



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ตามเวลารายชั่วโมงโดยประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์อมก๋อย

A modified inverse distance weighting method for finding hourly bias adjustment to increase the accuracy of Omkoi radar rainfall estimation

รัชเวช หาญชูวงศ์^{1*} วลัยรัตน์ บุญไทย¹ ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10530

² บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10230

Ratchawatch Hanchoo Wong^{1*} Walairat Bunthai¹ Siriluk Chumchean²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok 10530

² The Pann Building, Bangkok 10230

* Corresponding author.

E-mail: rhanchoo Wong@gmail.com; Telephone: 0972508989

วันที่รับบทความ 18 กันยายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 3 ตุลาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ 24 พฤศจิกายน 2563

บทคัดย่อ

อิทธิพลเนื่องจากความโค้งของโลก ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันประกอบกับเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการใช้สมการที่เหมาะสมในพื้นที่ในการประเมินปริมาณฝนอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ประเมินได้นี้เป็นปริมาณฝนที่อยู่ในอากาศ ยังไม่ใช่ปริมาณฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลการตรวจวัดฝนเรดาร์อมก๋อยที่มุมตรวจวัดที่ 1.5° ภายในรัศมีการตรวจวัด 240 กม. ร่วมกับข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน (สสน.) จำนวน 122 สถานี ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 คัดเลือกเหตุการณ์ฝนจำนวนทั้งหมด 126 เหตุการณ์ แบ่งเป็นเหตุการณ์สอบเทียบ 80% (100 เหตุการณ์) และเหตุการณ์ทวนสอบ 20% (26 เหตุการณ์) มาใช้วิเคราะห์หาค่าปรับแก้ตามเวลารายชั่วโมงเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนการประเมินฝนจากเรดาร์อมก๋อยรายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. จากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting โดยใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. ผลการศึกษาพบว่าการประเมินฝนเรดาร์อมก๋อยโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้ที่คำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting โดยใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. เป็นวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่า RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มีค่าน้อยที่สุดและ ค่า R (Correlation coefficient) ที่มีค่าใกล้ 1 มากที่สุดของทั้งเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าปรับแก้ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น เมื่อเทียบกับวิธีการปรับแก้วิธีการอื่นๆ และ เมื่อนำฝนเรดาร์ภายหลังการปรับแก้ด้วยวิธีดังกล่าวเทียบกับการประเมินฝนเรดาร์โดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 11.42% (4.39%), เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 21.83% (8.60%), เมื่อพิจารณาจากค่า MAE สามารถสามารถช่วยเพิ่มความ

ถูกต้องในการประเมินฝนได้ 3.82% (4.46%) และเมื่อพิจารณาจากค่า R สามารถสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 22.95% (18.03%) สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (ทวนสอบ) ตามลำดับ

คำสำคัญ

เรดาร์อ้อมก้อย การประเมินฝนเรดาร์ ค่าปรับแก้รายชั่วโมง สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ มุมตรวจวัด

Abstract

The effect of the Earth's curvature, various geographical features and the variability in each rainfall event results in different rainfall drop size distributions depending on timing. Therefore, using climatological Z-R relationship to estimate radar rainfall can lead to bias in its estimate seeing from the unequal amount of air rainfall and ground rainfall. This study uses rainfall data collected by 2 sources, first is Omkoi rainfall radar that is set at 1.5° elevation angle measuring under the radar's umbrella that covers 240 kilometers radius, and the other is 122 automatic rain gauge networks. The data had been recorded since January 2015 until October 2017. The collection of 126 selected rainfall events, 100 calibration events (80%) and 26 verification events (20%) had been taken into account to find hourly bias adjustment that is able to reduce the bias in grid cells in size 1x1 kilometer (1 km²) of Omkoi radar rainfall estimation. This research applies the Inverse Distance Weighting method that requires previous rainfall accumulating of various duration: 1 hour, 2 hours, 3 hours, 6 hours, 12 hours and 24 hours from both sources that locate no further than 20 kilometers from the targeted grid. The result of this study indicates that the rainfall estimate process with the application of the equation $Z=42R^{1.6}$ and the Inverse Distance Weighting method together with the previous rainfall accumulating of 1 hour from both sources, is the most suitable method for Omkoi radar rainfall estimate. This method gives the closest RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Square Error) and MAE (Mean Absolute Error) to 0, and closest R (Correlation coefficient) to 1 between estimation of radar rainfall after adjusted and rainfall at automatic rain gauge networks in both calibration and verification events. Comparing to initial radar rainfall estimating with the sole use of the equation $Z=42R^{1.6}$, this method can increase accuracy in RMSE evaluation to 11.42% (4.39%). In the meantime, other assessments those are MSE, MAE and R, also show that this method can increase the accuracy to 21.83% (8.60%), 3.82% (4.46%) and 22.95% (18.03%) in calibration and verification events, in order.

Keywords

Omkoi radar site; radar rainfall estimation; hourly bias adjustment, automatic rain gauge, elevation angle measuring

1. คำนำ

ประเทศไทยมักประสบปัญหาอุทกภัยอยู่บ่อยครั้ง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือ ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาในการขาดการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้องและมีระบบ ส่วนหนึ่งมาจากการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำต่างๆ จึงจำเป็นต้องทราบหรือสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่โดยรวมตามช่วงเวลาได้ ปัจจุบันมีเครื่องมือหลากหลายที่สามารถใช้ในการตรวจสอบสภาพอากาศ เรดาร์เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ได้รับนิยมนิยมาอย่างแพร่หลาย ด้วยคุณสมบัติของเรดาร์ที่สามารถตรวจวัดกลุ่มฝนได้อย่างต่อเนื่องพื้นที่ที่ฝนตกครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ และสามารถแสดงผลการตรวจวัดเป็นปริมาณฝนเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา เมื่อนำมาใช้ในการประเมินน้ำฝน

ร่วมกับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติ ภาคพื้นดินจะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นดินได้มากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้เรดาร์ในการตรวจวัดฝนยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เนื่องจากเรดาร์ไม่ได้ทำการตรวจวัดปริมาณฝนโดยตรง แต่ใช้ข้อมูลจากการวัดความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ (Radar Receiver) หลังจากทีคลื่นดังกล่าวกระทบกับเม็ดฝน ค่าความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่รับได้จาก Radar Receiver จะถูกแปลงมาเป็นค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity, Z) ซึ่งค่า Radar Reflectivity นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายตัวของเม็ดฝน (Rainfall Drop Size Distribution) ภายในปริมาตรของบรรยากาศหนึ่ง ๆ ที่สำรวจ โดยจะแสดงผลเป็นชั้นสีต่าง ๆ ในภาพเรดาร์ [1] เมื่อ

นำข้อมูล Radar Reflectivity มาใช้ในการประเมินปริมาณน้ำฝน ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นข้อมูลความเข้มฝน (R) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยที่เสนอแนะสำหรับพื้นที่ศึกษา [2] ทั้งนี้ก่อนที่จะนำค่า Radar Reflectivity มาใช้จะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลพร้อมทั้งปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลก่อน ขบวนการดังกล่าวมานี้จะเป็นขั้นตอนแรกในการลดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝนโดยเรดาร์ กล่าวคือข้อมูลการตรวจวัดฝนโดยเรดาร์ได้รับผลกระทบเนื่องจากความโค้งของโลก ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันประกอบกับเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน

ดังนั้นการใช้สมการ Z-R ที่เหมาะสมในการประเมินปริมาณฝนอาจยังมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ประเมินได้นี้เป็นปริมาณฝนที่อยู่ในอากาศ ยังไม่ใช่ปริมาณฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์หาค่าปรับตามเวลารายชั่วโมงเพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนการประเมินฝนจากเรดาร์รายกิโลเมตรขนาด 1 กม. X 1 กม. โดยประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting ร่วมกับใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. มาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา โดยการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจากเรดาร์รายกิโลเมตรขนาด 1 กม. X 1 กม. ที่พิจารณาปัจจัยผลกระทบตามระยะทางโดยพิจารณาเลือกข้อมูลฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดดังกล่าวไม่เกิน 20 กม. (หมายเหตุ : เนื่องจากลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกันส่งผลให้ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นจึงควรเลือกข้อมูลฝนเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่อยู่ใกล้กริดที่จะวิเคราะห์หาค่าปรับแก้เพื่อเป็นตัวแทนที่มีลักษณะพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับกริดที่จะวิเคราะห์หาค่าปรับแก้มากที่สุด และ

เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างกริดเรดาร์และตำแหน่งที่ตั้งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์อ้อมก้อยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 19.05 กม. การศึกษาครั้งนี้จึงพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดดังกล่าวไม่เกิน 20 กม. มาใช้ในการศึกษาครั้งนี้)

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมเหตุการณ์ฝนในช่วงระหว่างเดือน มกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 ที่ตรวจวัดภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์อ้อมก้อยชนิด Dual polarization แบบ S-band ตั้งอยู่ที่พิกัดเส้นรุ้ง พิกัดเส้นแวง 17° 47' 51.24" N เส้นแวง 98° 25' 59.11" E ที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,163 เมตร ดังรูปที่ 1 โดยข้อมูลการตรวจวัดฝนประกอบด้วยข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบ UF files (Universal format files) ที่บันทึกเป็นเวลาสากลเชิงพิกัด (Coordinated Universal Time, UTC) ซึ่งได้จากการแปลงข้อมูล Volume files ที่มีการตรวจวัดทุกๆ 6 นาที โดยใช้โปรแกรม EDGE version 5.0 ที่ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ (Unix) ณ สถานีเรดาร์อ้อมก้อย อำเภออ้อมก้อย จังหวัดเชียงใหม่, ข้อมูลที่จัดเก็บในรูปแบบภาพเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กม. ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2 และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ซึ่งในแต่ละเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาจะต้องมีข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่สอดคล้องกันและข้อมูลทั้งสองดังกล่าวจะต้องผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลตามเกณฑ์ที่นำเสนอในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของ (สสน.) ที่ตั้งอยู่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์อ้อมก้อยจำนวนทั้งหมด 122 สถานี ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ.

2560 ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนด้วยวิธี Double Mass Curve กล่าวคือ ทำการตรวจสอบคุณภาพ



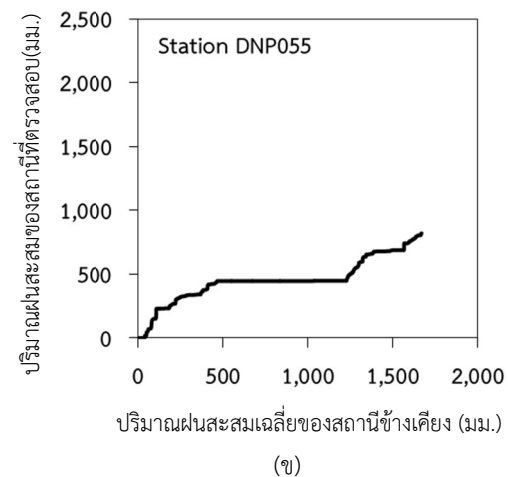
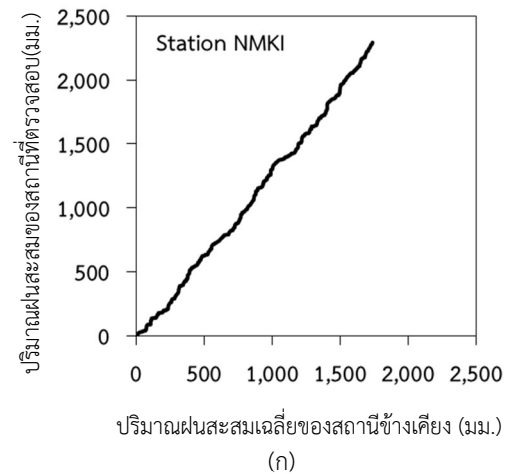
รูปที่ 1 ภาพสถานีเรดาร์รอมก้อยชนิด Dual polarization แบบ S-band



รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กม. ของข้อมูลการสะท้อนกลับของเรดาร์รอมก้อย เหตุการณ์ฝนวันที่ 19 สิงหาคม พ.ศ. 2559 เวลา 19.00 น. (UTC)

ข้อมูลฝน โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนสะสมรายชั่วโมงของสถานีที่ต้องการตรวจสอบกับค่าปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายชั่วโมงของสถานีข้างเคียง ถ้าข้อมูลสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ต้องการตรวจสอบพร้อมกับสถานีข้างเคียง ความลาดชันของเส้นกราฟ Double Mass Curve

จะต้องมีความลาดชันเพิ่มขึ้นแบบคงที่ รูปที่ 3 แสดงข้อมูลฝนที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ

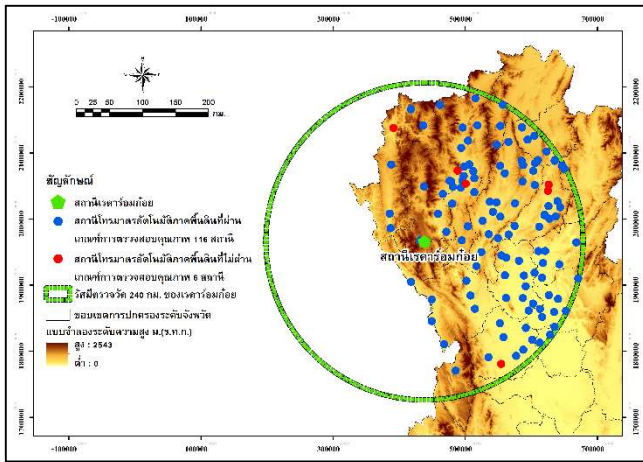


รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน (ก) ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล และ (ข) ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลด้วยวิธี Double mass curve

ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนรายชั่วโมงที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน พบว่ามีสถานีที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ 116 สถานี และสถานีที่ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ 6 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 4

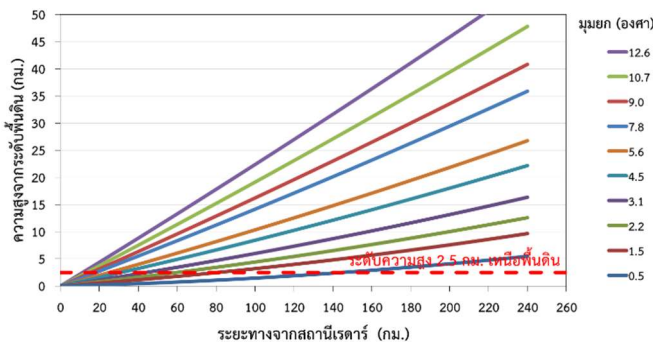
2.2 ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์รอมก้อย

ข้อมูลการสะท้อนกลับในการตรวจวัดฝนของเรดาร์รอมก้อยมีการตรวจด้วยมุมยกทั้งหมด 10 มุมตลอดทั้งปี (0.5°, 1.5°, 2.2°, 3.1°, 4.5°, 5.6°, 7.8°, 9.0°, 10.7° และ 12.6°)



รูปที่ 4 ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์ที่อมก๋อยที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝน

การตรวจวัดฝนที่มียุคที่ต่างกันนี้จะทำให้สามารถตรวจวัดกลุ่มเมฆฝนเหนือระดับพื้นดินที่ต่างกัน โดยความสูงของการตรวจวัดจะสูงจากพื้นดินมากขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะทางที่ห่างจากสถานีเรดาร์เพิ่มขึ้น ดังในรูปที่ 5 แสดงตัวอย่างมียุคที่ใช้ในการตรวจวัด 10 มุม ของเรดาร์อมก๋อย



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระยะตรวจวัดและระยะทางจากสถานีเรดาร์อมก๋อย

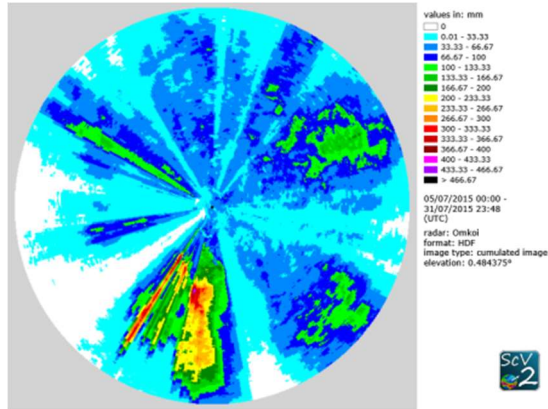
ในการประเมินฝนเรดาร์ให้มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินควรจะต้องใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่มีการตรวจวัดใกล้กับพื้นดินมากที่สุด แต่ทั้งนี้ข้อมูลที่เรดาร์ตรวจวัดจากมุมตรวจวัดที่ต่ำที่สุดจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางอื่นๆ ที่ไม่ใช่ฝน หรือที่กล่าวหาปัญหา Ground clutter ขณะที่การใช้มุมตรวจวัดที่สูงขึ้นทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground clutter ได้แต่ก็ทำให้เกิดข้อเสียเพราะตำแหน่ง

ตรวจวัดฝนมีค่าสูงจากพื้นดินมากขึ้นทำให้ตรวจวัดฝนได้น้อยกว่าความเป็นจริง การศึกษาครั้งนี้จึงพิจารณาเลือกมุมตรวจวัด 0.5°, 1.5°, 2.2° ที่ตรวจวัดใกล้พื้นดินมากที่สุดมาวิเคราะห์หามุมตรวจวัดที่เหมาะสมของเรดาร์อมก๋อย สำหรับใช้ในการประเมินฝน โดยมีหลักการในการพิจารณาเลือกมุมตรวจวัดที่เหมาะสมดังนี้ คือ มุมตรวจวัดที่ทำให้การตรวจวัดปริมาณฝนที่ครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์อมก๋อยมากที่สุด และได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหา Ground clutter และ Beam blockage น้อย ผลการตรวจสอบหามุมตรวจวัดที่เหมาะสมของเรดาร์อมก๋อย ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่ามุมตรวจวัดที่ 1 (0.5°) ซึ่งเป็นมุมตรวจวัดที่ต่ำที่สุดนั้นเกิดปัญหา Beam blockage เป็นจำนวนมาก เมื่อพิจารณามุมตรวจวัดที่ 2 (1.5°) เห็นได้ว่าปัญหา Beam blockage ลดลงและยังคงตรวจวัดได้ครอบคลุมกลุ่มฝน สำหรับมุมตรวจวัดที่ 3 (2.2°) ตรวจวัดฝนได้ไม่ครอบคลุมกลุ่มฝนโดยเฉพาะพื้นที่ที่อยู่ห่างจากสถานีเรดาร์มากๆ พบว่าตรวจวัดฝนได้น้อยกว่าปกติ ดังนั้นข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากมุมตรวจวัดที่ 2 (1.5°) จึงเป็นมุมตรวจวัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเรดาร์อมก๋อย การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จากมุมตรวจวัดที่ 1.5° ของเรดาร์อมก๋อยในช่วงระหว่าง มกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากปัญหา Ground clutter และ Beam blockage ที่ยังหลงเหลืออยู่โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

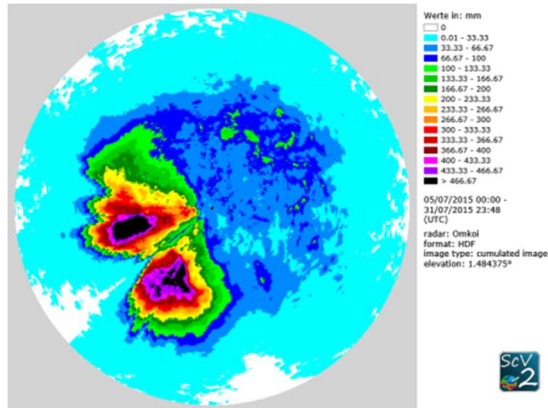
- ปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์เนื่องจากปัญหา Ground clutter

ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground Clutter เกิดจากสัญญาณของคลื่นเรดาร์กระทบกับวัตถุที่เป็นเป้าสะท้อนถาวรที่ไม่ใช่กลุ่มฝน เช่น ภูเขา หรือ อาคารสูง ที่อยู่บนพื้นดิน โดยการศึกษาจะทำการตรวจสอบกริดที่อยู่ในตำแหน่งของ Ground clutter โดยการใช้เรดาร์ตรวจวัดในช่วงเวลาที่ฝนไม่ตก ตำแหน่งกริดที่แสดงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มากกว่าศูนย์ ได้ถูกบันทึกไว้และถูกพิจารณาว่าเป็นตำแหน่งของ Ground clutter ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่ของ Ground clutter ค่าการสะท้อนกลับของกริดที่อยู่ในตำแหน่งของ Ground clutter จะถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณจากค่า

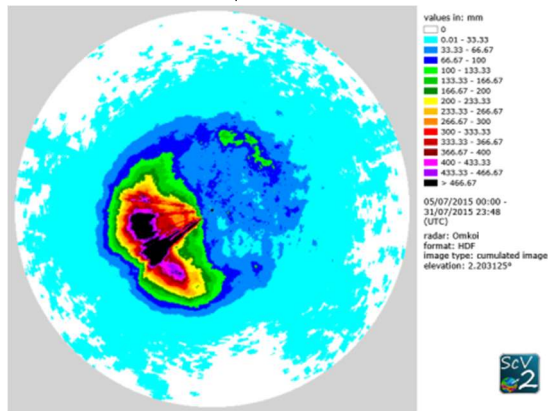
การสะท้อนกลับของเรดาร์ของกริดที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [3,4] รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างภาพเรดาร์ก่อนและหลังมีการปรับแก้ Ground clutter



(ก) มุมตรวจวัดที่ 1 (0.5°)

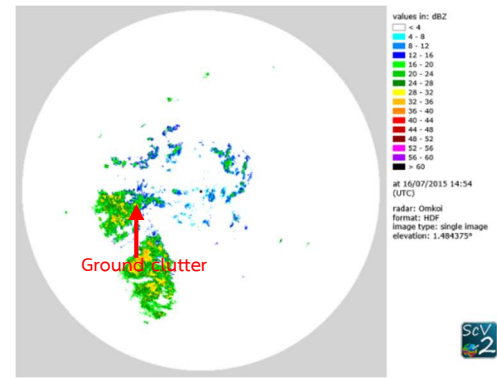


(ข) มุมตรวจวัดที่ 1 (1.5°)

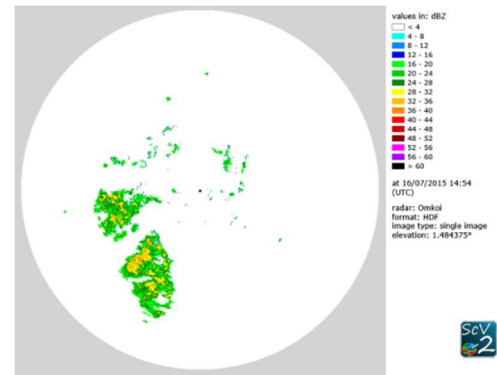


(ค) มุมตรวจวัดที่ 1 (2.2°)

รูปที่ 6 ตัวอย่างปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์รอบ ก่อจากมุกยก 3 มุม ของเหตุการณ์ฝนเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558



(ก) ก่อนปรับแก้ Ground clutter

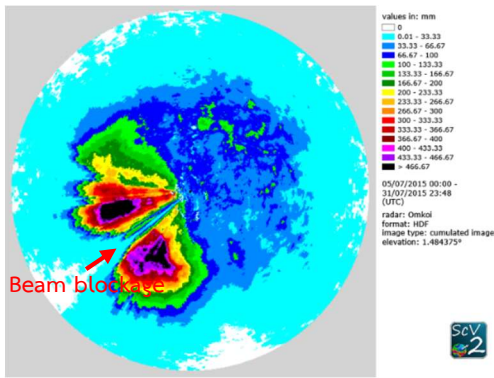


(ข) หลังปรับแก้ Ground clutter

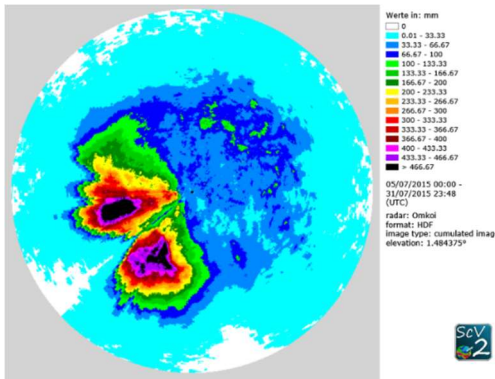
รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มุกยกก่อน ปรับแก้ และ (ข) หลังปรับแก้ Ground clutter ณ วันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 14:54 น. (UTC)

- ปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่า การสะท้อนกลับของเรดาร์เนื่องจากปัญหา Beam blockage

ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Beam blockage เกิดขึ้นในกรณีที่ลำคลื่นเรดาร์ตัดผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขา หรือป่าสะท้อนถาวรต่าง ๆ ทำให้ค่าการสะท้อนกลับของ เรดาร์ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางมีค่าน้อย กว่าปกติ ในการศึกษาได้นำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของ เรดาร์จากการตรวจวัดฝนสะสมรายเดือนมาพิจารณาหา ตำแหน่งกริดที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหา Beam blockage ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ณ กริดที่อยู่ใน ตำแหน่งของ Beam blockage ได้ถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณ จากค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ของกริดที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [3,4] รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างภาพเรดาร์ก่อนและ หลังมีการปรับแก้ Beam blockage



(ก) ก่อนปรับแก้ Beam blockage



(ข) หลังปรับแก้ Beam blockage

รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างแสดงปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์รอบก้อยของเหตุการณ์ฝนเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์รอบก้อยที่มุมตรวจวัดที่ 1.5° ที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพและปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground clutter และ Beam blockage เรียบร้อยแล้วถูกนำมาใช้ในการประเมินฝนเรดาร์รอบก้อยโดยใช้สมการ $Z = 42R^{1.6}$ จากการศึกษา [2] โดยในการศึกษาจะเลือกใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาผลกระทบเนื่องจากเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิดจากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53 dBZ [5] ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลพบว่าเหตุการณ์ฝนที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 มีทั้งหมด 126 เหตุการณ์ โดยแบ่งเหตุการณ์ฝนออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เหตุการณ์ฝนกลุ่มที่ 1) นำมาใช้ในการปรับเทียบ (Calibration) ในช่วงระหว่าง 9 มกราคม พ.ศ. 2558 ถึง 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 100

เหตุการณ์ (ประมาณ 80% ของจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด) นำมาวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจากเรดาร์รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ที่พิจารณาปัจจัยผลกระทบตามระยะทางโดยพิจารณาเลือกข้อมูลฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดดังกล่าวไม่เกิน 20 กม. ส่วนผลกระทบเวลาที่แตกต่างกันพิจารณาใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลังกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี คือใช้ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. และประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) มาใช้วิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมงเพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินน้ำฝนจากเรดาร์รอบก้อยที่เหมาะสม ส่วนเหตุการณ์ฝนกลุ่มที่ 2) ในช่วงระหว่าง 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึง 10 ตุลาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 26 เหตุการณ์ (ประมาณ 20% ของจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด) นำมาใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) ของค่าปรับแก้ที่หาค่าได้จากข้อมูลเหตุการณ์ฝนกลุ่มที่ 1

3. การวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจากเรดาร์รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ที่พิจารณาปัจจัยผลกระทบตามระยะทางและเวลาที่แตกต่างกันมาใช้วิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมงเพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินน้ำฝนจากเรดาร์รอบก้อย

การใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ที่เหมาะสมในพื้นที่ [2] ในการประเมินฝนจากข้อมูลเรดาร์รอบก้อยอาจยังมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ประเมินได้นี้เป็นปริมาณฝนที่อยู่ในอากาศ ยังไม่ใช่ปริมาณฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินซึ่งตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้อาจพิจารณาเป็นค่าความแตกต่างที่มีรูปแบบ (Systematic difference) ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินในตำแหน่งพิกัดที่สอดคล้องกัน สามารถที่จะกำจัดออกไปได้โดยการปรับแก้จากข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ซึ่งทำได้โดยการหาค่าปรับแก้ (Bias adjustment, G/R) จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน (G) ต่อปริมาณฝน

สะสมที่ได้จากเรดาร์ (R) ที่คำนวณจากสมการ $Z=42R^{1.6}$ เป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการปรับแก้ฝนจากเรดาร์ให้เทียบเท่าฝนบนพื้นดิน และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การหาค่าปรับแก้ (Bias adjustment, G/R) นี้สามารถคำนวณค่าได้ในวิธีที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น [6,7,8] ได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าปรับแก้ (G/R) ที่มีค่าคงที่ค่าเดียวทั้งพื้นที่ศึกษาซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนมากที่ตั้งอยู่ในพื้นที่และกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ [9,10,11,12,13] พบว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่ต่างกัน ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าปรับแก้ตามเวลา (ค่าปรับแก้รายชั่วโมง) [14,15] พบว่าเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ที่มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดน้ำที่ต่างกันเนื่องจากอิทธิพลของลักษณะของพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าปรับแก้ตามโซนพื้นที่ [16,17] อิทธิพลเนื่องจากความโค้งของโลกและการเพิ่มขึ้นของความกว้างของลำคลื่นเรดาร์ตามระยะทางส่งผลให้ความสูงและปริมาตรของบรรยากาศที่ทำการตรวจวัดฝนจากเรดาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากสถานีเรดาร์จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าปรับแก้ตามระยะทางและเวลา (ค่าปรับแก้ตามระยะทางรายชั่วโมง) การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจากเรดาร์รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ที่พิจารณาปัจจัยผลกระทบตามระยะทางโดยพิจารณาเลือกข้อมูลฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดดังกล่าวไม่เกิน 20 กม. ส่วนผลกระทบเวลาที่แตกต่างกันพิจารณาใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลังกรณีศึกษาทั้งหมด 6 กรณี คือ ใช้ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. และประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) มาใช้วิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมง ดังแสดงในสมการที่ 1

$$(G/R)_{\text{time}} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{G_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{R_i}{d_i}} \quad (1)$$

โดยที่

(G/R) time = ค่าปรับแก้ที่พิจารณาปัจจัยผลกระทบตามระยะทางและเวลา ณ ตำแหน่งกริดที่จะปรับแก้ของเหตุการณ์ฝนในชั่วโมง t
 G_i = ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ในชั่วโมง t (มม.)
 R_i = ปริมาณน้ำฝนที่คำนวณจากข้อมูลเรดาร์โดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ที่ตำแหน่งกริดเดียวกันกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ในชั่วโมง t (มม.)
 d_i = ระยะห่างระหว่างกริดที่จะปรับแก้กับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ในชั่วโมง t (ม.)
 N = จำนวนสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ในชั่วโมง t (มม.) ทั้งหมดที่อยู่ภายในรัศมี 20 กม. จากกริดที่จะปรับแก้

ค่าปรับแก้ G/R ที่คำนวณได้จากสมการที่ (1) จะถูกนำมาใช้เพื่อปรับแก้ปริมาณฝนจากเรดาร์ที่คำนวณได้จากการใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ โดยปริมาณฝนเรดาร์หลังปรับแก้ซึ่งพิจารณาให้มีค่าเทียบเท่ากับปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นดินสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\text{ปริมาณฝนเรดาร์หลังปรับแก้ (มม./ชม.)} = (G/R) \times \text{ปริมาณฝนเรดาร์ก่อนปรับแก้ (มม./ชม.)} \quad (2)$$

4. ผลการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจากเรดาร์รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ที่พิจารณาปัจจัยผลกระทบตามระยะทางและเวลาที่แตกต่างกันมาใช้วิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. รายชั่วโมงซึ่งคำนวณค่าจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ร่วมกับใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. เพื่อช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนจากเรดาร์รวมก้อยโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียว ผลการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ที่เหมาะสมในพื้นที่ศึกษาโดย

พิจารณาจากค่าสถิติ RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) และ R (Correlation coefficient) ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์รวมก่อนหลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาค่าปรับแก้ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) ของค่าปรับแก้ที่หาค่าได้ ดังแสดงในตารางที่ 1 ถึง 4 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่า RMSE ของกรณีการประเมินฝนเรดาร์รวมก่อนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่างๆ

สมการ Z-R	การปรับแก้	RMSE (มม./ชม.)	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=42R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	3.59	5.47
	ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม.	3.18	5.23
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ชม.	3.31	5.41
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ชม.	3.42	5.80
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ชม.	3.47	6.17
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ชม.	3.56	6.31
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ชม.	3.69	6.27

ตารางที่ 2 ค่า MSE ของกรณีการประเมินฝนเรดาร์รวมก่อนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่างๆ

สมการ Z-R	การปรับแก้	MSE (มม./ชม.) ²	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=42R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	12.92	29.89
	ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม.	10.10	27.32
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ชม.	10.99	29.31
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ชม.	11.72	33.60
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ชม.	12.02	38.05
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ชม.	12.66	39.82
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ชม.	13.63	39.34

ตารางที่ 3 ค่า MAE ของกรณีการประเมินฝนเรดาร์รวมก่อนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่างๆ

สมการ Z-R	การปรับแก้	MAE (มม./ชม.)	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=42R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	1.57	3.36
	ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม.	1.51	3.21
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ชม.	1.59	3.56
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ชม.	1.64	3.82
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ชม.	1.71	4.12
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ชม.	1.72	4.16
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ชม.	1.86	4.21

ตารางที่ 4 ค่า R ของกรณีการประเมินฝนเรดาร์รวมก่อนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่างๆ

สมการ Z-R	การปรับแก้	R	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=42R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	0.61	0.61
	ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม.	0.75	0.72
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ชม.	0.69	0.71
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ชม.	0.67	0.71
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ชม.	0.66	0.68
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ชม.	0.63	0.68
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ชม.	0.67	0.66

การประเมินฝนเรดาร์รวมก่อนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ โดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝนเรดาร์รวมก่อนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้รายชั่วโมงซึ่งคำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ร่วมกับใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. จะให้ผลค่า RMSE, MSE, MAE และ R ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ของ

เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าปรับแก้ และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นของค่าปรับแก้มีค่าแตกต่างกันในแต่ละกรณี ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ [9-17] ที่กล่าวว่าอิทธิพลเนื่องจากความโค้งของโลกและลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันประกอบกับ เหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่ต่างกันในแต่ละช่วงเวลาส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกันจึงควรมีการปรับแก้การประเมินฝนจากเรดาร์โดยใช้ค่าปรับแก้ตามเวลาเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนจากเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ผลการคัดเลือกค่าปรับแก้ตามเวลารายชั่วโมงที่เหมาะสมสำหรับใช้ปรับแก้การประเมินฝนเรดาร์โดยการใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ จะพิจารณาจากค่า RMSE, MSE, MAE และ R ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มีค่า RMSE, MSE และ MAE ที่น้อยที่สุดและ ค่า R ที่มีค่าใกล้ 1 มากที่สุด ของทั้งเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าปรับแก้ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น ผลจากค่า RMSE, MSE, MAE และ R ในตารางที่ 1 ถึง 4 พบว่าค่าปรับแก้ที่คำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ร่วมกับใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. เป็นค่าปรับแก้ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษามากที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับสมการ $Z=42R^{1.6}$ ในการประเมินฝนดังนี้

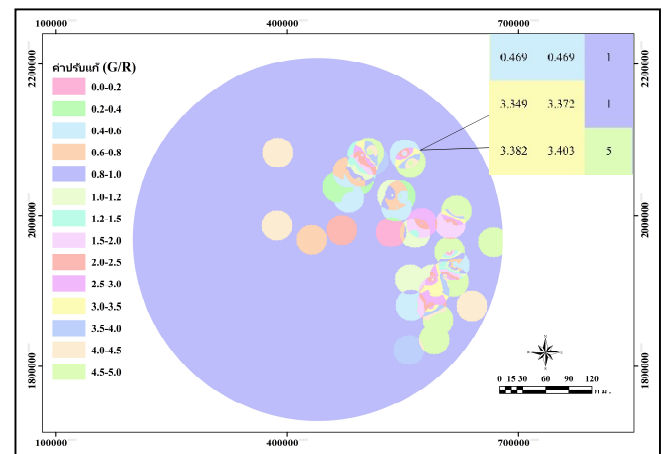
- เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE พบว่ามีค่า RMSE น้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 3.18 มม./ชม. และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 5.23 มม./ชม. เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้อื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษา

- เมื่อพิจารณาจากค่า MSE พบว่ามีค่า MSE น้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 10.10 (มม./ชม.)² และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 27.32 (มม./ชม.)² เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝน

โดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้อื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษา

- เมื่อพิจารณาจากค่า MAE พบว่ามีค่า MAE น้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 1.51 มม./ชม. และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 3.21 มม./ชม. เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้อื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษา

- เมื่อพิจารณาจากค่า R พบว่ามีค่า R ที่ใกล้เคียง 1 มากที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 0.75 และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 0.72 เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้อื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษา

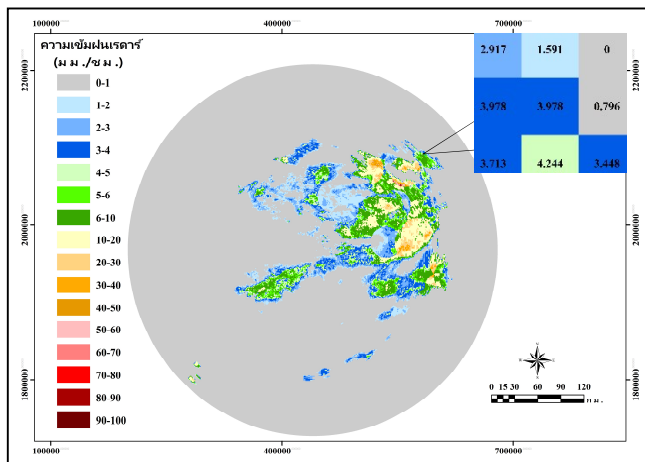


รูปที่ 9 แสดงค่าปรับแก้รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 15 ส.ค 2560 เวลา 12.06 น จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่เสนอแนะ

ผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าค่าปรับแก้ที่คำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ร่วมกับใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. เป็นค่าปรับแก้ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับสมการ $Z=42R^{1.6}$ การศึกษาครั้งนี้จึงประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้รายกริดขนาด 1 กม. X 1

กม. ตามเวลารายชั่วโมง ตัวอย่างในรูปที่ 9 แสดงค่าปรับแก้รายกริด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 15 ส.ค. 2560 เวลา 12.06 น

ผลการประเมินฝนเรดาร์รวมก้อยรายกริด ขนาด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 15 ส.ค. 2560 เวลา 12.06 น โดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้ที่คำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) โดยใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. แสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงความเข้มฝน (มม./ชม.) รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 15 ส.ค. 2560 เวลา 12.06 น จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้ที่คำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) ที่เสนอแนะ

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การประเมินฝนเรดาร์รวมก้อยโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ประเมินได้นี้เป็นปริมาณฝนที่อยู่ในอากาศยังไม่ใช้ปริมาณฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน

2) อิทธิพลเนื่องจากความโค้งของโลก ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันประกอบกับเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่ต่างกันในแต่ละช่วงเวลาส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกันจึงควรมีการปรับแก้การประเมินฝนจากเรดาร์โดยใช้ค่าปรับแก้ตามเวลาเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนจากเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากขึ้น

3) การประเมินฝนเรดาร์รวมก้อยโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้ที่คำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) โดยใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. ให้ผลการประเมินฝนที่ดีที่สุดโดยมีค่า RMSE, MSE, MAE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มีค่าน้อยที่สุดและ ค่า R ที่มีค่าใกล้ 1 มากที่สุด ของทั้งเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าปรับแก้ และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น

4) การประเมินฝนเรดาร์รวมก้อยโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้ที่คำนวณจากการประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) โดยใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ไม่เกิน 20 กม. เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 11.42% (4.39%) สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (ทวนสอบ), เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 21.83% (8.60%) สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (ทวนสอบ), เมื่อพิจารณาจากค่า MAE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 3.82% (4.46%) สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (ทวนสอบ) และ เมื่อพิจารณาจากค่า R สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 22.95% (18.03%) สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (ทวนสอบ) เมื่อเทียบกับการประเมินฝนเรดาร์รวมก้อยโดยใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้

5) การศึกษาในอนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษาในครั้งนี้คือจะประยุกต์ใช้วิธี Inverse Distance Weighting (IDW) โดยใช้ข้อมูลฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. จากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ห่างจากกริดที่จะปรับแก้ที่แตกต่างกันจากการศึกษารุ่นนี้ที่กำหนดไว้ที่ 20 กม. โดยจะทำการศึกษาที่ 30 กม., 40 กม., 50 กม. และ 60 กม. ผลการศึกษาจะถูก

นำมาตรวจสอบเพื่อเลือกค่าปรับแก้ที่จะใช้ในการประเมินฝน ร่วมกับการใช้สมการ $Z=42R^{1.6}$ ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา เพื่อเทียบกับการศึกษาในครั้งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบิน เกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของ เรดาร์มก้อยที่จัดเก็บในรูปแบบ CAPPI และ UF files และ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความ อนุเคราะห์ข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติ ภาคพื้นดิน และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่าง การศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น, รัชเวช หาญชูวงศ์. การปรับแก้การ ประเมินน้ำฝนจากเรดาร์โดยใช้ข้อมูลฝนจากสถานีวัด น้ำฝน. *การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15*. 2553.
- [2] สุดาใจ โล่ห์วนิชชัย, ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น, รัชเวช หาญชูวงศ์, วลัยรัตน์ บุญไทย, ธนัท นกเอี้ยงทอง, วิษณุ ก่อพิมพ์. *โครงการจ้างเหมาดำเนินการพัฒนาระบบประเมิน ปริมาณน้ำฝนและพยากรณ์ฝนล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูล เรดาร์ตรวจอากาศ ระยะที่ 2: พื้นที่ภาคเหนือ ภาค ตะวันออก ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคใต้*. สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การ มหาชน). 2561.
- [3] Michelson D, Einfalt T, Holleman I, Gjertsen U Friedrich K, Haase G, Lindskog M, Sztuc J. Weather radar data quality in Europe: quality control and characterization. *COST 717 Working Document WDF 20 200204 1*. 2004.
- [4] *SCOUT Documentation Version 3.32*. Hydro & meteo GmbH & Co. KG. Germany:2016,
- [5] Fulton RA, Breidenbach JP, Seo DJ, Miller DA, O'Brannon T. *The WSD-88D rainfall algorithm*. Weather Forecasting. 1998; 13: 377 -395.
- [6] Smith JA, Krajewski WF. Estimation of the mean field bias of radar rainfall estimates. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 1991; 30: 397 - 412.
- [7] Chumchuan S, Seed A, Sharma A. Correcting of radar mean field bias using Kalman filtering approach. *Journal of Hydrology*. 2006; 317: 123-137.
- [8] Silver M, Karnieli A, Marra F, Fredj E. An evaluation of weather radar adjustment algorithms using synthetic data. *Journal of Hydrology*. 2019 ; 576: 408-421.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Seo DJ. Real-time estimation of rainfall fields using radar rainfall and rain gage data. *Journal of Hydrology*. 1998; 208: 37-52.
- [12] Chumchuan 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: 67-79.
- [13] Rabiei E and Haberlandt U. Applying bias correction for merging rain gauge and radar data. *Journal of Hydrology*. 2015 ; 522: 544-557.
- [14] Koistinen J, Puhakka T. An improved spatial gauge- radar adjustment technique. In: *Proceeding of 20th Conference on Radar Meteorology, AMS*. 1981; 179-186.
- [15] Wood SJ, Jones DA, Moore RJ. Static and dynamic calibration of radar data for hydrological use. *Hydrology and Earth System Sciences*. 200; 4: 545-554.
- [16] Seo DJ, Breidenbach JP, Fulton T, Meller D, O'Brannon T. Real time adjustment of range dependent biases in WSR-88D rainfall estimates

due to non-uniform vertical profile of reflectivity.

Journal of Hydrometeorology. 2000; 1: 222-240.

- [17] Mckee JL, Binns AD. A review of gauge–radar merging methods for quantitative precipitation estimation in hydrology. *Canadian Water Resources Journal/ Revue canadienne des ressources hydriques*. 2016; 41: 186-203.