

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล
ภาพถ่าย MODIS ของดาวเทียม Aqua บริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

**Application of Artificial Neural Network for Rainfall Amount Estimation
from MODIS Image Data of Aqua Satellite over
the Upper Northern Thailand**

วิภาวี มั่นใจ

สมนิมิตร พุกงาม

ปิยพงษ์ ทองดินนอก

นฤมล แก้วจำปา

Wipawee Manjai

Somnimirt Pukngam

Piyapong Tongdeenok*

Naruemol Kaewjampa

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author, E-mail: fforppt@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 5 มีนาคม 2561

รับลงพิมพ์ 17 เมษายน 2561

ABSTRACT

The objectives of this research were to estimate rainfall amount in northern of Thailand from the MODIS/Aqua satellite image data and Artificial Neural Network (ANN). The rainfall amount measurement from meteorological stations and six cloud properties from MODIS/Aqua satellite image including Brightness Temperature (BT), Cloud Top Pressure (CTP), Cloud Top Temperature (CTT), Cloud Optical Thickness (COT), Cloud Water Path (CWP) and Cloud Water Vapor (CWV) during January 2014 to December 2015 were used in simulation model. The data set of 2016 was used for testing model and model validation using root mean square error (RMSE) mean absolute error (MAE). and approximate percentage error (PE)

The results showed that the average rainfall amount were 1,231.31 mm. and 1,078.86 mm. in 2014 and 2015, respectively. The average rainfall amount from July to September was higher than December and January. The cloud properties including BT, CTP and CTT were low during May to September, while COT, CWP and CWV were high during May to October. The correlation between rainfall amount and cloud properties showed that CTP provided the highest correlation coefficient (r) of 0.90 followed by BT, CWP, CTT, CWV and COT with the r as 0.87, 0.86, 0.84, 0.84 and 0.83, respectively. Besides, BT provided highest correlation coefficient (r) of 0.91, while COT, CWP, CTT, CTP and CWV were 0.85, 0.82, 0.80, 0.79 and 0.76 respectively

during wet period. The estimation rainfall amount from ANN technique showed that r was 0.99 for both annual and wet period. The model validation for 2016 data set showed underestimated prediction with the measurement data. The annual model error showed the RMSE MAE and PE were 7.96 10.3 and 15.21, respectively. Moreover, the wet period also showed the RMSE MAE and PE were 7.57 5.96 and 36.17, respectively.

Keywords: ANN Model, Rainfall Amount, MODIS/Aqua, Upper Northern Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลภาพถ่าย MODIS ของดาวเทียม Aqua โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network; ANN) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาและคุณสมบัติของเมฆ 6 ปีจี้จ จากข้อมูลภาพถ่าย MODIS ของดาวเทียม Aqua ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิท้องสว่าง (Brightness Temperature; BT) ความกดอากาศยอดเมฆ (Cloud Top Pressure; CTP) อุณหภูมิยอดเมฆ (Cloud Top Temperature; CTT) ความทึบแสง (Cloud Optical Thickness; COT) ของเหลวในเมฆ (Cloud Water Path; CWP) และไอน้ำ (Cloud Water Vapor; CWV) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 มาใช้สำหรับการสร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2559 สำหรับการทดสอบความถูกต้องและการสอบเทียบความถูกต้องโดยใช้ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE) ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error; MAE) และค่าความผิดพลาดโดยประมาณ (Approximate Percentage Error; PE)

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2557 และปี พ.ศ. 2558 มีค่าเท่ากับ 1,231.31 และ 1,078.86 มม. ตามลำดับ โดยมีค่าสูงในระหว่างเดือนกรกฎาคม – กันยายน มีค่าต่ำในระหว่างเดือนธันวาคม - มกราคม และจากการศึกษาคุณสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua พบว่า BT, CTP และ CTT มีค่าต่ำในระหว่างเดือนพฤษภาคม – กันยายน ส่วน COT, CWP และ CWV มีค่าสูงในระหว่างเดือนพฤษภาคม – ตุลาคม ซึ่งสอดคล้องกับช่วงที่ปริมาณน้ำฝนมีค่าสูงในระหว่างเดือนนี้ ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับคุณสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua รายปี พบว่า CTP มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนมากที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.90 รองลงมาคือ BT, CWP, CTT, CWV และ COT มีค่าเท่ากับ 0.87, 0.86, 0.84, 0.84 และ 0.83 ตามลำดับ สำหรับฤดูฝน พบว่า BT มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนมากที่สุด โดยมีค่า r เท่ากับ 0.91 รองลงมาคือ COT, CWP, CTT, CTP และ CWV มีค่าเท่ากับ 0.85, 0.82, 0.80, 0.79 และ 0.76 ตามลำดับ ส่วนการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง ANN รายปีและฤดูฝน พบว่า มีค่า r เท่ากับ 0.99 และ 0.99 ตามลำดับ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) พบว่า ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่า (Underestimate) ปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองรายปีจากวิธี RMSE MAE และ PE เท่ากับ 7.96 10.3 และ 15.21 ส่วนฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 7.57 5.96 และ 36.17 ตามลำดับ

คำสำคัญ: แบบจำลอง ANN ปริมาณน้ำฝน MODIS/Aqua ภาคเหนือตอนบน

คำนำ

ปัจจุบันสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปจากอดีต ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ภัยธรรมชาติ เช่น ภัยแล้ง อุทกภัย ดินถล่ม เป็นต้น มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อนุช้อยอย่างมหาศาล สร้างความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะเหตุการณ์อุทกภัยและภัยแล้งที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งสาเหตุสำคัญนั้นเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่มีน้อยหรือมากเกินไปกว่าปกติ การลดมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น และป้องกันเหตุการณ์เหล่านี้ไม่ให้เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยลง สามารถทำได้จากการคาดการณ์และแจ้งเตือนล่วงหน้า เพื่อให้มีการเตรียมแผนการป้องกันสถานการณ์รุนแรงอย่างภัยพิบัติที่สามารถเกิดขึ้นตลอดเวลาและดับพลันได้ โดยการตรวจวัดและคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝน ระบบโทรมาตร เรดาร์ รวมทั้งภาพถ่ายจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าปริมาณน้ำฝน และประยุกต์ใช้เป็นแนวทางด้านการจัดการลุ่มน้ำ

บริเวณภาคเหนือตอนบน เป็นพื้นที่แหล่งต้นน้ำลำธารที่สำคัญของประเทศไทย และมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสลับซับซ้อน ฝนป่าหนาแน่น มีขนาดพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ดังนั้น การเลือกใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่สามารถถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริเวณกว้าง สัญญาณรบกวนน้อย สามารถตรวจจับสัญญาณได้แม้ว่ามีปริมาณน้ำฝนน้อยและให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำสูง จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม (จงกลณี, 2528) โดยในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ข้อมูลภาพ MODIS (MYD06) ดาวเทียม Aqua ที่มีวงโคจรครอบคลุมประเทศไทยและถ่ายภาพซ้ำในพื้นที่เดิมทุกวันในช่วงเวลาบ่ายตามเวลาประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาการตกของฝนในประเทศไทย (National Aeronautics and Space Administration; [NASA], 2014) มาใช้ประมาณปริมาณน้ำฝนจากคุณสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS (MYD06) ด้วยแบบจำลองโครงข่าย

ประสาทเทียม (Artificial Neural Network; ANN) ซึ่งเป็นเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลที่สามารถจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ คล้ายกับการทำงานของสมองมนุษย์ เป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุมกระบวนการและใช้งานประยุกต์ได้หลากหลาย นิยมประยุกต์ใช้ ANNs สำหรับการพยากรณ์ หรือคาดการณ์ด้านอุตุนิยมวิทยาและอุตุนิยมวิทยามากที่สุด (ทวี, 2557) เช่น ฟาตา (2556) ที่ประยุกต์ใช้ ANN เพื่อประมาณปริมาณน้ำฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E บริเวณประเทศไทย พบว่า ปริมาณน้ำฝนที่ได้จาก ANN มีความถูกต้องแม่นยำ โดยเฉพาะบริเวณภาคเหนือและมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในระดับที่ยอมรับได้ทางอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น โดยการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความผันแปรและความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua และเพื่อการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง ANNs ให้มีความถูกต้องมากที่สุด เพื่อประโยชน์ในการคาดการณ์และพยากรณ์เตือนภัยพิบัติล่วงหน้าได้

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การรวบรวมข้อมูล

1.1 ข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration; NASA) โดยได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (Geo- Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization); GISTDA) เป็นข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 x 1 ตร.กม. ครอบคลุมบริเวณ 17.62 - 20.27 องศาเหนือ และ 97.30 - 101.20 องศาตะวันออก จำนวนเดือนละ 3 ภาพ รวมทั้งหมดจำนวน 108 ภาพ โดยดาวเทียมผลิตผลิตภัณฑ์ MODIS

กลุ่มข้อมูลเมฆ Level 2 (MYD06) ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิส่องสว่าง (Brightness Temperature; BT) ความกดอากาศยอดเมฆ (Cloud Top Pressure; CTP) อุณหภูมิยอดเมฆ (Cloud Top Temperature; CTT) ความทึบแสง (Cloud Optical Thickness; COT) ของเหลวในเมฆ (Cloud Water Path; CWP) ไอน้ำ (Cloud Water Vapor; CWV) โดยเลือกเฉพาะพิกเซลที่ตรงกับสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 17 สถานี พร้อมปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายดาวเทียม โดยวิธีการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) เพื่อให้มีระบบพิกัดภูมิศาสตร์ที่ถูกต้องและลดความบิดเบี้ยวของภาพถ่ายดาวเทียมผ่านโปรแกรม Envi 5.0

1.2 ข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำฝน และปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 17 สถานี ครอบคลุมภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยเลือกใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายวันในช่วงเวลาเดียวกันในขณะที่ดาวเทียม Aqua ทำการถ่ายภาพ และข้อมูลภูมิประเทศ ขอบเขตจังหวัด ครอบคลุมบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน น่าน แพร่ พะเยา และอุตรดิตถ์ ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7018 มาตราส่วน 1:50,000 เพื่อกำหนดขอบเขตของพื้นที่ศึกษาด้วยโปรแกรมภูมิสารสนเทศ Arc GIS

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 การวิเคราะห์ความผันแปรของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวัน รายปี ระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 - พ.ศ. 2558 และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ. 2529 - พ.ศ. 2558) และวิเคราะห์ความผันแปรของสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua ทั้ง 6 ปีจ้ย ประกอบด้วย BT, CTP, CTT, COT, CWP และ CWV ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 - พ.ศ. 2558

2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (Y) กับคุณสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua (X) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิง

เส้นตรง (Linear Regression Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Analysis)

2.3 การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua โดยเลือกใช้ชุดข้อมูลคุณสมบัติของเมฆ ได้แก่ BT, CTP, CTT, COT, CWP และ CWV เฉลี่ยรายวันของทุกเดือน เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์กับข้อมูลตรวจวัดปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันในช่วงเวลาเดียวกัน โดยวิเคราะห์หาปริมาณน้ำฝน จากวิธีการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks; ANNs) โดยใช้ชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2557 – พ.ศ. 2558 สำหรับการฝึกสอนแบบจำลอง (Training Data Set) และชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2559 สำหรับการทดสอบแบบจำลอง (Testing Data Set) เพื่อประมาณค่าปริมาณน้ำฝน

3. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองกับปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริง โดยวิธีการคำนวณค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE) (Barnston, 1992) ดังสมการที่ 1 วิธีการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error; MAE) (Willmott and Matsuura, 2005) ดังสมการที่ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนโดยประมาณ (Approximate Percentage Error; PE) ดังสมการที่ 3

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Obs.-Est.)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Obs.-Est.|}{n} \quad (2)$$

$$PE = \frac{|Obs.-Est.|}{n} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ RMSE และ MAE คือ ความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลอง Obs คือ ปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริง Est คือ ปริมาณน้ำฝนที่ประเมินได้จากแบบจำลอง และ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลและวิจารณ์

1. ความผันแปรปริมาณน้ำฝนและคุณสมบัติของเมฆ จากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua

1.1 ความผันแปรของปริมาณน้ำฝน

ความผันแปรของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ. 2529 – พ.ศ. 2558) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน ปี พ.ศ. 2557 และปี พ.ศ. 2558 จากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดินทั้งหมด 17 สถานี ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย พบว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี มีค่าเท่ากับ 1,252.48 มม. มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดในเดือนสิงหาคม มีค่าเท่ากับ 250.65 มม. เมื่อพิจารณาข้อมูลรายปี พบว่าปี พ.ศ. 2557 มีปริมาณน้ำฝนรวม 1,231.31 มม. มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดในเดือนสิงหาคม เท่ากับ 270.91 มม. แต่ปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณน้ำฝนรวมเพียง 1,078.86 มม. มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนกรกฎาคม เท่ากับ 193.52 มม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี และปริมาณน้ำฝนรวมปี พ.ศ. 2557 แต่แนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยเริ่มมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคม ลดลงเล็กน้อยในช่วงเดือนมิถุนายน เนื่องจากในช่วงเดือนนี้เป็นช่วงที่ฝนมีการตกทิ้งช่วง ทำให้มีปริมาณน้ำฝนที่ลดน้อยลง แต่เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน ซึ่งสอดคล้องกับ จตุพร (2555) ที่พบว่า ปริมาณน้ำฝนบริเวณลุ่มน้ำแม่แดง จังหวัดเชียงใหม่ มีแนวโน้มทิศทางเดียวกันคือ

มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม – กันยายน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่บริเวณภาคเหนือตอนบนได้รับอิทธิพลจากพายุหมุนเขตร้อนที่มักเกิดในช่วงเดือนกรกฎาคม – กันยายน เคลื่อนที่มาจากทะเลจีนใต้ (Dobby, 1967) และลมมรสุมทิศตะวันตกเฉียงใต้ รับอิทธิพลร่องความกดอากาศต่ำกำลังแรงพัดผ่านเข้ามา ทำให้มีเมฆมากและฝนชุก แล้วจึงค่อยๆ ลดปริมาณลงในช่วงเดือนตุลาคม และพบว่า ปริมาณน้ำฝนปี พ.ศ. 2558 มีค่าต่ำกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี และปริมาณน้ำฝนรวมของปี พ.ศ. 2557 (Figure 1) เนื่องจากปี พ.ศ. 2558 เป็นปีที่มีปรากฏการณ์เอลนีโญรุนแรง (World Meteorological Organization [WMO], 2015) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิอุ่นขึ้นบริเวณเส้นศูนย์สูตรทางมหาสมุทรแปซิฟิก ตั้งแต่ช่วงเดือนตุลาคม – ธันวาคม ของปลายปี พ.ศ. 2557 โดยมีความรุนแรงต่อเนื่องถึงช่วงเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน หลังจากนั้นลดลงเล็กน้อยและเพิ่มกำลังแรงขึ้นในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายน (ชลาลัย, 2558) ซึ่งปรากฏการณ์เอลนีโญนี้ ส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนมีปริมาณน้อยมากจนเกิดภัยแล้งรุนแรงในช่วงครึ่งหลังของเดือนกรกฎาคม และปลายเดือนสิงหาคม ต่อเนื่องถึงสัปดาห์ที่สามของเดือนกันยายน ทำให้ขาดแคลนน้าอุปโภคบริโภค โดยมีความแห้งแล้งรุนแรงเป็นบริเวณกว้างที่สุดคือ ภาคเหนือต่อภาคกลางทั้งหมด ตอนบนและด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558)

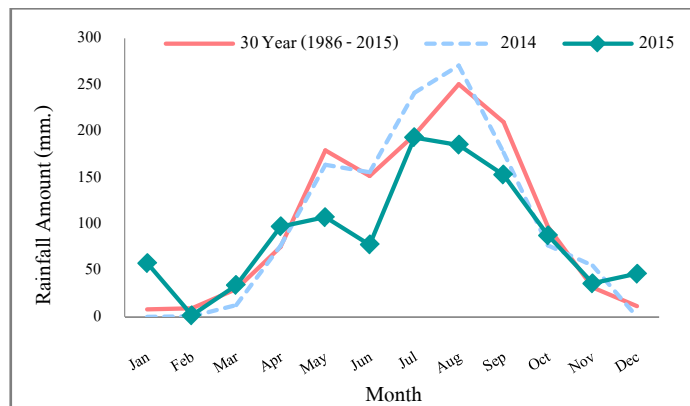


Figure 1 Rainfall amount over the upper northern of Thailand during 1989 – 2015.

1.2 ความผันแปรของคุณสมบัติเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua

พบว่า BT, CTP และ CTT ของปี พ.ศ. 2557 และปี พ.ศ. 2558 มีค่าสูงสุดต่ำสุดใกล้เคียงกัน มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน และพหุสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน คือ มีค่าสูงในช่วงเดือนตุลาคม - เมษายน และมีความต่ำในช่วงเดือนพฤษภาคม - กันยายน (Table 1) โดยสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนที่มีค่ามากในช่วงเดือนพฤษภาคม - กันยายน ทั้งนี้เนื่องจาก BT และ CTT ยังมีค่าต่ำส่งผลให้มีโอกาสเกิดการตกของฝนมาก จากกระบวนการควบแน่น (Condensation Mechanism) ภายในก้อนเมฆน้อย โดยเฉพาะอุณหภูมิยอดเมฆที่มีค่าต่ำกว่า 253 เคลวิน (Herman *et al.*, 1997) และ CTP มีค่าลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับกลุ่มเมฆที่สามารถก่อตัวเป็นเมฆฝน ซึ่งส่วนมากเป็นเมฆในลักษณะ

แนวตั้งเช่น คิวมูลอนิมบัส (Cumulonimbus) หรือคิวมูลัส (Cumulus) ที่เกิดจากการรวมตัวของไอน้ำกับของแข็งแขวนลอยในอากาศ (Aerosol) พวกฝุ่นละออง เกล็ดหรือแม็กระทั่งเกสรดอกไม้ ทำหน้าที่เป็น อนุภาคแกนกลาง (Condensation Nuclei) ให้เกิดควบแน่น และเกาะตัวกลายเป็นเมฆลอยสูงขึ้นไปพร้อมกับการลดลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงที่เพิ่มมากขึ้น จากกระบวนการ Adiabatic Lapse Rate โดยระดับความสูงเพิ่มขึ้นทุก 1,000 ม. จากพื้นดิน อุณหภูมิจะลดลง 10 องศาเซลเซียส และเมื่อเลเยอร์ระดับควบแน่นที่ระดับความสูง 3,000 ม. อุณหภูมิจะลดลง 5 องศาเซลเซียส เมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น 1,000 ม. (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553) ทำให้เกิดการก่อตัวของกลุ่มเมฆมากและมีโอกาสเกิดฝนตกมากเช่นกัน

Table 1 Cloud properties from MODIS/Aqua satellite image during 2014 – 2015.

2015	Unit	Year			
		2014		2015	
		Max.	Min.	Max.	Min.
BT	K	300.36	249.61	303.82	255.77
CTP	hPa	882.86	242.06	932.5	282.06
CTT	K	294.56	226.69	295.39	228.92
COT	-	32.01	4.41	25.02	5.66
CWP	g/m ²	513.07	19.5	329.53	32.33
CWV	mm.	1.03	0.00	0.71	0.00

ส่วน COT, CWP และ CWV ของปี พ.ศ. 2557 และปี พ.ศ. 2558 พบว่า มีค่าสูงสุด ต่ำสุดใกล้เคียงกัน มีแนวโน้มตรงกันข้ามกับ BT, CTP และ CTT และแปรผันตามปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีลักษณะที่มีค่าสูงในช่วงเดือนพฤษภาคม – ตุลาคม (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนที่มีมากในช่วงนี้และมีค่าต่ำอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน – เมษายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง ทั้งนี้เนื่องจาก COT มีค่ามากนั้นหมายถึงมีความเข้มของเมฆมาก ทำให้แสงอาทิตย์ไม่สามารถผ่านชั้นความหนาของเมฆได้ (WMO, 2017) ซึ่งชั้นความหนาของเมฆที่มีมากสามารถพบในเมฆแนวตั้ง (Cumulonimbus) ที่เป็นกลุ่มเมฆที่มีโอกาสเกิดฝนตกมากและรุนแรง ส่วน CWP และ CWV เกิดกระบวนการควบแน่นของไอน้ำในอากาศและบริเวณโดยรอบกลายเป็นเมฆ พร้อมทั้งคายความร้อนแฝงออกมา ทำให้กลุ่มก้อนอากาศมีพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น และเมื่อมวลอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม ทำให้สามารถยกตัวสูงขึ้นในแนวตั้งได้อย่างรวดเร็วและเนื่องจากยังมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อมจึงสามารถยกตัวต่อไปเรื่อย ๆ จนเกินระดับควบแน่นส่งผลให้เกิดเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง แต่ถ้ามีการยกตัวต่อไปก็จะมีอัตราการลดลงของอุณหภูมิเฉลี่ยตามระดับความสูงข้างลง (หทัย, 2558) มีผลต่อการรวมตัวของกลุ่มเมฆ ซึ่งหากมีปริมาณมากจะส่งผลทำให้มีปริมาณเมฆฝนบนท้องฟ้ามาก และมีโอกาสเกิดฝนตกมากขึ้นกัน โดยปกติไอน้ำในอากาศจะมีค่าไม่เกินร้อยละ 4 แต่กลับมีอิทธิพลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้อย่างรุนแรง เนื่องจากไอน้ำในอากาศสามารถเปลี่ยนสถานะกลับไปกลับมาได้ ทั้งสามสถานะ คือ ของแข็งของเหลว และก๊าซ เพราะอุณหภูมิ ณ จุดควบแน่นและจุดเยือกแข็ง ไม่แตกต่างกันมาก การเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำอาศัยการดูดและคายพลังงาน ทำให้เกิดความร้อนแฝง ซึ่งเป็นกลไกในการขับเคลื่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (พงษ์ศักดิ์, 2545) โดยไม่

ปรากฏค่า CWV ในเดือนมกราคม เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว ท้องฟ้าโปร่ง มีปริมาณการปกคลุมของเมฆน้อย คิดเป็นเพียงร้อยละ 9.60-22.64 ของพื้นที่ภาคเหนือ (สุรัตน์ และคณะ, 2556) ซึ่งมีโอกาสทำให้ไม่พบกลุ่มเมฆในบริเวณที่ตรวจวัด (Figure 2)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับคุณสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับคุณสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua พบว่า มีระดับความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับคุณสมบัติเมฆอยู่ในระดับสูง เนื่องจากได้ทำการคัดเลือกข้อมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และปรับแก้ (Calibration) ส่วนที่มีความคลาดเคลื่อนออกจึงทำให้มีค่าความสัมพันธ์ที่สูง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับ BT รายปีและช่วงฤดูฝน

พบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.87 และ 0.91 ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน เมื่อ BT ลดลงปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มขึ้น (Figure 3) ซึ่งสอดคล้องกับ เพ็ญพร(2552) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในช่วงฤดูฝนสูงกว่ารายปี เนื่องจากในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณเมฆปกคลุมบนท้องฟ้ามากเมื่อดาวเทียมทำการถ่ายภาพและแปรผลเป็นค่าอุณหภูมิความส่องสว่างของเมฆ ค่าที่ได้มีค่าต่ำ ซึ่งหมายความว่า บริเวณนั้นมีโอกาสการเกิดฝนสูง แต่ค่าอุณหภูมิส่องสว่างรายปีที่มิช่วงฤดูแล้งรวมอยู่ด้วย เป็นช่วงที่มีเมฆน้อย ค่าอุณหภูมิความส่องสว่างที่ได้อาจเป็นค่าการสะท้อนจากวัตถุอื่นที่ไม่ได้มาจากเมฆ เช่น พื้นดิน แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าเป็นต้น ซึ่งมีค่าอุณหภูมิส่องสว่างที่สูงกว่าเมฆฝน (กนกกร และกาญจนา, 2557)

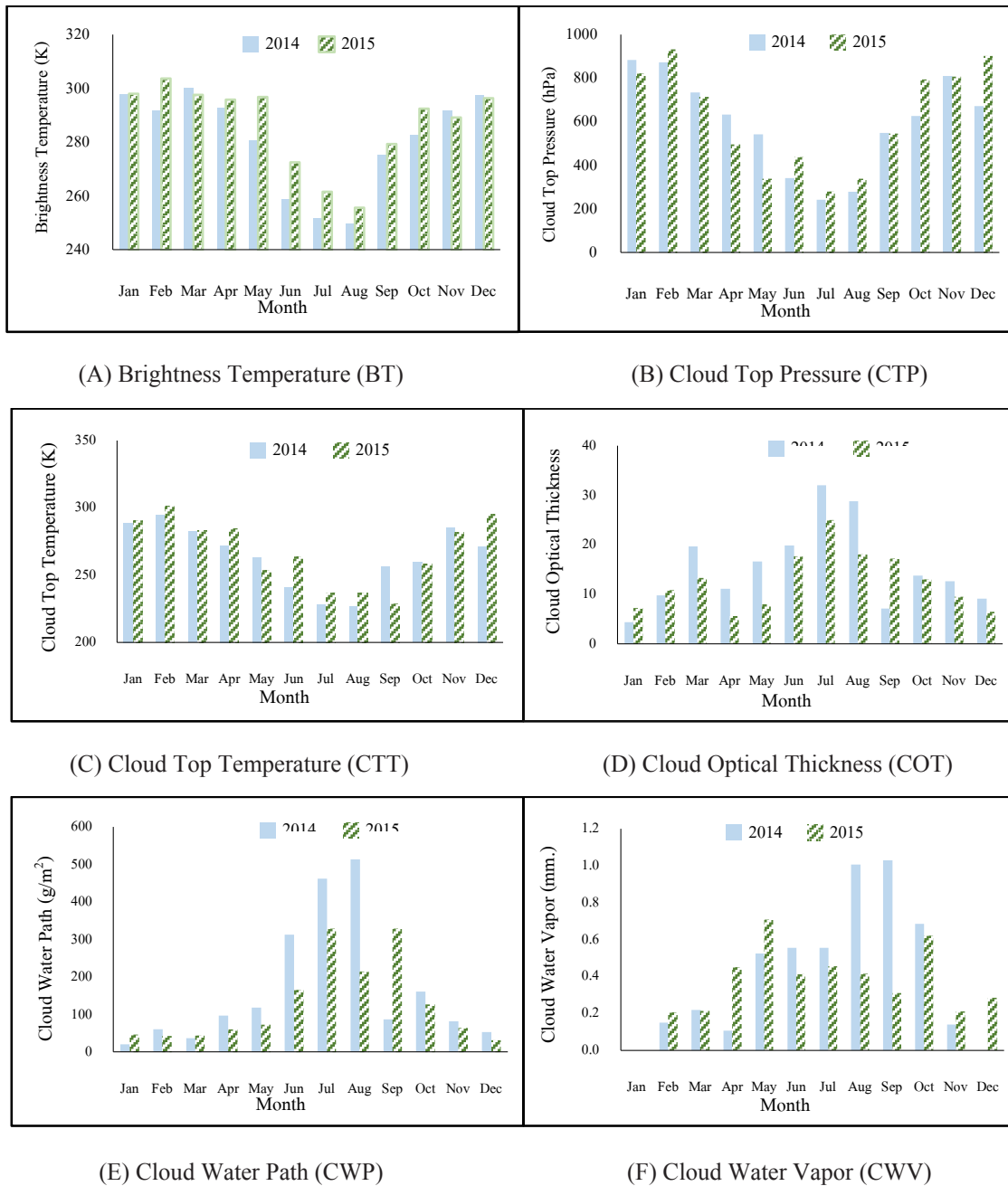


Figure 2 Monthly histogram variation of cloud properties from MODIS/Aqua satellite image.

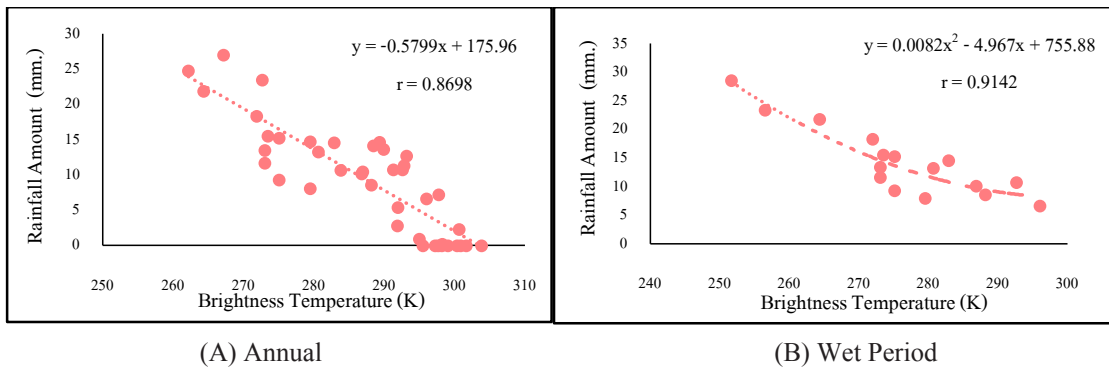


Figure 3 Relationship between rainfall amount and brightness temperature during 2014 – 2015.

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับ CTP รายปีและช่วงฤดูฝน

พบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.90 และ 0.79 ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน เมื่อ CTP ลดลง ปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มขึ้น (Figure 4) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์

ความสัมพันธ์ในฤดูฝนมีค่าน้อยกว่ารายปี เนื่องจากช่วงฤดูฝนแม้จะมีค่าความกดอากาศต่ำปรากฏขึ้นบ่อยครั้งแต่มีปัจจัยจากแนวลมมรสุมที่พัดพาความชื้นมาปกคลุมพื้นที่ตลอดช่วงเวลา จึงมีโอกาสเกิดฝนตกได้ง่าย โดยฝนที่เกิดไม่ได้เกิดจากร่องความกดอากาศต่ำเพียงอย่างเดียว

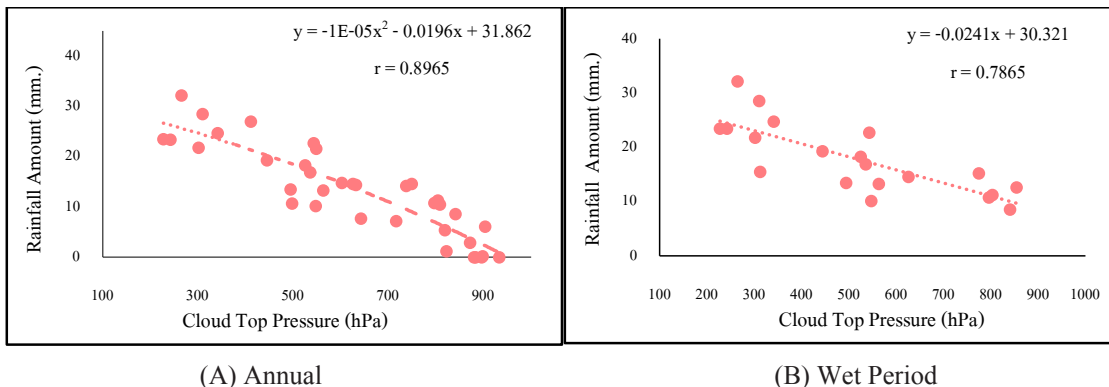


Figure 4 Relationship between rainfall Amount and cloud top pressure during 2014 – 2015.

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับ CTT รายปีและช่วงฤดูฝน

พบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.84 และ 0.81 ตามลำดับ โดยมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน เมื่อ CTT ลดลง

ปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มขึ้น (Figure 5) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในฤดูฝนมีค่าน้อยกว่ารายปี เนื่องจากฝนในช่วงฤดูนี้เป็นฝนจากแนวลมมรสุมมากกว่าฝนแบบพาความร้อน (Convection) จากเมฆค่าอุณหภูมิที่ปรากฏจึงมีค่าต่ำกว่ารายปี (Seiki and Nakajima, 2014).

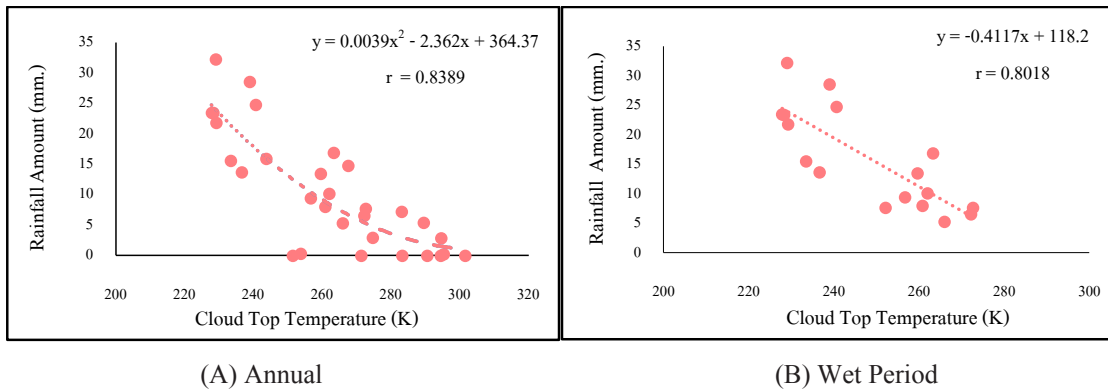


Figure 5 Relationship between rainfall amount and cloud top temperature during 2014 – 2015.

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับ COT รายปีและช่วงฤดูฝน

พบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.83 และ 0.85 ตามลำดับ โดย COT มีความสัมพันธ์แปรผันตามปริมาณน้ำฝน เมื่อ COT มีค่าเพิ่ม ปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มมากขึ้นตาม

(Figure 6) ทั้งนี้ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในฤดูฝนมีค่ามากกว่ารายปี เนื่องจากมีความทึบแสงสูง แสงอาทิตย์ไม่สามารถผ่านชั้นของเมฆที่หนาได้ ซึ่งเป็นกลุ่มของไอน้ำที่จับตัวกันแน่น จึงมีโอกาสเกิดเป็นฝนได้มากกว่ารายปีที่มีช่วงฤดูแล้งรวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศแห้ง ความชื้นน้อย

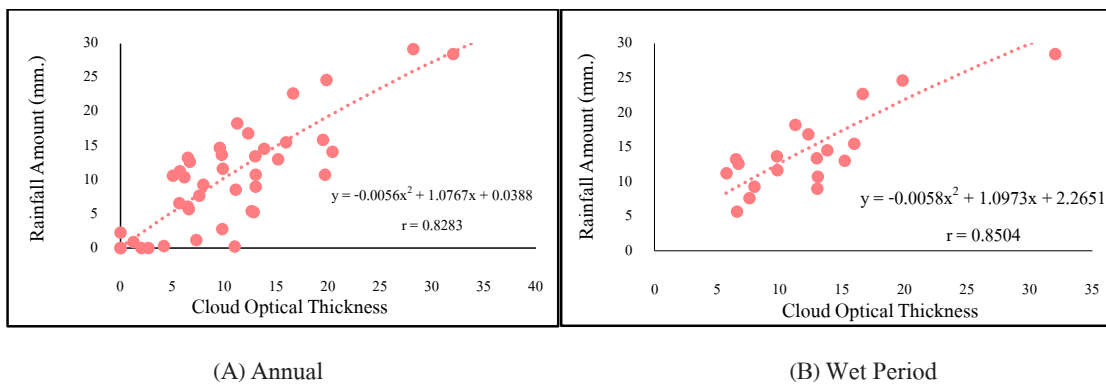


Figure 6 Relationship between rainfall amount and cloud optical thickness during 2014 – 2015.

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับ CWP รายปีและช่วงฤดูฝน

พบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.86 และ 0.82 ตามลำดับ โดย CWP มีความสัมพันธ์แปรผันตามปริมาณน้ำฝน เมื่อ CWP มีค่าเพิ่ม ปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มมาก

ขึ้นตาม (Figure 7) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของฤดูฝนมีค่าน้อยกว่ารายปี เนื่องจากของเหลวในเมฆขึ้นอยู่กับระยะอนุภาคของเมฆ มีบทบาทสำคัญในการส่งผ่านพลังงานที่ก่อให้เกิดความร้อนแฝง เมื่อเมฆมีอนุภาคใหญ่ทำให้มีปริมาณน้ำฝนที่มากขึ้นด้วย (Kniffka *et al.*, 2014)

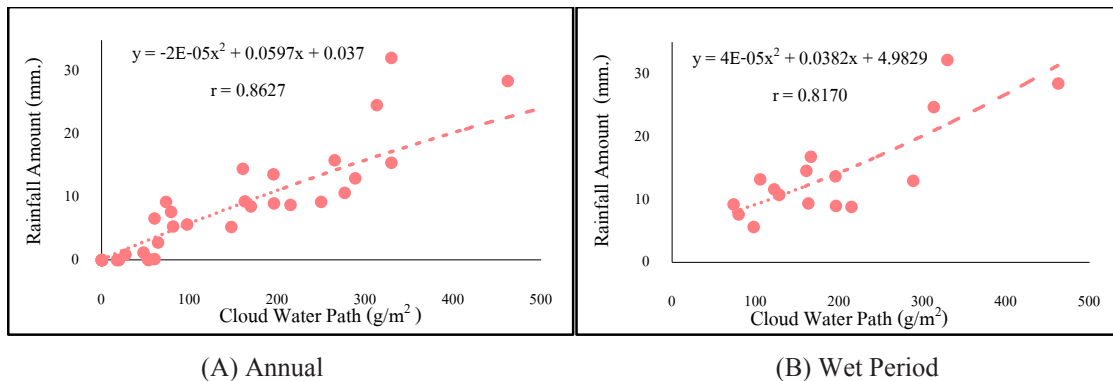


Figure 7 Relationship between rainfall and cloud water path during 2014 – 2015.

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับ CWV รายปีและช่วงฤดูฝน

พบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับสูง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.84 และ 0.76 ตามลำดับ โดย CWV มีความสัมพันธ์แปรผันตามปริมาณน้ำฝน เมื่อ CWV มีค่าเพิ่ม ปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มมากขึ้นตาม (Figure 8) ทั้งนี้พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของฤดูฝนมีค่าน้อยกว่ารายปี เนื่องจากฝนที่ตก

เป็นฝนจากลมมรสุมและฝนแบบ Orographic ในพื้นที่ภาคเหนือที่มีภูเขาสูงสลับซับซ้อน ทำให้มีความผันผวนของสภาพอากาศ ฝนตกไม่เท่ากัน พื้นที่บางส่วนถูกภูเขาขวางการเคลื่อนตัวของเมฆ รวมตัวกันอยู่บริเวณหน้าเขาทำให้มีปริมาณฝนมาก ส่วนบริเวณด้านหลังเขากลับไม่มีปริมาณฝนน้อย หรืออาจจะไม่มีฝนเลย จึงทำให้ในรายปีมีค่า r ต่ำกว่า

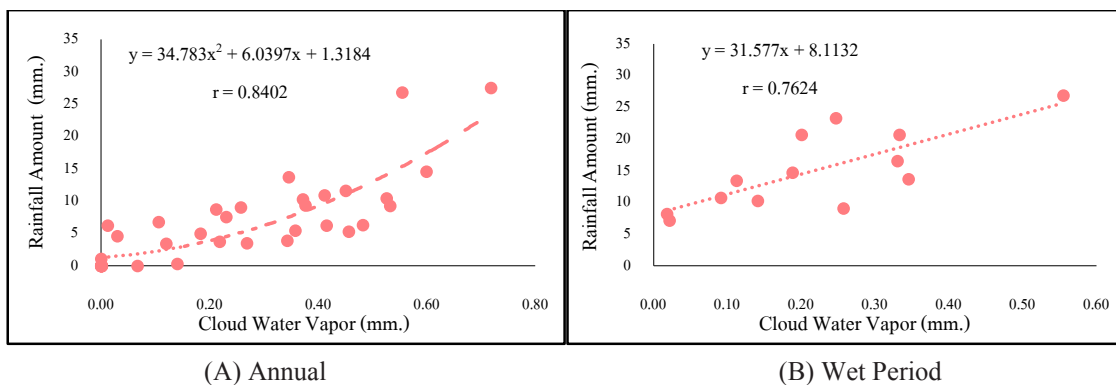


Figure 8 Relationship between rainfall and cloud water vapor during 2014 – 2015.

3. การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua

การประยุกต์ใช้ข้อมูลปัจจัยคุณสมบัติของเมฆจากข้อมูลภาพ MODIS ดาวเทียม Aqua โดยการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks; ANNs) ซึ่งมีโครงสร้างเป็น Node และเส้น

เชื่อมโยง แต่ละ Node เมื่อพิจารณาการวางตัวของ Node จะแบ่งเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) และชั้นข้อมูลผลลัพธ์ (Output Layer) ซึ่งในชั้นข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วย Input Node จำนวน 6 Node เป็นชั้นที่นำเข้าคุณสมบัติของเมฆทั้ง 6 ปัจจัย ได้แก่ BT, CTP, CTT, COT, CWP และ CWV

ในแต่ละ Node คูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ของแต่ละเส้นเชื่อม แล้วรวมเป็นผลรวมค่าสุดท้าย (Sum) และส่งออกค่าเหล่านี้ผ่าน Sigmoid Function โดยมีรูปแบบฟังก์ชัน $f(x)$ คือ $1/(1+e^{-x})$ ในชั้นซ่อนเร้น และส่งผลประมาณค่าไปยังชั้นข้อมูลผลลัพธ์

การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง ANNs พบว่า ปริมาณน้ำฝนรายปี โดยรวมแล้วมีค่าต่ำกว่า (Underestimate) ปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริง มีค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันเริ่มสูงขึ้นในเดือนพฤษภาคม มีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม ซึ่งได้รับอิทธิพลจากพายุโซนร้อน Mirinae เคลื่อนตัวเข้ามาปกคลุมภาคเหนือ รวมทั้งหย่อมความกดอากาศต่ำปกคลุมทางด้านตะวันตกของภาคเหนือร่วมด้วย ทำให้มีปริมาณน้ำฝน

ที่สูงมาก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559) และมีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม ซึ่งต่างจากปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริงที่มีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคม ต่ำสุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม (Figure 9) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศต่ำกำลังแรงที่แผ่ลงมาจากประเทศจีนเกิดแนวปะทะอากาศจึงทำให้ช่วงเดือนสิงหาคมมีโอกาการเกิดฝนตกหนัก (Dobby, 1967) และมีความหนักเบาค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีปริมาณน้ำฝนมาก ส่วนการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝนพบว่า ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่า (Underestimate) ปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริงเล็กน้อย โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันสูงสุดในเดือนกันยายน

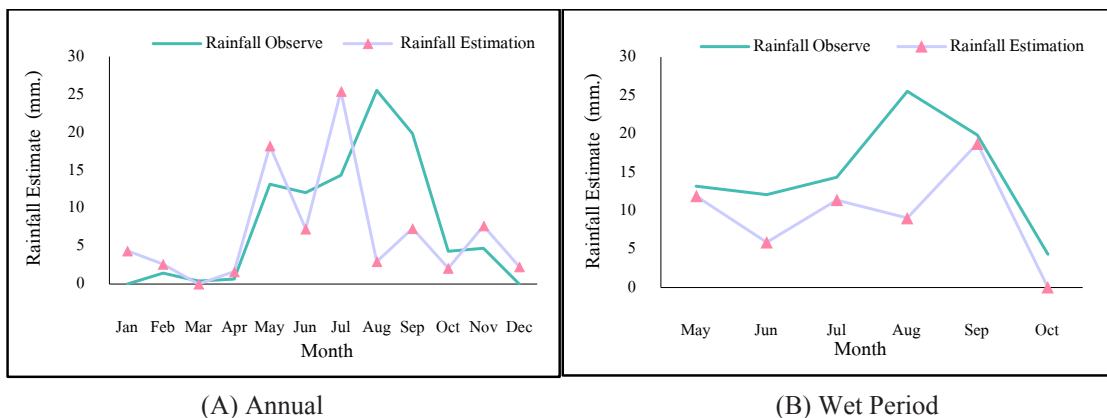


Figure 9 Comparison between rainfall estimate and rainfall observe in annual and wet period.

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อน พบว่า แบบจำลอง ANNs ที่ใช้ประมาณค่าปริมาณน้ำฝนรายปีและฤดูฝนในช่วงการเรียนรู้แบบจำลอง (Training) ของชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2557-2558 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9891 และ 0.9895 ตามลำดับ แต่พบว่าการทดสอบแบบจำลอง (Testing) ของชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2559 ระหว่างปริมาณน้ำฝนที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.42 และ 0.64 ตามลำดับ เนื่องจากเกิดการเรียนรู้มากเกินไป (Overfitting) แบบจำลองเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลบางตัวที่มีลักษณะผิดปกติหรือข้อมูลที่มี

สัญญาณรบกวน (Noisy Data) จึงทำให้โครงสร้างให้ผลลัพธ์ที่ดีในชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้แต่ให้ผลลัพธ์ไม่ดีในชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ เพราะชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้มีแนวโน้มเริ่มลดลงและเริ่มคงที่ แต่ไม่ได้ให้แบบจำลองหยุดการเรียนรู้ (เสรี, 2544; โอม, 2550; นิรติยา, 2551) เช่นเดียวกับ ฟาตา และปียพงษ์ (2556) ที่ประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง ANN มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงถึง 0.99 ในภาคตะวันออก เนื่องจากมีปริมาณข้อมูลที่น้อยเกินไป ซึ่งควรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) อยู่ในช่วง 0.84 – 0.95 (Boger and Guterman, 1997)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) โดยวิธี RMSE MAE และ PE พบว่า การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนบริเวณภาคเหนือตอนบน ของประเทศไทย มีความคลาดเคลื่อนในระดับปานกลาง ซึ่งถือว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าปริมาณน้ำฝนได้ ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริง และสามารถใช้แบบจำลอง ได้ในระดับปานกลาง โดยในรายปีมีค่าความคลาดเคลื่อน มากกว่าช่วงฤดูฝนเล็กน้อย มีค่า RMSE และ MAE และ PE เท่ากับ 7.96 10.3 และ 15.21 ตามลำดับ ส่วน ช่วงฤดูฝนมีค่า RMSE MAE ต่ำกว่ารายปี เท่ากับ 7.57 และ 5.96 ตามลำดับ แต่มีค่า PE สูงกว่ารายปี เท่ากับ 36.17 ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ได้ในทางอุตุนิยมวิทยา โดยมีค่า PE ไม่เกินร้อยละ 70 และ ไม่เกินร้อยละ 20 ที่เป็นเกณฑ์สูงสุด (ฟาตา, 2557; Kalnary, 2003) ทั้งนี้เนื่องจาก ช่วงฤดูฝนนั้นมีการตก ของฝนและมีปริมาณเมฆที่ก่อตัวเป็นฝนมากและฤดูฝน มีปัจจัยเสริมการเกิดฝนหลายปัจจัย เช่น ความชื้นใน อากาศ แนวลมมรสุม กระบวนการควบแน่น ปริมาณ ฝุ่นละอองในอากาศ เป็นต้น จึงทำให้สมบัติของเมฆ ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมมีผลต่อความสัมพันธ์ของแบบ จำลอง ANN และทำให้การประมาณค่าปริมาณน้ำฝน ในช่วงฤดูฝนมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนตรวจ วัดจริงมากกว่ารายปี

สรุป

ความผันแปรของปริมาณน้ำฝนและปัจจัยข้อมูล ภาพถ่ายดาวเทียม MODIS/Aqua พบว่า ปริมาณน้ำฝน ในปี พ.ศ. 2557 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,231.31 มม. มีค่าสูงสุดใน เดือนสิงหาคม เท่ากับ 270.91 มม. ส่วนปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,078.86 มม. มีค่าสูงสุดใน เดือน กรกฎาคม เท่ากับ 193.52 มม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าปริมาณ น้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี และปี พ.ศ. 2557 ความผันแปร ของ BT, CTP และ CTT มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือ มี ค่าสูงในช่วงเดือนตุลาคม - เมษายน และมีค่าต่ำในช่วง เดือนพฤษภาคม - กันยายน ส่วน COT, CWP และ CWV

พบว่า มีค่าสูงในช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม และมี ค่าต่ำในช่วงเดือนพฤศจิกายน - เมษายน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับสมบัติ ของเมฆจากภาพถ่ายดาวเทียม MODIS/Aqua ทั้ง 6 ปัจจัย ในรายปี พบว่า ปริมาณน้ำฝนกับ CTP มีความสัมพันธ์ กันมากที่สุด มีค่า r เท่ากับ 0.90 รองลงมาคือ BT, CWP, CTT, CWV และ COT โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.87, 0.86, 0.84, 0.84 และ 0.83 ตามลำดับ สำหรับฤดูฝน BT มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนมาก ที่สุด โดยมีค่า r เท่ากับ 0.91 รองลงมาคือ COT, CWP, CTT, CTP และ CWV มีค่า r เท่ากับ 0.85, 0.82, 0.80, 0.79 และ 0.76 ตามลำดับ

การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากภาพถ่าย ดาวเทียมรายปีและช่วงฤดูฝน พบว่า แบบจำลองมี ประสิทธิภาพในการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนได้ใน ระดับปานกลาง โดยมีค่า r เท่ากับ 0.99 และ 0.99 ตาม ลำดับ และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่า ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่า (Underestimation) ปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจริง มีค่า ความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับปานกลาง โดยแบบจำลอง รายปีมีค่าความคลาดเคลื่อนวิธี RMSE เท่ากับ 7.96 MAE เท่ากับ 10.3 และ PE เท่ากับ 15.21 ส่วนแบบจำลองใน ช่วงฤดูฝนมีค่า RMSE เท่ากับ 7.57 MAE เท่ากับ 5.96 และ PE เท่ากับ 36.17

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กนกกร สุขสบาย และกาญจนา นาคะภากร. 2557. การ ตรวจวัดพื้นที่เกิดไฟป่าด้วยช่วงคลื่นเทอร์ มอลอินฟราเรด ของภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์เซต กรณีสึกษาอำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี 22 (4): 462-473.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2553. **General Meteorology**. แหล่ง ที่มา: <http://hydro-1.net/08HYDRO/HD-10/102/General%20Meteorology.pdf>, 25 เมษายน 2560.

- _____. 2558. รายงานอุตุนิยมวิทยาเกษตร มกราคม 2558. 19 หน้า.
- _____. 2559. รายงานอุตุนิยมวิทยาเกษตร กรกฎาคม 2559. 26 หน้า.
- จงกลณี วาณิชเสริมกุล. 2528. การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาศึกษาทิศทางการเคลื่อนตัวและผลกระทบของพายุหมุนเขตร้อนในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จตุพร ผดุงกาญจน์. 2555. ผลของปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาต่อปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่แตง เชียง และคลองยัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชลาลัย แจ่มผล. 2558. ปรากฏการณ์เอลนีโญ 2558/59. วารสารอุตุนิยมวิทยา 15 (3): 1-5.
- ทวี ชัยพิมลผลิน. 2557. บทบาทของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับงานวิจัยทางด้านภูมิศาสตร์ในประเทศไทย. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 17: 315-327.
- นิรติยา ใจเสียง. 2551. การจำแนกสายพันธุ์ข้าวจากองค์ประกอบสัณฐานวิทยาในเมล็ดข้าวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พงษ์ศักดิ์ อยู่หุ่น. 2545. ความชื้น อุณหภูมิ และความเร็วลมของบรรยากาศ. แหล่งที่มา: <http://conf.agi.nu.ac.th/webnewasp/ereading/101302/04.pdf>, 29 เมษายน 2560.
- เพ็ญพร นิ่มนวล. 2552. การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณปริมาณฝนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ฟาตา มรรษทวิ. 2557. การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E ในการประเมินค่าปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- _____ และปิยพงษ์ ทองคีนอก. 2556. การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม FY-2E และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในประเทศไทย. วารสารวนศาสตร์ 32 (พิเศษ): 238-247.
- สุรัตน์ กำแพงแก้ว, ศรินทรา อินทร์นอม, เสาวนีย์ ศรีชาย และวรัณย์ วิชาคุณ. 2556. การศึกษาข้อมูลสถิติการปกคลุมของเมฆในประเทศไทย. ในรายงานการประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2556 ครั้งที่ 12. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), นนทบุรี.
- เสรี สุภราทิพย์. 2544. คู่มือการพยากรณ์น้ำโดยโครงข่ายประสาทเทียม. สถาบันพัฒนาการชลประทาน, นนทบุรี.
- หทัย เพลงวัฒนา. 2558. เมฆและการเกิดเมฆ. แหล่งที่มา: http://earthscience.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/19/2015/04_19_เมษายน_2560.
- โอม ไทย. 2550. การประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Barnston, A. G. 1992. Correspondence among the correlation, RMSE, and Heidke forecast verification measures; Refinement of the Heidke Score. *Journal of Cell Science* 7: 699-709.
- Boger, Z. and H. Guterman. 1997. **Knowledge Extraction from Artificial Neural Network Models**. IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference. Orlando, Florida.
- Dobby, E. H. G. 1967. **Southeast Asia**. Hazell Watson & Winey Ltd, London.

- Herman, A., V.B. Kumar, P.A. Arkin and J.V. Kousky. 1997. Objectively determined 10-day African rainfall estimates created for famine early warning systems. **Int. J. Rem.** 18 (10): 2147-2159.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2014. **MODIS**. Available Source: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data>, April 8, 2018.
- Kalnary, E. 2003. **Atmospheric Modeling Data Assimilation and Predictability**. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kniffka A., M. Stengel, M. Lockhoff, R. Bennartz and R. Hollmann. 2014. Characteristics of cloud liquid water path from SEVIRI onboard the Meteosat Second Generation 2 satellite for several cloud types. **Atmos. Meas. Tech.** 7 (4): 887-905.
- Seiki, T. and T. Nakajima. 2014. Aerosol effects of the condensation process on a convective cloud simulation. **J. Atmos. Sci.** 71 (2): 833-853.
- Willmott, C. J. and K. Matsuura. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Journal of Climate Research** 30 (1): 79-82.
- World Meteorological Organization (WMO). 2015. **El Nino/La Nina Update**. Available Source: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/documents/WMO_ENSO_Nov15_Eng.pdf, April 16, 2017.
- . 2017. **Optical Thickness**. Available Source: <https://cloudatlas.wmo.int/optical-thickness.html>, May 2, 2017.
-