



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การวิเคราะห์หาสมการ Z-R เพื่อใช้ในการประเมินฝนของเรดาร์ตาคลี Analysis of Z-R relationship for rainfall estimation by Takhli radar

รัชเวช หาญชูวงศ์*

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10530

Ratchawatch Hanchoo Wong*

¹ Department of Civil Engineering, School of Engineering and Industrial Technology, Mahanakorn University of Technology, Bangkok 10530

* Corresponding author.

E-mail: rhanchoowong@gmail.com; Telephone: 0972508989

วันที่รับบทความ 3 พฤษภาคม 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 2 มิถุนายน 2565 ; วันที่ตอบรับบทความ 15 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ

ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกี่ยวกับฝนนั้นมีความสลับซับซ้อนของขบวนการเป็นอย่างมาก ดังนั้นการตรวจวัดฝนโดยใช้สถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มีความละเอียดเฉพาะจุดครอบคลุมพื้นที่ 200 cm² ประกอบกับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินติดตั้งในพื้นที่เพื่อตรวจวัดฝน ส่งผลให้ขาดแคลนข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ถูกต้องเพื่อนำมาใช้ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ ดังนั้นในช่วง 50 ปี ที่ผ่านมามีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลด้วยเรดาร์ตรวจอากาศเข้ามาใช้ในการตรวจวัดปริมาณฝน โดยเรดาร์ตรวจอากาศจะวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เมื่อกระทบกับอนุภาคของเมฆฝน ซึ่งค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์นี้จะแปรผันตามขนาดและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเมฆฝนเมื่อนำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มาใช้ในการประเมินปริมาณฝน ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นข้อมูลความเข้มฝน (R (มม./ชม.)) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z=aR^b$) การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้งหมด 230 เหตุการณ์ในช่วงระหว่างวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน 174 สถานี และข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์ตาคลี มาทำการศึกษหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเมฆฝนในแต่ละช่วงเวลาเพื่อนำมาใช้ในการประเมินฝนเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ Z-R เฉลี่ย, $Z=200R^{1.6}$ และ $Z=300R^{1.4}$ ผลการศึกษาพบว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเมฆฝนตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ในแต่ละวัน เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE (Root Mean Squared Error) สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [9.05%, 10.68%, 12.42%], เมื่อพิจารณาจากค่า MSE (Mean Squared Error) สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [18.96%, 22.50%, 26.39%], เมื่อพิจารณาจากค่า MAE (Mean Absolute Error) สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [18.59%, 21.60%, 25.78%] และ เมื่อพิจารณาจากค่า BIAS สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [512.14%, 580.58, 621.36%] เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย, สมการ $Z=200R^{1.6}$ และ สมการ $Z=300R^{1.4}$ ตามลำดับ

คำสำคัญ

เรดาร์ตรวจอากาศ, ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, เมฆฝน, เรดาร์ตาคลี, การประเมินฝน, สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ

Abstract

The local water management has suffered from the shortage of accurate areal rainfall data collection in use of automatic rain gauge with partial pixel of 200 cm² caused by the lack of the device installation in the area and the extreme complication of natural phenomenon involving precipitation. In response to that, the adoption of remote sensing

technology in weather radar has been introduced to rainfall measurement for the past 50 years. When interacting with raindrop particles, the weather radar can detect radar reflectivity which varies depending on rainfall drop size distribution. This reflectivity subsequently becomes applicable as a support method to the conventional rainfall estimation after translated into rainfall intensity (R (mm/cm)) by using relationship Z - R ($Z=aR^b$). This study had begun and concluded the data collecting process during August 25, 2018 to August 31, 2020 and accumulated 230 rainfall event data, including hourly rainfall data from 174 automatic rain gauges and radar reflectivity from Takhli radar operating under its measuring radius of 240 km, in analysis of altered Z - R relationship correspondingly to periodical rainfall drop size distributions to compare with the result by the use of Climatological Z - R relationship, $Z=200R^{1.6}$ and $Z=300R^{1.4}$. The result shows the improvements in accuracy of radar measurements of rainfall by incorporating the altered Z - R relationship correspondingly to periodical rainfall drop size distribution, raising up to [9.05% ,10.68% ,12.42%] , [18.96% ,22.50% ,26.39%] , [18.59% ,21.60% ,25.78%] and [512.14% ,580.58% ,621.36%] when considering from RMSE (Root Mean Squared Error), MSE (Mean Squared Error), MAE (Mean Absolute Error) and BIAS respectively, in comparison to that of Climatological Z - R relationship, $Z=200R^{1.6}$ and $Z=300R^{1.4}$.

Keywords

weather radar, radar reflectivity, raindrop, Takhli radar, rainfall estimation, automatic rain gauge

1. คำนำ

เนื่องจากในสภาวะปัจจุบันประเทศไทยต้องเผชิญกับความไม่แน่นอนของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอยู่บ่อยครั้งและหนึ่งในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนก็คือ ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเกี่ยวกับฝน ดังนั้นหากเราสามารถดำเนินการประเมินปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ได้ถูกต้อง จะช่วยให้การวางแผนบริหารจัดการน้ำในพื้นที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเกี่ยวกับฝนนั้นมีความสลับซับซ้อนของขบวนการเป็นอย่างมาก ดังนั้นการตรวจวัดฝนโดยใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีความละเอียดเฉพาะจุด [1] ครอบคลุมพื้นที่ 200 cm² ประกอบกับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำฝนติดตั้งในพื้นที่เพื่อตรวจวัดฝน ส่งผลให้ขาดแคลนข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ถูกต้องเพื่อนำมาใช้ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ ดังนั้นในช่วง 50 ปี ที่ผ่านมาจึงได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลด้วยเรดาร์ตรวจอากาศเข้ามาใช้ในการตรวจวัดปริมาณฝนซึ่งเรดาร์สามารถตรวจวัดฝนที่มีความละเอียดสูงในเชิงพื้นที่และเวลา ดังนั้นหากนำข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตรวจอากาศมาใช้ในการประเมินฝนร่วมกับข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินจะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเชิงพื้นที่ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากเรดาร์ตรวจอากาศไม่ได้ทำการตรวจวัดฝนโดยตรงแต่จะทำการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปทำการ

ตรวจวัดฝนหลังจากที่คลื่นดังกล่าวกระทบกับเม็ดฝนคลื่นดังกล่าวจะสะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ (Radar Receiver) และถูกแปลงเป็นค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity, Z (มม.⁶/ม.³)) ซึ่งค่า Radar Reflectivity นี้จะแปรผันตามขนาดและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝน (Rain Drop Size Distribution) ภายในปริมาตรของบรรยากาศหนึ่ง ๆ ที่สำรวจ เมื่อนำข้อมูล Radar Reflectivity มาใช้ในการประเมินปริมาณฝน ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นข้อมูลความเข้มฝน (R (มม./ชม.)) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z - R ($Z=aR^b$) ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาจากขบวนการที่ซับซ้อนดังกล่าวจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในขบวนการประเมินฝนด้วยเรดาร์ซึ่งประกอบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z - R ที่ใช้แปลงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ให้เป็นความเข้มฝน ดังนั้นการใช้สมการความสัมพันธ์ Z - R เฉลี่ยในการประเมินฝนเรดาร์ตามสถิติเพียงสมการเดียวยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา [2-5] ที่กล่าวว่าการใช้สมการความสัมพันธ์ Z - R เฉลี่ยมีข้อจำกัดคือไม่สามารถเป็นตัวแทนของสมการความสัมพันธ์ที่แท้จริงของฝนที่แตกต่างกันได้ โดยความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีสาเหตุจากการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนและชนิดของฝนที่ต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ Z - R มีค่า

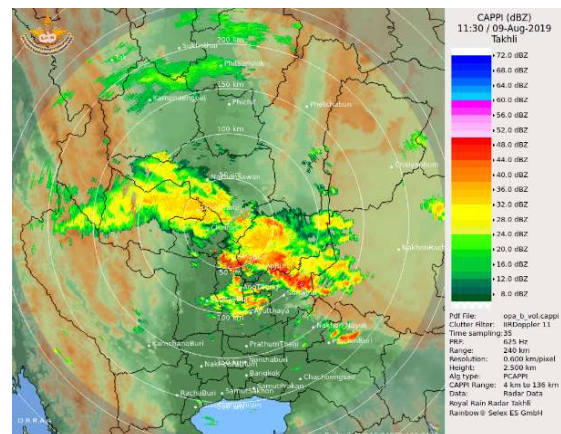
แตกต่างกันและเพื่อที่ลดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้จึงประยุกต์ใช้วิธีการศึกษา [6] พิจารณาแยกกลุ่มฝนจากความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินแล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงความเข้มฝน, [7] พิจารณาแยกกลุ่มฝนตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์แล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, [8-12] ศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเหตุการณ์ฝน, [12-15] ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา ตามลำดับ เพื่อใช้ในการศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน, ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ และ ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนในแต่ละช่วงเวลาเพื่อนำมาใช้ในการประเมินฝนของเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากที่สุดภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์ตาคลี

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงตาคลี ชนิด Dual polarization แบบ S-band ตั้งอยู่ที่อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ ดังรูปที่ 1 โดยข้อมูลการตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่ตรวจวัดฝนถูกจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ Volume files ที่บันทึกเป็นเวลาสากลเชิงพิกัด (Coordinated Universal Time, UTC) ที่มีการตรวจวัดทุกๆ 6 นาที, ข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบภาพเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กม. ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2 และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ซึ่งในแต่ละเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาจะต้องมีข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่สอดคล้องกันและข้อมูลทั้งสองดังกล่าวจะต้องผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลตามเกณฑ์ที่นำเสนอในบทความ [16] ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1 ภาพสถานีเรดาร์ตาคลีชนิด Dual polarization แบบ S-band

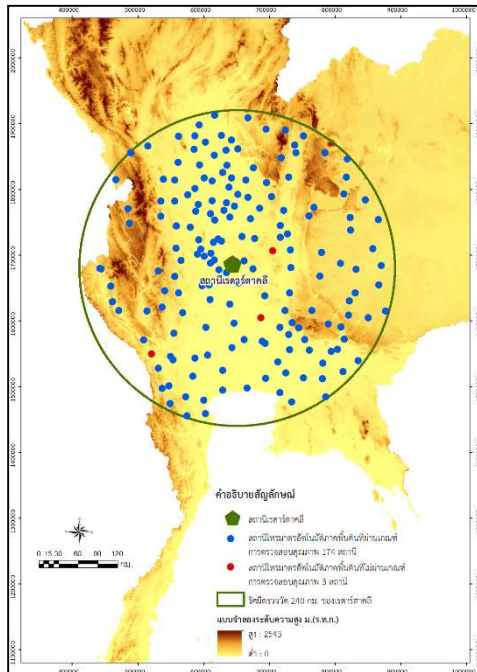


รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กม. ของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตาคลี เหตุการณ์ฝนวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2562 เวลา 11:30 น. (UTC)

2.1 ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของ (สสน.) ที่ตั้งอยู่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์ตาคลีจำนวนทั้งหมด 177 สถานี ที่มีการบันทึกข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561

ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนด้วยวิธี Double Mass Curve และวิธีการวิเคราะห์กราฟอนุกรมเวลา (Time Series Plot) ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนรายชั่วโมงที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน พบว่ามีสถานีที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ 174 สถานี และสถานีที่ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ 3 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 3

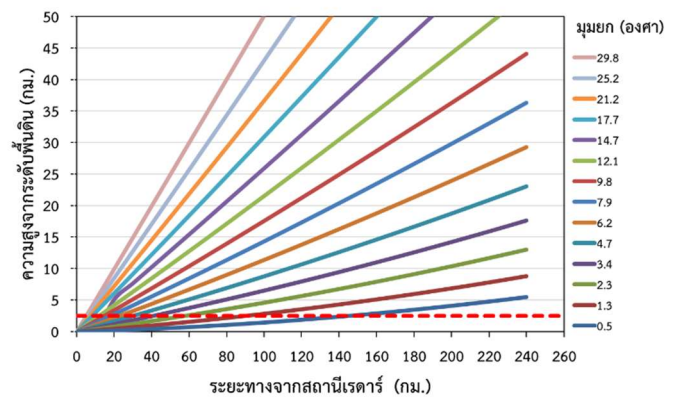


รูปที่ 3 ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์ภาคพื้นดินที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝน

2.2 ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์ภาคพื้นดิน

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับในการตรวจวัดฝนของเรดาร์ภาคพื้นดินมีการตรวจด้วยมุลทุกทั้งหมด 14 มุลตลอดทั้งปี (0.5°, 1.3°, 2.3°, 3.4°, 4.7°, 6.2°, 7.9°, 9.8°, 12.1°, 14.7°, 17.7°, 21.2°, 25.2° และ 29.8°) การตรวจวัดฝนที่มุลทุกที่ต่างกันส่งผลให้สามารถตรวจวัดกลุ่มเมฆฝนเหนือระดับพื้นดินที่ต่างกันโดยความสูงของการตรวจวัดจะสูงจากพื้นดินมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางที่ห่างจากสถานีเรดาร์เพิ่มขึ้น ดังในรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างมุลทุกที่ใช้ในการตรวจวัด 14 มุล ของเรดาร์ภาคพื้นดินในการประเมินฝนให้มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับฝนที่

ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินควรจะต้องใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีการตรวจวัดใกล้กับพื้นดินมากที่สุด แต่ทั้งนี้ข้อมูลที่เรดาร์ตรวจวัดจากมุมตรวจวัดที่ต่ำที่สุดจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางอื่นๆ ที่ไม่ใช่ฝน หรือที่กล่าวว่าเป็นปัญหาเนื่องจาก Ground Clutter และ Beam Blockage ขณะที่การใช้มุมตรวจวัดที่สูงขึ้นทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหาเนื่องจาก Ground clutter และ Beam Blockage ได้แต่ก็ทำให้เกิดข้อเสียเพราะตำแหน่งตรวจวัดฝนจะสูงจากพื้นดินมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางที่ห่างจากสถานีเรดาร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตรวจวัดฝนได้น้อยกว่าความเป็นจริงการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์จากมุมตรวจวัดที่ 0.5°, 1.3° และ 2.3° ของเรดาร์ภาคพื้นดินในช่วงระหว่าง สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากปัญหาเนื่องจาก Ground Clutter และ Beam Blockage ที่ยังหลงเหลืออยู่โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

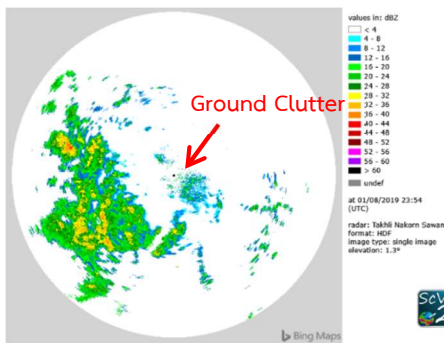


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระยะตรวจวัดและระยะทางจากสถานีเรดาร์ภาคพื้นดิน

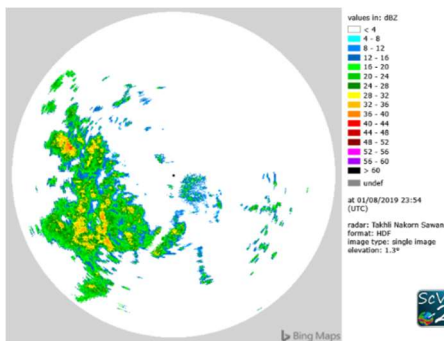
- ปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เนื่องจากปัญหา Ground Clutter

ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground Clutter เกิดจากสัญญาณของคลื่นเรดาร์กระทบกับวัตถุที่เป็นเป้าสะท้อนถาวรที่ไม่ใช่กลุ่มฝน เช่น ภูเขา หรือ อาคารสูง ที่อยู่บนพื้นดิน โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำ Ground Clutter Filter ซึ่ง

ทำหน้าที่ในการปรับแก้สัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากคลื่นเรดาร์กระทบกับวัตถุบนพื้นดิน การปรับแก้จะทำโดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ Ground Clutter Map ซึ่งแผนที่ดังกล่าวจะถูกสร้างโดยการตรวจวัดด้วยเรดาร์ในช่วงเวลาที่ฝนไม่ตก ตำแหน่งพิกเซลที่แสดงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity > 0) ในช่วงเวลาที่ฝนไม่ตกนั้น ได้ถูกบันทึกไว้และถูกพิจารณาว่าเป็นตำแหน่งของ Ground Clutters ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่ Ground Clutter ค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Ground Clutter จะถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณจากค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [17,18] รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างภาพเรดาร์ก่อนและหลังมีการปรับแก้ Ground Clutter



(ก) ก่อนปรับแก้ Ground Clutter

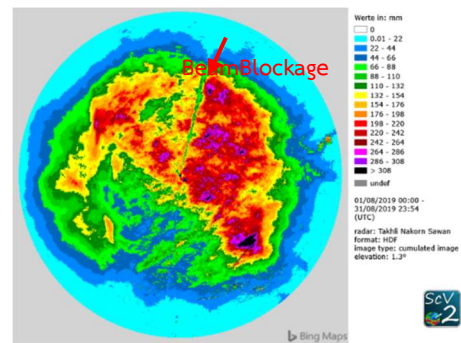


(ข) หลังปรับแก้ Ground Clutter

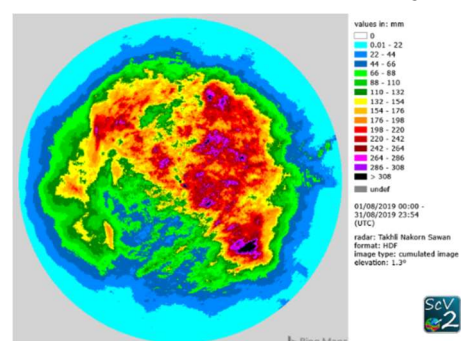
รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ตาศีที่มุมตรวจวัด 1.3° (ก) ก่อนปรับแก้ และ (ข) หลังปรับแก้ Ground Clutter ณ วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2562 เวลา 23:54 น. (UTC)

- ปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เนื่องจากปัญหา Beam Blockage

ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Beam Blockage เกิดขึ้นในกรณีที่ลำคลื่นเรดาร์ตัดผ่านสิ่งกีดขวางดังเช่น ภูเขา หรือป่าสะท้อนถาวรต่างๆ ส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) ที่ตรวจวัดในพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางมีค่าน้อยกว่าปกติ การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการปรับแก้โดยนำข้อมูลค่า Radar Reflectivity จากการตรวจวัดฝนสะสมรายเดือนมาพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งที่เกิด Beam Blockage ค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Beam Blockage ได้ถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณจากค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [17,18] รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างภาพเรดาร์ก่อนและหลังมีการปรับแก้ Beam Blockage สำหรับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตาศีที่มุมตรวจวัดที่ 1.3°



(ก) ก่อนปรับแก้ Beam Blockage



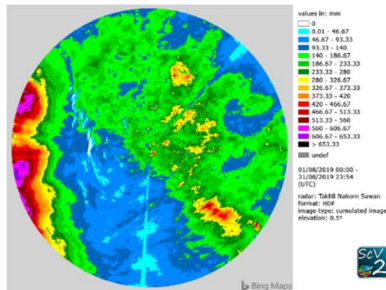
(ข) หลังปรับแก้ Beam Blockage

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างแสดงปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตาศีของเหตุการณ์ฝนเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2562 ก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ Beam Blockage

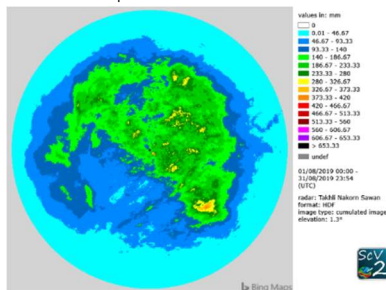
3 การคัดเลือกมุมตรวจวัดที่เหมาะสม

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์จากมุมตรวจวัดที่ 0.5°, 1.3° และ 2.3° หลังทำการปรับแก้เพื่อลดค่าความ

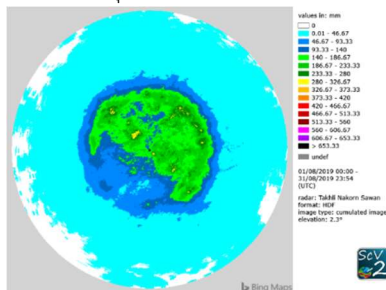
คลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากปัญหา Ground Clutter และ Beam Blockage เรียบร้อยแล้วจะถูกนำมาตรวจสอบเพื่อหามุมตรวจวัดที่เหมาะสมของเรดาร์ตาคลี ผลการคัดเลือกมุมตรวจวัดที่เหมาะสมของเรดาร์ตาคลี แสดงในรูปที่ 7



(ก) มุมตรวจวัดที่ 0.5°



(ข) มุมตรวจวัดที่ 1.3°



(ค) มุมตรวจวัดที่ 2.3°

รูปที่ 7 ตัวอย่างปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตาคลีจากมุมยก 3 มุม ของเหตุการณ์ฝนเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562

พบว่ามุมตรวจวัดที่ 0.5° ซึ่งเป็นมุมตรวจวัดที่ต่ำที่สุดนั้น ยังคงเกิดปัญหาเนื่องจาก Beam Blockage เป็นจำนวนมาก และเมื่อพิจารณามุมตรวจวัดที่ 1.3° เห็นได้ว่าปัญหาเนื่องจาก Beam Blockage ลดลงและยังคงตรวจวัดกลุ่มฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของสถานีเรดาร์ตาคลี ขณะที่เมื่อพิจารณามุมตรวจวัดที่ 2.3° เห็นได้ว่าปัญหาเนื่องจาก Beam Blockage ลดลงเช่นเดียวกับมุมตรวจวัดที่ 1.3° แต่ตรวจวัดกลุ่มฝนครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของสถานี

เรดาร์ตาคลีได้น้อยลงมากเมื่อเทียบกับมุมตรวจวัดที่ 1.3° และจากเหตุผลดังที่กล่าวมาจึงเป็นข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการเลือกมุมตรวจวัดที่เหมาะสมโดยมุมตรวจวัดที่เหมาะสมเมื่อพิจารณา ด้านคุณภาพของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่ ภายหลังการปรับแก้แล้วจะต้องลดค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากปัญหา Ground Clutter และ Beam Blockage ให้เหลือน้อยที่สุด และ ต้องตรวจวัดกลุ่มฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของสถานีเรดาร์ตาคลีให้ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับมุมตรวจวัดอื่นๆ ดังนั้นข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์จากมุมตรวจวัดที่ 1.3° จึงเป็นมุมตรวจวัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเรดาร์ตาคลี

4 การคัดเลือกเหตุการณ์ฝนที่ใช้วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพโดยวิธี Double Mass Curve และวิธีการวิเคราะห์กราฟอนุกรมเวลา (Time Series Plot) ที่มากกว่า 0.2 มม./ชม. เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรในกรณีของการตรวจวัดปริมาณฝนที่มีค่าน้อยมากและข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มุมตรวจวัด 1.3° ภายหลังการปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground

Clutter และ Beam Blockage เรียบร้อยแล้วถูกนำมาใช้ในการคัดเลือกเหตุการณ์ฝน โดยสามารถคัดเลือกเหตุการณ์ฝนได้ทั้งหมด 230 เหตุการณ์ ในช่วงระหว่างวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 เพื่อใช้วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R สำหรับใช้ในการแปลงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) ให้เป็นความเข้มฝน

5 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R

ข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้ง 230 เหตุการณ์ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกในข้อ 4 จะถูกนำมาวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R โดยใช้วิธี Regression ซึ่งหลักการของวิธี Regression คือ ต้องคัดเลือกคู่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของ

คลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) และค่าความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกันมาใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R โดยในการศึกษาจะเลือกใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาผลกระทบเนื่องจากเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิดจากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53 dBZ [19] และพิจารณาใช้ค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มากกว่า 0.2 มม./ชม. และเลือกใช้วิธีการ Cross-Validation ในการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเพื่อให้ได้คู่ Z-R ในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน โดยแบ่งการสุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ **ข้อมูลกลุ่มที่ 1** จะทำการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจาก 80% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) ผลลัพธ์ทำให้ได้คู่ข้อมูล Z-R มาใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z=aR^b$) (500 ครั้ง) **ข้อมูลกลุ่มที่ 2** สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่วิเคราะห์ได้ในข้อมูลกลุ่มที่ 1 ถูกนำมาทดสอบความเชื่อมั่นโดยคู่ข้อมูล Z-R ของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เหลือจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [2-5] ได้ศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในการประเมินฝนเรดาร์อย่างไรก็ตามการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยมีข้อจำกัดคือไม่สามารถเป็นตัวแทนของสมการความสัมพันธ์ที่แท้จริงของฝนที่แตกต่างกันได้, [6] พิจารณาแยกกลุ่มฝนจากความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินแล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์แล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, [8-12] ได้ศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเหตุการณ์ฝน, [12-15] ได้ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา, [20-22] ใช้เครื่องมือ Disdrometer วัด Drop Size Distribution (DSD) และเมื่อทราบข้อมูล DSD ก็นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสมการ

ความสัมพันธ์ Z-R, [20-25] พบว่าค่าพารามิเตอร์ b ที่

เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนของสมการ Z-R คือ $b=1.5$ และในทำนองเดียวกันจากการศึกษาเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ b, [26] พบว่าค่าพารามิเตอร์ b ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินมากนัก และจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาในช่วงต้น สามารถสรุปได้ว่าค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และค่าความเข้มฝน มีความสัมพันธ์กับ ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ประกอบกับเหตุการณ์ในแต่ละเหตุการณ์ หรือ แม้กระทั่งเหตุการณ์ฝนเหตุการณ์เดียวกันแต่เกิดในช่วงเวลาที่ต่างกันควรมีค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แตกต่างกันในแต่ละเหตุการณ์ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงทำ

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R โดยพิจารณาใช้ค่าพารามิเตอร์ b คงที่เท่ากับ 1.5 [20-25] และทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่แปรเปลี่ยนตามลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนในแต่ละเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ โดยวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่ทำให้ค่า (Mean Square Error, MSE) ระหว่างค่าความเข้มฝนจากเรดาร์และความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นข้อมูลคู่ Z-R ณ ตำแหน่งของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่สุ่มเลือกจาก 80% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) ในจำนวนเหตุการณ์ฝนทั้งหมด 230 เหตุการณ์ โดยในการศึกษาจะแบ่งกรณีศึกษาในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้งหมด 6 กรณี

กรณีที่ 1 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย

กรณีที่ 2 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินโดยแบ่งช่วงความเข้มฝนตามการศึกษา [6] ดังนี้

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 1 ความเข้มฝน < 10 มม./ชม.

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 2 10 มม./ชม. <= ความเข้มฝน <= 30 มม./ชม.

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 3 ความเข้มฝน > 30 มม./ชม.

กรณีที่ 3 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ [7] ดังนี้

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 1 15 dBZ<=การสะท้อนกลับ< 30 dBZ

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 2 30 dBZ<=การสะท้อนกลับ< 38 dBZ

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 3 38 dBZ<=การสะท้อนกลับ< 44 dBZ

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 4 44 dBZ<=การสะท้อนกลับ<=53 dBZ

กรณีที่ 4 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวัน

กรณีที่ 5 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินโดยแบ่งช่วงความเข้มฝนตามการศึกษา [6]

กรณีที่ 6 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ [7]

สมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 6 กรณี ที่หาค่าได้จากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จะถูกนำมาทวนสอบความเชื่อมั่นโดยคู่ข้อมูล Z-R ของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เหลือจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลี พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าสถิติ RMSE (Root Mean Squared Error) , MSE (Mean Squared Error) , MAE (Mean Absolute Error) , BIAS (ดังแสดงในสมการที่ 1-4) ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาคลีที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะต้องมีค่าน้อยที่สุด

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N (R_{i,t} - G_{i,t})^2} \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N (R_{i,t} - G_{i,t})^2 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N |R_{i,t} - G_{i,t}| \quad (3)$$

$$BIAS = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N R_{i,t} - G_{i,t} \quad (4)$$

เมื่อ

$R_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ (Z-R) ที่สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ i ณ เวลา t (มม./ชม.)

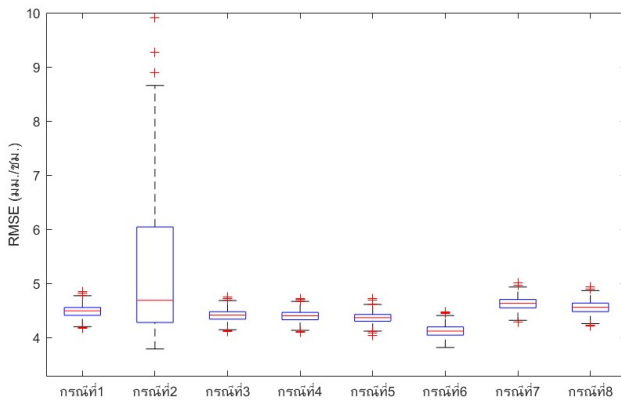
$G_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.)

N คือ จำนวนสถานีโทรมาตรอัตโนมัติทั้งหมดที่ใช้

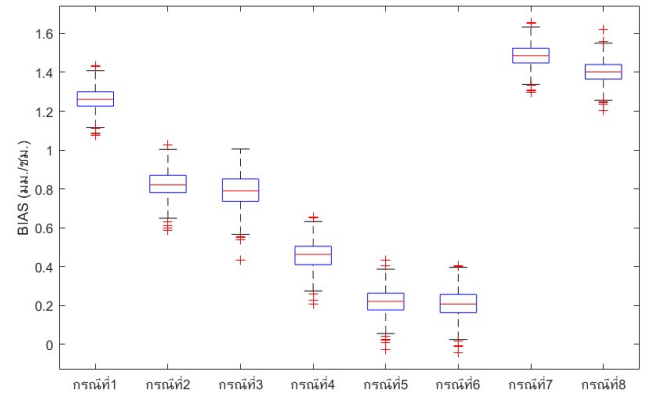
N_t คือ ช่วงเวลาที่ฝนตก (ชม.)

6. ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลี

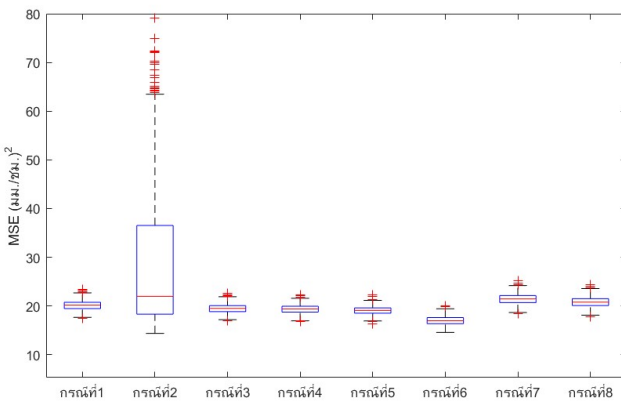
การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสม จะพิจารณานาสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 6 กรณี ที่เสนอแนะในการศึกษารั้งนี้ และเพิ่มเติมสมการที่นิยมใช้ทั่วไปอีก 2 กรณี เป็น กรณีที่ 7 ใช้สมการ Woodley and Herndon [27], $Z=300R^{1.4}$ และ กรณีที่ 8 ใช้สมการ Marshall and Palmer [2] , $Z=200R^{1.6}$ มาทำการทวนสอบความเชื่อมั่นโดยคู่ข้อมูล Z-R ของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เหลือจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลี พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าสถิติ RMSE , MSE, MAE, BIAS ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาคลีที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะ 6 กรณี, กรณีที่ 7 ใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$, กรณีที่ 8 ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$ เมื่อเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน จะต้องมีย่าน้อยที่สุด ผลค่าเฉลี่ยทั้ง 500 ครั้งของค่าสถิติ RMSE, MSE, MAE, BIAS แสดงในรูปที่ 8-11 และตารางที่ 1 ตามลำดับ



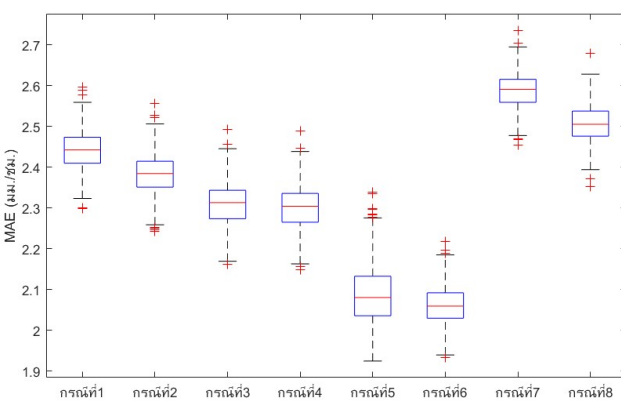
รูปที่ 8 ค่า RMSE เฉลี่ยระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาศลิที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะ 6 กรณี, กรณีที่ 7 ใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$, กรณีที่ 8 ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$



รูปที่ 11 ค่า BIAS เฉลี่ยระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาศลิที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะ 6 กรณี, กรณีที่ 7 ใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$, กรณีที่ 8 ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$



รูปที่ 9 ค่า MSE เฉลี่ยระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาศลิที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะ 6 กรณี, กรณีที่ 7 ใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$, กรณีที่ 8 ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$



รูปที่ 10 ค่า MAE เฉลี่ยระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาศลิที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะ 6 กรณี, กรณีที่ 7 ใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$, กรณีที่ 8 ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$

ผลการศึกษาในรูปที่ 8-11 และตารางที่ 1 แสดงให้ทราบว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ 6 ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เป็นสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประเมินฝนเรดาร์ตาศลิมากที่สุด เมื่อนำไปใช้ในการประเมินฝนจะให้ค่าความถูกต้องในการประเมินฝนที่ดีที่สุด โดยมีค่าสถิติเฉลี่ยทั้ง 500 ครั้งของค่า RMSE, MSE, MAE, BIAS ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาศลิที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะในกรณีที่ 6 เมื่อเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการประเมินฝนที่เหลืออีก 7 กรณี ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษา [6-7] ที่กล่าวว่า การใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในการประเมินฝนเรดาร์เพียงสมการเดียวยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่ โดยความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีสาเหตุจากการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนและชนิดของฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ Z-R มีค่าแตกต่างกันในแต่ละชนิดของฝนที่ตกในช่วงเวลาที่แตกต่างกันดังนั้นสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมควรเป็นสมการที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มฝนที่ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนและชนิดของฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา

สำหรับผลการศึกษาในกรณีที่เหลือพบว่า การประเมินฝนเรดาร์โดยใช้ความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ 5 ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน และ

วิธีการวิเคราะห์หาค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ 4 ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวัน จะให้ค่าความถูกต้องในการประเมินฝนที่ดีในลำดับถัดลงมาตามลำดับ ซึ่งผลการการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามลักษณะกลุ่มฝนแบบรายวันจะให้ผลความถูกต้องในการ

ประเมินฝนที่ดีกว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการ Z-R เฉลี่ย ในกรณีที่ 1 ,กรณีที่ 2, กรณีที่ 3, กรณีที่ 7 ใช้สมการ Woodley and Herndon [27], $Z=300R^{1.4}$ และ กรณีที่ 8 ใช้สมการ Marshall and Palmer [2] , $Z=200R^{1.6}$

ตารางที่ 1 ค่า RMSE, MSE, MAE, BIAS ของกรณีการประเมินฝนเรดาร์โดยใช้สมการที่เสนอแนะ 6 กรณี, กรณีที่ 7 ใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$, กรณีที่ 8 ใช้สมการ $Z=200R^{1.6}$

กรณีใช้สมการ Z-R	RMSE (มม./ชม.)	MSE (มม./ชม.) ²	MAE (มม./ชม.)	BIAS (มม./ชม.)
กรณีที่ 1 ใช้ Z-R เฉลี่ยที่เสนอแนะ	4.494	20.200	2.443	1.261
กรณีที่ 2 ใช้ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน	4.690	21.993	2.385	0.821
กรณีที่ 3 ใช้ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์	4.417	19.509	2.313	0.790
กรณีที่ 4 ใช้ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวัน	4.403	19.385	2.304	0.462
กรณีที่ 5 ใช้ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน	4.369	19.090	2.081	0.221
กรณีที่ 6 ใช้ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์	4.121	16.981	2.060	0.206
กรณีที่ 7 ใช้ $Z=300R^{1.4}$	4.633	21.463	2.591	1.486
กรณีที่ 8 ใช้ $Z=200R^{1.6}$	4.561	20.801	2.505	1.402

7. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมีความสัมพันธ์กับลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยเหตุการณ์ฝนเหตุการณ์หนึ่งๆ จะมีสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในการประเมินฝนเรดาร์เพียงสมการเดียวยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่

2) การประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ 6 ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เป็นวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ภาคพื้นดิน โดยมีความสถิติเฉลี่ย RMSE , MSE, MAE, BIAS ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ภาคพื้นดิน

ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะในกรณีที่ 6 เมื่อเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินน้อยที่สุด ขณะที่การประเมินฝนเรดาร์โดยใช้ความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ 5 ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน และ วิธีการวิเคราะห์หาค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ 4 ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวัน จะให้ค่าความถูกต้องในการประเมินฝนดีในลำดับถัดลงมาตามลำดับ ซึ่งผลการการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามลักษณะกลุ่มฝนแบบรายวันจะให้ผลความถูกต้องในการประเมินฝนที่ดีกว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการ Z-R เฉลี่ย ในกรณีที่ 1 ,กรณีที่ 2, กรณีที่ 3, กรณีที่ 7 ใช้สมการ $Z=300R^{1.4}$ และ กรณีที่ 8 ใช้สมการ Marshall and Palmer $Z=200R^{1.6}$

3) การประเมินผลโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ในกรณีที่ 6 ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [9.05%, 10.68%, 12.42%], เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [18.96%, 22.50%, 26.39%], เมื่อพิจารณาจากค่า MAE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [18.59%, 21.60%, 25.78%] และ เมื่อพิจารณาจากค่า BIAS สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [512.14%, 580.58, 621.36%] เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในกรณีที่ 1, สมการ $Z=200R^{1.6}$ และ สมการ $Z=300R^{1.4}$ ตามลำดับ

4) วิธีการประเมินผลโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่เสนอแนะในการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการประเมินฝนแบบ Real-Time สำหรับเรดาร์ดาวเทียมและเรดาร์ตัวอื่นๆ ในประเทศไทยได้แต่อย่างไรก็ตามผลลัพธ์จากการประเมินฝนจากเรดาร์ดังกล่าวยังคงมีความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ประเมินได้ยังไม่ใช้ปริมาณฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน ดังนั้นการศึกษาในอนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษาเพิ่มเติมในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้เพื่อปรับแก้ปริมาณฝนเรดาร์ที่อยู่ในอากาศให้เทียบเท่ากับกับฝนที่ตกบนพื้นดินซึ่งผลลัพธ์จะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนจากเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ดาวเทียมที่จัดเก็บในรูปแบบ CAPPI และ UF files และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่างการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Morin E, Gabella M. Radar-based quantitative precipitation estimation over Mediterranean and dry climate regimes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2007; 112: D20108.
- [2] Marshall JS, Palmer WMK. The Distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*. 1984; 5(4): 165-166.
- [3] Mapiam PP, Sriwongsitanon N. Climatological Z-R relationship for radar rainfall estimation in the upper Ping river basin. *ScienceAsia*. 2008; 34: 215-222.
- [4] Hanchoo Wong R, Weesakul U, Chumchean S. Bias correction of radar rainfall estimates based on a geostatistical technique. *ScienceAsia*. 2012; 38: 373-385.
- [5] Chantraket P, Detyothin C, Pankaew S, Kirtsang S. An operational weather radar-based calibration of Z-R relationship over central region of Thailand. *International Journal of Engineering Issues*. 2016; 2: 92-100.
- [6] Ramli S, Tahir W. Radar Hydrology: New Z/R relationships for quantitative precipitation estimation in Klang river basin, Malaysia, *International Journal of Environmental Science and Development*. 2011; 2(3).
- [7] Ayat H, Kavayanpour MR, Moazami S, Hong Y, Ghaemi E. Calibration of weather radar using region probability matching method (RPMM), *Theoretical and Applied Climatology*. DOI 10.1007/s00704-017-2266-7.
- [8] Richards WG, Crozier CL. Precipitation measurement with a C-band weather radar in Southern Ontario. *Atmosphere-Ocean*. 1983; 21: 2505-2514.
- [9] Smith JA, Krajewski WF. A modeling study of rainfall rate reflectivity relationships. *Water Resources Research*. 1993; 29: 2505-2514.
- [10] Tokay A, Short DA. Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from

- stratiform versus convective clouds. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 1996; 35: 355–371.
- [11] Brangi V, Chandrasekar V, Hubbert J, Gorgucci E, Randeu W, Schoenhuber M. Raindrop size distribution in different climatic regimes from disdrometer and dual-polarized radar analysis. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 2003; 60: 354–365.
- [12] Lee GW, Zawadzki I. Variability of drop size distributions: time- scale dependence of the variability and its effects on rain estimation. *Journal of Applied Meteorology*. 2005; 44: 241–255.
- [13] Seo DJ, Breidenbach JP. Real-time correction of spatially nonuniform bias in radar rainfall data using rain gauge measurements. *Journal of Hydrometeorology*. 2002; 3: 93–111.
- [14] Chumchean S, Seed A. Sharma A. Correcting of real- time radar rainfall bias using a Kalman filtering approach. *Journal of Hydrology*. 2006; 317: 123–137.
- [15] Chiang YM, Chang FJ, Jou BJD, Lin PF. Dynamic ANN for precipitation estimation and forecasting from radar observations. *Journal of Hydrology*. 334, 250–261, 2007
- [16] รัชเวช หาญชูวงศ์, วลัยรัตน์ บุญไทย, ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น. การวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ตามเวลารายชั่วโมงโดยประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์รวมก้อย. 2564; 14: 61-73.
- [17] Michelson D, Einfalt T, Holleman I, Gjertsen U, Friedrich K, Haase G, Lindskog M, Sztuc J. Weather radar data quality in Europe: Quality control and characterization, COST 717 Working Document WDF_20_200204_1. 2004.
- [18] Hydro & meteo GmbH&Co. KG. SCOUT Documentation Version 3.32. *Hydro & meteo GmbH & Co. KG*. Germany: 2016.
- [19] Futton RA, Breidenbach JP, Seo DJ, Miller DA, O’ Brannon T. *The WSD– 88D rainfall algorithm*. *Weather Forecasting*. 1998; 13: 377 -395.
- [20] Doelling IG, Joss J, Riedl J. Systematic variations of Z-R relationships from drop size distributions measured in northern Germany during seven years. *Atmospheric Research*. 1998; 47-48: 635-649.
- [21] Steiner M, Smith JA. Reflectivity, rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra. *American Meteorological Society*. 2000; 39: 1923-1940.
- [22] Hagen M, Yuter SE. Relations between radar reflectivity, liquid water content, and rainfall rate during the MAP- SOP. *Atmospheric Sciences*. 2003; 128: 477-494.
- [23] Germann U, Galli G, Boscacci M, Bolliger M. Radar precipitation measurement in a mountainous region, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2006; 132: 1669-1692.
- [24] กรมฝนหลวงและการบินเกษตร. โครงการประเมินปริมาณน้ำ ฝนด้วยเรดาร์ภาคตะวันออก. กรมฝนหลวงและการบินเกษตร. 2557.
- [25] Mapiam PP, Methaprayum M, Bogaard TA, Schoups G, Veldhuis MCT. Citizen rain gauge improves hourly radar rainfall bias correction using a two-step Kalman filter, *Hydrology and Earth System Sciences*. 2022; 26: 775–794.
- [26] Seed A, Sirivarden L, Sun X, Jordan P, Elliot J. On the calibration of Australian weather radars. *Technical Report 02/7*. 2002; 40.
- [27] Woodley W, & Herndon A. A rain gauge evaluation of the Miami reflectivity- rainfall rate relation. *Journal of Applied Meteorology*. 1970; 9(2): 258-264.