

การประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณ Spike เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินน้ำฝนด้วยเรดาร์ Application of Spike Signal Detection and Error Reduction Techniques to Enhance the Efficiency of Radar-Based Rainfall Estimation

ธนบดี บุตรราช¹ ภาณุรัศม์ จิวรัตน์¹ และ พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: punpim.m@ku.th

บทคัดย่อ

ความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดเรดาร์เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องที่ลดลงในการประเมินฝนด้วยเรดาร์ โดยความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนแบบ Spike นั้นยากต่อการตรวจจับเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอทั้งเชิงพื้นที่และเวลา อีกทั้งยังไม่มีความสัมพันธ์ของสัญญาณรบกวน สำหรับการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพการประเมินน้ำฝนด้วยเรดาร์ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณ Spike ในขั้นตอนการศึกษา ได้รวบรวมข้อมูลค่าการสะท้อนกลับจากเรดาร์สมุทรสงคราม เรดาร์สัตหีบ และเรดาร์พิมาย ระหว่างปี พ.ศ. 2563 - 2565 ซึ่งได้รับผลกระทบจาก Spike อย่างสม่ำเสมอ โดยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับ Spike จำนวน 2 รูปแบบที่พบได้บ่อยในเรดาร์สมุทรสงคราม และเรดาร์สัตหีบ ได้แก่ Narrow และ Shorter Longitudinal พร้อมทั้งใช้ 2 เทคนิคร่วมกันในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหากนำเทคนิคดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลฝนเรดาร์จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้มากถึง 72.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลฝนเรดาร์ที่ไม่ผ่านการใช้เทคนิคลดความคลาดเคลื่อน จากผลการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลเรดาร์ดังกล่าวหากนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนอื่นสามารถนำไปสู่การผลิตข้อมูลฝนเรดาร์คุณภาพสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบเฝ้าระวังให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เรดาร์ตรวจอากาศ, ประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์, สัญญาณรบกวน, ความผิดพลาดจากการตรวจวัด

Abstract

Radar measurement errors significantly impact the accuracy of radar rainfall estimation, with spike errors being particularly challenging to detect due to their continuous variation in both space and time and their inconsistency patterns. This study aims to enhance radar rainfall assessments by applying techniques for detecting and reducing errors from spike signals. Radar reflectivity data affected by spike signals from Samut Songkhram, Sattahip and Phimai radar stations were collected between 2020 and 2022. Techniques for detecting two common types of spikes found in the Samut Songkhram and Sattahip

radar data, Narrow and Shorter Longitudinal, were applied in this study, alongside combined techniques to improve the quality of radar reflectivity data. The results showed that using these spike detection and error reduction techniques significantly improved data quality. When applied to radar rainfall data, the techniques increased accuracy by up to 72.9% compared to radar data before applying the techniques. This improvement in radar data quality could be further enhanced if combined with other error-reduction techniques, leading to the production of high-quality radar rainfall data, which would contribute to more effective weather monitoring and early warning systems.

Keywords: weather radar, radar rainfall estimation, spike signals, measurement errors

1. ที่มาและความสำคัญ

เทคโนโลยีเรดาร์ตรวจอากาศ (weather radar) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินน้ำฝนความละเอียดสูงทั้งเชิงพื้นที่และเวลาเพื่อการใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น การติดตามพายุไต้ฝุ่นในอดีต การเฝ้าระวังฝนตกหนักแบบใกล้เวลาจริง การพยากรณ์ฝนระยะสั้น รวมถึงการใช้งานร่วมกับแบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าหรือน้ำท่วม [1] อย่างไรก็ตามเรดาร์ตรวจอากาศไม่ได้วัดน้ำฝนโดยตรง แต่ตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (radar reflectivity) ซึ่งมักจะประสบปัญหาความคลาดเคลื่อนจากหลายปัจจัย เช่น ความแปรปรวนของโปรไฟล์แนวตั้งของค่าการสะท้อนเรดาร์ (Vertical Profile of Reflectivity หรือ VPR) ความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัด (Radar Measurement Error) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผลของการลดทอนสัญญาณเรดาร์ (Attenuation Effect) และกระบวนการแปลงค่าการสะท้อนเรดาร์เป็นปริมาณฝน (Z-R conversion) เป็นต้น [2-6]

การวิเคราะห์เรดาร์คอมโพสิตเป็นเทคนิคที่ใช้ในการประเมินฝนจากหลายสถานีเรดาร์เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการประมวลผลด้วยข้อมูลที่ได้จากสถานีเรดาร์เดียวได้ โดยเทคนิคมาตรฐานที่ใช้เช่น วิธีค่าสูงสุดค่าเฉลี่ย และการถ่วงน้ำหนักตามระยะทางจากสถานีเรดาร์ [7] อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มความซับซ้อนในการวิเคราะห์เรดาร์คอมโพสิต เทคนิคดัชนีคุณภาพ (Quality Index, QI) ได้รับการพัฒนาขึ้น เพื่อจัดการกับความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดของเรดาร์อันเกิดจากหลายปัจจัย โดยได้พิจารณาถึงคุณลักษณะของเรดาร์แต่ละสถานีที่ส่งผลให้เกิดปัจจัยในความคลาดเคลื่อน เช่น ระยะทางจากสถานีเรดาร์ ความสูงของคลื่นเรดาร์เหนือ

ภูมิประเทศ และการถูกบดบังสัญญาณเรดาร์ ทั้งนี้หากประยุกต์ใช้ QI ร่วมกับการปรับแก้ข้อมูลฝนเรดาร์ด้วยเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการประเมินฝนได้อย่างขึ้น [8] เป็นที่น่าสังเกตว่าเทคนิค QI ที่พิจารณาเฉพาะปัจจัยแวดล้อม (Surrounding Environment) ที่เปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่แต่ไม่เป็นเปลี่ยนแปลงเชิงเวลานั้น ไม่สามารถตรวจจับและลดทอนความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากสัญญาณรบกวนแบบ Spike ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอทั้งเชิงพื้นที่และเวลาได้ กล่าวคือความคลาดเคลื่อนแบบ Spike เกิดจากการรบกวนจากสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ มีลักษณะคล้ายลิ้มและมีการสะท้อนกลับสูงกว่าบริเวณข้างเคียงอย่างชัดเจน ซึ่งพฤติกรรมการเกิดไม่สม่ำเสมอ ยากต่อการตรวจจับและคาดเดา ดังนั้นนับเป็นความคลาดเคลื่อนที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการประเมินฝนด้วยเรดาร์อย่างชัดเจน หากไม่ทำการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลก่อนการนำไปคอมพิวเตอร์จะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ในการประเมินฝนเรดาร์รวมถึงการพยากรณ์ฝนระยะสั้นได้อย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาในอดีตได้มีความพยายามในการกำจัดความคลาดเคลื่อนแบบ Spike ด้วยเทคนิคต่าง ๆ รวมถึงการนำเทคนิค Computer Vision มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับและกำจัด Spike ที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งสามารถขจัดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณรบกวนแบบ Spike แต่ยังไม่ได้มีการระบุประเภทของ Spike อย่างชัดเจน ส่งผลให้ Spike บางรูปแบบที่มีความซับซ้อนยังไม่สามารถกำจัดได้ รวมถึงยังพบข้อจำกัดเมื่อพบกลุ่มฝนที่อยู่ในบริเวณ Spike จะไม่สามารถตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9] ต่อมาได้มีการพัฒนาอัลกอริธึมการควบคุมคุณภาพข้อมูล (Quality Control, QC) ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการกับ Spike ที่เกิดจากสัญญาณรบกวนอิเล็กทรอนิกส์และความคลาดเคลื่อนประเภทอื่น ๆ ในรูปแบบดัชนีเชิงคุณภาพ [10] อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนประเภทอื่น ๆ ร่วมกับ Spike อาจทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Spike ลดลงไป จึงมีการพัฒนาระบบ RADVOL-QC ขึ้นเพื่อ กำจัดความคลาดเคลื่อนจาก Spike โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลค่าการสะท้อนกลับร่วมกับข้อมูลความคลาดเคลื่อนประเภทต่าง ๆ รวมถึง Spike ที่ได้มีการระบุประเภทที่เกิดขึ้น ซึ่งการกำจัดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนแบบ Spike โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับ Spike ประเภท “Narrow” ซึ่ง มีประสิทธิภาพที่ดีมากในการกำจัด Spike ประเภทดังกล่าว อย่างไรก็ตามการเทคนิคดังกล่าวยังคงไม่สามารถกำจัด Spike ที่มีกลุ่มฝนเคลื่อนตัวผ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ [11] จากข้อจำกัดดังกล่าว ระบบ RADVOL-QC ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยมีการปรับปรุงอัลกอริธึมที่สามารถตรวจจับและกำจัดความคลาดเคลื่อนสัญญาณรบกวนแบบ Spike ในรูปแบบอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อรองรับ Spike ที่มีลักษณะรูปร่างที่หลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัด Spike มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะ Spike ที่ปะปนกับกลุ่มฝน ซึ่งมักเกิดขึ้นใน Spike ประเภท “Shorter Longitudinal” [12]

สำหรับพฤติกรรมสัญญาณ Spike จากการตรวจวัดข้อมูลเรดาร์ในประเทศไทย นับว่าเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญ โดยประเภทของสัญญาณ Spike ที่พบบ่อยครั้งคือ “Narrow” และ “Shorter Longitudinal” ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผลข้อมูลฝนเรดาร์ที่ผิดปกติสูงเกินในระบับท้องถิ่น (local scale) อยู่เสมอ ๆ แต่ความรุนแรงของข้อผิดพลาดจะเปลี่ยนแปลงไปตามเหตุการณ์ นอกจากนั้นแล้วหากนำข้อมูลเรดาร์ที่ปราศจากการกำจัดความคลาดเคลื่อนไปวิเคราะห์ต่อเนื่องสำหรับการพยากรณ์ฝนรวมถึงการประเมินน้ำท่วมจะส่งผลกระทบต่อคาดการณ์สถานการณ์ฝนและน้ำท่าที่ผิดพลาดสูงกว่าความเป็นจริงอย่างหลีกเลี่ยงมิได้

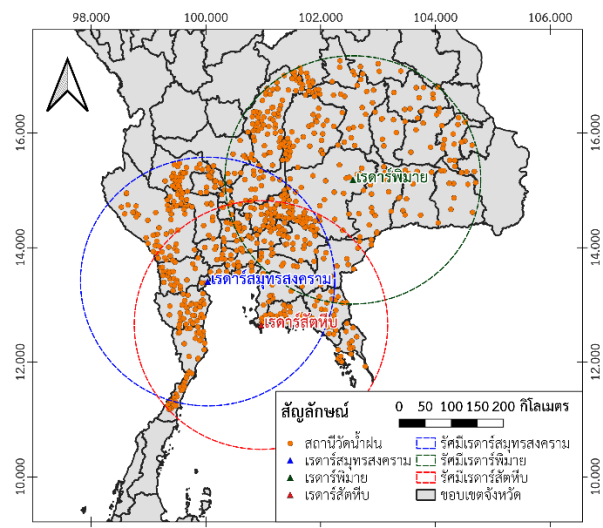
การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณ Spike มาประยุกต์ใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์น้ำฝนเรดาร์คอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคดัชนีคุณภาพเพื่อนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพ

การประเมินฝนจากเรดาร์ให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเลือกใช้ข้อมูลจาก 3 สถานีเรดาร์ได้แก่ สถานีเรดาร์สัตหีบ สถานีเรดาร์พิมาย และสถานีเรดาร์สมุทรสงคราม ในการศึกษา การประเมินประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนของ Spike เพื่อประเมินฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงได้ถูกวิเคราะห์ เพื่อแสดงให้เห็นผลกระทบของความคลาดเคลื่อน Spike ต่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลฝนเรดาร์และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคนิคการกำจัดความคลาดเคลื่อนขั้นสูงเพื่อนำไปสู่การใช้ประโยชน์จริงได้ต่อไป

2. พื้นที่ศึกษาและการรวบรวมข้อมูล

2.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่อยู่ภายใต้รัศมีตรวจวัดของเรดาร์ 3 สถานีได้แก่ เรดาร์สัตหีบ ตั้งอยู่ที่ อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี เรดาร์พิมาย ตั้งอยู่ที่ อ.พิมาย จ.นครราชสีมา ภายใต้ความดูแลของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร และเรดาร์สมุทรสงคราม ตั้งอยู่ที่ อ.เมืองสมุทรสงคราม จ.สมุทรสงคราม ภายใต้ความดูแลของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นเครือข่ายของสถานีเรดาร์ที่พบปัญหาสัญญาณคลาดเคลื่อน Spike นำไปสู่การประเมินปริมาณฝนเรดาร์ที่ผิดพลาด โดยมีพื้นที่ครอบคลุมรวมทั้งสิ้น 49 จังหวัด แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครือข่ายสถานีเรดาร์และสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติภายใต้ขอบเขตการตรวจวัดของเครือข่ายเรดาร์

2.2 ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน

ข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดแบบอัตโนมัติสำหรับการศึกษานี้ ได้รวบรวมจาก 2 หน่วยงาน ได้แก่ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) หรือ สสน. ซึ่งมีความถี่การตรวจวัดทุก 10 นาที จำนวน 497 สถานี และกรมทรัพยากรน้ำ ซึ่งมีความถี่การตรวจวัดทุก 15 นาที จำนวน 356 สถานี รวมทั้งสิ้น 853 สถานี ที่ตั้งอยู่ภายใต้การตรวจวัดของเครือข่ายเรดาร์ 3 สถานีได้แก่ สถานีเรดาร์สัตหีบ สถานีเรดาร์พิมาย และเรดาร์สมุทรสงคราม ในปี พ.ศ. 2565 นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าปรับแก้ฝนเรดาร์เทียบกับข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัด และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวน Spike

2.3 ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์

การรวบรวมข้อมูลค่าการสะท้อนกลับ (radar reflectivity data) ของเรดาร์ตรวจอากาศจำนวน 3 สถานี ได้แก่เรดาร์สมุทรสงคราม ภายใต้ความดูแลของกรมอุตุนิยมวิทยา มีความถี่การตรวจวัดทุก 15 นาที และข้อมูลจากเรดาร์สัทหีบและเรดาร์พิมาย ที่อยู่ภายใต้ความดูแลของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร โดยมีความถี่การตรวจวัดทุก 6 นาที ระหว่างปี พ.ศ.2563 ถึง พ.ศ.2565 เรดาร์ทั้ง 3 สถานีมีรัศมีการตรวจวัดที่ 240 กม. และความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.6 กม. x 0.6 กม. พร้อมทั้งดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเรดาร์โดยการคัดกรองภาพเรดาร์ที่มีความผิดพลาดจากการประมวลผล เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนและลูกเห็บ ค่าการสะท้อนกลับที่มีค่าน้อยกว่า 15 dBZ จะให้ค่าเท่ากับ 0 dBZ ขณะที่ถ้าหากค่าการสะท้อนกลับมีค่ามากกว่า 53 dBZ จะให้ค่าเท่ากับ 53 dBZ [13]

จากการพิจารณาคุณภาพของข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดแบบอัตโนมัติร่วมกับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ทั้ง 3 สถานีในช่วงเวลาเดียวกัน ได้ทำการคัดเลือกเหตุการณ์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนของ Spike ร่วมกับข้อมูลฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงแต่ละสถานีเรดาร์ จำนวนทั้งสิ้น 9 เหตุการณ์ ซึ่งอยู่ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2565 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นร่วมกับการวิเคราะห์น้ำฝนเรดาร์คอมโพสิตด้วยเทคนิคดัชนีเชิงคุณภาพ และการปรับแก้ฝนเรดาร์ด้วยเทคนิค Hourly Mean Field Bias

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การประเมินปริมาณน้ำฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ

เรดาร์ตรวจอากาศไม่ได้ตรวจวัดฝนโดยตรง แต่ตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar reflectivity: Z) โดยทั่วไปในการประเมินปริมาณฝนเรดาร์ จะแปลงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ให้เป็นความเข้มของฝน หรือปริมาณฝนด้วยความสัมพันธ์ Z-R (Z-R Relationship) ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการเลขยกกำลัง ดังสมการที่ (1)

$$Z = AR^b \quad (1)$$

เมื่อ Z คือค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (มิลลิเมตร⁶ เมตร⁻³) และ R คือความเข้มของฝน (มิลลิเมตร/ชั่วโมง) ขณะที่ A และ b คือพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์เลขยกกำลัง โดยความสัมพันธ์ Z-R ที่มีความเหมาะสมกับเรดาร์แต่ละสถานีสามารถทำได้ด้วยวิธีการสอบเทียบความสัมพันธ์ (Z-R calibration) ด้วยหลักการ optimization พารามิเตอร์เพื่อให้ได้ความคลาดเคลื่อนระหว่างปริมาณฝนเรดาร์และฝนจากสถานีต่ำสุด [14]

ตามที่ความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดจากเรดาร์รายสถานีเกิดจากปัจจัยที่ต่างกัน และการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ Z-R ไม่สามารถลดทอนความคลาดเคลื่อนดังกล่าวให้หมดไปได้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคนิคเรดาร์คอมโพสิตได้ถูกพัฒนาขึ้นและได้รับการยอมรับในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำฝนเรดาร์ได้ ในการศึกษาได้เลือกใช้เทคนิคดัชนีเชิงคุณภาพ (Quality Index, QI) โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ 1) ระยะห่างจากสถานีเรดาร์ (QI_D) 2) ความสูงของคลื่นเรดาร์เหนือภูมิประเทศ (QI_H) และ 3) การถูกรบกวนของสัญญาณจากภูมิประเทศ (QI_B) โดยมีสมการการวิเคราะห์ค่าดัชนีคุณภาพรวมของเรดาร์แต่ละสถานี ดังสมการที่ (2)

$$QI_{overall} = QI_D \times QI_H \times QI_B \quad (2)$$

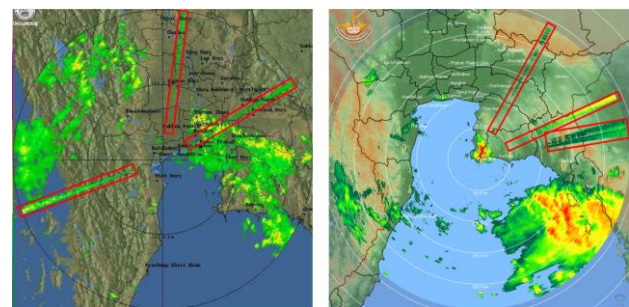
เมื่อ $QI_{overall}$ คือดัชนีคุณภาพรวมของเรดาร์แต่ละสถานี ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อในสมการที่สำคัญในการวิเคราะห์น้ำฝนเรดาร์คอมโพสิตดังสมการที่ (3)

$$RR = \frac{\sum_{i=1}^N q_i RR_i}{\sum_{i=1}^N q_i} \quad (3)$$

เมื่อ RR_i คือน้ำฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงของเรดาร์สถานี i และ q_i คือค่าดัชนีเชิงคุณภาพรวมของเรดาร์สถานี i [8]

3.2 การลดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณรบกวน Spike

ความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวน Spike ไม่ได้เกิดจากเป้าหมายทางอุตุนิยมวิทยา โดยลักษณะคล้ายกับการถูกรบกวนสัญญาณจากดวงอาทิตย์ แต่สามารถเกิดขึ้น ณ มุมอะซิมูท และ ณ เวลาใดก็ได้ของการตรวจวัด และมักจะถูกรวบรวมพบในมุมยกของเรดาร์มุมที่ต่ำที่สุด [12] ลักษณะของความคลาดเคลื่อน ประเภท Spike มักปรากฏในรูปร่างที่มีลักษณะคล้ายลิ้น หรือหนามแหลม เรียงตามแนวลำแสงเรดาร์ [15] โดยค่าการสะท้อนกลับดังกล่าวมักจะมีค่าที่สูงกว่า และแคบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการสะท้อนกลับของกลุ่มฝนในบริเวณโดยรอบ ดังแสดงตัวอย่างของความคลาดเคลื่อน Spike ในรูปแบบต่าง ๆ ณ เรดาร์สมุทรสงคราม และเรดาร์สัทหีบ ดังรูปที่ 2



(ก) เรดาร์สมุทรสงคราม

(ข) เรดาร์สัทหีบ

รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพค่าการสะท้อนกลับที่ตรวจสัญญาณรบกวน Spike

ความคลาดเคลื่อนประเภทนี้เกิดขึ้นได้บ่อยครั้งยากต่อการตรวจจับและยากต่อการคาดเดารูปแบบที่แน่นอนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีลักษณะปะปนกับกลุ่มฝน แม้ว่าจะมีการคัดกรองคุณภาพของข้อมูลด้วยการกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ เพื่อคัดกรองข้อมูลที่คาดว่าป็นสัญญาณรบกวนออก แต่การกรองด้วยวิธีดังกล่าวอาจไม่เพียงพอที่จะลดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณรบกวนประเภท Spike ในขณะที่การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เรดาร์คอมโพสิตเทคนิค QI ไม่สามารถตรวจจับและกำจัดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้เนื่องจากเทคนิค QI มีการพิจารณาเฉพาะปัจจัยแวดล้อมเท่านั้น จากรูปแบบที่ไม่แน่นอนของ Spike จึงมีความจำเป็นในการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมที่ใช้ในการระบุประเภทของ Spike และกำจัดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวออก พร้อมทั้งเติมค่าข้อมูลการสะท้อนกลับด้วยข้อมูลที่มีความเหมาะสม

จากการพิจารณาสัญญาณรบกวน Spike ที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษาพบว่า Spike 2 ประเภท คือ Narrow และ Shorter Longitudinal ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง จึงเลือกพิจารณาลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike ทั้งสองประเภทดังกล่าวโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 Spike ประเภท "Narrow"

ประเภท “Narrow” มีลักษณะคล้ายลิ้มที่มีความกว้างไม่เกิน 7 องศา มักจะมีการสะท้อนกลับที่สูงกว่าบริเวณรอบข้าง เพื่อลดทอนความคลาดเคลื่อนดังกล่าว โดย [11] ได้พัฒนาอัลกอริธึมที่ใช้สำหรับการตรวจจับ Spike ประเภท “Narrow” ที่มีความกว้างไม่เกิน 7 องศา โดยพิจารณาหาตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ที่จะเป็น Spike จากการตรวจสอบร่วมกับมุมอะซิมุทข้างเคียง (d) ที่ ± 3 อะซิมุท (α) ที่ระยะทางห่างจากสถานีเรดาร์ (l) เท่ากัน ดังสมการที่ (4) และจะตรวจสอบซ้ำที่ ± 2 และ ± 1 อะซิมุทข้างเคียง

$$\left(((Z(\alpha - d, l) = -32 \text{ dBZ}) \wedge (Z(\alpha, l) - Z(\alpha - d, l) > 10 \text{ dBZ})) \vee (\text{potential spike in gate } (\alpha - d, l)) \right) \wedge \left((Z(\alpha, l) - Z(\alpha + d, l) > 10 \text{ dBZ}) \right) \vee (\text{potential spike in gate } (\alpha + d, l)) \quad (4)$$

หากค่าการสะท้อนกลับมีความแตกต่างจากมุมข้างเคียงมากกว่า 10 dBZ จะถือว่าอะซิมุทนั้น เป็น Spike ทั้งอะซิมุท ถัดมาจะดำเนินการวิเคราะห์ในตำแหน่งที่มีความเป็นไปได้ที่จะเป็น Spike โดยหากอัตราส่วนของตำแหน่งที่ตรวจจบบว่าเป็น Spike ที่มีค่ามากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของแอมพลิจูดจะถือว่าทั้งอะซิมุทนั้นเป็น Spike [11]

3.2.2 Spike ประเภท “Shorter Longitudinal”

ประเภท “Shorter Longitudinal” มีลักษณะลิ้มของการสะท้อนกลับที่สั้น และโดยมากจะอยู่ในบริเวณที่มีกลุ่มฝน ในการลดความคลาดเคลื่อน โดย [12] ได้พัฒนาอัลกอริธึมสำหรับตรวจจับค่าการสะท้อนที่มีความยาวสั้นในพื้นที่ที่มีการสะท้อนกลับเป็นกลุ่มฝน โดยจะตรวจสอบจำนวนพิกเซลที่มีการสะท้อนกลับมากกว่า 7.0 dBZ และพิจารณาค่าการสะสมของจำนวนพิกเซลที่ติดกัน ดังสมการที่ (5)

$$(size_{along}(\varepsilon, \alpha, l) > 110) \text{ and } (size_{across}(\varepsilon, \alpha, l) < 8) \quad (5)$$

หากบริเวณที่มีการสะสมพิกเซลตามแนวตั้ง ($size_{along}$) มีจำนวนมาก และพิกเซลตามขวาง ($size_{across}$) มีค่าน้อย จะวิเคราะห์ว่าบริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่เกิด Spike ประเภท Shorter Longitudinal [12]

4. วิธีการศึกษา

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจจับ Spike ด้วยอัลกอริธึม

1) การวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิด Spike โดยการวิเคราะห์ห่มสะสมเป็นเหตุการณ์ต่อเนื่องในช่วงเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบในแต่ละสถานีเรดาร์ ดังตารางที่ 1 เพื่อหาตำแหน่งที่เกิด Spike อยู่เป็นประจำ ซึ่งจะปรากฏรูปแบบฝนมีลักษณะเป็นลิ้ม และมีค่าฝนเรดาร์สะสมสูงกว่าบริเวณรอบข้างอย่างชัดเจน และจะถูกพิจารณาในการลดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวต่อไป

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาการวิเคราะห์ประเภทและความถี่การเกิด Spike แต่ละสถานี

สถานีเรดาร์	ช่วงเวลาเริ่มต้น	ช่วงเวลาสิ้นสุด
สตึก	01/08/2564	31/08/2564
สมุทรสงคราม	01/08/2565	31/08/2565
พิมาย	01/10/2563	31/10/2563

2) การคัดแยกข้อมูลภาพเรดาร์ราย 15 นาที ที่มี Spike ประเภท Narrow และ Shorter Longitudinal ด้วยสายตา และนำมาคำนวณความถี่ในการเกิด Spike สำหรับแต่ละสถานีเรดาร์ จากเหตุการณ์ในตารางที่ 1

3) การประยุกต์ใช้อัลกอริธึมการตรวจจับ Spike ประเภท Narrow และ Shorter Longitudinal กับข้อมูลที่คัดแยกมา เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจจับ Spike แต่ละประเภท

4.2 การลดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ Spike ในข้อมูลฝนเรดาร์รายสถานี

เมื่อสามารถตรวจจับ Spike ได้อย่างมีประสิทธิภาพในขั้นตอนก่อนหน้า ขั้นตอนนี้คือการลบความคลาดเคลื่อนจาก Spike ที่ตรวจจับได้ลงและการตรวจสอบประสิทธิภาพของอัลกอริธึม โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) คัดเลือกเหตุการณ์ฝนสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของการลดความคลาดเคลื่อนของ Spike โดยพิจารณาเหตุการณ์ที่มีการพบ Spike ในข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ จำนวน 9 เหตุการณ์ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เหตุการณ์สำหรับการประเมินประสิทธิภาพการลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวน Spike

เหตุการณ์ที่	ช่วงเวลาเริ่มต้น	ช่วงเวลาสิ้นสุด	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
1	31/07/2565 18:00	31/07/2565 23:00	6
2	01/08/2565 13:00	01/08/2565 15:00	3
3	08/08/2565 05:00	08/08/2565 12:00	8
4	08/08/2565 20:00	09/08/2565 02:00	7
5	16/08/2565 20:00	17/08/2565 00:00	5
6	25/08/2565 21:00	25/08/2565 22:00	2
7	28/09/2565 22:00	29/09/2565 09:00	12
8	03/10/2565 15:00	03/10/2565 21:00	7
9	06/10/2565 15:00	06/10/2565 21:00	7

2) วิเคราะห์ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์แบบฉับพลันทันใด (Instantaneous) จากข้อมูลตรวจวัดของเรดาร์ทั้ง 3 สถานี ให้เป็นข้อมูลราย 1 นาที ด้วยเทคนิควิธีการประมาณค่าระหว่างช่วงให้มีการเปลี่ยนแปลงแบบเส้นตรงอย่างง่าย (simple linear interpolation, SLI)

3) การแปลงข้อมูลการสะท้อนกลับจากเรดาร์ของทั้ง 3 สถานี แบบชั่วขณะราย 1 นาที ให้เป็นความเข้มฝนราย 1 นาที ด้วยการประยุกต์ใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่สอบเทียบจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเรดาร์สตึกได้ใช้ความสัมพันธ์ $Z = 278 R^{1.5}$ เรดาร์พิมายใช้ความสัมพันธ์ $Z = 104 R^{1.5}$ และเรดาร์สมุทรสงครามได้ใช้ความสัมพันธ์ $Z = 82 R^{1.5}$ [8]

4) การสะสมปริมาณฝนเรดาร์ราย 1 นาทีให้เป็นปริมาณฝนเรดาร์สะสมราย 1 ชั่วโมงในแต่ละสถานีเรดาร์

5) การประยุกต์ใช้เทคนิคตรวจจับ Spike ประเภท Narrow และ Shorter Longitudinal กับข้อมูลรายชั่วโมง

6) กำจัดหรือลดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ Spike ในบริเวณที่ตรวจจับได้ และเติมข้อมูลในบริเวณดังกล่าวด้วยการ Interpolate ข้อมูลฝนเรดาร์จากอะซิมุทข้างเคียง เพื่อให้ได้ข้อมูลฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมง ที่ผ่านการลดความคลาดเคลื่อนของ Spike ในแต่ละสถานีเรดาร์ ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์ฝนเรดาร์คอมโพสิตรายชั่วโมงต่อไป

4.3 การวิเคราะห์น้ำฝนเรดาร์คอมโพสิตและการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยข้อมูลฝนจากสถานี

1) วิเคราะห์ค่าดัชนีเชิงคุณภาพในแต่ละปัจจัย ของเรดาร์แต่ละสถานี เพื่อคำนวณค่าดัชนีเชิงคุณภาพรวมตามสมการที่ (2)

2) การประยุกต์ใช้ข้อมูลฝนเรดาร์รายชั่วโมงที่ผ่านการลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike แล้วในหัวข้อ 4.2 เพื่อนำไปวิเคราะห์ฝนเรดาร์คอมโพสิตด้วยวิธีดัชนีเชิงคุณภาพตามสมการที่ 3 ให้ครอบคลุมทั้ง 9 เหตุการณ์ในตารางที่ 2

3) ประยุกต์ใช้ เทคนิค Hourly Mean Field Bias เพื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของฝนเรดาร์คอมโพสิต

4.4 การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike

ข้อมูลฝนเรดาร์คอมโพสิตที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน ถูกนำมาวิเคราะห์การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคที่ใช้ในการลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike ด้วยชุดเหตุการณ์ที่ทำการคัดเลือก โดยจะเปรียบเทียบข้อมูลฝนเรดาร์ (R_i) รายเหตุการณ์ ก่อนและหลังการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike และเปรียบเทียบข้อมูลน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน (G_i) ที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ถูกระบุว่าเป็น Spike เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนด้วย Root Mean Square Error (RMSE) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (6) และ Mean Bias Error (MBE) เพื่อวัดความเบี่ยงเบนเฉลี่ยของข้อมูลฝนเรดาร์ที่ประเมินเมื่อเทียบกับข้อมูลจากน้ำฝนจากสถานีซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (7)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (G_i - R_i)^2}{N}} \quad (6)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - R_i) \quad (7)$$

เมื่อ N คือจำนวนคู่ข้อมูลของน้ำฝนเรดาร์และข้อมูลน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดที่ใช้ในการพิจารณา

สำหรับกรณีศึกษาในการประเมินประสิทธิภาพฝนเรดาร์มีทั้งหมด 4 กรณี ดังนี้

1) ฝนเรดาร์ก่อนการกำจัด Spike

กรณีศึกษาได้นำข้อมูลฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงแต่ละสถานี ที่ไม่ผ่านเทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนของ Spike มาวิเคราะห์ปริมาณฝนเรดาร์คอมโพสิตที่ผ่านการปรับแก้ร่วมกับข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัด

2) ฝนเรดาร์หลังการกำจัด Spike ประเภท Narrow

กรณีศึกษาได้นำข้อมูลฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงแต่ละสถานี ที่ผ่านการประยุกต์ใช้เทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนของ Spike ประเภท "Narrow" เพียงประเภทเดียว และนำมาวิเคราะห์ปริมาณฝนเรดาร์คอมโพสิตที่ผ่านการปรับแก้ร่วมกับสถานีวัดน้ำฝน

3) ฝนเรดาร์หลังการกำจัด Spike ประเภท Shorter Longitudinal

กรณีศึกษาได้นำข้อมูลฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงแต่ละสถานี ที่ผ่านการประยุกต์ใช้เทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนของ Spike ประเภท "Shorter Longitudinal" เพียงประเภทเดียว และนำมาวิเคราะห์ปริมาณฝนเรดาร์คอมโพสิตที่ผ่านการปรับแก้ร่วมกับสถานีวัดน้ำฝน

4) ฝนเรดาร์หลังการกำจัด Spike ประเภท Narrow และ Shorter Longitudinal

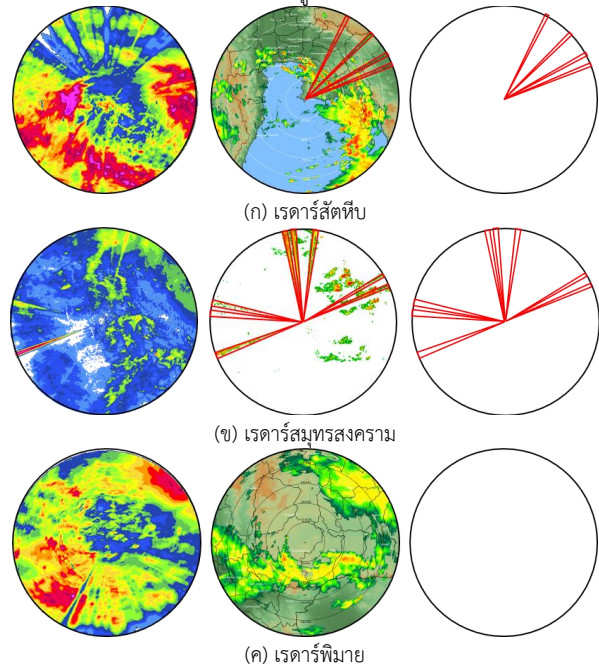
กรณีศึกษาได้นำข้อมูลฝนเรดาร์สะสมรายชั่วโมงแต่ละสถานี ที่ผ่านการประยุกต์ใช้เทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนของ Spike 2 ประเภทได้แก่ "Narrow" และ "Shorter Longitudinal" และนำมาวิเคราะห์ปริมาณฝนเรดาร์คอมโพสิตที่ผ่านการปรับแก้ร่วมกับสถานีวัดน้ำฝน

5. ผลการศึกษา

5.1 การวิเคราะห์พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวน Spike

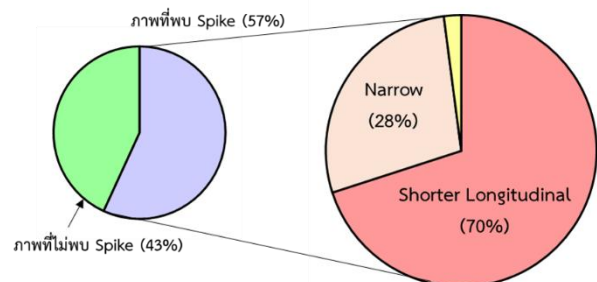
5.1.1 การวิเคราะห์ตำแหน่งและความถี่ของการเกิด Spike สำหรับเรดาร์แต่ละสถานีเรดาร์

การวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดสัญญาณรบกวนประเภท Spike ด้วยข้อมูลฝนสะสมเรดาร์จากเหตุการณ์ที่คัดเลือกสำหรับการระบุตำแหน่งที่เกิด Spike รายสถานีเรดาร์ พบว่าเรดาร์สัดหีบพบตำแหน่งของ Spike ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณทิศตะวันออก ขณะที่เรดาร์สมุทรสงครามพบ Spike มีการกระจายตัวอยู่ทั่วขอบเขตการตรวจวัดของเรดาร์ และเรดาร์พินายไม่พบความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก Spike แสดงให้เห็นพฤติกรรมการเกิด Spike ที่แตกต่างกันไปในแต่ละสถานีเรดาร์ดังรูปที่ 3



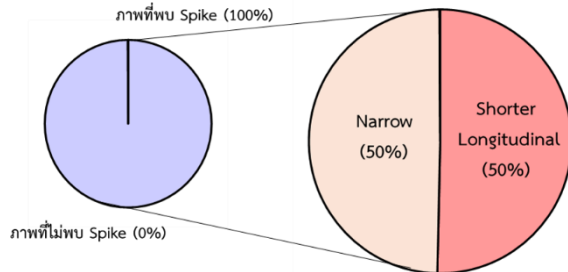
รูปที่ 3 ตำแหน่งการเกิดสัญญาณรบกวน Spike แต่ละสถานีเรดาร์

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวเนื่องจากเรดาร์พินายไม่พบตำแหน่งที่เกิดสัญญาณรบกวน Spike ในการศึกษานี้จึงดำเนินการวิเคราะห์ความถี่และประเภทการเกิด Spike ของเรดาร์เพียง 2 สถานีได้แก่ สถานีเรดาร์สัดหีบ และสถานีเรดาร์สมุทรสงคราม สำหรับผลการวิเคราะห์ความถี่และประเภทการเกิด Spike ของเรดาร์ ณ สถานีเรดาร์สัดหีบ และเรดาร์สมุทรสงคราม ด้วยชุดข้อมูล 1 เดือน พบว่า สถานีเรดาร์สัดหีบ ตรวจพบความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณ Spike คิดเป็น 57 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนภาพทั้งหมด โดยประเภทของ Spike ที่พบมากที่สุดคือ Shorter Longitudinal คิดเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวน Spike ทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในขณะที่ประเภท Narrow พบ 28 เปอร์เซ็นต์ และพบ Spike ประเภทอื่น ๆ เพียง 2 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนภาพทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ประเภทและความถี่การเกิด Spike เรดาร์สัดหีบ

สำหรับเรดาร์สมุทรสงครามตรวจพบสัญญาณ Spike เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือพบ Spike เกิดขึ้นในทุกภาพในรอบ 1 เดือน โดยพบ Spike ทั้งหมด 2 ประเภทได้แก่ Shorter Longitudinal และ Narrow คิดเป็นประเภทละ 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Spike ประเภทอื่น ๆ พบน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนภาพทั้งหมด ดังแสดงผลการศึกษาในรูปที่ 5

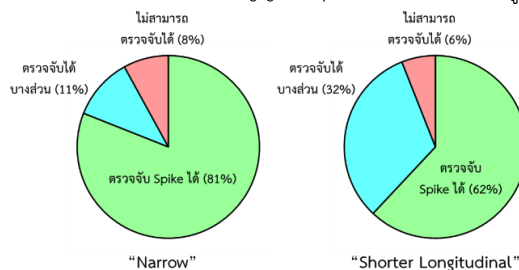


รูปที่ 5 การวิเคราะห์ประเภทและความถี่การเกิด Spike เรดาร์สมุทรสงคราม

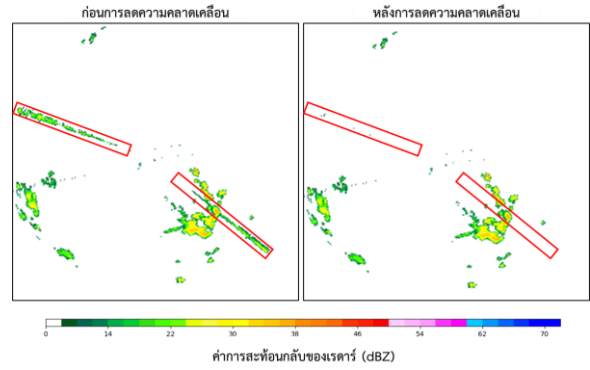
จากผลการวิเคราะห์ประเภทและความถี่การเกิด Spike พบว่าพบ Spike ประเภทของ “Shorter Longitudinal” และ “Narrow” เป็น 2 ประเภทที่พบได้บ่อยจากเรดาร์ทั้ง 2 สถานี และมีอัตราการเกิดสูงสุดซึ่งจะนำไปสู่การลดความคลาดเคลื่อนของ Spike ทั้งสองประเภทในลำดับถัดไป

5.2 ผลการประยุกต์ใช้อัลกอริธึมในการตรวจจับ Spike แต่ละประเภท

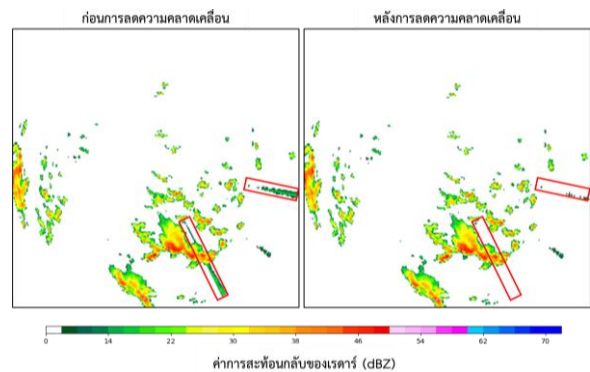
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตรวจจับ Spike ประเภท “Narrow” และ “Shorter Longitudinal” ด้วยอัลกอริธึม ร่วมกับข้อมูลภาพค่าการสะท้อนกลับที่พบ Spike แต่ละประเภทจากทุกสถานีเรดาร์ พบว่าการตรวจจับ Spike ประเภท “Narrow” สามารถตรวจจับ Spike ประเภทดังกล่าวได้มากถึง 81 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สามารถตรวจจับ Spike ได้บางส่วน 11 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถตรวจจับได้ เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนภาพทั้งหมด และการตรวจจับ Spike ประเภท “Shorter Longitudinal” สามารถตรวจจับ Spike ประเภทดังกล่าวได้มากถึง 62 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สามารถตรวจจับ Spike ได้บางส่วน 32 เปอร์เซ็นต์ และไม่สามารถตรวจจับได้ เท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ และแสดงตัวอย่างผลการประยุกต์ใช้เทคนิคตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนของ Spike แสดงดังรูปที่ 6 และแสดงตัวอย่างของภาพก่อนและหลังการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับ และลดความคลาดเคลื่อนสัญญาณ Spike แต่ละประเภทดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับสัญญาณ Spike แต่ละประเภท



ก) Spike ประเภท “Narrow”

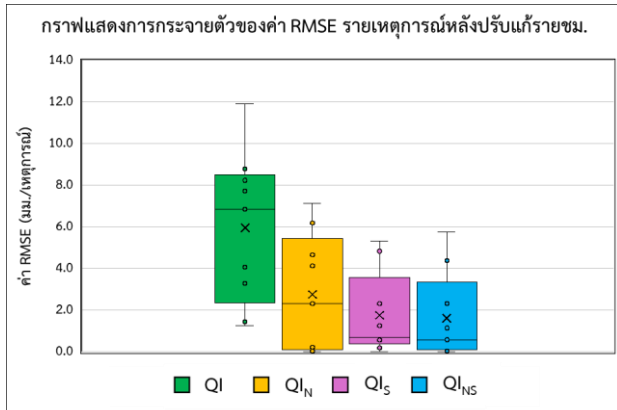


ข) Spike ประเภท “Shorter Longitudinal”

รูปที่ 7 ตัวอย่างข้อมูลค่าการสะท้อนกลับก่อนและหลังการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนสัญญาณ Spike

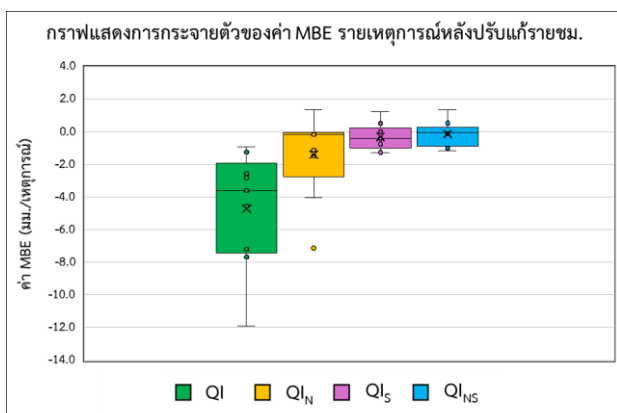
5.3 ประสิทธิภาพของการลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณ Spike

ผลการศึกษาพบว่าการใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก Spike สามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ โดยเมื่อพิจารณาจากความคลาดเคลื่อน RMSE ที่เกิดขึ้นพบว่าผลิตภัณฑ์ฝนเรดาร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวน Spike (QI) มีประสิทธิภาพแย่มากที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.96 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike เพียงประเภทเดียวได้แก่ “Narrow” (Q_N) และ “Shorter Longitudinal” (Q_S) สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ มีค่าเท่ากับ 2.77 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ และ 1.76 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike ทั้ง 2 ประเภท (Q_{NS}) ให้ประสิทธิภาพการประเมินฝนเรดาร์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.61 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจากผลิตภัณฑ์ฝนเรดาร์ QI มากถึง 72.9 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาประสิทธิภาพของฝนเรดาร์ผ่านสถิติ RMSE ของงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ พบว่าค่าเฉลี่ยของ RMSE มีช่วงของข้อมูลที่หลากหลายขึ้นอยู่กับความหนักเบาของเหตุการณ์ฝนที่นำมาพิจารณาและเทคนิคในการลดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว หากเป็นฝนหนักค่า RMSE สามารถสูงถึง 12 - 35 มิลลิเมตร/ชั่วโมง และหากเป็นฝนเฉลี่ยที่ลดลงทุกประเภทฝนจะค่าอยู่ในช่วง 3.2 - 6.3 มิลลิเมตร/ชั่วโมง [4, 8, 17-21] ทั้งนี้การศึกษานี้เป็นประเภทคลัสเตอร์ฝน ซึ่งนับว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา โดยแสดงแผนภูมิกราฟกล่อง (box plot) ของค่า RMSE ในผลิตภัณฑ์ฝนเรดาร์แต่ละกรณีดังรูปที่ 8



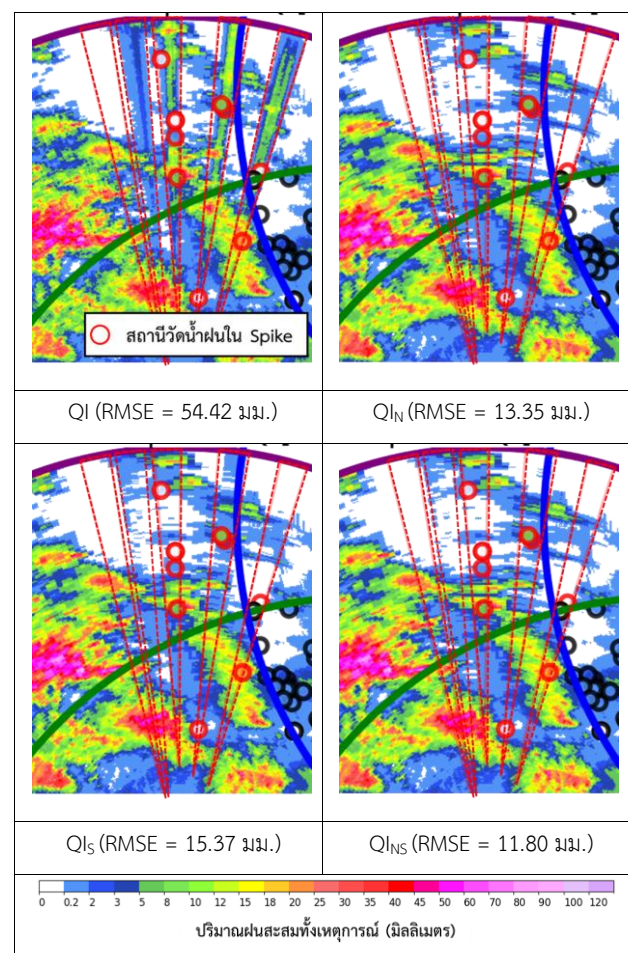
รูปที่ 8 แผนภูมิกราฟกล่องค่าความคลาดเคลื่อน RMSE ของผลิตภัณฑ์ฝนเรดาร์แต่ละกรณี

หากพิจารณาความคลาดเคลื่อน MBE ซึ่งเป็นดัชนีแสดงถึงทิศทางความคลาดเคลื่อน โดยหากค่ามากกว่า 0 จะแสดงถึงความคลาดเคลื่อนที่ต่ำเกินจริง (underestimation) ในทางตรงข้าม หากค่าน้อยกว่า 0 จะแสดงถึงความคลาดเคลื่อนที่สูงเกินจริง (overestimation) โดยผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ฝนเรดาร์คอมโพสิตที่ไม่ผ่านการลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike (QI) มีค่า MBE เฉลี่ยที่ต่ำที่สุด คือ -4.71 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ ซึ่งแสดงแนวโน้มของค่าฝนเรดาร์ที่ประเมินได้สูงกว่าข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike เพียงประเภทเดียวได้แก่ “Narrow” (QIN) และ “Shorter Longitudinal” (QIS) สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับแก้ มีค่าเท่ากับ -1.40 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ และ -0.29 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนจาก Spike ทั้ง 2 ประเภท (QINS) ให้ประสิทธิภาพการประเมินฝนเรดาร์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ -0.11 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของความคลาดเคลื่อนที่สูงเกินจริงได้มากที่สุดเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของค่า MBE ของงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง -0.4 ถึง 2.4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง [4, 22-23] จึงแสดงให้เห็นว่าผลจากการศึกษานี้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับต่ำ โดยแสดงแผนภูมิกราฟกล่อง (box plot) ของค่า MBE ของผลิตภัณฑ์ฝนเรดาร์แต่ละกรณีดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภูมิกราฟกล่องค่าความคลาดเคลื่อน MBE ของผลิตภัณฑ์ฝนเรดาร์แต่ละกรณี

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนแบบ Spike กับภาพเรดาร์คอมโพสิตก่อนและหลังการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวน Spike ในแต่ละกรณีในรูปแบบข้อมูลฝนเรดาร์รายเหตุการณ์สะสม โดยได้คัดเลือกตัวอย่างเหตุการณ์ฝนระหว่างวันที่ 6 เดือน ตุลาคม พ.ศ.2565 เวลา 15:00 น. ถึง 21:00 น. รวมระยะเวลา 6 ชั่วโมง และได้คัดเลือกบริเวณที่มีการตรวจพบ Spike เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเทคนิคดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งจากรูปผลิตภัณฑ์ QI ได้ตรวจพบ Spike อยู่ในบริเวณดังกล่าว และเมื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนของ Spike แต่ละประเภท พบว่า ยังมี Spike บางส่วนที่ยังคงหลงเหลืออยู่ แต่เมื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนของ Spike ทั้ง 2 ประเภท พบว่า Spike ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ถูกกำจัดไป และยังคงสภาพของกลุ่มฝนที่อยู่ในบริเวณ Spike ได้ดี



รูปที่ 10 การทดสอบประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนสัญญาณรบกวน Spike

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้สามารถสรุปผลได้ 4 ประเด็นสำคัญดังนี้คือ

- 1) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน Spike ถูกตรวจพบในข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์สัดหีบ และเรดาร์สมุทรสงครามเพียง 2 สถานี ซึ่งมีพฤติกรรมเกิดสัญญาณรบกวนที่เปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่และเวลา ซึ่งประเภทของ Spike ที่ถูกพบ และมีการเกิดซ้ำมากที่สุดในการ์ทั้ง 2 สถานีคือ Spike ประเภท “Narrow” และ “Shorter Longitudinal”

2) การทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจจับสัญญาณรบกวน Spike ประเภท “Narrow” และ “Shorter Longitudinal” ร่วมกับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยสามารถตรวจจับและลดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณรบกวน Spike ประเภท “Narrow” ได้ประมาณ 81 เปอร์เซ็นต์ และประเภท “Shorter Longitudinal” ประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในบางกรณีเทคนิคดังกล่าวไม่สามารถตรวจจับสัญญาณรบกวน Spike ได้เนื่องจากมีกลุ่มฝนเคลื่อนที่ผ่านบริเวณ Spike ซึ่งอาจส่งผลยากแก่การจับ Spike ได้เพียงบางส่วนหรือไม่สามารถกำจัดได้เลย

3) การประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจจับ Spike ร่วมกับข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์รายสถานีเพื่อหาตำแหน่งการเกิด Spike และลดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณรบกวน Spike ณ บริเวณดังกล่าวร่วมกับข้อมูลฝนเรดาร์รายชั่วโมง ของแต่ละสถานี แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องที่เพิ่มขึ้นหลังจากกระบวนการวิเคราะห์เรดาร์คอมโพสิตพร้อมปรับแก้ฝนเรดาร์เทียบกับข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัด มีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากยิ่งขึ้น โดยสามารถลดความคลาดเคลื่อน MBE จาก -4.71 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ เหลือเพียง -0.11 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ เมื่อเทียบกับฝนเรดาร์ก่อนการลดความคลาดเคลื่อนสัญญาณรบกวน Spike ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือในบริเวณที่มีการเกิดสัญญาณรบกวน ทั้งนี้หากพิจารณาความคลาดเคลื่อน RMSE เฉลี่ยรายเหตุการณ์พบว่า ความคลาดเคลื่อนลดลงไปจาก 5.96 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ เหลือเพียง 1.61 มิลลิเมตร/เหตุการณ์ คิดเป็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นประมาณ 72.9 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับข้อมูลก่อนการลดความคลาดเคลื่อนสัญญาณรบกวน Spike

4) จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวน Spike ในแต่ละเทคนิคมีจุดเด่นและข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกัน การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของเรดาร์แต่ละสถานีถือเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำในการลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณ Spike จึงควรมีการสอบเทียบพารามิเตอร์ของเทคนิคการลดความคลาดเคลื่อน Spike ให้สอดคล้องกับเรดาร์แต่ละสถานี เพื่อให้การลดความคลาดเคลื่อนมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งนำไปสู่การประเมินฝนเรดาร์ที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการขยายผลนำผลผลิตภัณฑเรดาร์ความถูกต้องสูงไปใช้เพื่อการพัฒนาาระบบเฝ้าระวังภัยฝนตกหนักแบบใกล้เวลาจริงตลอดจนการพัฒนาแบบคาดการณ์ภัยพิบัติอันเกิดจากฝน เช่น น้ำท่วมฉับพลันและดินถล่มได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนในด้านต่าง ๆ และขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดเรดาร์สมุทรสงคราม กรมฝนหลวงและการบินเกษตรสำหรับข้อมูลภาพเรดาร์สัทธิบ และเรดาร์พินาย รวมไปถึงสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) และกรมทรัพยากรน้ำสำหรับข้อมูลน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดแบบอัตโนมัติ

เอกสารอ้างอิง

[1] Overeem, A., Buishand, T. A., & Holleman, I. (2009). Extreme rainfall analysis and estimation of depth-duration-frequency curves using weather radar. *Water Resources Research*, 45(10). <https://doi.org/10.1029/2009WR007869>

[2] Hitschfeld, W., & Bordan, J. (1954). ERRORS INHERENT IN THE RADAR MEASUREMENT OF RAINFALL AT ATTENUATING WAVELENGTHS.

[3] Uijlenhoet, R., & Berne, A. (2008). Stochastic simulation experiment to assess radar rainfall retrieval uncertainties associated with attenuation and its correction. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(2), 587–601. <https://doi.org/10.5194/hess-12-587-2008>

[4] Mapiam, P. P., Methaprayun, M., Bogaard, T., Schoups, G., & Ten Veldhuis, M.-C. (2022). Citizen rain gauges improve hourly radar rainfall bias correction using a two-step Kalman filter. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(3), 775–794. <https://doi.org/10.5194/hess-26-775-2022>

[5] Mapiam, P. P., Sakulnurak, S., Methaprayun, M., Makmee, C., & Marjang, N. (2023). Downscaling the Z–R relationship and bias correction solution for flash flood assessment in a data-scarce basin, Thailand. *Water Science and Technology*, 87(5), 1259–1272. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.056>

[6] Villarini, G., & Krajewski, W. F. (2010). Review of the Different Sources of Uncertainty in Single Polarization Radar-Based Estimates of Rainfall. *Surveys in Geophysics*, 31(1), 107–129. <https://doi.org/10.1007/s10712-009-9079-x>

[7] ฐิธิ อรุณศรี และพรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปียม. 2022. การประเมินฝนเรดาร์ด้วยเทคนิคเรดาร์คอมโพสิตระหว่างสถานีเรดาร์สัทธิบและเรดาร์ระยอง

[8] ภาณุรัศม์ จิวรัตน์ และพรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปียม. 2023. การศึกษาประสิทธิภาพเรดาร์คอมโพสิตด้วยวิธีดัชนีคุณภาพภายใต้เครือข่ายเรดาร์สมุทรสงคราม เรดาร์สัทธิบ และเรดาร์พินาย

[9] Peura, M. (2002). Computer vision methods for anomaly removal. In *2nd European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD)* (pp. 312–317). Delft, Netherlands.

[10] Szturc, J., OŚródka, K., & Jurczyk, A. (2012). *Quality Control Algorithms Applied on Weather Radar Reflectivity Data*. <https://doi.org/10.5772/39000>

[11] OŚródka, K., Szturc, J., & Jurczyk, A. (2014). Chain of data quality algorithms for 3-D single-polarization radar reflectivity (RADVOL-QC system). *Meteorological Applications*, 21(2), 256–270. <https://doi.org/10.1002/met.1323>

[12] OŚródka, K., & Szturc, J. (2022). Improvement in algorithms for quality control of weather radar data (RADVOL-QC system). *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(2), 261–277. <https://doi.org/10.5194/amt-15-261-2022>

[13] Mapiam, P. P., Sriwongsitanon, N., Chumchean, S., & Sharma, A. (2009). *Effects of Rain Gauge Temporal Resolution on the Specification of a Z–R Relationship*. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHA1161.1>

[14] Mapiam, P. P., & Sriwongsitanon, N. (2008). Climatological Z-R relationship for radar rainfall estimation in the upper

- Ping river basin. *ScienceAsia*, 34(2), 215–222. Scopus. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2008.34.215>
- [15] Vaccarone, M., Chandrasekar, C. V., Bechini, R., & Cremonini, R. (2019). Survey on Electromagnetic Interference in Weather Radars in Northwestern Italy. *Environments*, 6(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/environments6120126>
- [16] Fabry, F., Bellon, A., Duncan, M. R., & Austin, G. L. (1994). High resolution rainfall measurements by radar for very small basins: The sampling problem reexamined. *Journal of Hydrology*, 161(1), 415–428. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90138-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90138-4)
- [17] ภาณุรักษ์ จิวรัตน์ และพรณพิมพ พุทธิรักษา มะเปยม (2024). การเพิ่มประสิทธิภาพของเรดาร์คอมโพสิตด้วยเทคนิคดัชนีคุณภาพและการพัฒนาเทคนิคการลดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนแบบ Spike. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 83 หน้า.
- [18] Hanchoo Wong, R., Weesakul, U., & Chumchean, S. (2012). Bias correction of radar rainfall estimates based on a geostatistical technique. *ScienceAsia*, 38(4), 373. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2012.38.373>
- [19] Hasan, M. M., Sharma, A., Mariethoz, G., Johnson, F., & Seed, A. (2016). Improving radar rainfall estimation by merging point rainfall measurements within a model combination framework. *Advances in Water Resources*, 97, 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.09.011>
- [20] Schleiss, M., Olsson, J., Berg, P., Niemi, T., Kokkonen, T., Thorndahl, S., Nielsen, R., Ellerbæk Nielsen, J., Bozhinova, D., & Pulkkinen, S. (2020). The accuracy of weather radar in heavy rain: A comparative study for Denmark, the Netherlands, Finland and Sweden. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(6), 3157–3188. <https://doi.org/10.5194/hess-24-3157-2020>
- [21] Oliaye, A., Kim, S.-H., & Bae, D.-H. (2023). A new approach to weather radar adjustment for heavy rainfall events using ANFIS-PSO. *Journal of Hydrology*, 617, 128956. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128956>
- [22] Kocsis, I., Irimuș, I.-A., Patriche, C., Bilașco, Ștefan, Maier, N., Roșca, S., Petrea, D., & Bartók, B. (2022). A GIS-Based Methodology to Combine Rain Gauge and Radar Rainfall Estimates of Precipitation Using the Conditional Merging Technique for High-Resolution Quantitative Precipitation Forecasts in Tibleș and Rodnei Mountains. *Atmosphere*, 13(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/atmos13071106>
- [23] Ryu, S., Song, J. J., & Lee, G. (2025). Radar–Rain Gauge Merging for High-Spatiotemporal-Resolution Rainfall Estimation Using Radial Basis Function Interpolation. *Remote Sensing*, 17(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/rs17030530>