

การวิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter เพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนเรดาร์สดหีบ

Hourly Adjustment Factor Analysis Using the Kalman Filter Technique to Reduce Errors in Sattahip Radar Rainfall Estimation

รัชเวช หาญชูวงศ์^{1,*} และ ชนัญชิตา แหลมทอง²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: rhanchooowong@gmail.com

บทคัดย่อ

เรดาร์ตรวจอากาศสามารถตรวจวัดฝนได้อย่างต่อเนื่องทั้งพื้นที่ฝนตกครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและให้ข้อมูลฝนที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาอย่างใดก็ตามในการประเมินฝนเรดาร์ถึงแม้จะใช้สมการ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินในการประเมินฝนเรดาร์เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ในการประเมินฝนแล้วก็ตาม แต่ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินหลงเหลืออยู่ ประกอบกับเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่แตกต่างกันส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีความแตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้งหมด 510 เหตุการณ์ ในช่วงระหว่างวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน 110 สถานี และข้อมูลการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์สดหีบ เพื่อใช้วิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนตามค่าความเข้มฝนร่วมกับค่าปรับแก้รายชั่วโมงที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สดหีบ ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนตามค่าความเข้มฝนร่วมกับค่าปรับแก้รายชั่วโมงที่วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Kalman Filter ช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินได้มากที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนได้ 21.53%, 4.10% (21.87%, 5.19%), เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนได้ 47.71%, 8.37% (48.50%, 10.63%), เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนได้ 29.05%, 4.55% (31.32%, 6.28%) สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (ทวนสอบ) เมื่อเทียบกับวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ใช้ในปัจจุบัน และวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดกลุ่มฝนตามค่าความเข้มฝนโดยไม่ปรับแก้

คำสำคัญ: เรดาร์ตรวจอากาศ, สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ, เหตุการณ์ฝน, ค่าปรับแก้รายชั่วโมง

Abstract

Weather radar can continuously measure rainfall immediately as it occurs, covering wide areas and providing high-resolution rainfall both spatially and temporally. However, in radar rainfall estimation, even when using Z-R relationships that vary according to rainfall clusters based on rainfall intensity measured from ground-based automatic rain gauges to reduce estimation errors, there remain discrepancies in adjusting radar rainfall measurements above ground to match actual ground rainfall. Additionally, each rainfall event has different raindrop distribution characteristics, resulting in varying physical characteristics across different rainfall events. This study collected data from 510 rainfall events between February 2, 2018, and August 31, 2020, comprising hourly rainfall from 110 automatic rain gauges and radar reflectivity within a 240 km radius of the Sattahip radar. The aim was to analyze rainfall estimation methods using Z-R relationships that vary by rainfall cluster according to rainfall intensity, combined with appropriate hourly adjustment factors for the Sattahip radar. The study found that the rainfall estimation method using Z-R relationships that vary by rainfall cluster according to rainfall intensity, combined with hourly adjustment factors analyzed using the Kalman Filter technique, most effectively reduced the errors in adjusting radar rainfall above ground to match ground rainfall. Considering the RMSE values, the method can reduce the rainfall estimation error by 21.53%, 4.10% (21.87%, 5.19%). Based on the MSE values, it can reduce the estimation error by 47.71%, 8.37% (48.50%, 10.63%). Similarly, based on the MAE values, it can reduce the estimation error by 29.05%, 4.55% (31.32%, 6.28%) for the rainfall events used for calibration (Verification), compared to the rainfall estimation methods based on the current Z-R relationship, and the Z-R relationship that varies according to rainfall type and intensity without adjustment.

Keywords: Weather Radar, Automatic Rain Gauge, Rainfall Event, Hourly Adjustment Factor

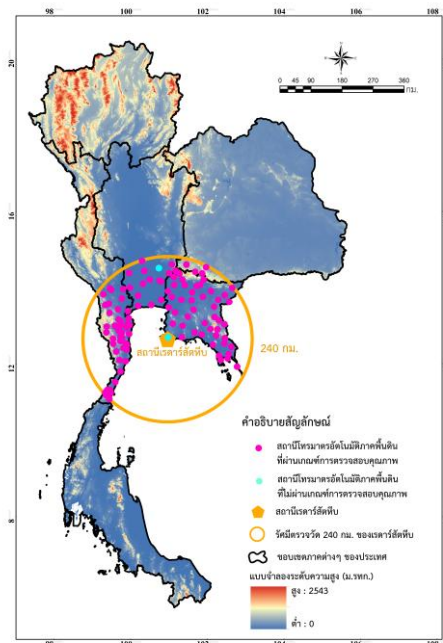
1. คำนำ

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลที่สำคัญและมีความจำเป็นในงานด้านอุตุนิยมวิทยาและงานพัฒนาแหล่งน้ำ แม้ว่าความต้องการรายละเอียดของข้อมูลปริมาณน้ำฝนจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการ แต่จุดประสงค์ที่คล้ายกันส่วนใหญ่ คือ ต้องการข้อมูลที่แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของฝน (Rainfall Distribution) ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลามากกว่าที่จะต้องการข้อมูลเฉพาะจุด (Point Rainfall) ณ จุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น [1] ซึ่งไม่สามารถวัดการกระจายตัวของฝนที่เปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาได้ ประกอบกับการตรวจวัดข้อมูลน้ำฝนด้วยถังวัดน้ำฝน ซึ่งมีจำนวนไม่หนาแน่นในพื้นที่ อาจจะไม่ใช่ว่าข้อมูลที่เป็นตัวแทนที่ดีของปริมาณฝนที่ตกจริงในบริเวณดังกล่าว [2] ในปัจจุบันเทคนิคการตรวจวัดข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) เช่น เรดาร์อุตุนิยมวิทยาได้รับความสนใจเพื่อใช้ในการสำรวจรายละเอียดและพฤติกรรมของฝนมากขึ้น เนื่องจากเรดาร์ตรวจอากาศสามารถให้ข้อมูลรายละเอียดของฝนครอบคลุมพื้นที่ที่อยู่ภายใต้รัศมีของเรดาร์และสามารถทำการตรวจวัดฝนได้อย่างต่อเนื่องทันทีที่ฝนตกครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง และให้ข้อมูลฝนที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา [3-5] เมื่อนำมาใช้ประเมินฝนร่วมกับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนที่ตกลงมายังพื้นดินได้มากยิ่งขึ้น [6-8] อย่างไรก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนจากเรดาร์ซึ่งประกอบไปด้วย (1) ความคลาดเคลื่อนในค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหา Ground Clutter , Beam Blockage และ Beam Attenuation [9-10] เป็นต้น ก่อนที่จะนำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ไปใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R, (2) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน Z-R ($Z=aR^b$) ที่ไม่เหมาะสม [11-12] และ (3) ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ที่อยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน การศึกษา [13-14] ได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ (G/R) ที่มีค่าคงที่ค่าเดียวทั้งพื้นที่ศึกษาซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนมากที่ตั้งอยู่ในพื้นที่และกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่, [15-16] พบว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดในช่วงเวลาที่ต่างกันมีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่ต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ตามเวลา (ค่าปรับแก้รายชั่วโมง) เช่นเดียวกับ [17-20] ได้ประยุกต์ใช้ Kalman filter เข้ามาร่วมในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมงเพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิค Kalman filter เข้ามาร่วมในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมงเพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนการประเมินฝนจากเรดาร์สัทธิ

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

พื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสัทธิขนิต Doppler radar แบบ S-band ตั้งอยู่ที่ อำเภอสัทธิขนิต จังหวัดชลบุรี พิกัดเส้นรุ้ง 12° 38' 56" N เส้นแวง 100° 57' 46" E ที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 174 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการรวบรวมเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้น ในช่วงระหว่าง 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 โดยข้อมูลการตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่ตรวจวัดฝนถูกจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ Volume files ที่บันทึกเป็นเวลาสากลเชิงพิกัด (Coordinated Universal Time, UTC) ที่มี

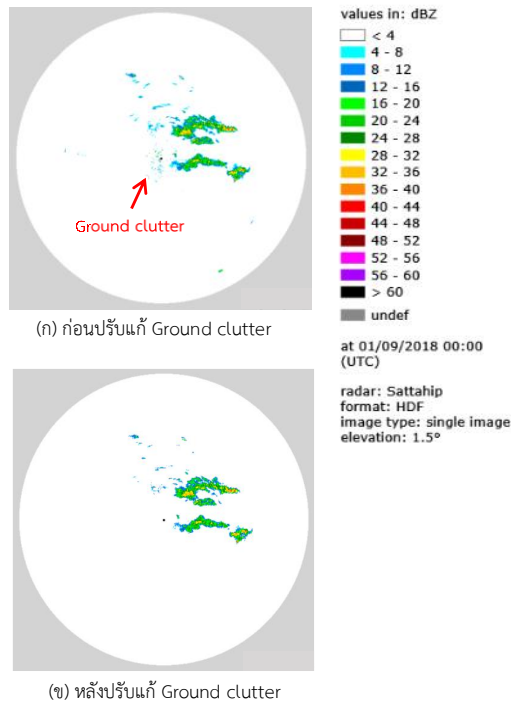
การตรวจวัดทุกๆ 6 นาที จากมุมเงยที่ตรวจวัดที่มุม 1.5° ที่จัดเก็บข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity, Z) ในรูปแบบ Volume files และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ซึ่งในแต่ละเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาจะต้องมีข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่สอดคล้องกันและข้อมูลทั้งสองดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลก่อนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาดังนี้



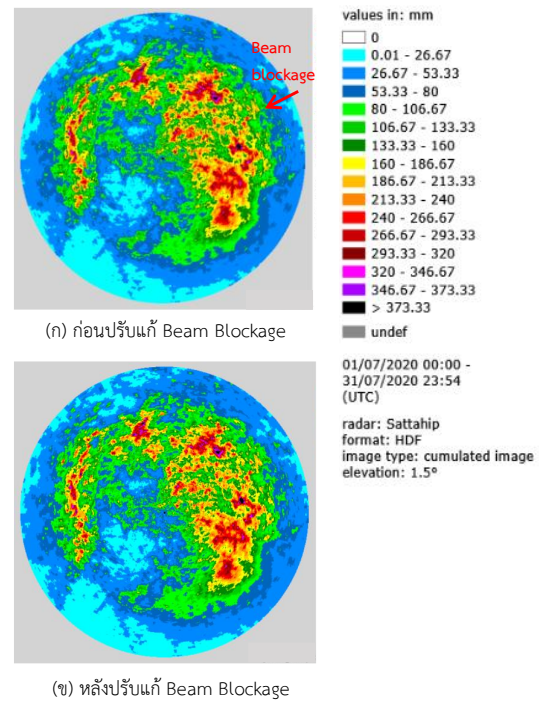
รูปที่ 1 พื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์สัทธิขนิต

• การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์สัทธิขนิต

การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์สัทธิขนิตจากมุมเงยที่ตรวจวัดที่มุม 1.5° ซึ่งเป็นมุมตรวจวัดที่เหมาะสมของเรดาร์สัทธิขนิต (ดังที่ศึกษาในบทความ “การวิเคราะห์หาสมการ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนเพื่อใช้ในการประเมินฝนเรดาร์สัทธิขนิต, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 30”) อย่างไรก็ตามข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ยังได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหาลำคลื่นเรดาร์กระทบกับเป้าสะท้อนถาวร (Ground Clutter) จึงได้การจัดสร้างแผนที่ Ground Clutter Map ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Reflectivity) เพื่อระบุตำแหน่งพิกเซลของ Ground Clutter และทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground Clutter ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่ง Ground Clutter จะถูกปรับแก้ใหม่โดยคำนวณจากค่า Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [21-22] ผลการปรับแก้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เนื่องจากปัญหา Ground clutter ของเรดาร์สัทธิขนิตแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์สัทหีบก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ Ground Clutter ณ วันที่ 1 กันยายน 2561 เวลา 00:00 น. (UTC)



รูปที่ 3 ปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์สัทหีบของเหตุการณ์ฝนเดือนกรกฎาคม 2563 ก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้ Beam Blockage

ส่วนผลกระทบเนื่องจากปัญหา Beam Blockage เมื่อลำคลื่นเรดาร์กระทบกับเป้าสะท้อนถาวร ส่งผลให้การสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) ที่ตรวจวัดในพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางมีค่าน้อยกว่าปกติ จึงได้ทำการปรับแก้โดยนำข้อมูลค่า Radar Reflectivity จากการตรวจวัดฝนสะสมรายเดือนมาพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งที่เกิด Beam Blockage ค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Beam Blockage ได้ถูกปรับแก้ใหม่โดยคำนวณจากค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [21-22] ผลการปรับแก้ข้อมูลการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เนื่องจากปัญหา Beam Blockage ของเรดาร์สัทหีบแสดงในรูปที่ 3 ขณะที่ผลกระทบเนื่องจากพลังงานคลื่นเรดาร์ถูกดูดกลืน (Attenuation) เมื่อคลื่นที่ผ่านก๊าซในชั้นบรรยากาศ ไอน้ำ ออกซิเจน และปริมาณน้ำฝน [23] พลังงานของคลื่นเรดาร์ถูกดูดกลืนและมีค่าลดลง สำหรับความอ่อนไหวของสัญญาณคลื่นเรดาร์ต่อการลดลงของพลังงาน ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นเรดาร์ที่ถูกส่งออกไป โดยการลดลงของพลังงานจะเป็นปัญหากับเรดาร์ประเภท X-band และ C-band ซึ่งมีความยาวคลื่น 2.5 และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่จะไม่ใช่ปัญหากับเรดาร์ประเภท S-band ที่มีความยาวคลื่น 10.7 เซนติเมตร [24] ดังนั้นสำหรับเรดาร์สัทหีบซึ่งเป็นเรดาร์ประเภท S-band จึงไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหา Attenuation และเพื่อหลีกเลี่ยงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) ตรวจสัญญาณที่ไม่ได้เกิดจากกลุ่มฝนจึงเลือกใช้เฉพาะข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิดจากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53 dBZ [25]

• การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน

การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบและนำมาใช้ในการศึกษาต้องผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธี Double mass curve และมีค่าสถิติ R-squared ที่มีค่ามากกว่า 0.90 ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติที่รวบรวมข้อมูลในช่วงระหว่าง 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 จำนวนทั้งหมด 110 สถานี ซึ่งได้ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพข้อมูลพบว่ามีสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจำนวน 108 สถานี และไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจำนวน 2 สถานี เพื่อให้การประเมินปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศมีความแม่นยำ การศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล และไม่ได้ตั้งอยู่ในพื้นที่เรดาร์ตาบอดของเรดาร์สัทหีบ (พื้นที่ภายในรัศมี 10 กม. จากสถานีเรดาร์) เนื่องจากในพื้นที่เรดาร์ตาบอดเรดาร์จะตรวจวัดฝนได้น้อยกว่าความเป็นจริง สถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแสดงในรูปที่ 1

3. สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ใช้ในการประเมินฝนเรดาร์สัทหีบ

การศึกษานี้ได้พิจารณานำสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้งหมด 5 กรณี ที่ศึกษา ในบทความ “การวิเคราะห์หาสมการ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนเพื่อใช้ในการประเมินฝนเรดาร์สัทหีบ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 30”) ซึ่งประกอบด้วย

กรณีที่ 1 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย, ($Z=175R^{1.6}$)

กรณีที่ 2 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ดังนี้

กลุ่มฝนที่ 1 15 dBZ <= การสะท้อนกลับ < 30 dBZ, ($Z=121R^{1.6}$)

กลุ่มฝนที่ 2 30 dBZ <= การสะท้อนกลับ < 38 dBZ, ($Z=175R^{1.6}$)

กลุ่มฝนที่ 3 38 dBZ <= การสะท้อนกลับ < 44 dBZ, ($Z=174R^{1.6}$)

กลุ่มฝนที่ 4 44 dBZ <= การสะท้อนกลับ <= 53 dBZ, ($Z=220R^{1.6}$)

กรณีที่ 3 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินโดยแบ่งช่วงความเข้มฝนตามการศึกษา ดังนี้

กลุ่มฝนที่ 1 ความเข้มฝน < 10 มม./ชม., ($Z=465R^{1.6}$)

กลุ่มฝนที่ 2 10 มม./ชม. <= ความเข้มฝน <= 30 มม./ชม., ($Z=94R^{1.6}$)

กลุ่มฝนที่ 3 ความเข้มฝน > 30 มม./ชม., ($Z=67R^{1.6}$)

กรณีที่ 4 ใช้สมการ Woodley and Herndon, ($Z=300R^{1.4}$)

กรณีที่ 5 ใช้สมการ Marshall and Palmer, ($Z=200R^{1.6}$)

4. การประยุกต์ใช้ Kalman Filter ในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมงในการประเมินฝนเรดาร์

ข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้ง 510 เหตุการณ์ในช่วงระหว่างวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ถูกนำมาประยุกต์ใช้เทคนิค Kalman Filter ในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมงในการประเมินฝนเรดาร์ โดยในการศึกษาจะเลือกใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาผลกระทบเนื่องจากเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิดจากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53 dBZ [25] และพิจารณาใช้ค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มากกว่า 0.2 มม./ชม. และเลือกใช้วิธีในการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเพื่อให้ได้คู่ Z-R ในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน โดยแบ่งการสุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ **ข้อมูลกลุ่มที่ 1** จะทำการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจาก 80% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน ผลลัพธ์ค่าการสะท้อนกลับ (Z) จะถูกแปลงให้เป็นค่าความเข้มฝนเรดาร์โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ในแต่ละกรณีศึกษาทั้งหมด 5 กรณี และค่าความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เลือกจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน

Kalman Filter ได้ถูกพัฒนาโดย [26] ซึ่งถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการประมาณค่าสถานะของระบบ หรือค่าปรับแก้ในการประเมินฝนเรดาร์ที่ดีที่สุด [17-20] สำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิค Kalman Filter ในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมง มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงในรูป Logarithm จากสมการที่ 1

$$\beta_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log_{10} \left(\frac{G_{t,i}}{R_{t,i}} \right) \quad (1)$$

เมื่อ

β_t คือ ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงในรูป Logarithm ณ เวลา t

$R_{t,i}$ คือ ความเข้มฝนที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์

(Z-R) ที่สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ i ณ เวลา t (มม./ชม.)

$G_{t,i}$ คือ ความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตร

อัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.)

n คือ จำนวนคู่ข้อมูลที่สอดคล้องกันของฝนเรดาร์และฝนที่สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ i ณ เวลา t

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมง $\hat{\beta}^-$ โดยใช้ข้อมูลค่าปรับแก้ ณ เวลาหน้า จากสมการที่ 2 และ คำนวณค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนของ $\hat{\beta}^-$ แทนด้วยสัญลักษณ์ P_t^- จากสมการที่ 3

$$\hat{\beta}_t^- = \rho_\beta \times \hat{\beta}_{t-1}^- \quad (2)$$

$$P_t^- = \rho_\beta^2 P_{t-1}^- + (1 - \rho_\beta^2) \times \delta_\beta^2 \quad (3)$$

เมื่อ

ρ_β คือ Lag-one correlation coefficient ของค่าปรับแก้

δ_β^2 คือ ค่าความแปรปรวนของค่าปรับแก้

P_{t-1}^- คือ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ณ ชั่วโมง t-1

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า Kalman Gain จากสมการที่ 4 เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมง และ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจากการคาดการณ์ $\hat{\beta}^-$

$$K_t = P_t^- (P_t^- + \delta_{M_t}^2)^{-1} \quad (4)$$

เมื่อ

K_t คือ Kalman Gain ณ เวลา t (ชม.)

$\delta_{M_t}^2$ คือ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัด ณ เวลา t (ชม.)

ขั้นตอนที่ 4 นำค่า Kalman Gain มาปรับแก้ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงจากการคาดการณ์ $\hat{\beta}^-$ โดยค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงภายหลังการปรับแก้แทนด้วยสัญลักษณ์ $\hat{\beta}$ ในทำนองเดียวกันค่า Kalman Gain มาปรับแก้ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน P_t^- โดยค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนภายหลังการปรับแก้แทนด้วยสัญลักษณ์ P_t

- กรณีที่ที่มีค่าข้อมูลค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงจากการตรวจวัด ณ ชั่วโมง t ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงภายหลังการปรับแก้ $\hat{\beta}$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 และ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนภายหลังการปรับแก้ P_t สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$\hat{\beta}_t = \hat{\beta}_t^- + K_t (Y_t - \hat{\beta}_t^-) \quad (5)$$

$$P_t = (1 - K_t) P_t^- \quad (6)$$

เมื่อ

Y_t คือ ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด

- กรณีที่ไม่มีค่าข้อมูลค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงจากการตรวจวัด ณ ชั่วโมง t ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงภายหลังการปรับแก้ $\hat{\beta}$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7 และ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนภายหลังการปรับแก้ P_t สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$\hat{\beta}_t = \rho_\beta \times \hat{\beta}_{t-1} \quad (7)$$

$$P_t = (1 - \rho_\beta^2) \times \delta_\beta^2 \quad (8)$$

ขั้นตอนที่ 5 ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงภายหลังการปรับแก้

ณ ชั่วโมง t คือ $\hat{\beta}_t$ และค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนภายหลังการปรับแก้ ณ ชั่วโมง t คือ P_t ถูกนำเข้าในการคำนวณซ้ำในขั้นตอนที่ 2-4 จนครบจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการคำนวณหาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 6 ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงภายหลังการปรับแก้ ณ

ชั่วโมง t คือ $\hat{\beta}_t$ จะถูกถอดค่า Logarithm เพื่อหาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมง B_t โดยใช้สมการที่ 9 เพื่อนำไปใช้ในการปรับแก้ฝนเรดาร์

$$B_t = 10^{(\hat{\beta}_t + 0.5 P_t)} \quad (9)$$

ขั้นตอนที่ 7 ปริมาณฝนเรดาร์รายชั่วโมงหลังปรับแก้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$\begin{aligned} & \text{ปริมาณฝนเรดาร์หลังปรับแก้ (มม./ชม.)} \\ &= B_t \times \text{ปริมาณฝนเรดาร์ก่อนปรับแก้ (มม./ชม.)} \end{aligned} \quad (10)$$

5. วิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนเรดาร์ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สัทธิบ

วิธีการประเมินฝนเรดาร์สัทธิบสำหรับการศึกษาค้างนี้จะพิจารณานำความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินได้จากวิธีการประเมินฝนเรดาร์ 10 วิธี คือ

- วิธีที่ 1 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินโดยใช้สมการ Z-R เฉลี่ย ($Z=175R^{1.6}$)
- วิธีที่ 2 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ดังนี้
 กลุ่มฝนที่ 1 15 dBZ <= การสะท้อนกลับ < 30 dBZ , ($Z=121R^{1.6}$)
 กลุ่มฝนที่ 2 30 dBZ <= การสะท้อนกลับ < 38 dBZ , ($Z=175R^{1.6}$)
 กลุ่มฝนที่ 3 38 dBZ <= การสะท้อนกลับ < 44 dBZ , ($Z=174R^{1.6}$)
 กลุ่มฝนที่ 4 44 dBZ <= การสะท้อนกลับ <= 53 dBZ , ($Z=220R^{1.6}$)
- วิธีที่ 3 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินโดยแบ่งช่วงความเข้มฝนตามการศึกษา ดังนี้
 กลุ่มฝนที่ 1 ความเข้มฝน < 10 มม./ชม. , ($Z=465R^{1.6}$)
 กลุ่มฝนที่ 2 10 มม./ชม. <= ความเข้มฝน <= 30 มม./ชม. , ($Z=94R^{1.6}$)
 กลุ่มฝนที่ 3 ความเข้มฝน > 30 มม./ชม. , ($Z=67R^{1.6}$)
- วิธีที่ 4 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินโดยใช้สมการ Z-R เฉลี่ย Woodley and Herndon , ($Z=300R^{1.4}$)
- วิธีที่ 5 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินโดยใช้สมการ Z-R เฉลี่ย Marshall and Palmer , ($Z=200R^{1.6}$)
- วิธีที่ 6 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 1 ร่วมกับการปรับแก้ฝนเรดาร์เฉลี่ยรายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter
- วิธีที่ 7 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 2 ร่วมกับการปรับแก้ฝนเรดาร์เฉลี่ยรายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter
- วิธีที่ 8 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 3 ร่วมกับการปรับแก้ฝนเรดาร์เฉลี่ยรายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter
- วิธีที่ 9 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 4 ร่วมกับการปรับแก้ฝนเรดาร์เฉลี่ยรายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter
- วิธีที่ 10 ความเข้มฝนเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 5 ร่วมกับการปรับแก้ฝนเรดาร์เฉลี่ยรายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter

ถูกนำมาตรวจสอบเพื่อหาวิธีการประเมินฝนเรดาร์ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สัทธิบโดยพิจารณาจากค่าสถิติ RMSE (Root Mean Squared Error) , MSE (Mean Squared Error) , MAE (Mean Absolute Error) ดังแสดงในสมการที่ (11-13) ระหว่างความเข้มฝนเรดาร์สัทธิบที่ประเมินโดยใช้วิธีการศึกษาที่นำเสนอทั้ง 10 วิธี เทียบกับความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะต้องมีค่าน้อยที่สุด ของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ของข้อมูลกลุ่มที่ 1 และ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) ของข้อมูลกลุ่มที่ 2

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N (R_{i,t} - G_{i,t})^2} \quad (11)$$

$$MSE = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N (R_{i,t} - G_{i,t})^2 \quad (12)$$

$$MAE = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^N |R_{i,t} - G_{i,t}| \quad (13)$$

เมื่อ

$R_{i,t}$ คือ ความเข้มข้นที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์
(Z-R) ที่สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ i ณ เวลา t
(มม./ชม.)
 $G_{i,t}$ คือ ความเข้มข้นจากสถานีโทรมาตร
อัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.)
N คือ จำนวนสถานีโทรมาตรอัตโนมัติทั้งหมดที่ใช้
 N_t คือ ช่วงเวลาที่ฝนตก (ชม.)

6. ผลการวิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนเรดาร์ที่เหมาะสม สำหรับเรดาร์สัดหีบ

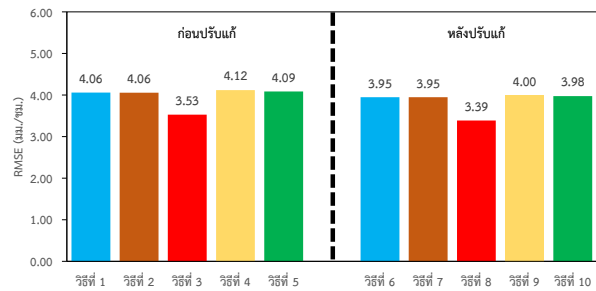
ผลค่าสถิติ RMSE (Root Mean Squared Error) , MSE (Mean Squared Error) , MAE (Mean Absolute Error) ระหว่างความเข้มข้นเรดาร์สัดหีบที่ประเมินโดยใช้วิธีการศึกษาที่นำเสนอทั้ง 10 วิธี เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะต้องมีค่าน้อยที่สุดของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ของข้อมูลกลุ่มที่ 1 และ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) ของข้อมูลกลุ่มที่ 2 ที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) แสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 4-6 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติ RMSE, MAE และ BIAS ของวิธีการประเมินของเรดาร์สัดหีบ ทั้ง 10 วิธี เทียบกับความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน

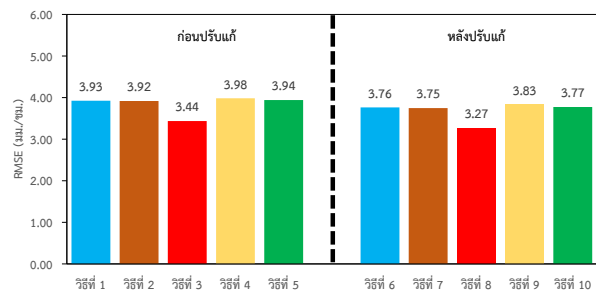
วิธีการประเมินความเข้มข้นเรดาร์	RMSE (มม./ชม.)		MSE (มม./ชม.) ²		MAE (มม./ชม.)	
	สอบเทียบ	ทวนสอบ	สอบเทียบ	ทวนสอบ	สอบเทียบ	ทวนสอบ
วิธีที่ 1	4.06	3.93	16.50	15.43	2.08	2.09
วิธีที่ 2	4.06	3.92	16.45	15.37	2.05	2.04
วิธีที่ 3	3.53	3.44	12.45	11.83	1.75	1.74
วิธีที่ 4	4.12	3.98	16.97	15.88	2.16	2.15
วิธีที่ 5	4.09	3.94	16.71	15.55	2.14	2.13
วิธีที่ 6	3.95	3.76	15.59	14.17	1.99	1.98
วิธีที่ 7	3.95	3.75	15.59	14.05	1.96	1.93
วิธีที่ 8	3.39	3.27	11.49	10.69	1.67	1.64
วิธีที่ 9	4.00	3.83	15.96	14.69	2.07	2.05
วิธีที่ 10	3.98	3.77	15.81	14.26	2.04	2.00

(หมายเหตุ : วิธีการศึกษาทั้ง 10 วิธี แสดงรายละเอียดแต่ละวิธีในหัวข้อที่ 5
วิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนเรดาร์ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สัดหีบ)

ผลค่า RMSE จากตารางที่ 1 และ รูปที่ 4 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 8 เป็นวิธีที่ความเข้มข้นเรดาร์ประเมินโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มข้นรวมกับการปรับแก้ฝนเรดาร์เฉลี่ยรายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter) มีค่าน้อยที่สุดของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบของข้อมูลกลุ่มที่ 1 มีค่า 3.39 (มม./ชม.) และข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลกลุ่มที่ 2 มีค่า 3.27 (มม./ชม.) เมื่อเทียบกับว่าความเข้มข้นเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีอื่นๆ ที่เหลืออีก 9 วิธี



(ก) ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration)

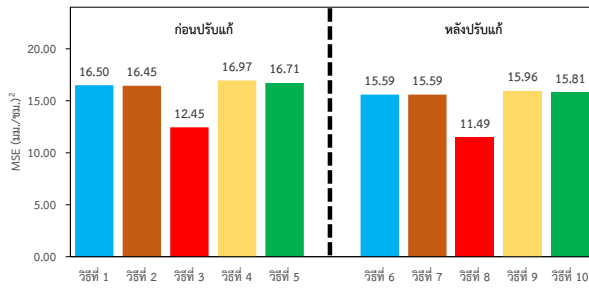


(ข) ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ (Verification)

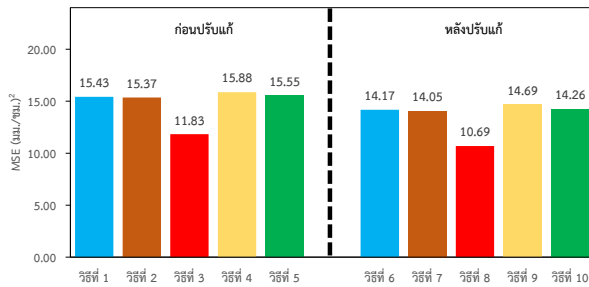
รูปที่ 4 ค่า RMSE ระหว่างความเข้มข้นเรดาร์สัดหีบที่ประเมินโดยใช้วิธีการศึกษาที่นำเสนอทั้ง 10 วิธี เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน สำหรับข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการ (ก) สอบเทียบ (Calibration) และ (ข) ทวนสอบ (Verification)

ผลค่า MSE จากตารางที่ 1 และ รูปที่ 5 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 8 มีค่าน้อยที่สุดของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบของข้อมูลกลุ่มที่ 1 มีค่า 11.49 (มม./ชม.)² และข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลกลุ่มที่ 2 มีค่า 10.69 (มม./ชม.)² เมื่อเทียบกับว่าความเข้มข้นเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีอื่นๆ ที่เหลืออีก 9 วิธี

ผลค่า MAE จากตารางที่ 1 และ รูปที่ 6 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีที่ 8 มีค่าน้อยที่สุดของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบของข้อมูลกลุ่มที่ 1 มีค่า 1.67 (มม./ชม.) และข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลกลุ่มที่ 2 มีค่า 1.64 (มม./ชม.) เมื่อเทียบกับว่าความเข้มข้นเรดาร์ที่ประเมินจากวิธีอื่นๆ ที่เหลืออีก 9 วิธี

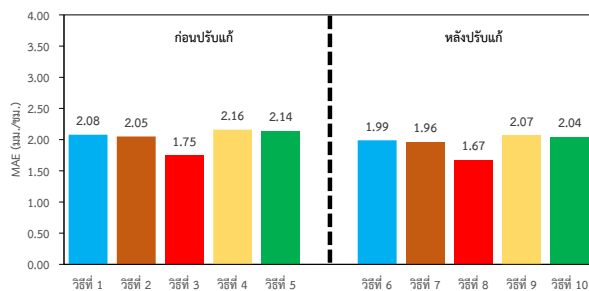


(ก) ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration)

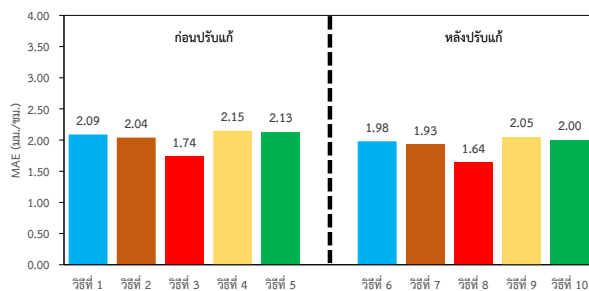


(ข) ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ (Verification)

รูปที่ 5 ค่า MSE ระหว่างความเข้มฝนเรตาร์ดที่ประเมินโดยใช้วิธีการศึกษาที่นำเสนอทั้ง 10 วิธี เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน สำหรับข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการ (ก) สอบเทียบ (Calibration) และ (ข) ทวนสอบ (Verification)



(ก) ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration)



(ข) ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ (Verification)

รูปที่ 6 ค่า MAE ระหว่างความเข้มฝนเรตาร์ดที่ประเมินโดยใช้วิธีการศึกษาที่นำเสนอทั้ง 10 วิธี เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน สำหรับข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการ (ก) สอบเทียบ (Calibration) และ (ข) ทวนสอบ (Verification)

ผลการศึกษาในตารางที่ 1 และ รูปที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่าวิธีการประเมินฝนเรตาร์ดวิธีที่ 8 ที่เสนอแนะเป็นวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับการประเมินฝนเรตาร์ดที่หยาบที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา [15-16] ที่กล่าวว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกันมีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่ต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการประเมินฝนเรตาร์ดโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เพียงอย่างเดียวยังคงมีความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่จึงควรมีการปรับแก้ฝนเรตาร์ดที่ประเมินได้ด้วยค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมง และผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับการศึกษา [17-20] เมื่อประยุกต์ใช้เทคนิค Kalman Filter ในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายชั่วโมงแล้วนำมาปรับแก้การประเมินฝนเรตาร์ดจะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรตาร์ดได้มากยิ่งขึ้น

7. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) เหตุการณ์ฝนในแต่ละช่วงเวลามีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่แตกต่างกัน ความเข้มฝนเรตาร์ดที่ประเมินโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ร่วมกับการปรับแก้ฝนเรตาร์ดเฉลี่ยรายชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter ในวิธีที่ 8 ที่เสนอแนะ ช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ของ Woodley and Herndon ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และ ช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการปรับแก้ฝนจากเรตาร์ดอยู่เหนือพื้นดินให้เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินซึ่งช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้มากยิ่งขึ้น

2) ความเข้มฝนเรตาร์ดที่ประเมินจากวิธีที่ 8 เป็นวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมสำหรับการประเมินฝนเรตาร์ดที่หยาบที่สุดโดยมีค่า RMSE , MSE และ MAE ระหว่างความเข้มฝนเรตาร์ดที่ประเมินจากวิธีที่ 8 เทียบกับความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมีค่าน้อยที่สุด ของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ และ ทวนสอบเมื่อเทียบกับวิธีการประเมินฝนวิธีอื่นๆ ที่เหลืออีก 9 วิธีที่ใช้ในการศึกษา

3) ความเข้มฝนเรตาร์ดที่ประเมินจากวิธีที่ 8 เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 21.53%, 4.10% เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 47.71%, 8.37% เมื่อพิจารณาจากค่า MAE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 29.05%, 4.55% เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ Woodley and Herndon และ วิธีการประเมินฝนวิธีที่ 3 ที่ความเข้มฝนเรตาร์ดประเมินโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ

4) ความเข้มฝนเรตาร์ดที่ประเมินจากวิธีที่ 8 เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 21.87%, 5.19% เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 48.50%, 10.63% เมื่อพิจารณาจากค่า MAE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 31.32%, 6.28% เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ Woodley and Herndon และ วิธีการประเมินฝนวิธีที่ 3 ที่ความเข้มฝนเรตาร์ดประเมินโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัด

ได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น

5) การศึกษาในอนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดประยุกต์ใช้วิธีการประเมินฝนความเข้มฝนเรดาร์วิธีที่ 8 ที่เสนอแนะในครั้งนี้ ในการคาดการณ์ฝน (Nowcasting) ของสถานีเรดาร์สัทธิบร่วมกับการติดตามการเคลื่อนตัวของจุดศูนย์กลางมวล (Centroid Tracking Method) ของกลุ่มฝนซึ่งทำให้สามารถทราบทิศทางการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝนจากเรดาร์ที่ตรวจวัดได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยให้สามารถคาดการณ์ฝนล่วงหน้า 1-6 ชั่วโมงในพื้นที่ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการวางแผนเตือนภัยน้ำท่วมในพื้นที่ ร่วมกับวิธีการพยากรณ์ฝนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6) การศึกษาในอนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษาในครั้งนี้ ที่มีข้อจำกัด คือ พิจารณาให้กลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มในแต่ละวันที่อยู่ในช่วงความเข้มฝนที่เหมือนกันจะใช้สมการ Z-R เดียวกันทุกวันในการประเมินความเข้มฝน ส่งผลให้ยังคงมีความคลาดเคลื่อนหลงเหลือ แต่เนื่องจากกลุ่มฝนในแต่ละกลุ่มฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ใช้ในการประเมินฝนควรมีค่าที่แตกต่างกันตามกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มในแต่ละวัน ซึ่งเมื่อนำมารวมกับการปรับแก้ฝนเรดาร์ที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่แบบรายกริดแบบชั่วโมงโดยใช้เทคนิค Kalman Filter จะช่วยให้การประเมินฝนเรดาร์สัทธิบมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเขตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์สัทธิบที่จัดเก็บในรูปแบบ CAPPI และ UF files และ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่างการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Morin, E. and Gabella, M. (2007). Radar-based quantitative precipitation estimation over Mediterranean and dry climate regimes. *J Geophys Res*, 112: D20108.
- [2] Zhang, Q., Shi, P.J., Singh, V.P., Fan, K.K. and Huang, J.J. (2017). Spatial downscaling of TRMM-based precipitation data using vegetative response in Xinjiang, China, *Int. J. Climatol*, 37 (10), pp.3895–3909.
- [3] Ochoa-Rodriguez, S., Wang, L-P., Gires, A., Pina, R.D., Reinoso-Rondinel, R., Bruni, G., Ichiba, A., Gaitan, S., Cristiano, E., Van Assel, J., Kroll, S., Murl'a-Tuyls, D., Tisserand, B., Schertzer, D., Tchiguirinskaia, I., Onof, C., Willems, P. And Veldhuis, M.-C. (2015). Impact of spatial and temporal resolution of rainfall inputs on urban hydrodynamic modelling outputs: A multi-catchment investigation, *J. Hydrol*, 531, pp.389–407.
- [4] Thorndahl, S., Einfalt, T., Willems, P., Nielsen, J.E., Ten Veldhuis, M.-C., Ambjerg-Nielsen, K., Rasmussen, M.R. and Molnar, P. (2017). Weather radar rainfall data in urban hydrology, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 21(3), pp.1359–1380.
- [5] Hou, J., Wang, N.a., Guo, K., Li, D., Jing, H., Wang, T. and Hinkelmann, R. (2020). Effects of the temporal resolution of storm data on numerical simulations of urban flood inundation, *J. Hydrol*, 589(6):125100.
- [6] Hosseini, S.H. (2019). Disastrous floods after prolonged droughts have challenged Iran, *FUF-bladet*, 17 juni, pp.30-32.
- [7] Kaiser, M., Günnemann, S. and Disse, M. (2021). Spatiotemporal analysis of heavy rain-induced flood occurrences in Germany using a novel event database approach, *J. Hydrol*, 595, 125985.
- [8] Mobini, S., Nilsson, E., Persson, A., Becker, P. and Larsson, R. (2021). Analysis of pluvial flood damage costs in residential buildings—A case study in Malmo, *Int. J. Disaster Risk Reduct*, 62, 102407.
- [9] Van de Beek, C.Z., Leijnse, H., Hazenberg, P. and Uijlenhoet, R. (2016). Close-range radar rainfall estimation and error analysis, *Atmos. Meas. Tech*, 9(8), pp.3837–3850.
- [10] Hosseini, S.H., Hashemi, H., Berndtsson, R., South, N., Aspegren, H., Larsson, R., Olsson, J., Persson, A. and Olsson, L. (2020). Evaluation of a new X-band weather radar for operational use in south Sweden, *Water Sci. Technol*, 81(8), pp.1623–1635.
- [11] Harrison, D.L., Driscoll, S.J. and Kitchen, M. (2000). Improving precipitation estimates from weather radar using quality control and correction techniques, *Meteorol. Appl*, 6, pp.135–144.
- [12] รัชเวช หาญชูวงศ์ (2565). การวิเคราะห์หาสมการ Z-R เพื่อใช้ในการประเมินฝนของเรดาร์ตาคลี. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, ปีที่ 15, ฉบับที่ 4, หน้า 172-183.
- [13] Silver, M., Karnieli, A., Marra, F. and Fredj E. (2019). An evaluation of weather radar adjustment algorithms using synthetic data, *J. Hydrol*, 576, pp.408-421.
- [14] Yoo, C. and Yoon, J-H. (2010). A proposal of quality evaluation methodology for radar data, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, 30, pp.429-435.
- [15] Kim, J. and Yoo, C.(2014). Using Extended Kalman Filter for Real-time Decision of Parameters of Z-R Relationship, *Journal of Korea Water Resources Association*, 47(2), DOI:10.3741/JKWRA.2014.47.2.119.
- [16] Shi, Z., Wei, F. and Venkatachalam, C. (2018). Radar-Based Quantitative Precipitation Estimation for the Identification of Debris-Flow Occurrence over Earthquake affected Region in Sichuan, China. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 18(3), pp.765-780.
- [17] Chumchean, S., Seed, A. and Sharma A. (2006). Correcting of radar mean field bias using Kalman filtering approach, *J. Hydrol*, 317, pp.123-137.
- [18] Shi, Z., Wei, F., and Chandrasekar, V. (2018). Radar-based quantitative precipitation estimation for the identification of debris flow occurrence over earthquake-affected regions in Sichuan China, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 18(3), pp.765-780.

- [19] Kim, J., and Yoo, C. (2014). Using Extended Kalman Filter for Real-time Decision of Parameters of Z-R Relationship, *Journal of Korea Water Resources Association*, 47, doi:10.3741/JKWRA.2014.47.2.119.
- [20] Mapiam, P., Methaprayun, M., Bogaard, T. A., Schoups, G. and Veldhuis, M-C. T. (2021). Citizen rain gauge improves hourly radar rainfall bias correction using a two-step Kalman filter. *Hydrology and Earth System Sciences*, doi.org/10.5194/hess-2021-262.
- [21] Michelson, D., Einfalt, T., Holleman, I., Gjertsen, U., Friedrich, K., Haase, G., Lindskog, M. and Sztuc, J. (2004). Weather radar data quality in Europe: Quality control and characterization, *COST 717 Working Document WDF_20_200204_1*.
- [22] Hydro & meteo GmbH & Co. KG. (2016). *SCOUT Documentation Version 3.32*, Hydro & meteo GmbH & Co. KG., Germany.
- [23] Chumchean, S. (2004). Improved Estimation of Radar Rainfall for Use in Hydrological Modelling, Ph.D. Thesis, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- [24] Delrieu, G., Andrieu, H., and Creutin, J.D. (2000). Quantification of path-integrated attenuation for X-and C-band weather radar systems operating in Mediterranean heavy rainfall, *J. Appl. Meteor*, 39(6), pp.840-850.
- [25] Futon, R.A., Breidenbach, J.P., Seo, D.J., Miller, D.A. and O’Brannon, T. (1998). The WSD-88D rainfall algorithm, *Weather Forecasting*, 13, pp.377 -395.
- [26] Kalman, R. E. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, *Journal of Basic Engineering*, 82(1), pp.35-45.