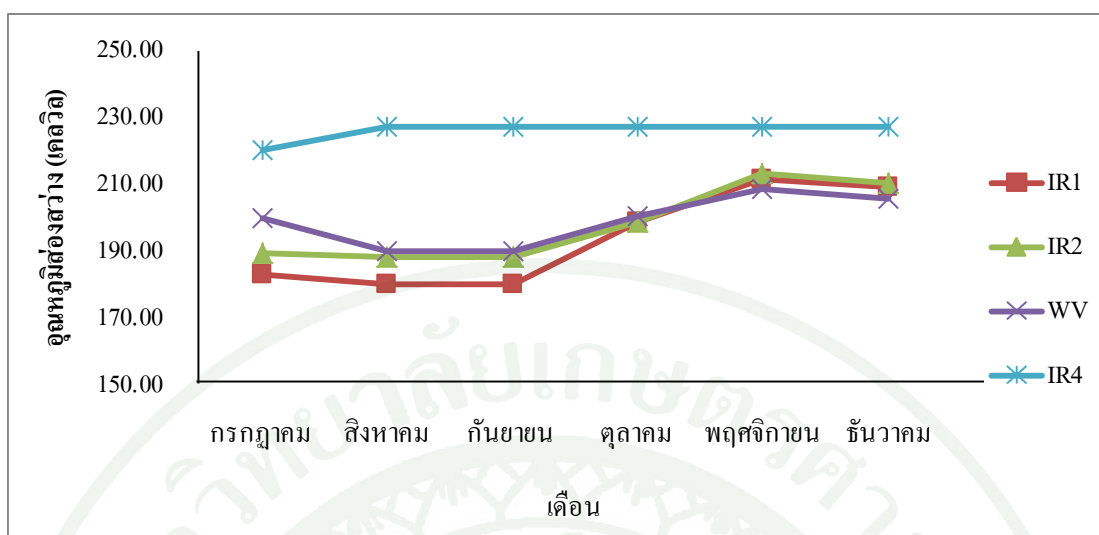
ตารางที่ 9 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคกลาง

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	182.6	180.0	180.0	198.3	211.4	209.0	193.5
IR2	189.1	187.8	188.3	198.3	212.9	210.1	197.8
WV	199.6	190.0	190.0	200.4	208.7	205.8	199.1
IR4	220.0	227.1	227.1	227.1	227.1	227.1	225.9

เนื่องจากอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้นั้นเป็นการบอกถึงความรุนแรงสูงของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ซึ่งการมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำนั้นแสดงว่าในเดือนนั้น ๆ มีวันที่มีฝนตกหนัก ซึ่งอุณหภูมิส่องสว่างนั้นจะแปรผกผันกับปริมาณฝน เพราะอุณหภูมิส่องสว่างเกิดจากการแผ่รังสีของพื้นดิน โดยพื้นดินแห้งจะแผ่รังสีมากกว่าพื้นดินเปียก ดังนั้น (ภาพที่ 28) จึงเห็นได้ว่าในพื้นที่ภาคกลางในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนนั้น มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าในช่วงเดือนอื่น และจากเทคนิคของ Kurino (1997) สามารถบอกได้ว่าช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมนั้นเป็นช่วงที่มีปริมาณฝนตกหนักมากกว่าช่วงอื่นในภาคกลาง และเมื่อเทียบกับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าภาคกลางจะมีช่วงเวลาฝนหนักที่ยาวนานกว่า

ค. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของภาคกลางพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 329.6 K ในเดือนกรกฎาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 298.5 K ในเดือนตุลาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคกลางพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 302.8 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 296.2 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคกลางพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 297.2 K ในเดือนสิงหาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 260.9 K ในเดือนพฤศจิกายน และอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคกลางพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 341.0 K ในเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 318.0 K ในเดือนกรกฎาคม (ตารางที่ 10) ขณะที่เมื่อเทียบกับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าภาคกลางมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้สูงกว่าในเกือบทุกช่วงความยาวคลื่นในทุกช่วงเวลา

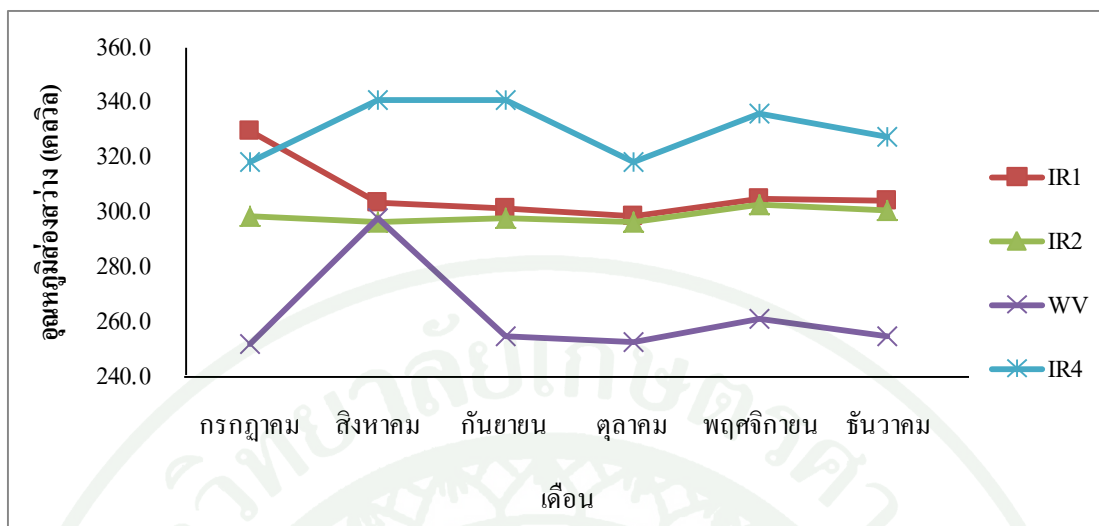


ภาพที่ 28 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคกลาง

ตารางที่ 10 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคกลาง

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	329.6	302.9	301.4	298.5	304.3	303.7	306.7
IR2	298.3	296.2	297.2	295.9	302.8	300.7	298.5
WV	251.2	297.2	254.5	252.3	260.9	254.5	261.8
IR4	318.0	341.0	341.0	318.2	336.0	327.1	330.2

จากการที่อุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้เป็นการบอกถึงการแผ่รังสีมากที่สุดที่โลกแผ่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์การแผ่รังสีตามสมการของแพลงก์ ดังที่แสดงไว้ในสมการที่ 3 ดังนั้นค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดรายเดือนจะบอกถึงพื้นที่หนึ่งในบริเวณภาคกลาง ที่มีการแผ่รังสีมากที่สุด ซึ่งการวิเคราะห์จากหลายความถี่จะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมค่าของคลื่นความถี่จะเข้าไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 29) ขณะที่ค่าในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนจะกระจัดกระจายซึ่งแสดงถึงความไม่เสถียรของระบบอากาศในช่วงเวลาดังกล่าว โดยเมื่อเทียบกับภาคเหนือพบว่าค่า IR1 และ IR2 ของภาคกลางในช่วงเดือนสิงหาคมและกันยายน มีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าภาคเหนือ ซึ่งอาจเกิดให้จากการใช้ประโยชน์ของ



ภาพที่ 29 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคกลาง

ที่ดินในพื้นที่ภาคเหนือมีความหลากหลายมากกว่า ขณะที่เมื่อเทียบกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า แม้จะแตกต่างกันแต่ก็ยังพบว่าแนวโน้มยังใกล้เคียงกันกับภาคเหนือ

1.1.4 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างในพื้นที่ภาคตะวันออก

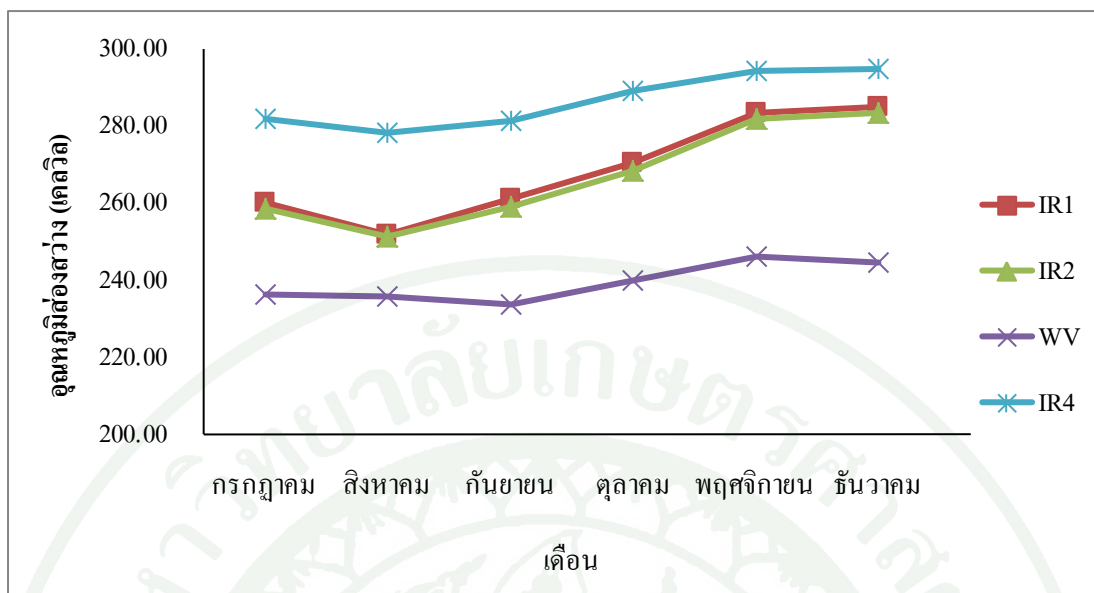
ก. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของภาคตะวันออกพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 268.6 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 284.7 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 251.8 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR2 ในภาคตะวันออกพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 266.9 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 283.1 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 251.2 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น WV ในภาคตะวันออกพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 239.3 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 246.1 K ในเดือนพฤศจิกายน ต่ำสุดเท่ากับ 233.6 K ในเดือนกันยายน และอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR4 ในภาคตะวันออกพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 286.6 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 294.9 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 281.4 K ในเดือนกันยายน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	260.2	251.8	261.3	270.4	283.2	284.7	268.5
IR2	258.2	251.2	259.1	268.3	281.8	283.1	266.9
WV	236.3	235.6	233.6	239.6	246.1	244.4	239.3
IR4	282.0	278.1	281.4	289.0	294.3	295.0	286.6

ทั้งนี้เนื่องจากในภาคตะวันออกนั้นจะมีฝนมากในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมโดยอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่นำความชื้นจากอ่าวไทยเข้ามา ประกอบกับในช่วงดังกล่าวมีอิทธิพลของร่องความกดอากาศต่ำที่พาดผ่าน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม อุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่าช่วงอื่น ซึ่งในเดือนสิงหาคมนั้นร่องความกดอากาศต่ำจะอยู่ในบริเวณนี้มากที่สุด ซึ่งทำให้ลักษณะลมมรสุมมีกำลังแรงขึ้น และส่งผลทำให้มีเมฆฝนก่อตัวเป็นจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิความส่องสว่างในช่วงเดือนสิงหาคมที่มีค่าต่ำที่สุด โดยหลังจากเดือนสิงหาคมแล้วนั้นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิส่องสว่างจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และจะไปคงที่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม ซึ่งจะเป็นลักษณะอากาศที่มีมวลอากาศเย็นมาปกคลุม ซึ่งอุณหภูมิส่องสว่างจะมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าช่วงอื่น ดังแสดงไว้ในภาพที่ 30 โดยเมื่อเทียบกับภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลางแล้วพบว่า ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นของภาคตะวันออกจะน้อยกว่าโดยเฉพาะในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายนในกรณีของภาคเหนือ สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นั้นพบว่าค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นของภาคตะวันออกจะน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน และมีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนคล้ายกับภาคกลาง ซึ่งอยู่ละติจูดเดียวกัน



ภาพที่ 30 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ข. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 212.4 K ในเดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 180.0 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 210.7 K ในเดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 190.3 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 208.3 K ในเดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 190.0 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 227.1 K ตั้งแต่เดือนสิงหาคม กันยายน พฤศจิกายน และธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 220.0 K ในเดือนกรกฎาคม (ตารางที่ 12)

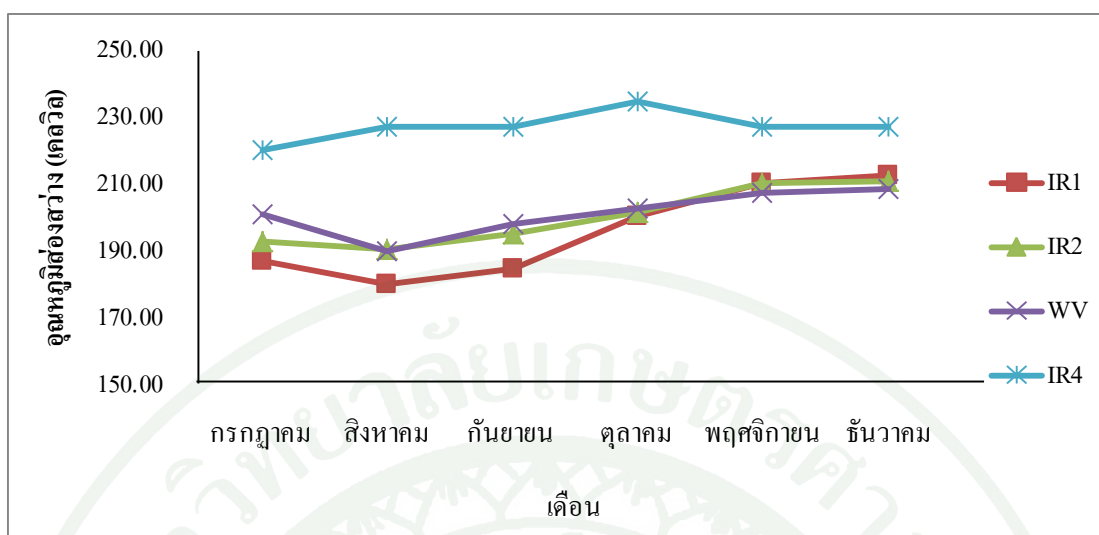
ตารางที่ 12 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียง

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	186.8	180.0	184.8	200.1	210.0	212.4	195.7
IR2	192.4	190.3	195.3	201.3	210.4	210.7	200.1
WV	200.8	190.0	198.0	202.5	207.0	208.3	201.1
IR4	220.0	227.1	227.1	234.9	227.1	227.1	227.2

เนื่องจากอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้นั้นจะเป็นการบอกถึงความรุนแรงสูงสุดของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ซึ่งการมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำนั้นแสดงว่าในเดือนนั้น ๆ มีวันที่มีฝนตกหนัก (ภาพที่ 31) จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนนั้น จะมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าในช่วงเดือนอื่น และจากเทคนิคของ Kurino (1997) สามารถบอกได้ว่า ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมนั้นในแต่ละเดือนจะมีฝนตกหนักมากกว่าเดือนอื่น เนื่องจากช่วงคลื่น IR1 น้อยกว่าช่วงคลื่น WV ซึ่งเป็นลักษณะที่คล้ายกับภาคกลาง ขณะที่ช่วงเวลาของโอกาสที่จะเกิดฝนหนักมากกว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน

ค. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดรายเดือนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 329.6 K ในเดือนกรกฎาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 298.5 K ในเดือนตุลาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดในช่วงคลื่น IR2 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 302.8 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 296.2 K ในเดือนสิงหาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดในช่วงคลื่น WV ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 297.2 K ในเดือนสิงหาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 260.9 K ในเดือนพฤศจิกายน และอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดในช่วงคลื่น IR4 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 341.0 K ในเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 318.0 K ในเดือนกรกฎาคมดังแสดงไว้ในตารางที่ 13

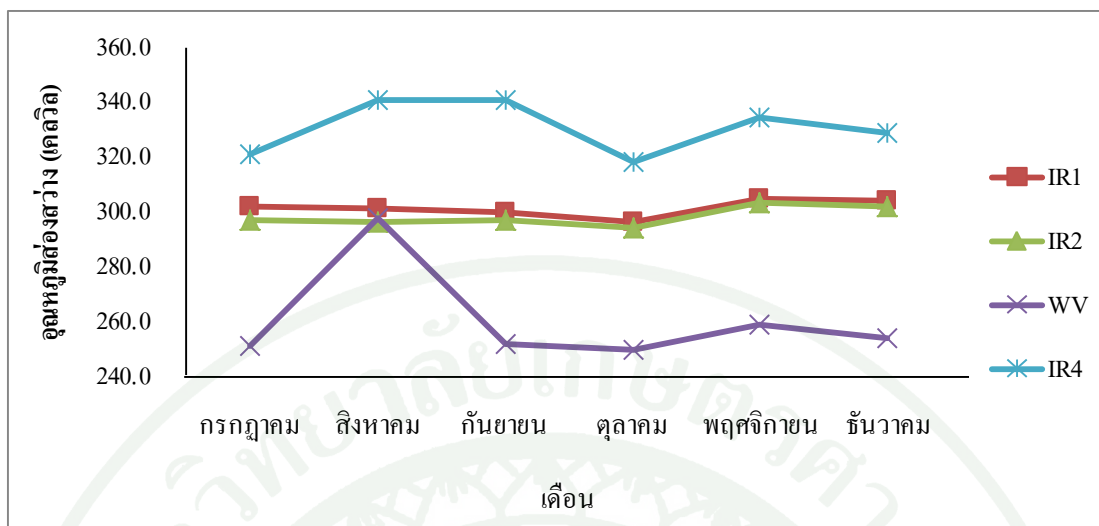


ภาพที่ 31 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคตะวันออก

ตารางที่ 13 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	329.6	302.9	301.4	298.5	304.3	303.7	301.1
IR2	298.3	296.2	297.2	295.9	302.8	300.7	298.2
WV	251.2	297.2	254.5	252.3	260.9	254.5	260.1
IR4	318.0	341.0	341.0	318.2	336.0	327.1	330.6

จากการที่อุณหภูมิส่องสว่างสามารถอ้างอิงได้กับลักษณะถึงการแผ่รังสีของโลกที่แผ่รังสีเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งอุณหภูมิส่องสว่างจะมีความสัมพันธ์การแผ่รังสีตามสมการของเพลงก์ (สมการที่ 3) ดังนั้นค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดรายเดือนจะบอกถึงพื้นที่หนึ่งพื้นที่ใดในบริเวณภาคตะวันออก ที่มีการแผ่รังสีมากที่สุดของเดือนนั้น ๆ ซึ่งการวิเคราะห์จากหลายความถี่จะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมค่าของทั้ง 4 ช่วงคลื่นความถี่นั้นให้ค่าไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 32) ขณะที่ค่าในช่วงฤดูฝนคือเดือนกรกฎาคมถึงกันยายนจะไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะสะท้อนถึงความไม่เสถียรของระบบอากาศในช่วงเวลาในฤดูฝน และเมื่อเทียบกับภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง พบว่าคล้ายกันกับภาคกลาง โดยมีแตกต่างกัน



ภาพที่ 32 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิห้องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคตะวันออก

บ้างในช่วงเดือนกรกฎาคม สำหรับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน เพราะนอกจากจะมีละอองที่แตกต่างกันแล้ว ลักษณะการใช้ประโยชน์ของที่ดินยังแตกต่างกันด้วย

1.1.5 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิห้องสว่างในพื้นที่ภาคใต้

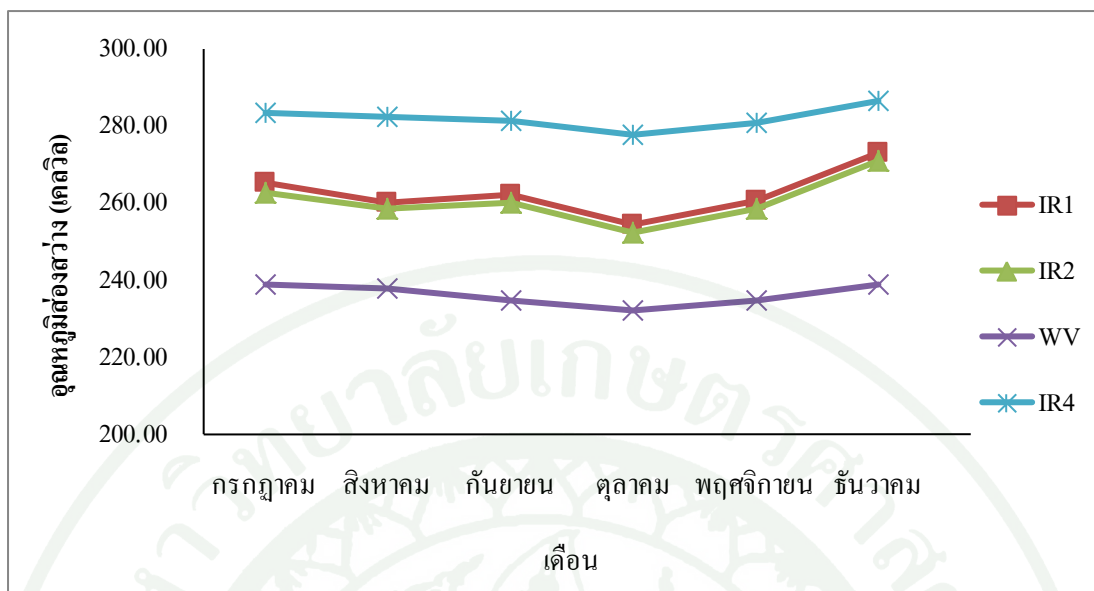
ก. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิห้องสว่างเฉลี่ยรายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิห้องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของภาคใต้ พบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 262.6 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 272.9 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 254.5 K ในเดือนตุลาคม ส่วนอุณหภูมิห้องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR2 ในภาคใต้พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 260.4 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 271.1 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 252.0 K ในเดือนตุลาคม สำหรับอุณหภูมิห้องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น WV ในภาคใต้พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 236.1 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 238.8 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 231.9 K ในเดือนตุลาคม และอุณหภูมิห้องสว่างเฉลี่ยในช่วงคลื่น IR4 ในภาคใต้พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 282.0 K โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 286.6 K ในเดือนธันวาคม ต่ำสุดเท่ากับ 277.7 K ในเดือนตุลาคม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคใต้

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	265.2	260.0	262.3	254.5	260.4	272.9	262.6
IR2	262.8	258.3	259.8	252.0	258.3	271.1	260.4
WV	238.7	237.9	234.4	231.9	234.7	238.8	236.1
IR4	283.5	282.5	281.2	277.7	280.7	286.6	282.0

ทั้งนี้เนื่องจากในภาคใต้นั้นจะมีฝนตลอดช่วงมรสุม โดยมีอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ส่งผลกับภาคใต้ฝั่งตะวันตกในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม ส่วนอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีอิทธิพลต่อพื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ดังนั้นปัจจัยที่จะทำให้ลักษณะลมแรงหรือไม่คือ แนวร่องความกดอากาศต่ำ ซึ่งพาดผ่านประมาณเดือนตุลาคม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม อุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยมีค่าต่ำลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากร่องความกดอากาศเคลื่อนที่ลง ทำให้ลักษณะของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีกำลังแรงขึ้นทำให้มีฝนมากในภาคใต้ฝั่งตะวันตก และหลังจากนั้นเมื่อร่องความกดอากาศต่ำเคลื่อนที่ผ่านไปลักษณะของฝนจะขึ้นอยู่กับความกดอากาศที่จะแผ่เข้ามา รวมทั้งการที่ร่องความกดอากาศต่ำมีกำลังแรง ก็ส่งผลให้ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือรุนแรงมากขึ้น (ภาพที่ 33) และเมื่อเทียบกับภาคอื่น ๆ พบว่าค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของแต่ละช่วงคลื่นใกล้เคียงกันเฉพาะในช่วงเดือนกรกฎาคม หลังจากนั้นค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยของภาคใต้จะต่ำกว่าภาคอื่น ๆ เนื่องจากภาคใต้ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตลอดช่วงระยะเวลาดังกล่าว



ภาพที่ 33 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคใต้

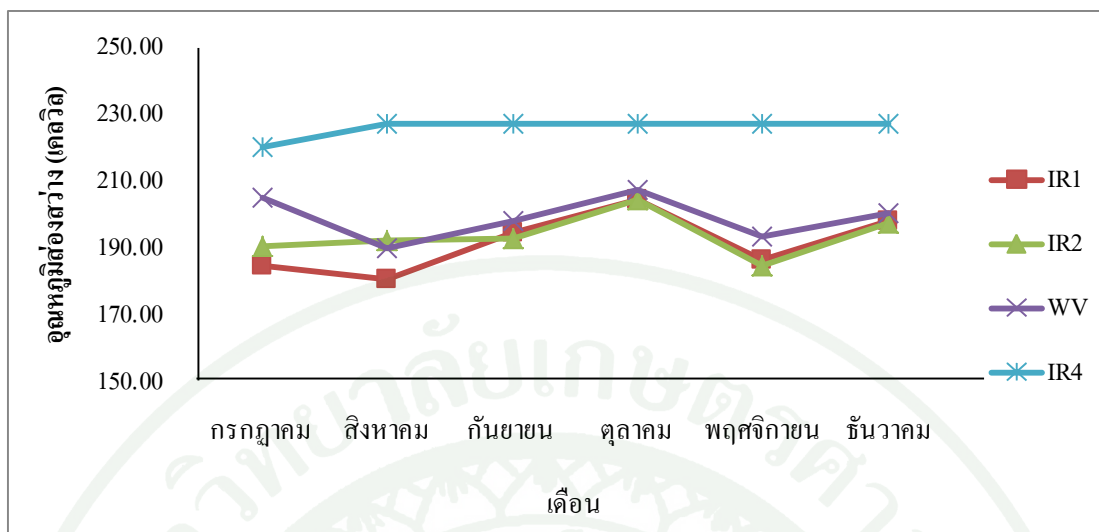
ข. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำที่เคยวัดได้สุตรายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของภาคใต้พบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 204.6 K ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 180.5 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคใต้พบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 204.2 K ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 184.8 K ในเดือนพฤศจิกายน สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคใต้พบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 207.0 K ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 190.0 K ในเดือนสิงหาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคใต้พบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 227.1 K ตั้งแต่เดือนสิงหาคม ถึงเดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 220.0 K ในเดือนกรกฎาคม (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคใต้

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	184.7	180.5	194.5	204.6	186.4	197.8	191.4
IR2	190.3	192.1	192.9	204.2	184.8	197.5	193.6
WV	204.7	190.0	198.0	207.0	193.4	200.4	198.9
IR4	220.0	227.1	227.1	227.1	227.1	227.1	225.9

เนื่องจากอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้จะเป็นการบอกถึงความรุนแรงสูงสุดของปริมาณฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ซึ่งการมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำนั้นแสดงว่าในเดือนนั้น ๆ มีวันที่มีฝนตกหนัก (ภาพที่ 34) จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ภาคใต้ในช่วงฤดูมรสุมนั้น จะมีค่าอุณหภูมิต่ำสองช่วงคือช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่าจะต่ำสุดในเดือนสิงหาคม และในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือค่าจะต่ำสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายน และเมื่อใช้เทคนิคของ Kurino (1997) มาทำการวิเคราะห์ ก็สามารถบอกได้ว่า ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคมนั้นในแต่ละเดือนจะมีฝนตกหนักจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมก็จะมีฝนตกหนักในแต่ละเดือนจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากช่วงคลื่น IR1 น้อยกว่าช่วงคลื่น WV (ภาพที่ 34) และเมื่อเทียบกับภาคอื่น ๆ พบว่าภาคใต้มีอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้ต่ำกว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายนอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาวจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่นำความเย็นเข้ามา ซึ่งลักษณะของฝนในบริเวณดังกล่าวลดลง ขณะเดียวกันลมมรสุมดังกล่าวจะทำให้เกิดฝนตกหนักโดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก ขณะที่เมื่อเทียบกับภาคกลางและภาคตะวันออกนั้นจะแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดในเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเริ่มเข้าสู่ลักษณะของฤดูหนาวเช่นกัน



ภาพที่ 34 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างต่ำสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคใต้

ค. ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือน

จากการศึกษาค่าความผันแปรอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดรายเดือนของภาคใต้ พบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีค่าสูงสุดที่เคยวัดได้เท่ากับ 303.4 K ในเดือนธันวาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 294.0 K ในเดือนตุลาคม ส่วนอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR2 ในภาคใต้พบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 334.6 K ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 290.4 K ในเดือนตุลาคม สำหรับอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น WV ในภาคใต้พบว่ามีสูงสุดเท่ากับ 297.2 K ในเดือนสิงหาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 245.9 K ในเดือนตุลาคม และอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้ในช่วงคลื่น IR4 ในภาคใต้พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 341.0 K ในเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 317.7 K ในเดือนพฤศจิกายนดังแสดงไว้ในตารางที่ 16

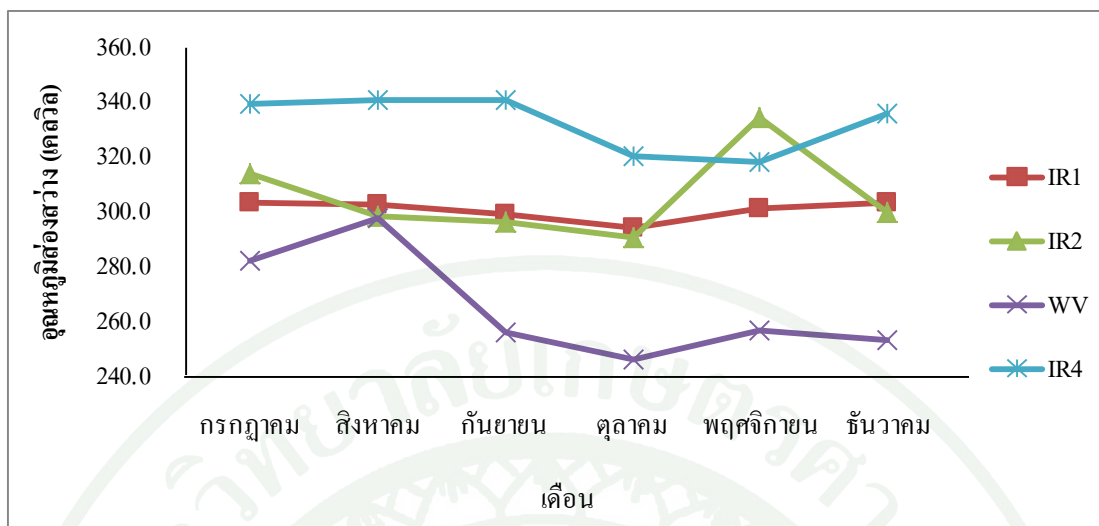
ตารางที่ 16 ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เกยวัดได้ของแต่ละช่วงคลื่นรายเดือนในพื้นที่ภาคใต้

ช่วงคลื่น	ค่าอุณหภูมิส่องสว่าง (K)						ค่าเฉลี่ย
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	
IR1	303.0	302.8	299.0	294.0	301.0	303.4	300.5
IR2	313.5	298.4	296.1	290.4	334.6	300.0	305.5
WV	282.1	297.2	255.6	245.9	256.7	252.8	265.0
IR4	339.3	341.0	341.0	320.5	317.7	335.8	332.5

จากการที่อุณหภูมิส่องสว่างสามารถอ้างอิงได้กับลักษณะถึงการแผ่รังสีของโลกที่แผ่รังสีเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งอุณหภูมิส่องสว่างจะมีความสัมพันธ์กับการแผ่รังสีตามสมการของแพลงก์ (สมการที่ 3) ดังนั้นค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดรายเดือนจะบอกถึงพื้นที่ใดก็ตามในบริเวณภาคใต้ ที่มีการแผ่รังสีมากที่สุดของเดือนนั้น ๆ ซึ่งการวิเคราะห์จากหลายความถี่จะเห็นได้ว่าตลอดช่วงฤดูมรสุมนี้ค่าของทั้ง 4 ช่วงคลื่นไม่แสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเกิดจากความไม่เสถียรของระบบอากาศในช่วงเวลาในฤดูมรสุม ซึ่งแตกต่างจากภาคอื่น ๆ ที่ตั้งแต่เดือนตุลาคมระบบอากาศจะเริ่มมีความเสถียรมากขึ้นเนื่องจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีนเริ่มแผ่ลงมาปกคลุม ซึ่งจะแตกต่างกับภาคใต้ที่ความกดอากาศสูงดังกล่าวจะทำให้เกิดฝนตกหนักในบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก (ภาพที่ 35)

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝน

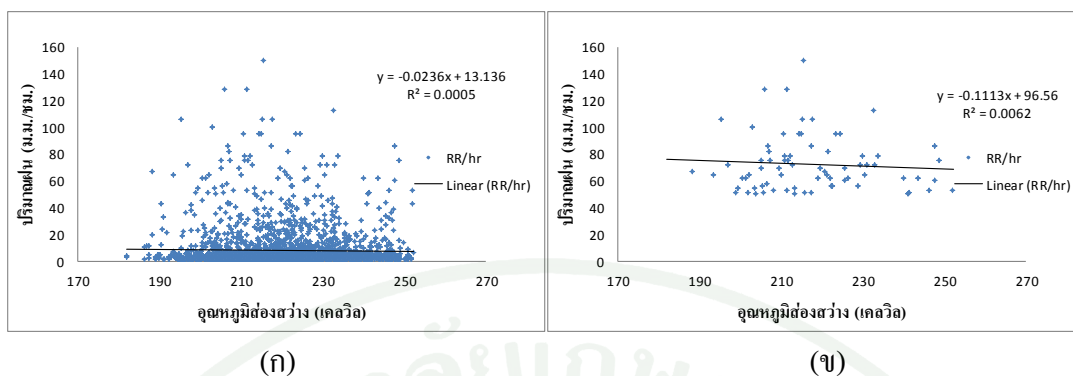
เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่นอินฟราเรดนั้น พบว่าเป็นการแสดงให้เห็นถึงภาพเมฆ โดยมีอุณหภูมิส่องสว่างเป็นปัจจัยที่จะประเมินการยกตัวของเมฆรวมทั้งเมฆฝน และจากสาเหตุดังกล่าวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝน เพื่อที่จะทำการพยากรณ์แนวโน้มของการเกิดฝนโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการวิเคราะห์ รวมทั้งการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำการตรวจวัดฝนในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด



ภาพที่ 35 ความผันแปรของค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงสุดที่เคยวัดได้รายเดือนของแต่ละช่วงคลื่นในพื้นที่ภาคใต้

1.2.1 พื้นที่ภาคเหนือ

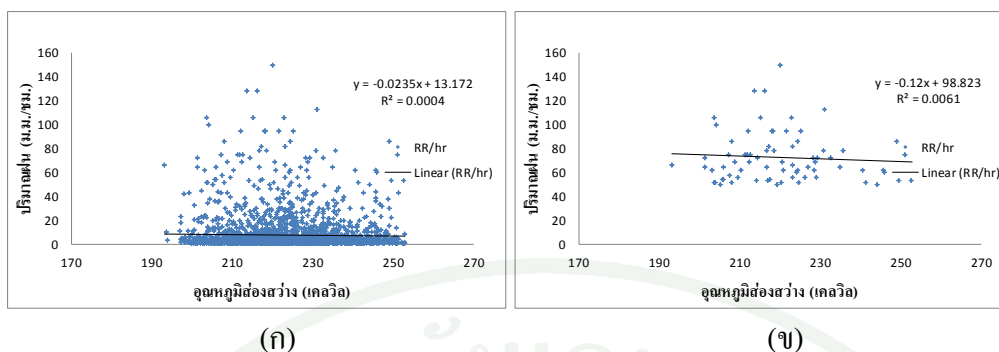
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคเหนือ นั้นพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีทิศทางความสัมพันธ์แบบผกผันกันโดยไม่มีนัยยะสำคัญทางสถิติ เมื่ออุณหภูมิส่องสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการแผ่รังสีของพื้นดินแห่งนั้นจะน้อยกว่าพื้นดินเปียก ประกอบกับการที่มีเมฆมากแสดงว่ามีไอน้ำอยู่ในบรรยากาศมากซึ่งจะทำให้การแผ่รังสีลดลงตามไปด้วย โดยแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) ที่ได้ทำการศึกษาที่รัฐฟลอริดา และกมลเดช (2549) ที่ทำการศึกษาในพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำป่าสัก ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ดังกล่าวเช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0005 และแม้ว่าได้ทำการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) ก็ยังคงพบว่าไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติเช่นกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0062 (ภาพที่ 36)



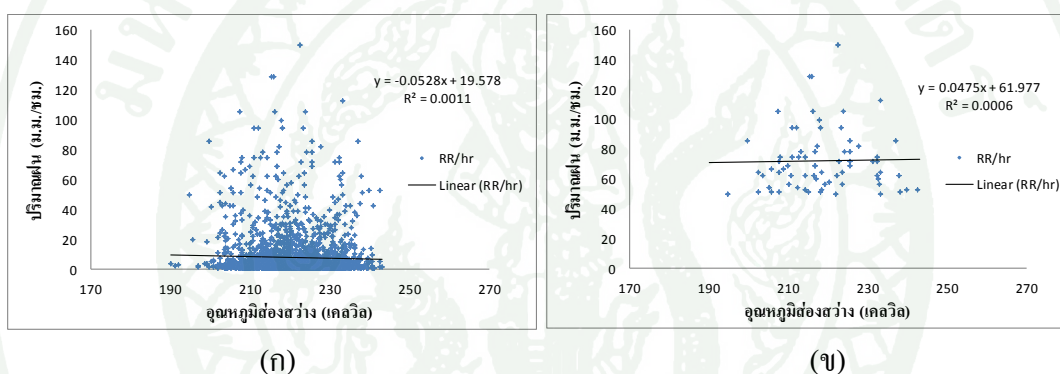
ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

ในส่วน of ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคเหนือในช่วงคลื่น IR2 มีความสัมพันธ์แปรผกผันกันข้าม แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิต้องสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) และกมลเดช (2549) เช่นกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0004 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0061 ซึ่งเป็นค่าที่มากขึ้นเช่นกัน (ภาพที่ 37) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์ในทางสถิติ

นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคเหนือในช่วงคลื่น WV แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิต้องสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมากขึ้น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0011 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าความชันของกราฟเป็นบวกและค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0006 โดยค่าที่ได้ทั้งสองค่านี้พบว่ามีไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (ภาพที่ 38) อย่างไรก็ตามค่าการแผ่รังสีของคลื่นในช่วง WV นั้นจะเป็นการบอกถึงความชื้นในชั้นบรรยากาศ (Kelkar, 2007)

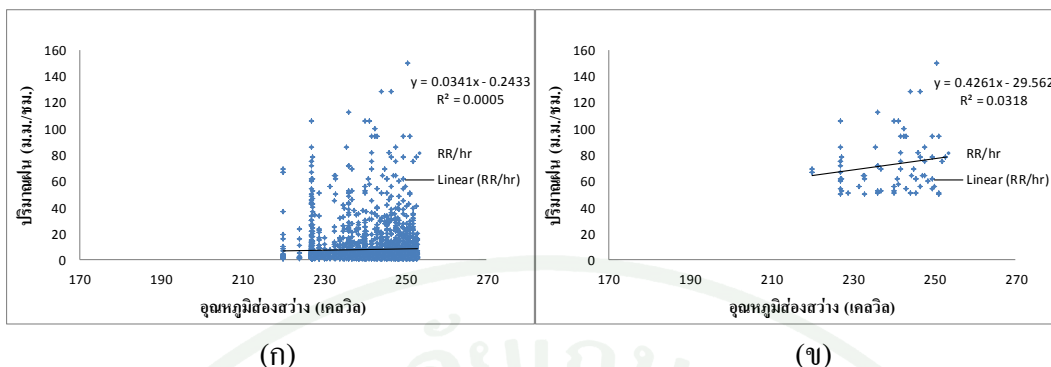


ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร



ภาพที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

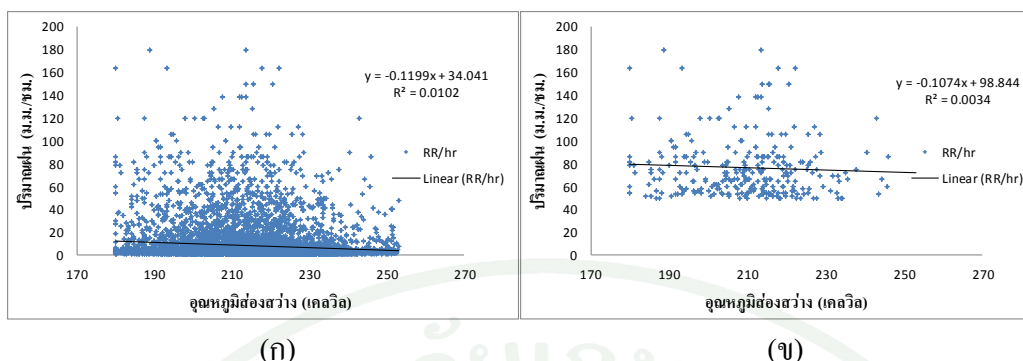
สำหรับในส่วนในช่วงคลื่น IR4 นั้นจะเป็นการสะท้อนคุณสมบัติของเมฆระดับต่ำ (Kelkar, 2007) นั้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคเหนือ พบว่าเมื่ออุณหภูมิส่องสว่างสูงขึ้นปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกับ IR1 และ IR2 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.0005 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0318 ซึ่งเป็นค่าที่มากขึ้นเช่นกัน แต่ก็ยังคงมีค่าความสัมพันธ์ที่ต่ำมาก (ภาพที่ 39)



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

1.2.2 ความสัมพันธ์ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

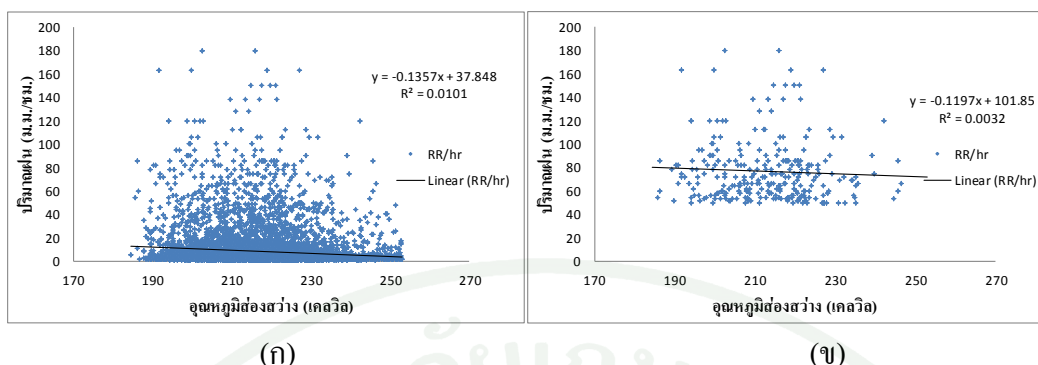
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีความสัมพันธ์แปรผันตรงกันข้าม เมื่ออุณหภูมิแสงสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเมฆ ซึ่งก็คือน้ำในบรรยากาศ รวมทั้งการแผ่รังสีของพื้นดินแห้งและพื้นดินเปียกที่มีลักษณะการแผ่รังสีที่ต่างกัน ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) ที่รัฐฟลอริดา และกมลเดช (2549) ที่ทำการศึกษาที่ลุ่มน้ำป่าสัก ที่พบว่าปริมาณฝนจะแปรผกผันกับอุณหภูมิแสงสว่าง ส่วนความสัมพันธ์ของช่วงคลื่น IR1 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0102 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0034 ซึ่งยังคงไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (ภาพที่ 40)



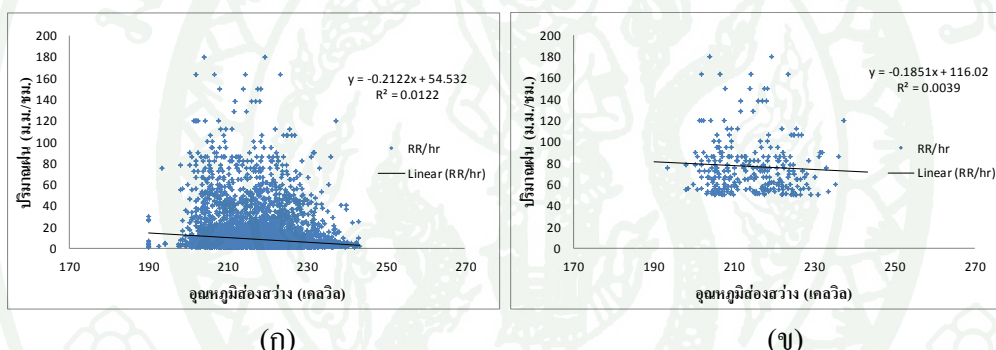
ภาพที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

ในส่วน of ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงคลื่น IR2 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิท้องสว่างลดลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวยังคงเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) และกมลเดช (2549) เช่นกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0101 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0.0032 พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ในทางสถิติ (ภาพที่ 41)

นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงคลื่น WV (ภาพที่ 42) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิท้องสว่างลดลงปริมาณฝนจะมากขึ้น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0122 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ก็มีค่าลดลงเท่ากับ 0.0039 ซึ่งก็ยังคงไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างไรก็ตามค่าการแผ่รังสีของคลื่นในช่วง WV นั้นจะเป็นการบอกลถึงความชื้นในชั้นบรรยากาศ (Kelkar, 2007)

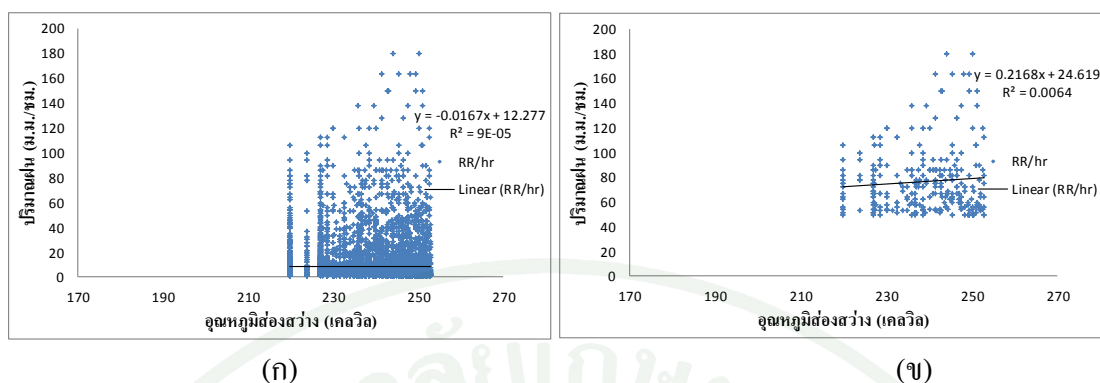


ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

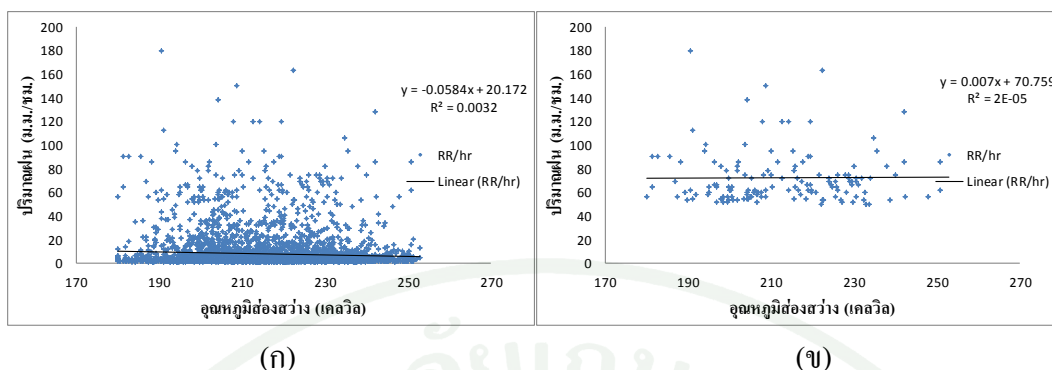
สำหรับในส่วนในช่วงคลื่น IR4 นั้นจะเป็นการสะท้อนคุณสมบัติของเมฆระดับต่ำ (Kelkar, 2007) นั้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าเมื่ออุณหภูมิแสงสว่างสูงขึ้นปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวแม้ว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกับ IR1 และ IR2 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.00009 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่มีย่านหนักมามากนั้นคือ 50 มิลลิเมตร ต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0064 ซึ่งถือว่าไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (ภาพที่ 43)



ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีสองวันทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

1.2.3 ความสัมพันธ์ในพื้นที่ภาคกลาง

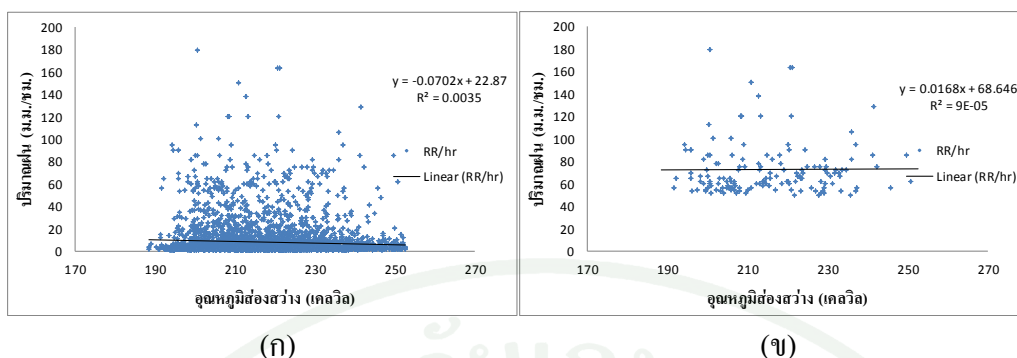
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคกลางนั้นพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีความสัมพันธ์แปรผกผันกันข้าม นั่นคือเมื่ออุณหภูมิแสงสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) และกมลเดช (2549) อย่างไรก็ตามค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0032 และเมื่อได้ทำการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั่นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.00002 ซึ่งเป็นค่าน้อยและไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (ภาพที่ 44)



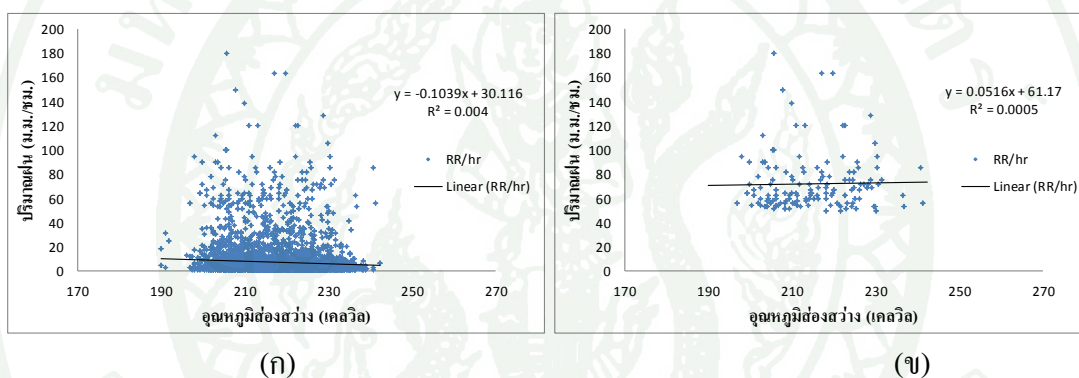
ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคกลาง (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

ในส่วน of ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคกลางในช่วงคลื่น IR2 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิส่องสว่างลดลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) และกมลเดช (2549) เช่นกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0035 แต่ได้มีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั่นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าความชันจะกลายเป็นบวก ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.00009 ซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าที่น้อยลงและไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (ภาพที่ 45)

นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคกลางในช่วงคลื่น WV (ภาพที่ 46) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิส่องสว่างลดลงปริมาณฝนจะมากขึ้น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.004 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั่นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ก็มีค่าลดลงคือมีค่าเท่ากับ 0.0005 ซึ่งพบว่าทั้งสองค่านี้แสดงให้เห็นถึงความไม่สัมพันธ์ในทางสถิติ อย่างไรก็ตามค่าการแผ่รังสีของคลื่นในช่วง WV นั้นจะเป็นการบอกถึงความชื้นในชั้นบรรยากาศ (Kelkar, 2007)

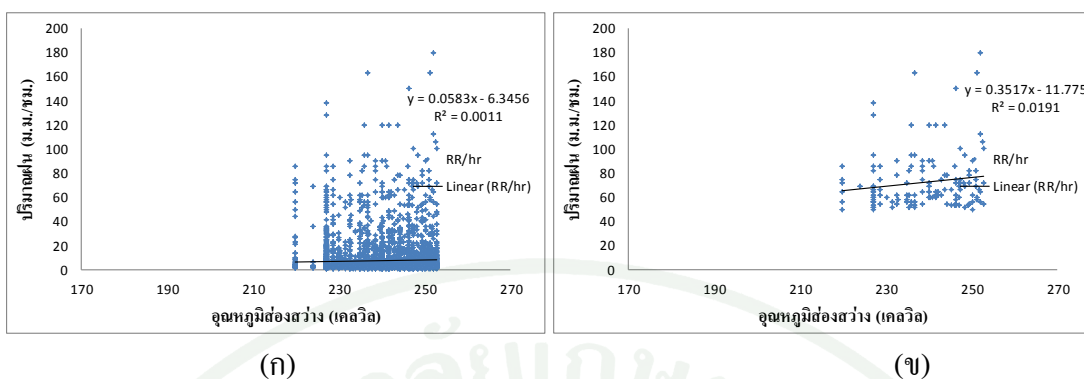


ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคกลาง (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคกลาง (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

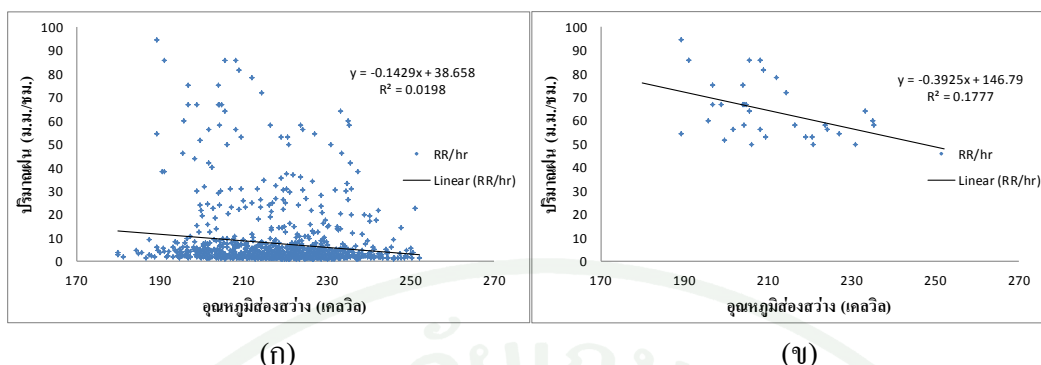
สำหรับในส่วนในช่วงคลื่น IR4 นั้นจะเป็นการสะท้อนคุณสมบัติของเมฆระดับล่าง (Kelkar, 2007) นั้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิท้องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคกลางนั้น เมื่ออุณหภูมิท้องสว่างสูงขึ้นปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวพบว่าเป็นไปในแนวทางเดียวกับ IR1 และ IR2 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0011 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตร ต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าค่าความชันของกราฟมีค่ามากขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0191 ซึ่งเป็นค่าที่มากขึ้นแต่ยังคงไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (ภาพที่ 47)



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคกลาง (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

1.2.4 ความสัมพันธ์ในพื้นที่ภาคตะวันออก

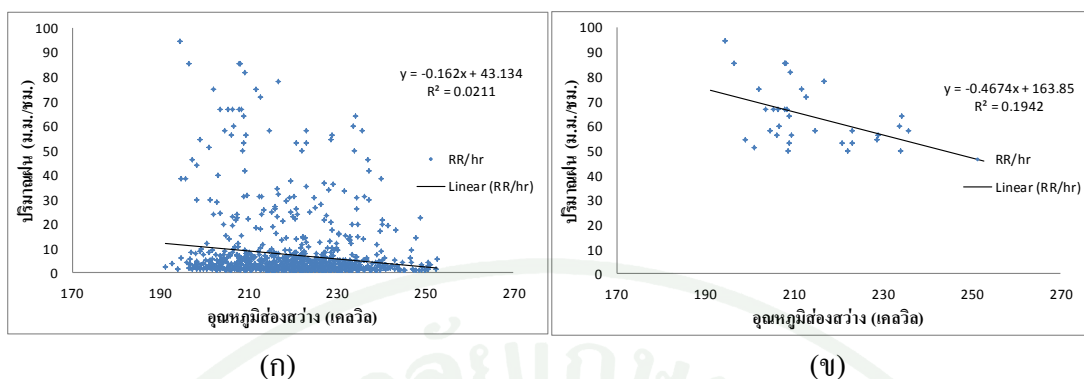
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแสงสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกนั้นพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีความสัมพันธ์แปรผันตรงกันข้าม เมื่ออุณหภูมิแสงสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเมฆ รวมทั้งลักษณะของพื้นดินที่แห้งหรือเปียกซึ่งส่งผลต่อการแผ่รังสีของพื้นโลก ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) และกมลเดช (2549) โดยค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0198 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ และในกรณีที่มีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) พบว่ายังคงไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.1777 (ภาพที่ 48)



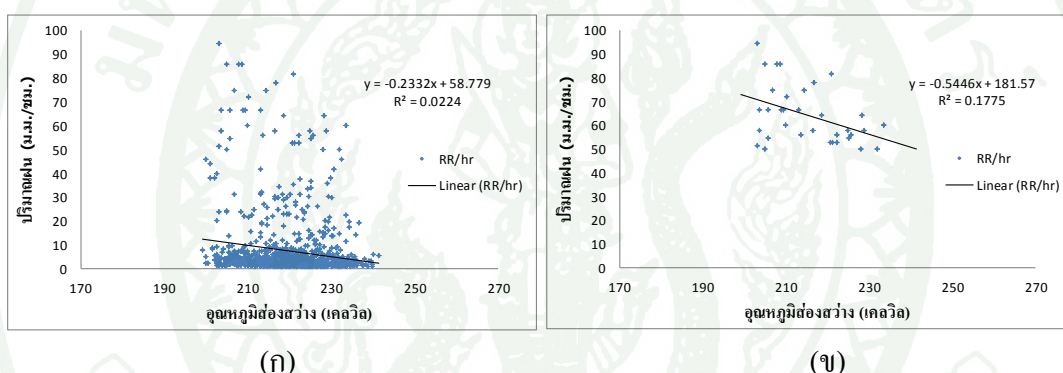
ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

ในส่วนของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงคลื่น IR2 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิต้องสว่างลดลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) และกมลเดช (2549) เช่นกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.0211 แต่ถ้ามองการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่ามีความชันมากขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.1042 ซึ่งยังอยู่ในระดับที่ต่ำ (ภาพที่ 49)

นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต้องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงคลื่น WV แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิต้องสว่างลดลงปริมาณฝนจะมากขึ้น มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0224 ในขณะที่ถ้ามองการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่ามีความชันมากขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ก็มีค่าเท่ากับ 0.1775 ซึ่งยังอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นกัน (ภาพที่ 50)

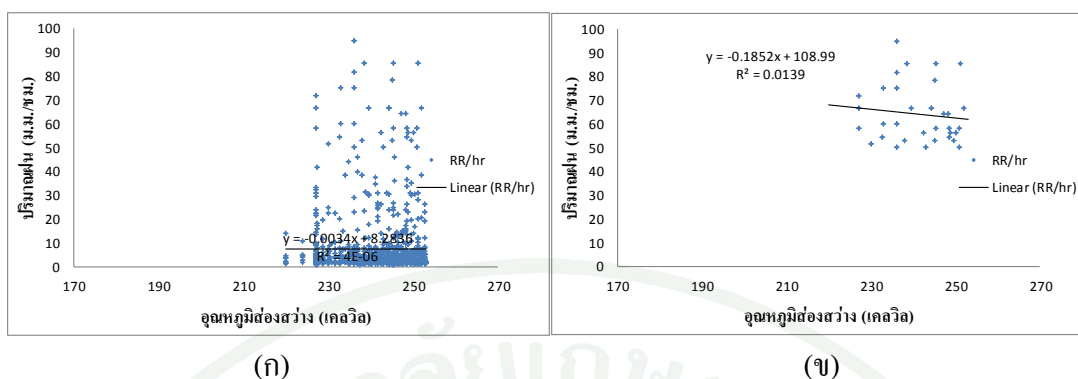


ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร



ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

สำหรับในส่วนในช่วงคลื่น IR4 นั้นจะเป็นการสะท้อนคุณสมบัติของเมฆระดับต่ำ (Kelkar, 2007) นั้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 51) พบว่าเมื่ออุณหภูมิส่องสว่างสูงขึ้นปริมาณฝนจะมากขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.000004 ซึ่งแสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office,

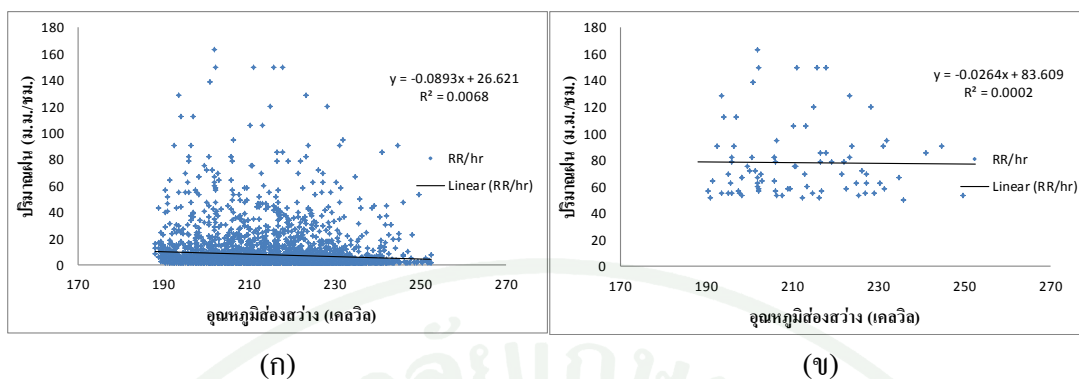


ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

2011) จะพบว่ามีค่าความชันมีค่ามากขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0139 ซึ่งเป็นค่าที่มากขึ้นเช่นกัน

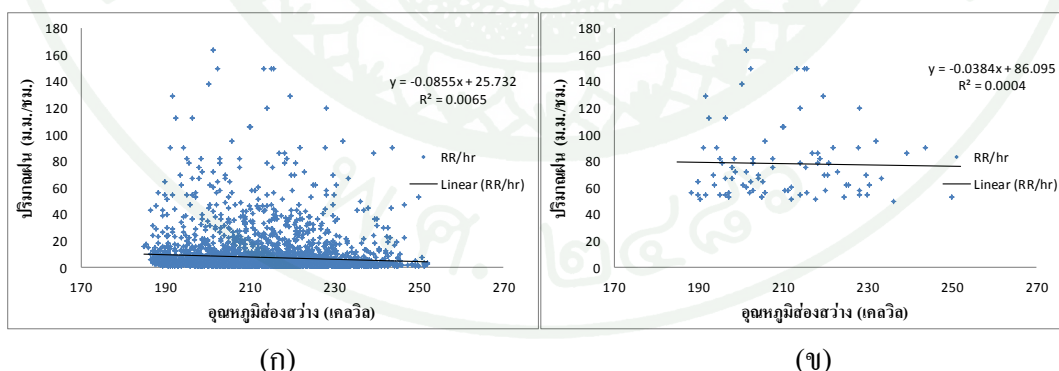
1.2.5 ความสัมพันธ์ในพื้นที่ภาคใต้

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคใต้นั้นพบว่าในช่วงคลื่น IR1 มีความสัมพันธ์แปรตรงกันข้าม เมื่ออุณหภูมิส่องสว่างลดต่ำลง ปริมาณฝนจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการแผ่รังสีของพื้นดินทั้งลักษณะที่แห้งหรือเปียกที่แตกต่างกัน รวมทั้งลักษณะของน้ำในบรรยากาศ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) ที่ได้ทำการศึกษาที่รัฐฟลอริดา โดยค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0068 ในอย่างไรก็ตามถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าความชันจะลดลง ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0002 ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติเช่นกัน (ภาพที่ 52)



ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR1 บริเวณภาคใต้
(ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

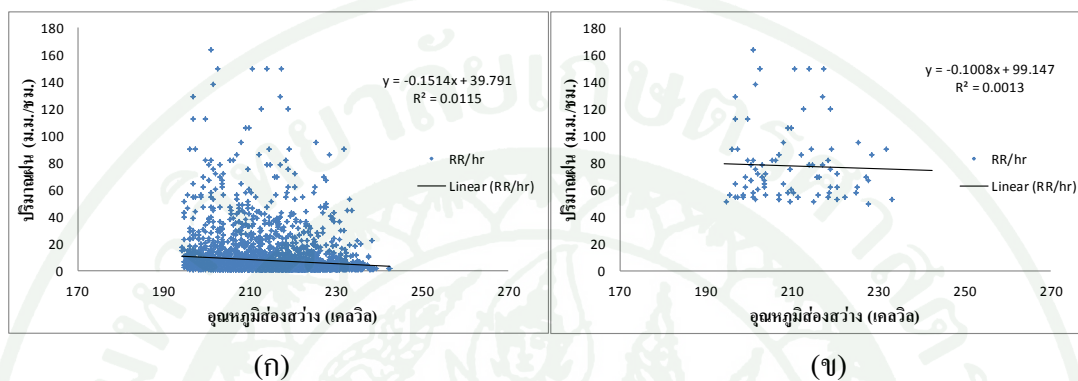
ในส่วนของการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคใต้ในช่วงคลื่น IR2 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิส่องสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมากขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาของ Negri and Adler (1987) และกมลเดช (2549) อย่างไรก็ตามพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่มีความความสัมพันธ์ทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0065 แต่ถ้ามองการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมาก นั่นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่าความชันจะลดลง โดยขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0004 ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติเช่นกัน (ภาพที่ 53)



ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR2 บริเวณภาคใต้
(ก) กรณีปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

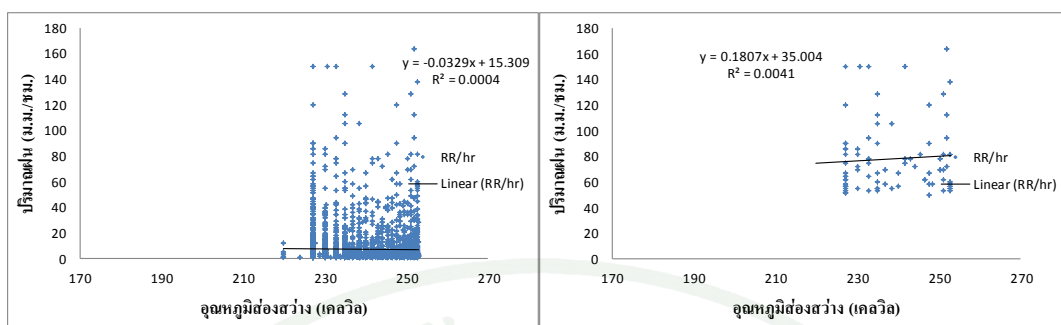
นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคใต้ในช่วงคลื่น WV แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิส่องสว่างลดต่ำลงปริมาณฝนจะมาก

ขึ้น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0115 ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ก็มีค่าเท่ากับ 0.0013 ซึ่งจากค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้มาทั้งสองค่านี้แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ (ภาพที่ 54)



ภาพที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น WV บริเวณภาคใต้
(ก) กรณีสปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีสปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

สำหรับในส่วนในช่วงคลื่น IR4 นั้นจะเป็นการสะท้อนคุณสมบัติของเมฆระดับต่ำ (Kelkar, 2007) นั้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในบริเวณภาคใต้ (ภาพที่ 55) พบว่าเมื่ออุณหภูมิส่องสว่างสูงขึ้นปริมาณฝนจะมากขึ้น โดยความสัมพันธ์มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.0004 ซึ่งแสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ ในขณะที่ถ้ามีการคัดเลือกเฉพาะช่วงเวลาที่ฝนหนักมากนั้นคือ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป (Met Office, 2011) จะค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.0041 ซึ่งยังคงไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติเช่นกัน



(ก)

(ข)

ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนในช่วงคลื่น IR4 บริเวณภาคใต้
(ก) กรณีสปริมาณฝนทั้งหมด (ข) กรณีสปริมาณฝนมากกว่า 50 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างกับปริมาณน้ำฝน ส่วนใหญ่จะเห็นแนวโน้มได้ว่าถ้ามีฝนหนักแนวโน้มของอุณหภูมิส่องสว่างก็จะลดลง ซึ่งตรงกับ การศึกษาของ Negri and Adler (1987) รวมถึงกมลเดช (2549) แม้ว่าจะมีบางส่วนจะมีอุณหภูมิ สูงขึ้นตามปริมาณฝนก็ตาม แต่ส่วนใหญ่ก็จะเป็นความยาวคลื่นในช่วง WV และ IR4 ซึ่งเป็นความ ยาวคลื่นที่ใช้สำรวจไอน้ำในอากาศ และใช้วิเคราะห์ลักษณะเมฆชั้นล่าง ตามลำดับ (Kelkar, 2007) อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ยังอยู่ในระดับที่ต่ำ และไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำเอาวิธีการอื่นมาช่วยในการวิเคราะห์เพิ่มเติม

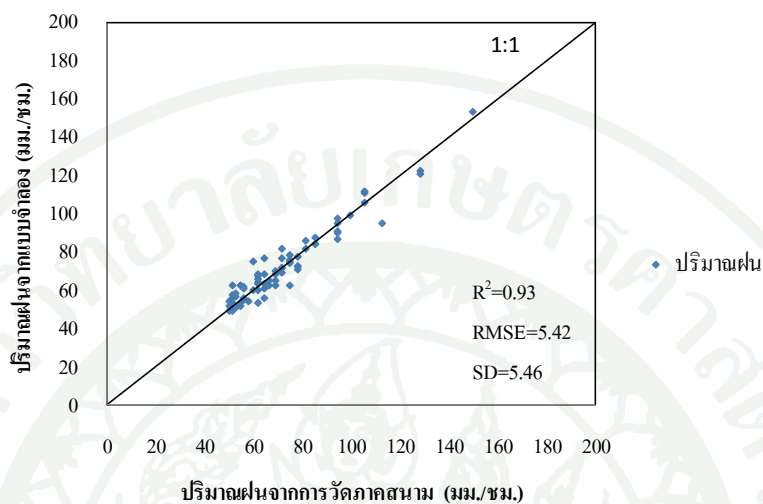
2. การวิเคราะห์ปริมาณฝนโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

จากการวิเคราะห์ปริมาณฝนโดยหาความเข้มฝนจากอุณหภูมิส่องสว่างจากสมการเชิงเส้น นั้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและค่าปริมาณฝนนั้นมีค่าที่ต่ำมาก ดังนั้นการนำ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหา ความสัมพันธ์ดังกล่าวให้ดีขึ้น

2.1 การวิเคราะห์หาปริมาณฝนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคเหนือ

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากค่าอุณหภูมิส่องสว่างและ ภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคเหนือนั้น พบว่าได้สมการ

ความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก. และจากสมการดังกล่าวสามารถแสดงให้อยู่ในกราฟ ความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 56

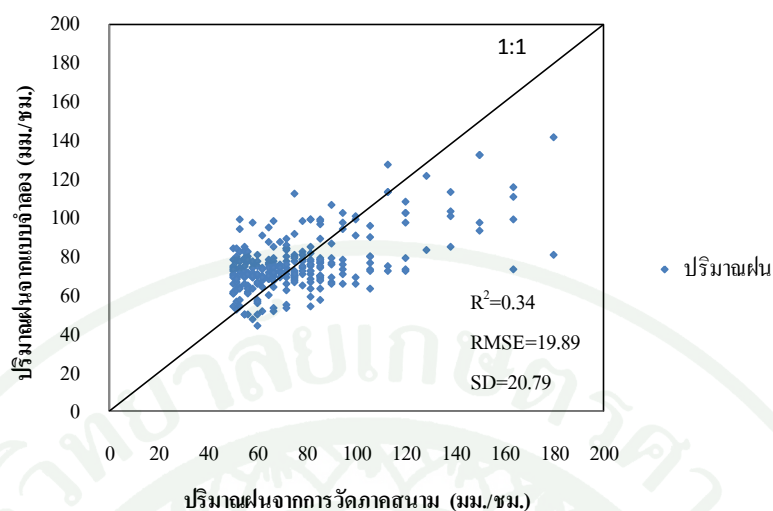


ภาพที่ 56 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคเหนือ

จากการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมบริเวณภาคเหนือ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 56 พบว่าค่าปริมาณผลที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริง โดยมีค่า $R^2 = 0.93$ และค่า $RMSE = 5.42$ ส่วนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 5.46 ทั้งนี้ เนื่องจากภาคเหนือมีปริมาณผลมาก ประกอบกับมีสถานีตรวจวัดครอบคลุมเพียงพอ ทำให้ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริง

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลจากค่าอุณหภูมิส่องสว่างและภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้น พบว่าได้ผลการความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ซึ่งจากสมการดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 57

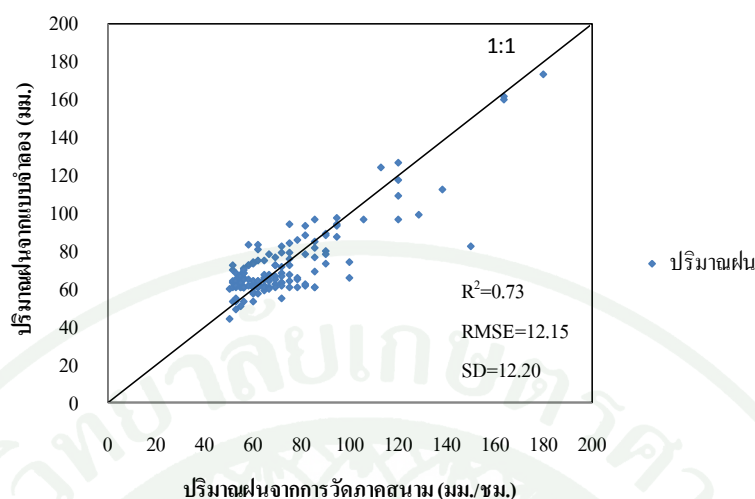


ภาพที่ 57 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพ 57 พบว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าแตกต่างกับค่าที่ตรวจวัดจริงอย่างมาก โดยมีค่า $R^2 = 0.34$ และค่า RMSE = 19.89 ส่วนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 20.79 ซึ่งถือว่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น โดย Boger and Guterman (1997) ให้ความเห็นว่าค่า R^2 ดังกล่าวควรอยู่ระหว่าง 0.7-0.9 ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นมีความแตกต่างในเรื่องของภูมิประเทศ ซึ่งทำให้ลักษณะภูมิอากาศแตกต่างกันไป ด้วย โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนั้นมีเทือกเขาคันอยู่ในหลายพื้นที่ทำให้พื้นที่ที่อยู่หน้าเขามีปริมาณฝนมาก ขณะเดียวกันพื้นที่ที่อยู่หลังเขานั้นมีปริมาณฝนน้อย ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าจากการตรวจวัดจริงมีความแตกต่างกันมาก

2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณฝนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคกลาง

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากค่าอุณหภูมิส่องสว่างและภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคกลางนั้น พบว่าได้สมการความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ซึ่งจากสมการดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 58

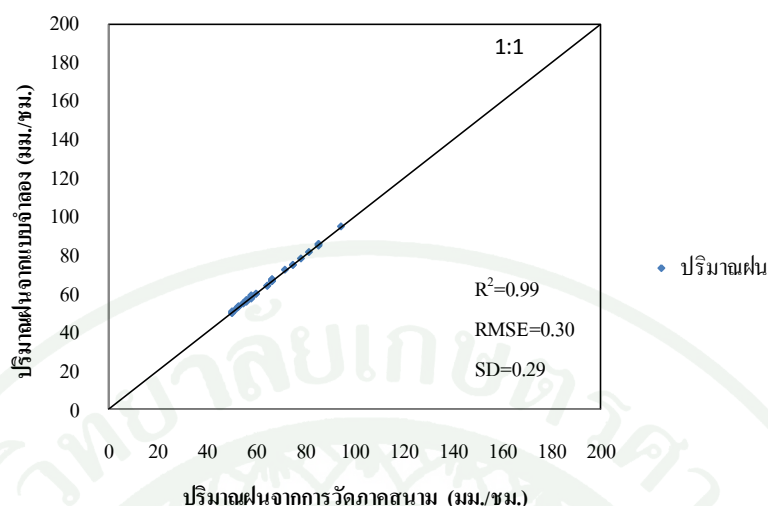


ภาพที่ 58 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคกลาง

ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมบริเวณภาคกลางนั้น ทำให้ได้สมการสำหรับภาคกลางดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก พบว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าแตกต่างกับค่าที่ตรวจวัดจริง โดยมีค่า $R^2 = 0.73$ และค่า RMSE = 12.15 ส่วนค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยเท่ากับ 12.20 ซึ่งจากค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามแนวทางการวิเคราะห์ของ Boger and Guterman (1997) ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณภาคกลางนั้น ลักษณะภูมิประเทศมีความคล้ายคลึงกัน ประกอบกับมีสถานีตรวจวัดหนาแน่นเพียงพอทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณฝนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคตะวันออก

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากค่าอุณหภูมิส่องสว่างและภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคตะวันออกนั้น พบว่าได้สมการความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ซึ่งจากสมการดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 59

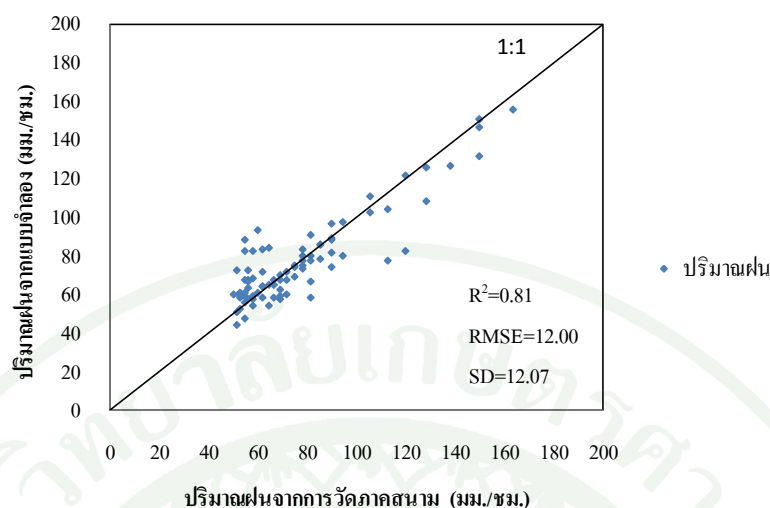


ภาพที่ 59 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออก

พบว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริงอย่างมาก โดยมีค่า $R^2 = 0.99$ และค่า RMSE = 0.30 ส่วนค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 ซึ่งจากค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวถือว่าสูงเกินกว่าช่วงที่เหมาะสมตามแนวทางการวิเคราะห์ของ Boger and Guterman (1997) ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณภาคตะวันออกนั้น แม้ว่าจะมีปริมาณฝนมาก แต่เนื่องจากสถานีตรวจวัดฝนไม่ครอบคลุมเพียงพอ ทำให้ข้อมูลที่นำมาสร้างสมการความสัมพันธ์นั้นไม่เพียงพอ จึงทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า overfitting หรือการที่ค่าใกล้เคียงกันมากเกินไป (นิรติยา, 2551)

2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณฝนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคใต้

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากค่าอุณหภูมิสองสัปดาห์และภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในพื้นที่ภาคใต้นั้น พบว่าได้สมการความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ซึ่งจากสมการดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 60



ภาพที่ 60 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคใต้

พบว่าค่าปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริงโดยมีค่า $R^2 = 0.81$ และค่า RMSE = 12.00 ส่วนค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยเท่ากับ 12.07 ซึ่งค่าที่ได้ถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Boger and Guterman, 1997) ทั้งนี้ในบริเวณพื้นที่ภาคใต้นั้นแม้ว่าจะมีลักษณะของภูมิอากาศที่แตกต่างกันระหว่างภาคใต้ฝั่งตะวันออกและภาคใต้ฝั่งตะวันตก แต่เนื่องจากมีสถานีตรวจวัดครอบคลุมเพียงพอ ประกอบกับในพื้นที่ดังกล่าวมีปริมาณฝนมากทำให้ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริง

จากการวิเคราะห์จะพบว่า ภาคตะวันออกนั้นจะมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดคือมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ถึง 0.99 แต่การที่แบบจำลองมีค่าสัมพันธ์ที่สูงมากเกินไปนั้นอาจทำให้เกิดการ overfitting ซึ่งหมายถึงการที่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ได้ดีเกินไปจนนำไปใช้ทำนายข้อมูลอื่น ๆ ได้ไม่ดี (คณัยพงศ์ และกริชชนะ, 2550) ซึ่งในกรณีนี้เกิดจากการที่มีข้อมูลน้อยเกินไป ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดดังกล่าวควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7-0.9 (Boger and Guterman, 1997) ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าสหสัมพันธ์ที่น้อยที่สุดคือเท่ากับ 0.34 และในส่วนของการาคที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error, RMSE) นั้น พบว่าสมการของภาคตะวันออกมีค่าต่ำสุดที่ 0.30 และสมการของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.15 (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ภาค	R ²	r	RMSE	SD
ภาคเหนือ	0.93	0.96	5.42	5.46
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.34	0.58	19.89	20.79
ภาคกลาง	0.73	0.85	12.15	12.20
ภาคตะวันออก	0.99	0.99	0.30	0.29
ภาคใต้	0.81	0.90	12.00	12.07

3. การทดสอบสมการที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

หลังจากที่ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างและปริมาณฝนแล้วนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบสมการที่ได้ดังกล่าว ซึ่งการทดสอบสมการดังกล่าว นั้น จะเลือกใช้วิธีหาความผิดพลาดโดยประมาณ (approximate percentage error) ดังสมการที่ 10

นอกจากนั้น ยังได้นำสมการการคำนวณที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error) มาร่วมในการวิเคราะห์หาความผิดพลาด โดยมีสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(R_{Obs} - R_{Est})^2}{n}} \quad (16)$$

โดยที่ RMSE = ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error)

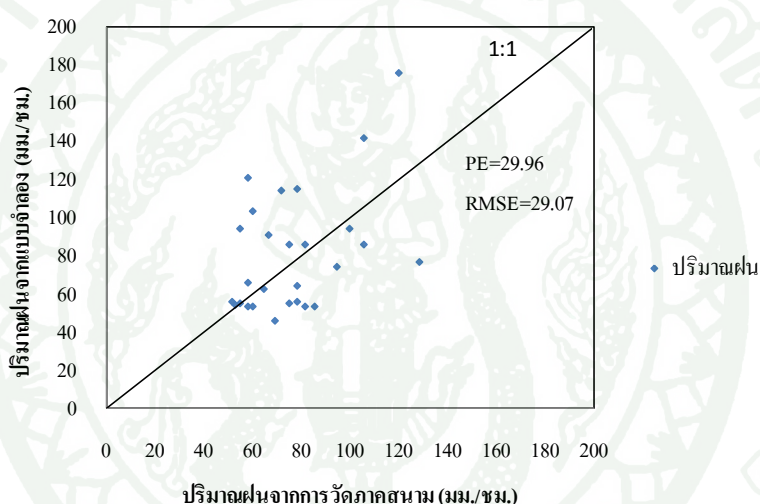
R_{Obs} = ปริมาณฝนภาคพื้นดินที่ได้จากการรวบรวมข้อมูล

R_{Est} = ปริมาณฝนที่ประมาณได้จากความสัมพันธ์ที่คำนวณได้

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.1 การทดสอบสมการภาคเหนือ

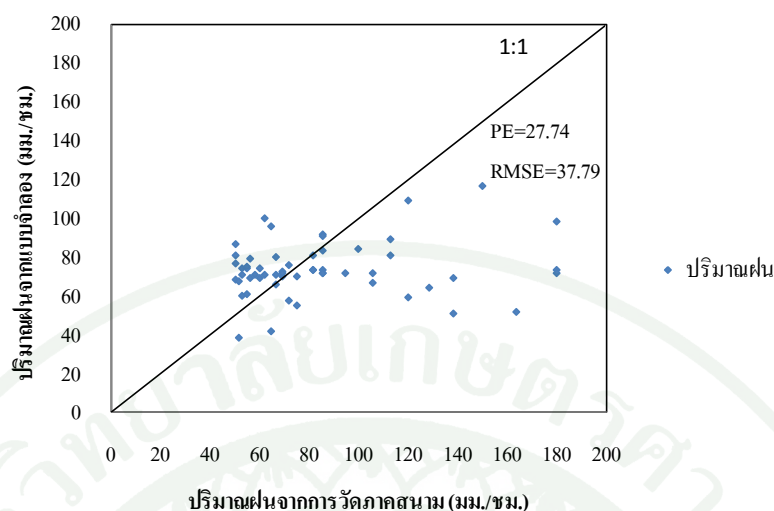
จากการทดสอบสมการในภาคเหนือพบว่าค่าความผิดพลาดซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 61 นั้น มีค่าความผิดพลาดโดยประมาณเท่ากับ 29.96 ส่วนค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าเท่ากับ 29.07 ซึ่งจาก Kalnary (2003) พบว่า หากค่าความผิดพลาดโดยประมาณ ตั้งแต่ร้อยละ ± 70 ขึ้นไป จะเป็นความผิดพลาดโดยประมาณที่ไม่มีประโยชน์ในเชิงอุตุนิยมวิทยา และถ้าค่าความผิดพลาดร้อยละ ± 20 ลงไป จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์สูงสุดในทางปฏิบัติ ดังนั้นจากการทดสอบสมการทางภาคเหนือจึงพบว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางอุตุนิยมวิทยา



ภาพที่ 61 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคเหนือ

3.2 การทดสอบสมการภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

จากการทดสอบสมการในภาคเหนือพบว่าค่าความผิดพลาดซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 62 นั้น มีค่าความผิดพลาดโดยประมาณเท่ากับ 27.74 ส่วนค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าเท่ากับ 37.79 ซึ่งค่าความผิดพลาดโดยประมาณนั้นอยู่ระหว่าง ร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 70 จึงถือว่า จากการทดสอบสมการในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางอุตุนิยมวิทยา (Kalnary, 2003)



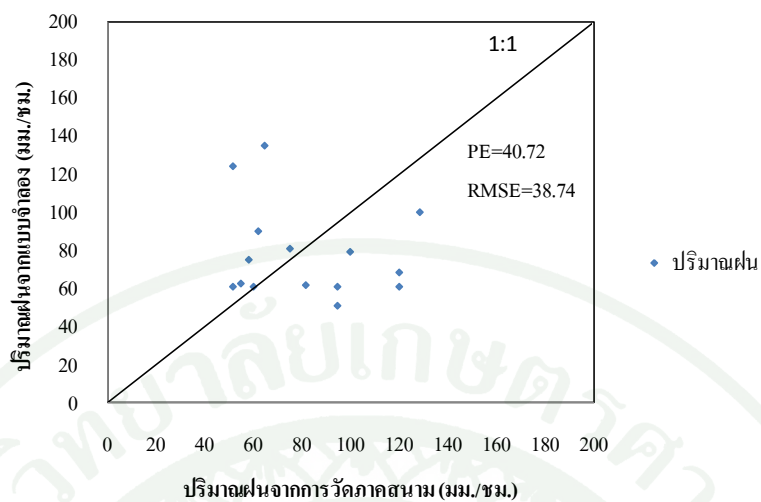
ภาพที่ 62 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

3.3 การทดสอบสมการภาคกลาง

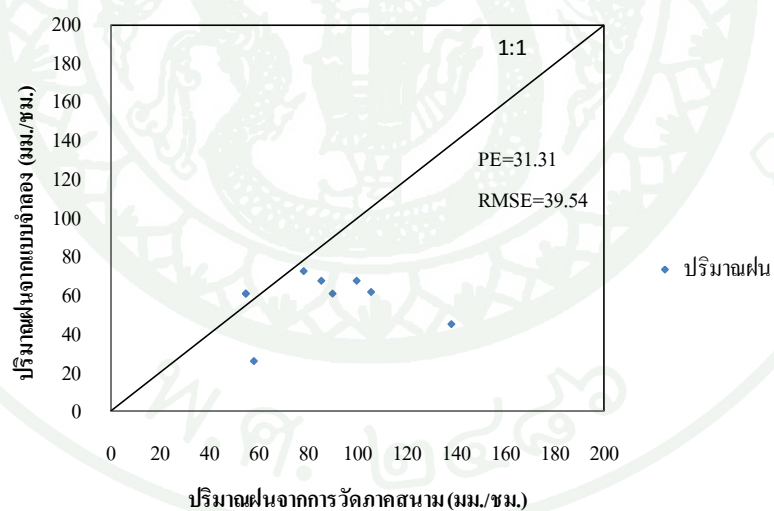
จากการทดสอบสมการในภาคกลางพบว่าค่าความผิดพลาดซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 63 นั้น มีค่าความผิดพลาดโดยประมาณเท่ากับ 40.72 ส่วนค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าเท่ากับ 38.74 ซึ่งเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดโดยประมาณยังอยู่ในช่วงร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 70 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทางอุตุนิยมิวิทยา (Kalnary, 2003)

3.4 การทดสอบสมการภาคตะวันออก

จากการทดสอบสมการในภาคตะวันออกพบว่าค่าความผิดพลาดซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 64 นั้น มีค่าความผิดพลาดโดยประมาณเท่ากับ 31.31 ส่วนค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าเท่ากับ 39.54 ซึ่งจากทดสอบโดยใช้ค่าความผิดพลาดโดยประมาณ จึงสามารถบอกได้ว่าการใช้สมการทางภาคตะวันออกเพื่อมาทำการวิเคราะห์ห้ันนั้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางอุตุนิยมิวิทยา (Kalnary, 2003)



ภาพที่ 63 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคกลาง

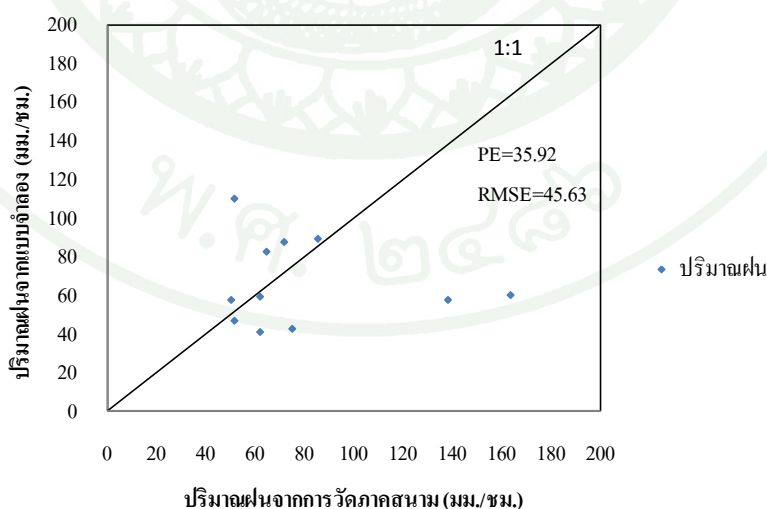


ภาพที่ 64 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคตะวันออก

3.5 การทดสอบสมการภาคใต้

จากการทดสอบสมการในภาคใต้พบว่าค่าความผิดพลาดซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 65 นั้น มีค่าความผิดพลาดโดยประมาณเท่ากับ 35.92 ส่วนค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมีค่าเท่ากับ 45.63 จากการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดโดยประมาณตามเทคนิคของ Kalnary (2003) เห็นได้ว่าการทดสอบสมการทางภาคใต้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางอุดมศึกษา

จากการทดสอบค่าทางสถิติของสมการที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม กับข้อมูลตรวจวัดจริงนั้น พบว่าค่าความผิดพลาดโดยประมาณ (percentage error, PE) นั้น ภาคเหนือจะมีค่าน้อยที่สุดที่ 29.96 และมากที่สุดที่ภาคกลาง 40.72 ส่วนค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error, RMSE) มีค่าน้อยที่สุดที่ภาคเหนือ 29.07 ขณะที่ภาคใต้จะมีค่ามากที่สุดที่ 45.63 (ตารางที่ 18) ทั้งนี้เนื่องจากในภาคเหนือมีลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศนั้นมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมากกว่าภาคอื่น ๆ ทำให้เมื่อทำการทดสอบสมการจึงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ขณะที่ภาคกลางนั้นกับภาคใต้นั้นพบว่าเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่อยู่ติดทะเล ทำให้เกิดลักษณะของกลุ่มฝนที่เกิดจากการพาความชื้นของลมประจำถิ่นได้ง่ายกว่าพื้นที่อื่น ซึ่งมีขนาดเล็กเกินกว่าที่ดาวเทียมจะถ่ายภาพไว้ได้ ทำให้บริเวณดังกล่าวมีค่าความผิดพลาดมากกว่าพื้นที่อื่น



ภาพที่ 65 ค่าความผิดพลาดระหว่างปริมาณฝนและค่าจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม บริเวณภาคใต้

ตารางที่ 18 ค่าทางสถิติของการทดสอบค่าระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ภาค	PE	RMSE
ภาคเหนือ	29.96	29.07
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	27.74	37.79
ภาคกลาง	40.72	38.74
ภาคตะวันออก	31.31	39.54
ภาคใต้	35.92	45.63

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการนำภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์หาค่าปริมาณฝนสามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. จากการศึกษาค่าอุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนพบว่า ช่วงคลื่น IR1 อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนสูงสุด 329.55 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนต่ำสุด 180.00 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนเฉลี่ย 271.20 K ส่วนช่วงคลื่น IR2 อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนสูงสุด 334.60 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนต่ำสุด 180.00 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนเฉลี่ย 270.01 K สำหรับช่วงคลื่น WV อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนสูงสุด 297.23 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนต่ำสุด 190.00 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนเฉลี่ย 241.27 K และ IR4 อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนสูงสุด 340.99 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนต่ำสุด 220.00 K อุณหภูมิส่องสว่างรายเดือนเฉลี่ย 287.11 K

2. จากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิส่องสว่างกับค่าปริมาณฝน ภาคตะวันออกมีค่าสัมพันธ์มากที่สุดอยู่ระหว่าง 0.18-0.19 ในช่วงคลื่น IR1 IR2 WV ส่วน IR4 มีค่าต่ำ ขณะที่ภาคอื่น ๆ พบว่าค่า IR4 มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนมากที่สุด โดยภาคเหนือมีค่าสหสัมพันธ์ของ IR4 สูงสุดเท่ากับ 0.03

3. จากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนพบว่าภาคตะวันออกนั้นจะมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดคือมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ถึง 0.99 และมีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error; RMSE) เท่ากับ 0.30 ส่วน ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดน้อยที่สุดและค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองมากที่สุดคือเท่ากับ 0.34 และ 19.88 ตามลำดับ

4. จากการทดสอบความถูกต้องพบว่า ในส่วนของค่าความผิดพลาดโดยประมาณ (percentage error; PE) ภาคเหนือจะมีค่าน้อยที่สุดที่ 29.96 และภาคกลางมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 40.72 ขณะที่ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error; RMSE) มีค่าน้อยที่สุดที่ภาคเหนือ 29.07 ส่วนภาคใต้มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 45.63

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

จากการปรับค่าแบบสมการแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.34 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.58 โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 19.88 ซึ่งจากที่มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำนั้น เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1.1 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความหลากหลาย ทำให้ลักษณะการแผ่รังสีของพื้นโลกในพื้นที่ดังกล่าวมีความหลากหลายตามไปด้วย

1.2 ลักษณะของภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้านตะวันตกของภาคมีลักษณะเป็นเขาสูง ทำให้พื้นที่ที่อยู่บริเวณหลังเขามีปริมาณฝนน้อย เช่น บริเวณจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ เป็นต้น ขณะเดียวกันอิทธิพลจากเทือกเขาในประเทศลาว รวมถึงดอยอินทนนท์ ทำให้พื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในส่วนที่เป็นพื้นที่หน้าเขารับมรสุมด้านทิศตะวันออก เช่น บริเวณจังหวัดมุกดาหาร ได้รับปริมาณฝนมากตามไปด้วย โดยพบว่าบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้านตะวันออกจะเป็นบริเวณที่รับพายุหมุนเขตร้อน ที่เคลื่อนเข้ามาทำให้บริเวณดังกล่าวมีปริมาณฝนมากกว่าด้านตะวันตกที่ลักษณะพายุที่อ่อนกำลังลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่

ดังนั้นในกรณีของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถ้าหากมีการแบ่งพื้นที่ให้ละเอียดมากขึ้น เช่น แบ่งเป็นพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้านตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้านตะวันตก ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าสูงขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 การปรับค่าจากแบบจำลองในภาคตะวันออกพบว่า มีค่าความสัมพันธ์ที่สูงมาก (overfitting) เนื่องจากมีสถานีในพื้นที่ดังกล่าวน้อย ควรทำการติดตั้งสถานีตรวจวัดเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้แบบจำลองสามารถวิเคราะห์ผลได้แม่นยำมากขึ้น

2.2 ควรทำการศึกษาเน้นในเหตุการณ์ที่เกิดฝนเป็นบริเวณกว้าง เช่นกรณีที่มีพายุเข้า หรือ เกิดร่องความกดอากาศกำลังแรง

2.3 ฝนที่ลงสู่พื้นดินอาจไม่ใช่พิกเซลของเมฆที่ตรงกันเสมอไป จึงควรเพิ่มพิกเซลในการคำนวณจากพิกเซลเดียว โดยเอาพิกเซลที่อยู่ติดกันมาคำนวณด้วย ซึ่งจะต้องใช้พิกเซลในการคำนวณทั้งสิ้น 9 พิกเซลต่อหนึ่งสถานี หรืออาจขยายเป็น 25 พิกเซลต่อหนึ่งสถานี เป็นต้น

2.4 ควรทำการศึกษาการจำแนกกลุ่มเมฆ และหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มเมฆประเภทต่าง ๆ กับค่าอุณหภูมิส่องสว่างในช่วงคลื่นต่าง ๆ กัน เนื่องจากการที่ค่าอุณหภูมิส่องสว่างสูงนั้นอาจเกิดจากเมฆชั้นสูงได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลเดช ธรรมาสถิตย์. 2549. การประมาณฝนด้วยดาวเทียม สำหรับบริเวณลุ่มน้ำป่าสัก ในช่วง
มรสุมตะวันตกเฉียงใต้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิริติ ลีวัจนกุล. 2552. อุทกวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2 SPEC, กรุงเทพฯ.

เจน อรุณสิทธิ์. 2550. การประมาณฝนด้วยดาวเทียม สำหรับบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ในช่วง
มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐพร เทพรอด. 2548. ความสามารถในการใช้ข้อมูลน้ำบนระบบข้อมูลดาวเทียม MODIS/
TERRA (พื้นที่ศึกษา : ความละเอียด 500/ลุ่มน้ำป่าสัก). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณัฏพงศ์ เศรษฐโชติศักดิ์ และกริชชนะ คันธนู. 2550. การพยากรณ์ผลผลิตภาพการผลิตของ
กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิศวกรรมสาร มข. 34 (4):
465-475

คำเกิง จันทร์ส่อง. 2544. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม สำหรับทำนายปริมาณน้ำท่า
รายวันในลุ่มน้ำยัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธนิต ธีญหาญ. 2547. การประมาณฝนด้วยดาวเทียมสำหรับบริเวณกรุงเทพมหานคร ในช่วง
มรสุมตะวันตกเฉียงใต้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรติยา ใจเสียง. 2551. การจำแนกสายพันธุ์ชาวจากองค์ประกอบสารระเหยในเมล็ดข้าวโดยใช้
โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุญเลิศ อาชีวะระงับโรค, สมบัติ เจริญวงศ์, กิ่งกาญจน์ สุขคนาภิบาล และฟาตา มรรษทวี. 2550. การ
เตือนภัยสภาวะฝนตกหนักจากภาพถ่ายทางดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา FY-2C. ใน วช : บูรณา
การทำงานวิจัยน้ำเพื่อชุมชน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ไพรัชต์ นิตยานุภาพ. 2549. **วิธีลดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ข่ายงานประสาทเทียม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เลอพงษ์ อ่ำสุริยา. 2546. **การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-อัตราการไหล**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรารุช วุฒินิชย์. 2544. Artificial Neuron Networks, น.89-102. ใน **ชลกรฉบับวันชาติ**. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.

_____, สันติ ทองฟ้านัก, นิมิตร เจริญทรัพย์พัฒน์, อารีชา ฤทธิมา และนันทพันธุ์ เกษมพันธุ์. 2547. การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยระบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์, น. 24-31. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีระพล เต็มสมบัติ. 2528. **หลักอุทกวิทยา**. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิริกัญญา แสงสว่าง. 2547. **การเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองอุทกวิทยาในการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ahrens, C. D. 2010. **Essentials of Meteorology**. Brooks/Cole, Belmont.

Arkin, P. A. and J. Janowiak. 1991. Analysis of the global distribution of precipitation. **Dynamics of Atmospheric and Oceanography**. 16: 5-16

Bankert, R. L. 1994. Cloud Classification of AVHRR Imagery in Maritime Regions Using a Probabilistic Neural Network. **Journal of Applied Meteorology**. 33: 909-918

Berry, M.J.A., and G. Linoff. 1997. **Data Mining Techniques**. John Wiley & Sons, New York.

Boger, Z., and H. Guterman. 1997. **Knowledge Extraction from Artificial Neural Network Models**. IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference. Orlando.

Brooks, K. N. 1997. **Hydrology and the Management of Watersheds**. The Iowa State University Press, Iowa.

Chang, M. 2003. **Forest Hydrology**. CRC Press, Florida.

Davie, T. 2008. **Fundamental of Hydrology**. Routledge, New York.

Elachi, R. and J. van Zyl. 2006. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

Hsu, K. L., X. Gao, S. Sorooshian and H. V. Gupta. 1997. Precipitation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks. **Journal of Applied Meteorology**. 36: 1176-1190.

Kalnary, E. 2003. **Atmospheric Modeling Data Assimilation and Predictability**. Cambridge University Press, Cambridge.

Kelkar, R. R. 2007. **Satellite Meteorology**. BS Publications, Hyderabad.

Kidder, S. Q. and T. H. Vonder Haar. 1995. **Satellite Meteorology**. Academic Press, San Diego.

Kurino, T. 1997. A Satellite Infrared Technique For Estimating "DEEP/SHALLOW" Precipitation. **Advances in Space Research**. 19 (3): 511-514.

Levizzani, V., R. Amorati and F. Meneguzzo. 2002. **A Review of Satellite-base Rainfall Estimation Methods**. Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Bologna.

Met Office .2011. **Fact Sheet No. 3: Water in the Atmosphere**. National Meteorological Library and Archiv, Devon.

Mishra, A. K., R. M. Gairola, A. K. Varma and V. J. Agarwal. 2011. Improved Rainfall Estimation Over The Indian Rigion Using Satellite Infrared Technique. **Advance in Space Research**. 48: 49-55

Negri, A. J. and R. F. Adler. 1987. Infrared and Visible Satellite Rain Estimation Part I: A Arid Cell Approach. **Journal of Climate and Applied Meteorology**. 26: 1553-1564.

Raghunath, H. M. 2006. **Hydrology**. New Age International, New Delhi.

Rees, W.G. 2001. **Physical Principles of Remote Sensing**. Cambridge University Press, Cambridge.

Richards, J. A. and X. Jia. 2006. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Spronger-Verlag, Berlin.

Schowengerdt, R. A. 2007. **Remote Sensing: Model and Methods for Image Processing**. Elsevir Inc., San Diego.

Sorooshian, S., K. L. Hsu, B. Imam and Y. Hong. 2007. Global Precipitation Estimation from Satellite Image Using Artificial Neural Networks, pp. 21-28. *In* **Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas**. Cambridge University Press, Cambridge.

Wardah, T., S. H. Abu Bakar, A. Bardossy and M. Maznorizan. 2008. Use of Geostationary Meteorological Satellite Image in Convective Rain Estimation for Flash-flood Forecasting. **Journal of Hydrology**. 356: 283-298

Wei, C., W. C. Hung and K. S. Cheng. 2006. A Multi-spectral Convolution Approach of Rainfall Forecast Using Weather Satellite Imagery. **Journal of Applied Meteorology**. 37: 747-753

World Meteorological Organization. 2011. **Application of Satellite Technology Progress Report 1999-2000**. WMO/TD No.1089, Geneva.

Yilmaz, K. K., T. S. Hogue, K. L. Hsu, S. Sorooshian, H. V. Gupta and T. Wagener. 2005. Intercomparison of Rain Guage, Radar and Satellite-Base Precipitation Estimates with Emphasis on Hydrologic Forecasting. **Journal of Hydrometeorology**. 6:497-517



ภาคผนวก



สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและค่าที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1. ภาคเหนือ

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณฝน (มม./ชม.)} = & \{6.10979154588642 - 9.96558497189977 * [1/(1+e^{-(121.459995661661 \\
 & - 0.195628022205346 * IR1 - 0.0408378577655013 * IR2 + 0.0859510467862568 * WV - 0.36592405583441 * IR4)})] - 3.27979062389701 * \\
 & [1/(1+e^{-(505.002607961029 - 0.349752069932974 * IR1 - 0.0189854031849272 * IR2 - 0.547935411005024 * WV - 1.29294699279926 * IR4)})] - \\
 & 4.40692315390927 * [1/(1+e^{-(201.961131977861) + 0.39797762308361 * IR1 - 0.942806736356817 * IR2 + 0.896350108556116 * WV + \\
 & 0.534920734056427 * IR4)})] - 16.1371327801952 * [1/(1+e^{-(84.6937626505307) + 0.223457795306075 * IR1 + 0.119797214003456 * \\
 & IR2 - 0.222581065100222 * WV + 0.241365634080769 * IR4)})] + 3.81225522744548 * [1/(1+e^{-(209.802313999831) + \\
 & 0.941791026373321 * IR1 + 0.647469586664123 * IR2 - 0.915134178922219 * WV + 0.239850200164289 * IR4)})] - 2.98898993792048 * \\
 & [1/(1+e^{-(200.298507608059 - 1.56471430349809 * IR1 + 0.532478235744864 * IR2 + 0.23548347764791 * WV - 0.152903167735483 * IR4)})] + \\
 & 11.6434173950688 * [1/(1+e^{-(66.6065013601085) + 0.187384692532996 * IR1 - 0.290209623678786 * IR2 - 0.408695703804054 * WV + \\
 & 0.725461032575841 * IR4)})] + 9.66480769265791 * [1/(1+e^{-(95.7765307784069 - 0.475192507708696 * IR1 + 0.547378474349942 * IR2 \\
 & + 0.918355291931988 * WV - 1.26777505077384 * IR4)})] \} * 20.6809729866277 + 72.3698846849315
 \end{aligned}$$

2. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณฝน (มม./ชม.)} = & \{3.48045677992253 - 1.69599039554271 * [1/(1+e^{-(1.90835852071212 \\
 & - 0.0833599979535549 * IR1 + 0.0555018971240681 * IR2 - 0.100326629284647 * WV + 0.110607156076674 * IR4)})] - 3.98712016781884 * \\
 & [1/(1+e^{-(22.0400594928007) - 0.024395519734134 * IR1 + 0.376563903183822 * IR2 + 0.132970069615906 * WV - 0.347875411319238 * IR4)})] - \\
 & 1.97511194640475 * [1/(1+e^{-(83.7941063086818 - 0.0395955694467775 * IR1 - 0.364645971610098 * IR2 + 2.49155000715692 * WV - \\
 & 2.12539718961775 * IR4)})] - 18.0237140028116 * [1/(1+e^{-(849.119663652991) + 1.28328705708293 * IR1 + 0.854765138184641 * IR2 + \\
 & 2.38503854098422 * WV - 0.443901486532189 * IR4)})] + 1.55530752139596 * (1/[1+e^{-(254.562831323295) - 0.493299829260946 * IR1 \\
 & + 0.682200943440502 * IR2 - 0.0911586960711746 * WV + 0.937429445480978 * IR4)})] + 1.84359472145273 * (1/[1+e^{-(530.965726193172 - \\
 & 1.1334954835358 * IR1 + 1.40776044625261 * IR2 + 0.769756812059005 * WV - 3.09824488183596 * IR4)})] - \\
 & 2.03558190967698 * [1/(1+e^{-(83.9905275813925 - 0.205973140961686 * IR1 - 2.11382523290024 * IR2 - 0.538128940652776 * WV + \\
 & 2.22564357246466 * IR4)})] + 18.8785647472945 * [1/(1+e^{-(451.905889735199) + 0.715378571847477 * IR1 + 0.451231370429904 * IR2 \\
 & + 1.24252181633867 * WV - 0.235894906216022 * IR4)})] \} * 25.626775737517 + 76.365488194946
 \end{aligned}$$

3. ภาคกลาง

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณฝน (มม./ชม.)} = & \{5.36723089398515 - 0.964647793279654 * [1/(1+e^{-(181.675943300779 + 0.244051304115703 * IR1 + 0.752391866112405 * IR2 - 0.345390404677578 * WV + 0.397550893552638 * IR4)})] + \\
 & 10.0095176341703 * [1/(1+e^{-(29.1597082855775) - 0.597274681911462 * IR1 + 1.51505921552248 * IR2 - 1.00079670910305 * WV + \\
 & 0.167416926881677 * IR4})] - 9.76296105554922 * (1/(1+e^{-(32.1455272338464) - 0.539086021273074 * IR1 + 1.5797744210257 * IR2 - \\
 & 1.16128054161841 * WV + 0.207907803551041 * IR4})) + 4.1833005632345 * [1/(1+e^{-(282.028062289215) - 0.128040296768799 * IR1 - \\
 & 0.839372429564867 * IR2 + 0.559774653443195 * WV + 1.52705492066307 * IR4})) + 13.3498554684459 * [1/(1+e^{-(875.064725157339 - \\
 & 0.682842127407083 * IR1 + 0.499622234350732 * IR2 - 3.13534641771589 * WV - 0.608558729573493 * IR4})) - 9.34902391987029 * \\
 & [1/(1+e^{-(138.34536084509 + 0.981645734424015 * IR1 - 0.454492199049273 * IR2 - 0.53912930393161 * WV - 0.488255390733551 * IR4})) - \\
 & 14.0087814767155 * [1/(1+e^{-(392.133603428558 - 0.308595317725905 * IR1 + 0.169509112212693 * IR2 - 1.33043797658454 * WV - \\
 & 0.291808340154498 * IR4})) + 4.12818729244459 * [1/(1+e^{-(398.303594025934 + 0.67955150137389 * IR1 + 0.0976560417556537 * IR2 \\
 & - 0.130475002729851 * WV - 2.21245470325509 * IR4}))\} * 23.331584809476 + 72.4098559172414
 \end{aligned}$$

4. ภาคตะวันออก

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณฝน (มม./ชม.)} = & \{6.96563390508455 + 3.89094875632253 * [1/(1+e^{-(181.332553953609 + 0.0694661728622456 * IR1 - 0.140147304157958 * IR2 - 0.0524827611902299 * WV - 0.651096132308704 * IR4)})] - \\
 & 4.33452817938363 * [1/(1+e^{-(169.062074628601) + 0.157883541259331 * IR1 + 0.233304061479858 * IR2 - 0.0885183241017787 * WV + \\
 & 0.441467419652078 * IR4})) - 5.17186841223583 * [1/(1+e^{-(84.7437002489373 - 0.577412268043669 * IR1 - 0.153947394039498 * IR2 + \\
 & 0.192596683087648 * WV + 0.109434442204553 * IR4})) - 2.11463818559291 * [1/(1+e^{-(99.1459598006857 - 0.268775044300797 * IR1 + \\
 & 0.0166648995004161 * IR2 - 0.0538168655865888 * WV - 0.144056262233207 * IR4})) + 7.59595619953142 * (1/[1+e^{-(74.9018810293936 - \\
 & 0.23635964371729 * IR1 - 0.0540180278980528 * IR2 - 0.313055299692635 * WV + 0.225766531566018 * IR4)})] - \\
 & 6.13300635492972 * [1/(1+e^{-(75.735894521534 - 0.166212665315487 * IR1 + 0.372936266239234 * IR2 - 0.322883763376454 * WV - \\
 & 0.218817336002488 * IR4})) - 4.02290414063128 * [1/(1+e^{-(66.158186338177 - 0.0550738747562176 * IR1 + 0.209986585071183 * IR2 - \\
 & 0.104214482810082 * WV - 0.318821935265664 * IR4})) - 4.02591562559884 * [1/(1+e^{-(16.9941237469116) + 0.0680927290104918 * \\
 & IR1 - 0.309735528765842 * IR2 - 0.0845467162758275 * WV + 0.368760093159248 * IR4}))\} * 12.140106352651 + \\
 & 64.3004290588235
 \end{aligned}$$

5. ภาคใต้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณฝน (มม./ชม.)} = & \{19.1214508878522 - 10.0205420536221 * [1/(1+e^{-(371.920194196991 \\
 & + 0.51167177371243 * IR1 - 0.495064835968162 * IR2 - 0.216735729349496 * WV - 1.42459319296268 * IR4)})] - 10.3925304710494 * \\
 & [1/(1+e^{-(267.374098941707 - 1.39065333797973 * IR1 + 1.50018539662564 * IR2 - 0.35939976780139 * WV - 0.919627158564822 * IR4)})] - \\
 & 19.8504899506545 * [1/(1+e^{-(269.433242082266) + 0.43432066149581 * IR1 - 0.491917644551611 * IR2 + 0.238428644221447 * WV + \\
 & 0.995181483622356 * IR4)})] + 14.3410436543317 * [1/(1+e^{-(331.002739931144) + 0.513217969223778 * IR1 + 0.16535869422554 * IR2 \\
 & + 0.939000987805328 * WV - 0.0525223599723724 * IR4)})] - 13.4375321463701 * [1/(1+e^{-(200.42679029697) - 0.606759760548578 * \\
 & IR1 + 1.20875741484941 * IR2 + 0.655817962375613 * WV - 0.277142082131624 * IR4)})] - 9.88050345043796 * [1/(1+e^{-(721.393020643138 - 0.270780960788322 * IR1 - 1.70485474552665 * IR2 - 0.422462753410961 * WV - 0.966102050214224 * IR4)})] + \\
 & 11.5909829354589 * [1/(1+e^{-(370.199713064805 + 0.361577473156485 * IR1 - 0.704197876878962 * IR2 - 0.807943076920063 * WV - \\
 & 0.554908912230589 * IR4)})] - 0.920373524918489 * [1/(1+e^{-(14.8694094414165 - 0.868316717552976 * IR1 + 0.0216958477163841 * \\
 & IR2 + 1.69385491751829 * WV - 0.803263166629208 * IR4)})] * 27.51514893312 \\
 & + 78.0284954235294
 \end{aligned}$$

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายฟาตา มรรษทวี
เกิดวันที่	18 กันยายน 2518
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศศ.ม (พัฒนาสังคม) สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักอุดมศึกษา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักพัฒนาอุดมศึกษา กรมอุดมศึกษา