



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การวิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลี

The analysis of appropriate method for Takhli radar rainfall estimation

รัชเวช หาญชูวงศ์* วลัยรัตน์ บุญไทย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10530

Ratchawatch Hanchoo Wong* Walairat Bunthai

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 12 เมษายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 15 มิถุนายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ 4 กรกฎาคม 2565

บทคัดย่อ

เรดาร์ตรวจอากาศสามารถตรวจวัดฝนได้อย่างต่อเนื่องทันทีที่ฝนตกครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและให้ข้อมูลฝนที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา เมื่อนำมาใช้ประเมินฝนร่วมกับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนที่ตกลงมายังพื้นดินได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงมีความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนจากเรดาร์ซึ่งประกอบไปด้วย ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการ Z-R ที่ไม่เหมาะสม และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน ประกอบกับเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็มน้ำที่แตกต่างกันส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีความแตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้งหมด 230 เหตุการณ์ ในช่วงระหว่างวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน 174 สถานี และข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์ตาคลี เพื่อใช้วิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลี ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เป็นวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลี ซึ่งช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ไม่เหมาะสม และ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษาและเมื่อนำวิธีการประเมินฝนดังกล่าวมาเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 2.85%, 5.77% , 1.88% และ 32.90% เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE, MSE , MAE และ BIAS ตามลำดับ

คำสำคัญ

เรดาร์ตรวจอากาศ สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ การปรับแก้ ฝนเรดาร์

Abstract

Weather radar has the ability to consistently measure rainfall promptly as it appears in a wide range of area and offer rainfall data of high resolution in both areal and time manner. Especially when used in coordinate with rainfall data from the automatic rain gauge, the accuracy is greatly increased. However, the errors in rainfall estimation of radar persist as a result of inappropriate relationship Z-R usage, that of adjustment of radar rainfall and ground rainfall, as well as that of diverse physical appearances of the rain that differ correspondingly to their distribution in each rainfall event. This study

gathered 230 rainfall events, conducting between August 25, 2018 to August 31, 2020, comprising of hourly rainfall data from 174 automatic rain gauges and radar reflectivity of Takhli radar under its measuring radius of 240 km to analyze the appropriate rainfall estimation method for Takhli radar. The result indicates that rainfall estimation that incorporate relationship Z-R and daily bias adjustment for each rainfall cluster categorized by radar reflectivity value is appropriate estimation method for Takhli radar. This method reduces most of error from inappropriate relationship Z-R usage and that from adjustment of radar rainfall and ground rainfall in comparison to other methods those are taken into consideration. When comparing the proposed method to the rainfall estimation that employs relationship Z-R and daily variable in each rainfall cluster categorized by radar reflectivity value without bias adjustment, the proposed method improve accuracy in rainfall estimation to 2.85%, 5.77%, 1.88% and 32.90% considering from RMSE, MSE, MAE and BIAS, respectively.

Keywords

weather radar, automatic rain gauge, radar reflectivity, bias adjustment, radar rainfall

1. คำนำ

ข้อมูลปริมาณน้ำฝน เป็นข้อมูลที่สำคัญและมีความจำเป็นในงานด้านอุตุนิยมวิทยา งานพัฒนาแหล่งน้ำ งานทางด้านการเกษตร และงานวางแผนบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ แม้ว่าความต้องการรายละเอียดของข้อมูลน้ำฝนจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละแผนงานหรือโครงการ แต่จุดประสงค์ที่คล้ายกันส่วนใหญ่คือ ต้องการข้อมูลที่แสดงถึงปริมาณและการกระจายของฝนทั้งในเชิงพื้นที่และเวลามากกว่าที่จะต้องการข้อมูลน้ำฝนเฉพาะจุด [1] ดังนั้นการตรวจวัดข้อมูลน้ำฝนด้วยถ้วตน้ำฝนซึ่งมีจำนวนไม่หนาแน่นในพื้นที่ อาจจะไม่ใช่ข้อมูลที่เป็นตัวแทนที่ดีของปริมาณฝนที่ตกจริงในบริเวณดังกล่าว ในปัจจุบันเทคนิคการตรวจวัดข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) เช่น เรดาร์อุตุนิยมวิทยา ได้รับความสนใจเพื่อใช้ในการสำรวจรายละเอียดและพฤติกรรมของฝนมากขึ้น เนื่องจากเรดาร์ตรวจวัดอากาศสามารถให้ข้อมูลรายละเอียดของฝนครอบคลุมพื้นที่ที่อยู่ภายใต้รัศมีของเรดาร์และสามารถทำการตรวจวัดฝนได้อย่างต่อเนื่องทันทีที่ฝนตกครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง และให้ข้อมูลฝนที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา แต่อย่างไรก็ตามการใช้เรดาร์ในการตรวจวัดฝนยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเนื่องจากเรดาร์ไม่ได้ทำการตรวจวัดปริมาณฝนโดยตรงแต่ใช้ข้อมูลจากการวัดความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ (Radar Receiver) หลังจากทีคลื่นดังกล่าวกระทบกับเม็ดฝน ค่าความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับได้จาก Radar Receiver จะถูกแปลงมาเป็นค่าสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์

(Radar Reflectivity, Z (มม.⁶/ม.³)) ซึ่งค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์นี้จะแปรผันตามขนาดและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝน (Rainfall Drop Size Distribution) ภายในปริมาตรของบรรยากาศหนึ่ง ๆ ที่สำรวจเมื่อนำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มาใช้ในการประเมินฝนข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นข้อมูลความเข้มฝน (มม./ชม.) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z=aR^b$) ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา[2] ทั้งนี้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ประเมินฝนร่วมกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนจะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นดินได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนจากเรดาร์ซึ่งประกอบไปด้วย 1) ความคลาดเคลื่อนในค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหา ดังเช่น Ground clutter และ Beam blockage เป็นต้น ก่อนที่จะนำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ไปใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R, 2) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z=aR^b$) ที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ a, b มีค่าแปรเปลี่ยนตามลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนในแต่ละเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา จากงานวิจัยที่ผ่านมา [3-6] ได้ศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในการประเมินฝนเรดาร์ อย่างไรก็ตามการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยไม่สามารถเป็นตัวแทนในการประเมินฝนสำหรับเหตุการณ์ฝนที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากฝนในแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกันมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคของเม็ดฝนตลอดเวลา ดังนั้นการใช้สมการ Z-R เฉลี่ยในการประเมินฝนจึง

มีข้อจำกัด, [7] พิจารณาแยกกลุ่มฝนจากความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนแล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงความเข้มฝน, [8] พิจารณาแยกกลุ่มฝนตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์แล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, [9-13] ได้ศึกษาหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเหตุการณ์ฝน, [13-16] ได้ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา, [17] เสนอแนะให้ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาแบบรายวัน จากวิธีการศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมาถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเพื่อเลือกใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมในการประเมินฝนของเรดาร์ตาคลี และ 3) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน การศึกษา [10],[15] ได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ (G/R) ที่มีค่าคงที่ค่าเดียวทั้งพื้นที่ศึกษาซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนมากที่ตั้งอยู่ในพื้นที่และกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่, [18-21] พบว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดในช่วงเวลาที่ต่างกันมีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่ต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ตามเวลามาทำการปรับแก้การประเมินฝนเรดาร์เพื่อช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น

การศึกษาค้างได้นำเทคนิคและวิธีการประเมินฝนเรดาร์จากงานวิจัยที่ผ่านมา นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเพื่อหาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลี โดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหาดังเช่น Ground clutter และ Beam blockage เป็นต้น โดยใช้วิธีการศึกษา [2, 22-23], ขั้นตอนที่ 2 ปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z = aR^b$) ที่ไม่เหมาะสม โดยในการศึกษาได้เลือกใช้ สมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z = aR^b$) ในกรณีศึกษาทั้งหมด 8 กรณี ซึ่งสมการความสัมพันธ์ Z-R ทุกกรณีถูกนำมาประเมินฝนเรดาร์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมในการประเมินฝนเรดาร์ตาคลีดังนี้ กรณีที่ 1 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย

ที่เสนอแนะ, กรณีที่ 2 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน, กรณีที่ 3 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, กรณีที่ 4 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวัน, กรณีที่ 5 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน, กรณีที่ 6 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, กรณีที่ 7 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ของ Woodley and Herndon [24] คือ $Z = 300R^{1.4}$ และ กรณีที่ 8 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ของ Marshall and Palmer [25] คือ $Z = 200R^{1.6}$ และ ขั้นตอนที่ 3 นำสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 8 กรณีในขั้นตอนที่ 2 มาทำการประเมินฝนร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียว, วิธีการปรับแก้แบบค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน, วิธีการปรับแก้แบบค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, วิธีการปรับแก้แบบที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบรายวัน, วิธีการปรับแก้ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน, วิธีการปรับแก้ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ตามลำดับ

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

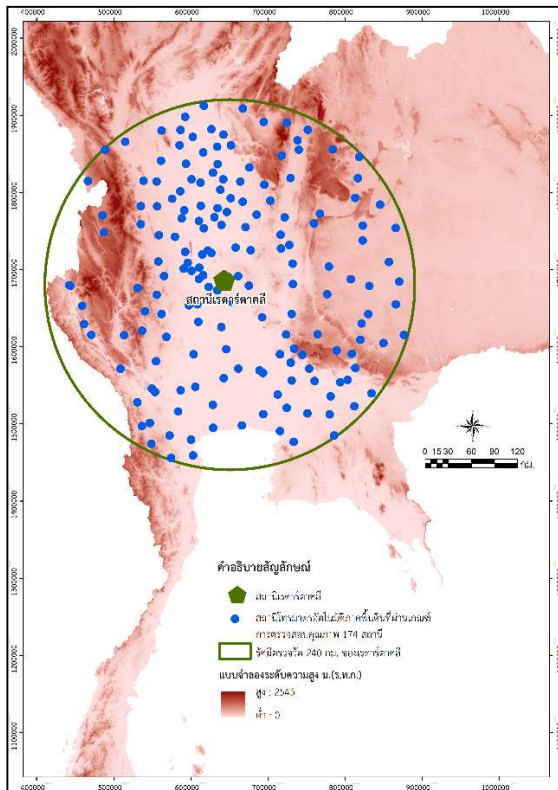
การศึกษาค้างนี้ได้ทำการรวบรวมเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นทั้งหมด 230 เหตุการณ์ในช่วงระหว่างวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงตาคลี ชนิด Dual polarization แบบ S-band ตั้งอยู่ที่อำเภอ ตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ ดังแสดงในรูปที่ 1 การศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ข้อมูลส่วนที่ 1 ทำการรวบรวมข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ตาคลี ที่จัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ Volume files ที่ตรวจวัดที่มุมตรวจวัดที่ 1.3° หลังทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground Clutter และ Beam blockage ดังนี้ 1) ปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground Clutter เกิดจาก

สัญญาณของคลื่นเรดาร์กระทบกับวัตถุที่เป็นเป้าสะท้อนถาวรที่ไม่ใช่กลุ่มฝน เช่น ภูเขา หรือ อาคารสูง ที่อยู่ บนพื้นดิน โดยจัดทำ Ground clutter filter ซึ่งทำหน้าที่ในการปรับแก้สัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากคลื่นเรดาร์กระทบกับวัตถุบนพื้นดิน การปรับแก้จะทำโดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ Ground clutter (Ground clutter map) ซึ่งแผนที่ดังกล่าวจะถูกสร้างโดยการตรวจวัดด้วยเรดาร์ในช่วงเวลาที่ฝนไม่ตก ตำแหน่งพิกเซลที่แสดงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Reflectivity > 0) ในช่วงเวลาที่ฝนไม่ตกนั้น ได้ถูกบันทึกไว้และถูกพิจารณาว่าเป็นตำแหน่งของ Ground clutters ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่ Ground clutter ค่า Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Ground clutter จะถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณจากค่า Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [22-23] และ 2) ปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Beam blockage เกิดขึ้นในกรณีที่ลำคลื่นเรดาร์ตัดผ่านสิ่งกีดขวางดังเช่น ภูเขา หรือเป้าสะท้อนถาวรต่างๆ โดยนำข้อมูลค่า การสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์จากการตรวจวัดฝนสะสมรายเดือนมาพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งที่เกิด Beam blockage ค่า การสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ณ พิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Beam blockage ได้ถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณจากค่า Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [22-23] และ ข้อมูลส่วนที่ 2 ทำการรวบรวมข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของ (สสน.) ที่ตั้งอยู่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์ตาคสิจำนวนทั้งหมด 174 สถานี ที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนด้วยวิธี Double Mass Curve และวิธีการวิเคราะห์กราฟอนุกรมเวลา (Time Series Plot) ดังแสดงในรูปที่ 2 ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Z (มม.⁶/ม.³)) และข้อมูลความเข้มฝน (R (มม./ชม.)) ฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะถูกนำมาคัดเลือกคู่ Z-R โดยพิจารณาเลือกคู่ Z-R ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและช่วงเวลาเดียวกัน โดยคู่ Z-R ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือก จะต้องมามีข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาผลกระทบเนื่องจากเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิดจากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53

dBZ [26] และ ข้อมูลความเข้มฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มากกว่า 0.2 มม./ชม. เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินในกรณี ของการตรวจวัดปริมาณฝนที่มีค่าน้อยมากเมื่อได้ข้อมูลคู่ Z-R ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินในแต่ละเหตุการณ์ฝนเรียบร้อยแล้วข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มโดยใช้วิธีการ Cross-validation ในการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเพื่อให้ได้คู่ Z-R ในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน ดังนี้ ข้อมูลกลุ่มที่ 1 จะทำการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน 80% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) ผลลัพธ์ทำให้ได้คู่ข้อมูล Z-R นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 8 กรณี ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 1 ร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียว, วิธีการปรับแก้แบบค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน, วิธีการปรับแก้แบบค่าเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, วิธีการปรับแก้แบบที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบรายวัน, วิธีการปรับแก้ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน, วิธีการปรับแก้ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ หลังจากนั้นวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการ Z-R ที่เสนอแนะทั้ง 8 กรณี ร่วมกับวิธีการปรับแก้ในกรณีศึกษาทั้ง 8 กรณี ถูกนำมาทวนสอบเพื่อหาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคสิโดยใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลคู่ Z-R ของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เหลือจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) ต่อไป



รูปที่ 1 ภาพสถานีเรดาร์ตาคาลิชนิด Dual polarization แบบ S-band



รูปที่ 2 ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์ตาคาลิที่ผ่านตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝน

3. วิธีการประเมินฝนสำหรับพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ตาคาลิ

ขั้นตอนในการประเมินฝนเรดาร์ตาคาลิประกอบด้วยขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 คือการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่จะนำมาใช้ในการประเมินฝนภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์ตาคาลิ และขั้นตอนที่ 2 คือ วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ฝนเรดาร์ที่ตรวจวัดฝนเหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนบนพื้นดิน และขั้นตอนที่ 3 ประเมินฝนเรดาร์ตาคาลิโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ร่วมกับค่าปรับแก้ที่วิเคราะห์ได้ ในการประเมินฝนเพื่อหาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคาลิ โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนตามลำดับดังนี้

3.1 การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R จะใช้ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 โดยจะทำการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจาก 80% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) ผลลัพธ์ทำให้ได้คู่ข้อมูล Z-R ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a และ b สำหรับสมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z=aR^b$) โดยใช้วิธี Regression และจากการศึกษา [27-32] พบว่าค่าพารามิเตอร์ b ที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนของสมการ Z-R คือ $b=1.5$ และในทำนองเดียวกันจากการศึกษาเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ b, [33] พบว่าค่าพารามิเตอร์ b ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินมากนัก และจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาในช่วงต้น สามารถสรุปได้ว่าค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และค่าความเข้มฝน มีความสัมพันธ์กับจำนวนลักษณะ การกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ประกอบกับเหตุการณ์ในแต่ละเหตุการณ์ หรือ แม้กระทั่งเหตุการณ์ฝนเหตุการณ์เดียวกันแต่เกิดในช่วงเวลาที่ต่างกันควรมีค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แตกต่างกันในแต่ละเหตุการณ์ การศึกษาครั้งนี้จึงแบ่งกรณีศึกษาในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้งหมด 8 กรณี ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย

กรณีศึกษาที่ 2 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินออกเป็น 3 ช่วง ตามการศึกษา [7] ดังนี้ ช่วงที่ 1 ความเข้มฝน < 10 มม./ชม., ช่วงที่ 2 ความเข้มฝน >= 10 มม./ชม. และ ความเข้มฝน <= 30 มม./ชม. , ช่วงที่ 3 ความเข้มฝน > 30 มม./ชม.

กรณีศึกษาที่ 3 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ออกเป็น 4 ช่วง ตามการศึกษา [8] ดังนี้ ช่วงที่ 1 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ < 30 dBZ, ช่วงที่ 2 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ >= 30 มม./ชม. และ ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ <= 38 มม./ชม., ช่วงที่ 3 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ >= 38 มม./ชม. และ ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ <= 44 มม./ชม., ช่วงที่ 4 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ >= 44 มม./ชม. และ ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ <= 53 มม./ชม.

กรณีศึกษาที่ 4 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวัน

กรณีศึกษาที่ 5 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเหมือนในกรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 6 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เหมือนในกรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 7 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R จากการศึกษา Woodley and Herndon [24], $Z=300R^{1.4}$

กรณีศึกษาที่ 8 ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R จากการศึกษา Marshall and Palmer [25] , $Z=200R^{1.6}$

3.2 การวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ฝนเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนบนพื้นดิน

การประเมินปริมาณฝนจากข้อมูลเรดาร์ตาคลืออาจยังคงมีค่าความเอนเอียงหลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ประเมินได้นี้เป็นปริมาณฝนที่อยู่เหนือพื้นดิน ยังไม่ใช้ปริมาณฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินซึ่งตรวจวัดได้จากสถานีโทร

มาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ซึ่งค่าความเอนเอียงดังกล่าวนี้อาจพิจารณาเป็นค่าความแตกต่างที่มีรูปแบบ (Systematic difference) ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินในตำแหน่งพิกัดที่สอดคล้องกันสามารถที่จะกำจัดออกไปได้โดยการปรับแก้จากข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ซึ่งทำได้โดยการหาค่าแฟคเตอร์การปรับแก้ (Bias adjustment factor, G/R) จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติ (G) ต่อปริมาณฝนสะสมที่ได้จากเรดาร์ (R) และจากงานวิจัยที่ผ่านมา [10],[15] ได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ (G/R) ที่มีค่าคงที่ค่าเดียวทั้งพื้นที่ศึกษาซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนมากที่ตั้งอยู่ในพื้นที่และกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่, [18-21] พบว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดในช่วงเวลาที่ต่างกันมีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่ต่างกันส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ตามเวลามาทำการปรับแก้การประเมินฝนเรดาร์เพื่อช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น การศึกษาครั้งนี้แบ่งวิธีการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ทั้งหมด 6 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ G/R ของเหตุการณ์ฝนเฉลี่ยเพียงค่าเดียวทั้งพื้นที่ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 1

$$(G/R)_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (1)$$

เมื่อ

$G_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.)

$R_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ประเมินจากสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย (กรณีศึกษาที่ 1 ในหัวข้อ 3.1) หรือ $Z=300R^{1.4}$ (กรณีศึกษาที่ 7 ในหัวข้อ 3.1) หรือ $Z=200R^{1.6}$ (กรณีศึกษาที่ 8 ในหัวข้อ 3.1) ที่ตำแหน่งเดียวกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.)

N = จำนวนสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน

T = ระยะเวลาที่ฝนตก (ชม.)

วิธีที่ 2 วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ G/R ของเหตุการณ์ฝนเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 ความเข้มฝน < 10 มม./ชม., ช่วงที่ 2 ความเข้มฝน ≥ 10 มม./ชม. และ ความเข้มฝน ≤ 30 มม./ชม., ช่วงที่ 3 ความเข้มฝน > 30 มม./ชม. ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 2

$$(G/R)_{\text{avg_int}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (2)$$

เมื่อ

$G_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ในแต่ละช่วงความเข้มช่วงที่ 1,2 หรือ 3

$R_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ประเมินจากสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย (กรณีที่ 2 ในหัวข้อ 3.1) ที่ตำแหน่งเดียวกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ในแต่ละช่วงความเข้ม ช่วงที่ 1,2 หรือ 3

วิธีที่ 3 วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ G/R ของเหตุการณ์ฝนเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ < 30 dBZ, ช่วงที่ 2 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ≥ 30 มม./ชม. และ ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ≤ 38 มม./ชม., ช่วงที่ 3 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ≥ 38 มม./ชม. และ ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ≤ 44 มม./ชม., ช่วงที่ 4 ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ≥ 44 มม./ชม. และ ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ≤ 53 มม./ชม. ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 3

$$(G/R)_{\text{avg_ref}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (3)$$

เมื่อ

$G_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ช่วงที่ 1,2,3 หรือ 4

$R_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ประเมินจากสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย (กรณีที่ 3 ในหัวข้อ 3.1) ที่ตำแหน่งเดียวกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ช่วงที่ 1,2,3 หรือ 4

วิธีที่ 4 วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ G/R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวัน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 4

$$(G/R)_{\text{daily}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (4)$$

เมื่อ

$G_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ของเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน

$R_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ประเมินจากสมการความสัมพันธ์ Z-R (กรณีที่ 4 ในหัวข้อ 3.1) ที่ตำแหน่งเดียวกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ของเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน

วิธีที่ 5 วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ G/R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินโดยแบ่งช่วงความเข้มฝนเหมือนวิธีที่ 2 ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 5

$$(G/R)_{\text{daily_int}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (5)$$

เมื่อ

$G_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ของเหตุการณ์ฝนในแต่วันในแต่ละช่วงความเข้มข้นที่ 1,2 หรือ 3

$R_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ประเมินจากสมการความสัมพันธ์ Z-R (กรณีที่ 5 ในหัวข้อ 3.1) ที่ตำแหน่งเดียวกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ของเหตุการณ์ฝนในแต่ละวันในแต่ละช่วงความเข้มข้นที่ 1,2 หรือ 3

วิธีที่ 6 วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ G/R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เหมือนวิธีที่ 3 ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 6

$$(G/R)_{\text{daily_ref}} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (6)$$

เมื่อ

$G_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ของเหตุการณ์ฝนในแต่วันในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ช่วงที่ 1,2,3 หรือ 4

$R_{i,t}$ = ปริมาณน้ำฝนเรดาร์ที่ประเมินจากสมการความสัมพันธ์ Z-R (กรณีที่ 6 ในหัวข้อ 3.1) ที่ตำแหน่งเดียวกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.) ของเหตุการณ์ฝนในแต่ละวันในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ช่วงที่ 1,2,3 หรือ 4

3.3 การประเมินฝนสำหรับพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ตาคลี

การวิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลีสำหรับการศึกษาคั้งนี้จะแบ่งกรณีศึกษาทั้งหมดออกเป็น 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 จะทำการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เพียงอย่างเดียวที่ศึกษาในหัวข้อที่ 3.1 ทั้ง 8 กรณี โดยไม่ปรับแก้ในการประเมินฝน (หมายเหตุ : กรณีที่ 1 มีวิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาคลี 8 วิธี) ขณะที่กรณีที่ 2 จะทำการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ศึกษาในหัวข้อที่ 3.1 ทั้ง 8 กรณี ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่ศึกษาในหัวข้อที่ 3.2 ทั้ง 6 วิธี รวมทั้งหมดมีวิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาคลีทั้งหมด 16 วิธี ถูกนำมาทวนสอบความเชื่อมั่นโดยคู่ข้อมูล Z-R ของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เหลือจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) วิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ตาคลีพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าสถิติ RMSE (Root Mean Squared Error) , MSE (Mean Squared Error) , MAE (Mean Absolute Error) , BIAS (ดังแสดงในสมการที่ 7-10) ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์ตาคลีที่ประเมินฝนจากวิธีการประเมินฝนที่เสนอแนะทั้ง 16 วิธีเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะต้องมีค่าน้อยที่สุด

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N (R_{i,t} - G_{i,t})^2} \quad (7)$$

$$MSE = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N (R_{i,t} - G_{i,t})^2 \quad (8)$$

$$MAE = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N |R_{i,t} - G_{i,t}| \quad (9)$$

$$BIAS = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N R_{i,t} - G_{i,t} \quad (10)$$

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.)

4 ผลการวิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ตาคลิส

วิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาคลิสทั้ง 16 วิธี ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ถูกนำมาทวนสอบความเชื่อมั่นโดยคู่ข้อมูล Z-R ของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เหลือจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน (500 ครั้ง) ประสิทธิภาพของวิธีต่างๆ พิจารณาจากค่าค่าสถิติ RMSE (Root Mean Squared Error) , MSE (Mean Squared Error) , MAE (Mean Absolute Error) , BIAS ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกัน โดยผลการศึกษาแสดงไว้ในรูปที่ 3-6 และตารางที่ 1 ตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่า ค่า RMSE, MSE, MAE, BIAS ของการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ในกรณีที่ 14 ที่แสดงในตารางที่ 1 มีค่าน้อยที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการประเมินฝนวิธีดังกล่าวเป็นวิธีการประเมินฝนที่ดีที่สุดสำหรับเรดาร์ตาคลิส ซึ่งเหตุผลที่ทำให้วิธีดังกล่าวให้ผลการประเมินที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ มีดังนี้

1) การประเมินน้ำฝนเรดาร์โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาสามารถช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [7] ที่แนะนำให้ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ในแต่ละกลุ่มฝนที่แยกตามค่าความเข้มฝน ,[8] แนะนำให้ใช้

สมการความสัมพันธ์ Z-R ในแต่ละกลุ่มฝนที่แยกตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ , [9-13] แนะนำให้ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเหตุการณ์ฝน, [13-16] แนะนำให้ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเวลา, [17] แนะนำให้ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาแบบรายวัน

2) แม้ว่าจะใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมในการประเมินฝนเรดาร์แล้วในข้อที่ 1) แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน ซึ่งการศึกษาเลือกใช้วิธีการปรับแก้ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ[18-21] ที่กล่าวว่าเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่แตกต่างกันส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีความแตกต่างกัน ดังนั้นควรใช้เลือกใช้วิธีการปรับแก้ฝนเรดาร์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาในแต่ละเหตุการณ์ฝนที่แตกต่างกัน

5 สรุปผลการศึกษา

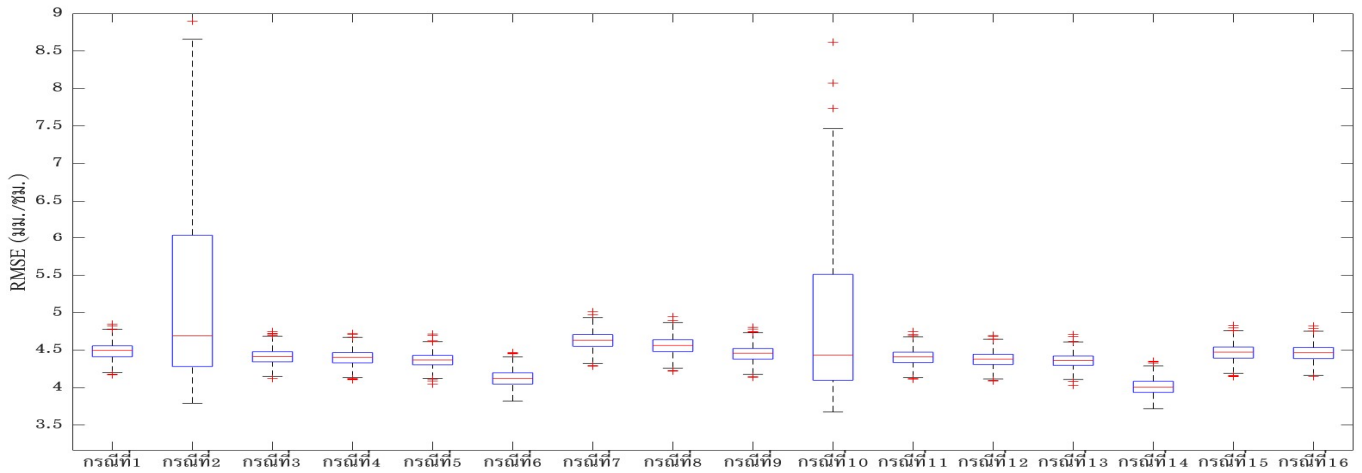
ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) เหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ในกรณีที่ 14 ช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ไม่เหมาะสม และ ช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินได้มากที่สุดจึงเป็นวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในประเมินฝน ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์ตาคลิสมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่เสนอแนะ

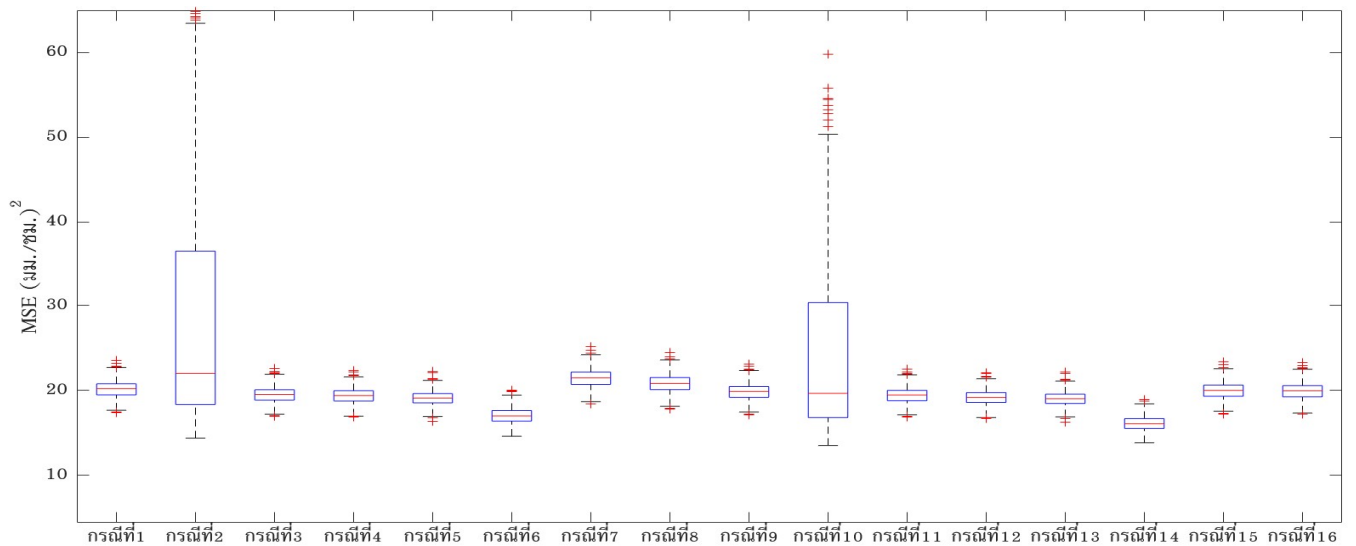
ให้ผลการประเมินผลที่ถูกต้องมากกว่าการประเมินผลโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เพียงอย่างเดียวในทุกกรณีที่ใช้ในการศึกษา เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติ RMSE, MSE, MAE, BIAS ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สอดคล้องกัน

2) การประเมินผลโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ในกรณีที่ 14 เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [12.15%,13.83%,15.62%] , เมื่อพิจารณาจาก

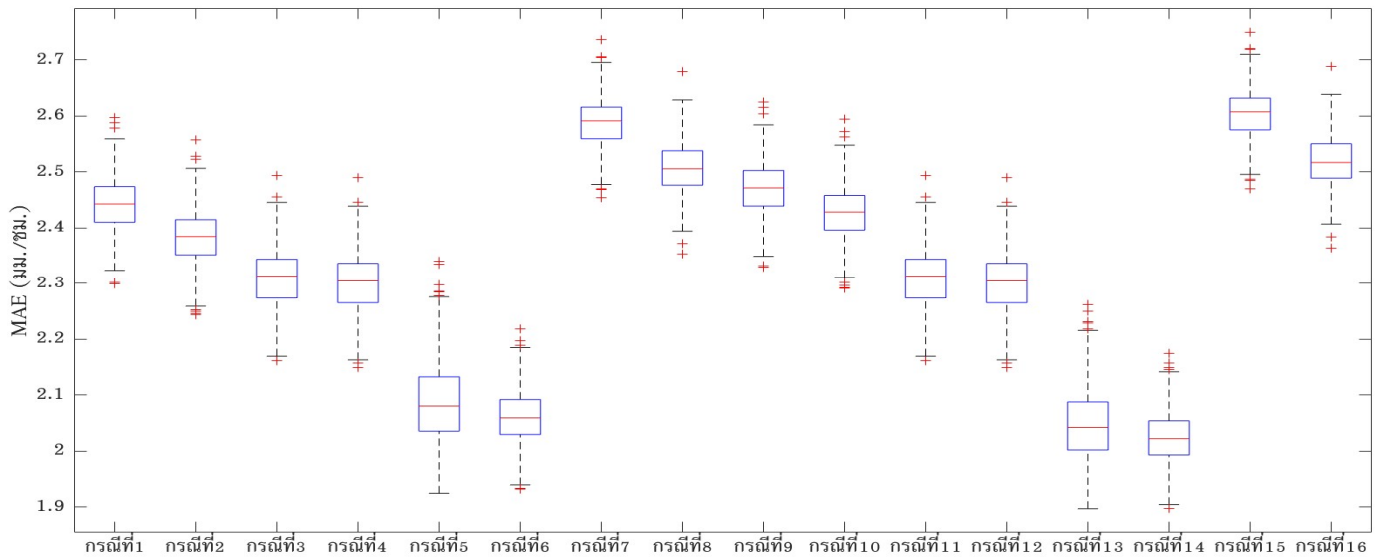
ค่า MSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [25.82%,29.56,33.68%], เมื่อพิจารณาจากค่า MAE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [20.82%,23.89%,28.14%] และ เมื่อพิจารณาจากค่า BIAS สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ [713.55%,804.52,858.71%] เมื่อเทียบกับการประเมินผลโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในกรณีที่ 1,สมการ $Z=200R^{1.6}$ และ สมการ $Z=300R^{1.4}$ ตามลำดับ



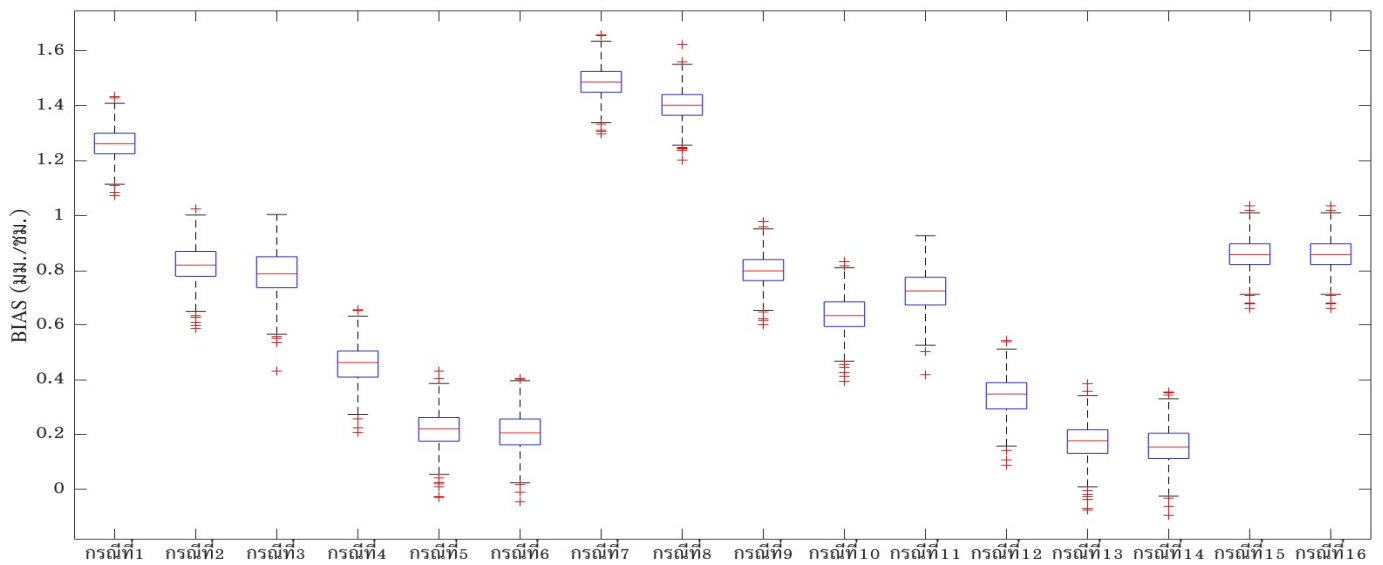
รูปที่ 3 ค่า RMSE ของวิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาคลีทั้ง 16 วิธี ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 4 ค่า MSE ของวิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาคลีทั้ง 16 วิธี ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 5 ค่า MAE ของวิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาศลิทั้ง 16 วิธี ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 6 ค่า BIAS ของวิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาศลิทั้ง 16 วิธี ที่ใช้ในการศึกษา

3) การประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ในกรณีที่ 14 เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE, MSE , MAE และ BIAS สามารถช่วยเพิ่มความ

ถูกต้องในการประเมินฝนได้ 2.85%, 5.77% , 1.88% และ 32.90% เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ในกรณีที่ 6

ตารางที่ 1 ค่า RMSE, MSE, MAE, BIAS ของวิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาคลีทั้ง 16 วิธี ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

วิธีการประเมินฝนเรดาร์ตาคลี	RMSE (มม./ชม.)	MSE (มม./ชม.) ²	MAE (มม./ชม.)	BIAS (มม./ชม.)
กรณีที่ 1 ใช้ Z-R เฉลี่ย	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
กรณีที่ 9 ใช้ Z-R เฉลี่ย ร่วมกับวิธีการปรับแก้เฉลี่ยเพียงค่าเดียวทั้งพื้นที่	4.457	19.864	2.397	0.800
กรณีที่ 10 ใช้ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน ร่วมกับวิธีการปรับแก้เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน	4.432	19.645	2.329	0.634
กรณีที่ 11 ใช้ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ร่วมกับวิธีการเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์	4.410	19.450	2.310	0.723
กรณีที่ 12 ใช้ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวัน	4.379	19.175	2.300	0.348
กรณีที่ 13 ใช้ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน	4.360	19.007	2.042	0.177
กรณีที่ 14 ใช้ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงแบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ร่วมกับวิธีการปรับแก้แบบรายวันในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์	4.007	16.055	2.022	0.155
กรณีที่ 15 ใช้ $Z=300R^{1.4}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้เฉลี่ยเพียงค่าเดียวทั้งพื้นที่	4.471	19.994	2.555	0.859
กรณีที่ 16 ใช้ $Z=200R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้เฉลี่ยเพียงค่าเดียวทั้งพื้นที่	4.465	19.939	2.481	0.849

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตาคาลิที่จัดเก็บในรูปแบบ 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] รัชเวช หาญชูวงศ์, วลัยรัตน์ บุญไทย, ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น. การวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ตามเวลารายชั่วโมงโดยประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์อมก้อย. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.* 2564;14(4): 61-73.
- [3] Marshall JS, Palmer WMK. The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*. 1984;5(4): 165-166.
- [4] Mapiam PP, Sriwongsitanon N. Climatological Z-R relationship for radar rainfall estimation in the upper Ping river basin. *ScienceAsia*. 2008;34(2): 215-222.
- [5] Hanchoo Wong R, Weesakul U, Chumchean S. Bias correction of radar rainfall estimates based on a geostatistical technique. *ScienceAsia*. 2012; 38: 373-385.
- [6] Chantraket P, Detyothin C, Pankaew S, Kirtsraeng 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.
- [7] 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): 223-227.
- [8] Ayat H, Kaviaanpour MR, Moazami S, Hong Y, Ghaemi E. Calibration of weather radar using region probability matching method (RPMM), *Theoretical and Applied Climatology*. 2018; 134: 165-176. Available from: DOI 10.1007/s00704-017-2266-7.
- [9] Richards WG, Crozier CL. Precipitation measurement with a C-band weather radar in Southern Ontario. *Atmosphere-Ocean*. 1983; 21(2): 2505-2514.
- [10] Smith JA, Krajewski WF. A modeling study of rainfall rate reflectivity relationships. *Water Resources Research*. 1993; 29(8): 2505-2514.
- [11] 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(3): 355-371.
- [12] Bringi 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(2): 354-365.
- [13] 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 and Climatology*. 2005; 44(2): 241-255.
- [14] Seo DJ, Breidenbach JP. Real-time correction of spatially nonuniform bias in radar rainfall data using rain gauge measurements. *Journal of Hydrometeorology*. 2002; 3(2): 93-111.
- [15] Chumchean S, Seed A, Sharma A. Correcting of real-time radar rainfall bias using a Kalman filtering approach. *Journal of Hydrology*. 2006; 317(1-2): 123-137.

- [16] Chiang YM, Chang FJ, Jou BJ D, Lin PF. Dynamic ANN for precipitation estimation and forecasting from radar observations. *Journal of Hydrology*. 2007; 334(1-2): 250–261.
- [17] Rendon S, Vieux B, Pathak C. Continuous forecasting and evaluation of derived Z- R relationships in a sparse rain gauge network using NEXRAD. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2013;18(2): 175–182.
- [18] Collier CG, Larke P, May B. A weather radar correction procedure for real-time estimation of surface rainfall. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1983; 109: 589–608.
- [19] Kitchen M, Brown R, Davies AG. Real- time correction of weather radar data for the effects of bright band, range and orographic growth in widespread precipitation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1994; 120: 1231-1254.
- [20] Seo DJ. Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data. *Journal of Hydrology*. 1998; 208(1-2): 37–52.
- [21] Chumchean S, Sharma A, Seed A. An integrated approach to error correction for real-time radar-rainfall estimation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2006; 23(1): 67–79.
- [22] Michelson D, Einfalt T, Holleman I, Gjertsen U, Friedrich K, Haase G, et al. Weather radar data quality in Europe: quality control and characterization, COST 717 Working Document WDF_20_200204_1. 2004.
- [23] Hydro & meteo GmbH&Co. KG. *SCOUT Documentation Version 3.32*. Hydro & meteo GmbH & Co. KG. Germany: 2016.
- [24] Woodley W, Herndon A. A raingage evaluation of the Miami reflectivity- rainfall rate relation. *Journal of Applied Meteorology*. 1970; 9(2): 258-264.
- [25] Marshall JS, Palmer WMK. The Distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*. 1984;5(4): 165-166.
- [26] Futon RA, Breidenbach JP, Seo DJ, Miller DA, O’ Brannon T. The WSD– 88D rainfall algorithm. *Weather Forecasting*. 1998;13: 377 -395.
- [27] 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.
- [28] Steiner M, Smith JA. Reflectivity, rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra. *American Meteorological Society*. 2000; 39: 1923-1940.
- [29] Hagen M, Yuter SE. Relations between radar reflectivity, liquid water content, and rainfall rate during the MAP- SOP. *Atmospheric Sciences*. 2003; 128: 477-494.
- [30] 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.
- [31] กรมฝนหลวงและการบินเกษตร. *โครงการประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ภาคตะวันออก*. กรมฝนหลวงและการบินเกษตร. 2557.
- [32] 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.
- [33] Seed A, Sirivarden L, Sun X, Jordan P, Elliot J. On the calibration of Australian weather radars. *Technical report 02/7*. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. 2002; 40.