

การประยุกต์ทฤษฎีทิสเซนในการหาวิธีปรับแก้ตามพื้นที่และเวลา เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์พิมาย

Application of Thiessen Polygon Algorithm to Finding Local Time Bias Adjustment Method to Improve the Accuracy of Pimai radar rainfall Estimation

รัชเวช หาญชูวงศ์ วลัยรัตน์ บุญไทย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จ.กรุงเทพฯ 10530

E-mail: rhanchooowong@gmail.com

และ ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น

บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด จ.กรุงเทพฯ 10530

Manuscript received August 4, 2020

Revised November 29, 2020

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีปรับแก้เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์พิมาย ที่ตรวจวัดเหนือพื้นดินให้เทียบเท่าปริมาณฝนที่อยู่บนพื้นดิน การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดฝนเรดาร์พิมายที่มุมตรวจวัดที่ 1.5° ภายในรัศมีการตรวจวัด 240 กม. ร่วมกับข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน (สสน.) จำนวน 123 สถานี ในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 คัดเลือกเหตุการณ์ฝนจำนวนทั้งหมด 63 เหตุการณ์ แบ่งเป็นเหตุการณ์สอบเทียบ 80% (50 เหตุการณ์) และเหตุการณ์ทวนสอบ 20% (13 เหตุการณ์) มาใช้วิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. ที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า การประเมินฝนเรดาร์โดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่

ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. เป็นวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมที่สุด เมื่อนำฝนเรดาร์ภายหลังการปรับแก้ด้วยวิธีดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินพบว่าให้ค่า RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) ที่น้อยที่สุด และค่า R (Correlation coefficient) ที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุด ของทั้งเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น เมื่อเทียบกับวิธีการปรับแก้วิธีการอื่น ๆ และ เมื่อนำฝนเรดาร์ภายหลังการปรับแก้ด้วยวิธีดังกล่าวเทียบกับการประเมินฝนเรดาร์โดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 21.98% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 41.59% สำหรับเหตุการณ์ทวนสอบ ขณะที่เมื่อพิจารณาจากค่า MSE พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 39.18% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 65.90% สำหรับ

เหตุการณ์ทวนสอบ ขณะที่เมื่อพิจารณาจากค่า MAE พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 22.65% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 37.67% สำหรับเหตุการณ์ทวนสอบ และเมื่อพิจารณาจากค่า R พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 32.76% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 41.67% สำหรับเหตุการณ์ทวนสอบ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เรดาร์พินาย การประเมินฝนเรดาร์ วิธีปรับแก้ตามพื้นที่และเวลา

ABSTRACT

This article is aim to investigate a local time bias adjustment method to increase the accuracy of Pimai radar rainfall to be equivalent to ground rainfall. This study used radar rainfall at 1.5° elevation angle that measured under the radar's umbrella 240 kilometers during May to October 2017 and rain gauge rainfall record from the 123 automatic rain gauge network. Sixty-three rainfall events those are 50 calibration events (80%) and 13 verification events (20%), are taken to analyse local time bias adjustment method which vary on Thiessen Polygon area covering 20 kilometers radius from the automatic rain gauge station and previous rainfall accumulating of various duration: 1 hour, 2 hours, 3 hours, 6 hours, 12 hours and 24 hours. The results of this study showed radar rainfall estimating by using the equation $Z=9.0R^{1.6}$ together with local time bias adjustment method which vary on Thiessen Polygon area covering 20 kilometers radius from the automatic rain gauge station and previous rainfall accumulating of 1 hour is the most suitable method for Pimai radar rainfall estimation. This method gave the closest RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) to 0, and closest R (Correlation coefficient) to 1 between radar rainfall after adjusted and rainfall at automatic rain gauge stations in both calibration and verification events. In comparison to initial radar rainfall estimating by using the equation $Z=9.0R^{1.6}$, this method can increase the accuracy about 21.98% in the calibration and 41.59% in verification when considering from RMSE. In the aspect of MSE, the accuracy increased about 39.18% in calibration and 65.90% in verification. In the aspect of MAE, the accuracy increased about 22.65% in calibration and 37.67% in verification. Finally, for the R, the accuracy increased about 32.76% in calibration and to 41.67% in verification.

Keywords: Pimai radar, Radar rainfall estimation, Local time bias adjustment method

1. บทนำ

พื้นที่ศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์พินายพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงและพื้นที่เป็นแอ่งกระทะ โครงสร้างของดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายไม่อุ้มน้ำ จึงทำให้ประสบปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งและประสบปัญหาน้ำท่วมในช่วงฤดูฝนเป็นประจำ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบการบริหารจัดการน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเพื่อช่วยลดความเดือดร้อนของประชาชนในพื้นที่ ดังนั้นข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่จึงเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมากสำหรับการใช้ในการวางแผนบริหารจัดการน้ำ แต่เนื่องจากในพื้นที่มีสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ใช้ในการตรวจวัดฝนไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ ดังเช่น พื้นที่ป่าสัก พื้นที่ภูเขา และพื้นที่ทางไกลทำให้พื้นที่ดังกล่าวขาดแคลนข้อมูลปริมาณน้ำฝน ในปัจจุบันจึงนิยมนำเรดาร์ตรวจอากาศมาประยุกต์ใช้วัดปริมาณฝนมากขึ้นเนื่องจากเรดาร์ตรวจอากาศสามารถตรวจวัดกลุ่มฝนได้อย่างต่อเนื่องทันทีที่ฝนตกครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์ และให้ผลการตรวจวัดเป็นปริมาณฝนเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาเมื่อนำมาใช้ประเมินฝนร่วมกับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนที่ตกลงมายังพื้นดินได้มากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้เรดาร์ในการตรวจวัดฝนยังมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของความโค้งของโลกและการเพิ่มขึ้นของความกว้างของลำคลื่นเรดาร์ตามระยะทางส่งผลให้ความสูงและปริมาตรของบรรยากาศที่ทำการตรวจวัดฝนจากเรดาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากสถานีเรดาร์ ซึ่งทำให้ความคลาดเคลื่อนในการประเมินฝนจากเรดาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากสถานีเรดาร์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับแก้ฝนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ซึ่งเป็นฝนที่อยู่เหนือพื้นดิน ให้เทียบเท่ากับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเสียก่อน การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทิสเซนในการวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่ที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังในช่วงเวลา 1

ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. เพื่อหาวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมที่สุดที่จะช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนของเรดาร์พินายให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จึงเป็นที่มาของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

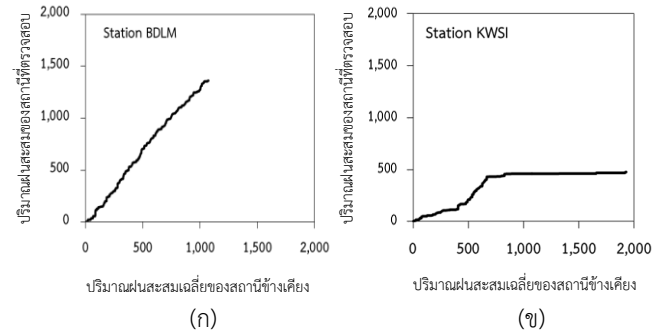
การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการรวบรวมเหตุการณ์ฝนในช่วงระหว่างพฤษภาคม เดือน ตุลาคม พ.ศ.2560 ที่ตรวจวัดภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์พินายชนิด Doppler แบบ S-band ของกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ตั้งอยู่ที่พิกัดเส้นรุ้ง $15^{\circ} 10' 55''$ N เส้นแวง $102^{\circ} 33' 55''$ E ที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 212 ม. อำเภอพินาย จังหวัดนครราชสีมา โดยข้อมูลการตรวจวัดฝนที่รวบรวมประกอบด้วยข้อมูลภาพการสะท้อนกลับของเรดาร์ CAPPI ที่ระดับความสูง 2.5 กม. และ Volume files จากมุมตรวจวัดที่ 1.5° ตรวจวัดทุก 6 นาที ที่บันทึกเป็นเวลาสากลเชิงพิกัด (Coordinated Universal Time, UTC) และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน และสำหรับเหตุการณ์ฝนที่คัดเลือกมาใช้ในการศึกษาจะต้องประกอบด้วยข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่สอดคล้องกัน และข้อมูลทั้งสองดังกล่าวจะต้องผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน

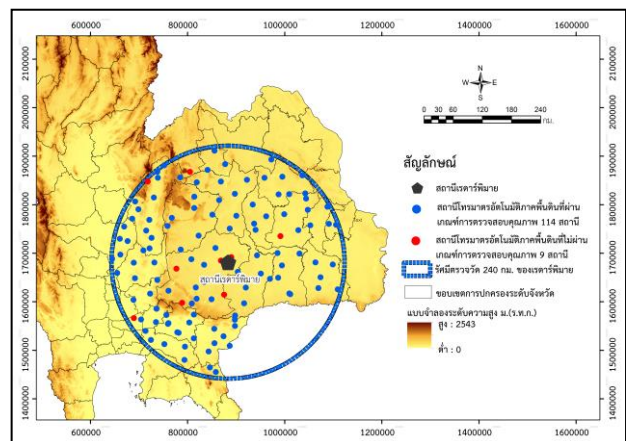
ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์พินายจำนวน 123 สถานี ด้วยวิธี Double Mass Curve กล่าวคือ ทำการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝน โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนสะสมรายชั่วโมงของสถานีที่ต้องการตรวจสอบกับค่าปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยรายชั่วโมงของสถานีข้างเคียง ถ้าข้อมูลสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ต้องการตรวจสอบพร้อมทั้งสถานีข้างเคียงมีความลาดชันของเส้นกราฟ Double Mass Curve จะต้องมีความลาดชันเพิ่มขึ้น

แบบคงที่ รูปที่ 1 แสดงข้อมูลฝนที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ

ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลฝนรายชั่วโมงที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน พบว่ามีสถานีที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ 114 สถานี และสถานีที่ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ 9 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างสถานีวัดน้ำฝน (ก) ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล และ (ข) ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลด้วยวิธี Double mass curve



รูปที่ 2 ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์พินาย ที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝน

2.2 ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์พินาย

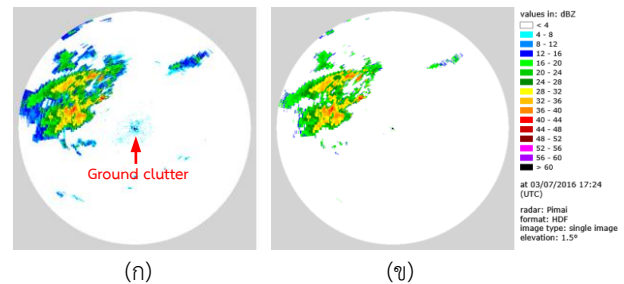
ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์พินายจากการตรวจวัดกลุ่มฝนจากการศึกษา [1] พบว่ามุมตรวจวัดที่ 1.5° เป็นมุมที่เหมาะสมสามารถตรวจวัดกลุ่มฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาภายใต้

รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์พินายมากที่สุด และมีผลกระทบเนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากสัญญาณที่ไม่ได้เกิดจากกลุ่มฝนซึ่งประกอบด้วยสัญญาณเนื่องจากปัญหา Ground clutter และ Beam blockage น้อยที่สุด การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำข้อมูลการตรวจวัดฝนของเรดาร์พินายที่มุมตรวจวัดที่ 1.5° ที่จัดเก็บในรูปแบบ Volume files ในช่วงระหว่างพฤษภาคม เดือน ตุลาคม พ.ศ.2560 มาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากสัญญาณเนื่องจากปัญหา Ground clutter และ Beam blockage ที่ยังหลงเหลืออยู่โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

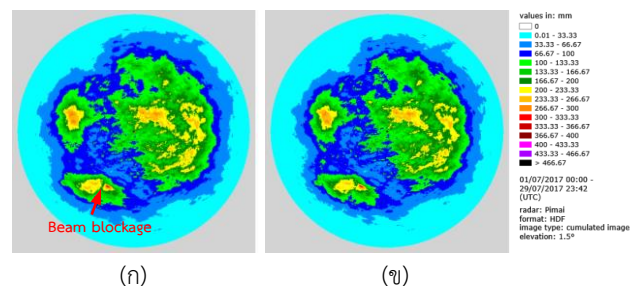
□ ปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์เนื่องจากปัญหา Ground clutter ปัญหาเนื่องจาก Ground clutter เกิดขึ้นจากคลื่นเรดาร์กระทบเป้าหมายที่มิใช่กลุ่มฝน ดังเช่น ภูเขา หรือ อาคารสูงที่อยู่บนพื้นดิน จะถูกปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ขบวนการ Ground clutter filter โดยนำข้อมูลจากแผนที่ Ground clutter map ซึ่งแผนที่ดังกล่าวจะถูกสร้างโดยการใช้เรดาร์ตรวจวัดในช่วงเวลาที่ฝนไม่ตก ตำแหน่งพิกเซลที่แสดงค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Reflectivity > 0) ในช่วงเวลาที่ฝนไม่ตกนั้น ได้ถูกบันทึกไว้และถูกพิจารณาว่าเป็นตำแหน่งของ Ground clutter ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่ Ground clutter ค่า Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Ground clutter จะถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณจากค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [2], [3] รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพเรดาร์ก่อนและหลังมีการปรับแก้ Ground clutter

□ ปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์เนื่องจากปัญหา Beam blockage ปัญหาเนื่องจาก Beam blockage จะเกิดขึ้นในกรณีที่ลำคลื่นเรดาร์ตัดผ่านสิ่งกีดขวางดังเช่น ภูเขา หรือเป้าหมายถาวรต่างๆ ส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Reflectivity) ที่ตรวจวัดในพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางมีค่าน้อยกว่าปกติ การปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนโดยนำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ จากการตรวจวัดฝนสะสมรายเดือนมาพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งที่เกิด Beam blockage ค่า Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Beam blockage ได้ถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณ

จากค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [2], [3] รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างภาพเรดาร์ก่อนและหลังมีการปรับแก้ Beam blockage



(ก) ก่อนปรับแก้ และ (ข) หลังปรับแก้ Ground clutter
รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์พินาย
ณ วันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 17:24 น. (UTC)



(ก) ก่อนปรับแก้และ (ข) หลังปรับแก้ Beam blockage
รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างแสดงปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้
จากเรดาร์พินายของเหตุการณ์ฝน เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์พินายที่มุมตรวจวัดที่ 1.5° ที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพและปรับแก้เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากสัญญาณเนื่องจากปัญหา Ground clutter และ Beam blockage เรียบร้อยแล้วถูกนำมาใช้ในการศึกษา โดยในการศึกษาจะเลือกใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาผลกระทบเนื่องจากเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิดจากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53 dBZ [4] ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลพบว่าเหตุการณ์ฝนที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพข้อมูลในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 มีทั้งหมด 63 เหตุการณ์ โดยแบ่งเหตุการณ์ฝนออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

เหตุการณ์ฝนกลุ่มที่ 1) นำมาใช้ในการปรับเทียบ (Calibration) ในช่วงระหว่าง 17 พฤษภาคม ถึง 6 สิงหาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 50 เหตุการณ์ (ประมาณ 80% ของจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด) นำมาวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. ที่เหมาะสม ส่วน**เหตุการณ์ฝนกลุ่มที่ 2)** ในช่วงระหว่าง 7 สิงหาคม ถึง 10 ตุลาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 13 เหตุการณ์ (ประมาณ 20% ของจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด) นำมาใช้ในการทดสอบความเชื่อมั่น (Verification) ของวิธีการปรับแก้ที่หาค่าได้จากข้อมูลเหตุการณ์ฝนกลุ่มที่ 1

3 การวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม.

การใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ที่เหมาะสม [1] ในพื้นที่ในการประเมินฝนเรดาร์พินายยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อน (Bias) หลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ประเมินได้เป็นปริมาณฝนที่อยู่เหนือพื้นดิน ยังไม่ใช่ปริมาณฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดินซึ่งตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้อาจพิจารณาเป็นค่าความแตกต่างที่มีรูปแบบ (Systematic difference) ระหว่างฝนเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินในตำแหน่งพิกัดที่สอดคล้องกัน สามารถที่จะกำจัดออกไปได้โดยการปรับแก้จากข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ซึ่งทำได้โดยการหาค่าปรับแก้ (Bias adjustment factor, G/R) จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนสะสมที่ได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน (G) ต่อปริมาณฝนสะสมที่ได้จากเรดาร์ (R) ที่คำนวณจากสมการ $Z-R$ ที่เหมาะสมในพื้นที่ การคำนวณหาค่าปรับแก้ (G/R) นี้สามารถทำได้โดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น [5], [6] ได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ (G/R) ที่มีค่าคงค่าเดียวทั้งพื้นที่ศึกษา ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีสถานีวัดน้ำฝนจำนวนมากที่ตั้งอยู่ในพื้นที่และกระจายครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ [7], [8], [9], [10] และ [11] พบว่าเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะ

การกระจายตัวของเม็ดฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ตามเวลา (ค่าปรับแก้รายชั่วโมง) [12, 13] อิทธิพลเนื่องจากความโค้งของโลกและการเพิ่มขึ้นของความกว้างของลำคลื่นเรดาร์ตามระยะทางส่งผลให้ความสูงและปริมาตรของบรรยากาศที่ทำการตรวจวัดฝนจากเรดาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากสถานีเรดาร์จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าปรับแก้ตามระยะทางและเวลา (ค่าปรับแก้ตามระยะทางรายชั่วโมง) การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์พินาย โดยมีรายละเอียดขั้นตอนในการวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประยุกต์ทฤษฎีทิสเซนในการกำหนดขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม., 2 ชม., 3 ชม., 6 ชม., 12 ชม. และ 24 ชม. สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

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

โดยที่

$(G/R)_{\text{time}}$ คือ ค่าปรับแก้ตามเวลา ณ ตำแหน่ง กริดที่จะปรับแก้ของเหตุการณ์ฝนในชั่วโมง t

G_i คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. ณ ตำแหน่ง กริด ที่ตั้งอยู่ในขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยม ทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่วัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ ชั่วโมง t (มม.)

R_i คือ ปริมาณน้ำฝนเรดาร์สะสมย้อนหลัง 1 ซม. 2 ซม. 3 ซม. 4 ซม. 6 ซม. 12 ซม. และ 24 ซม. ที่ประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ณ ตำแหน่งกริดเดียวกับสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ ชั่วโมง t (มม.)

N คือ จำนวนสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมด ณ ชั่วโมง t (มม.)

วิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้เพื่อปรับแก้ปริมาณฝนจากเรดาร์ ณ ตำแหน่งกริดขนาด 1กม. x 1กม. ที่ประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ โดยปริมาณฝนเรดาร์หลังปรับแก้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

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

4 ผลการวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ซม. 2 ซม. 3 ซม. 6 ซม. 12 ซม. และ 24 ซม.

ผลการวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ซม. 2 ซม. 3 ซม. 6 ซม. 12 ซม. และ 24 ซม. จะถูกนำมาตรวจสอบเพื่อเลือกวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประเมินฝนร่วมกับสมการ $Z=90R^{1.6}$ ในพื้นที่ศึกษาโดยพิจารณาจากค่าสถิติ RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) และ R (Correlation coefficient) ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อหาค่าปรับแก้และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) ของค่าปรับแก้ที่หาค่าได้ โดยผลการศึกษาสำหรับค่า RMSE, MSE, MAE และ R แสดงในตารางที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่า RMSE ของกรณีการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่าง ๆ

สมการ Z-R	การปรับแก้	RMSE (มม./ชม.)	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=90R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	5.05	5.17
	ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ซม.	3.94	3.02
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ซม.	4.08	3.20
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ซม.	4.16	3.54
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ซม.	4.33	3.71
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ซม.	4.53	3.80
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ซม.	4.95	4.07

ตารางที่ 2 ค่า MSE ของกรณีการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่าง ๆ

สมการ Z-R	การปรับแก้	MSE (มม./ชม.) ²	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=90R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	25.52	26.80
	ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ซม.	15.52	9.14
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ซม.	16.66	10.25
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ซม.	17.32	12.53
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ซม.	18.80	13.81
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ซม.	20.55	14.49
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ซม.	24.52	16.64

ตารางที่ 3 ค่า MAE ของกรณีการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่าง ๆ

สมการ	การปรับแก้	MAE (มม./ชม.)	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=90R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	2.87	3.00
	<u>ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม.</u>	<u>2.22</u>	<u>1.87</u>
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ชม.	2.36	2.00
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ชม.	2.45	2.23
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ชม.	2.63	2.36
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ชม.	2.75	2.47
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ชม.	2.98	2.67

ตารางที่ 4 ค่า R ของกรณีการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ต่าง ๆ

สมการ	การปรับแก้	R	
		เหตุการณ์ สอบเทียบ	เหตุการณ์ ทวนสอบ
$Z=90R^{1.6}$	ไม่มีการปรับแก้	0.58	0.60
	<u>ฝนสะสมย้อนหลัง 1 ชม.</u>	<u>0.77</u>	<u>0.85</u>
	ฝนสะสมย้อนหลัง 2 ชม.	0.75	0.84
	ฝนสะสมย้อนหลัง 3 ชม.	0.74	0.81
	ฝนสะสมย้อนหลัง 6 ชม.	0.73	0.82
	ฝนสะสมย้อนหลัง 12 ชม.	0.69	0.81
	ฝนสะสมย้อนหลัง 24 ชม.	0.65	0.78

ผลการศึกษาในตารางที่ 1 ถึง 4 พบว่าในการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ โดยไม่ปรับแก้ และการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝน

สะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. จะให้ผลค่า RMSE, MSE, MAE และ R ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ของเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าปรับแก้ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นของค่าปรับแก้มีค่าแตกต่างกันในแต่ละกรณี ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ [7], [8], [9], [10], [11] ที่กล่าวว่าเหตุการณ์ฝนในแต่ละเหตุการณ์มีลักษณะการกระจายตัวของเม็ดฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของฝนมีความแตกต่างกัน จึงควรมีการปรับแก้การประเมินฝนจากเรดาร์โดยใช้ค่าปรับแก้ตามเวลาเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนจากเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ผลการคัดเลือกวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาจะพิจารณาจากค่า RMSE, MSE, MAE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลังปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มีค่าน้อยที่สุดและ ค่า R ที่มีค่าใกล้ 1 มากที่สุด ของทั้งเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าปรับแก้ และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น โดยผลจากค่า RMSE, MSE, MAE และ R ในตารางที่ 1 ถึง 4 พบว่าวิธีปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. เป็นค่าปรับแก้ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษามากที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับสมการ $Z=90R^{1.6}$ ในการประเมินฝนดังนี้

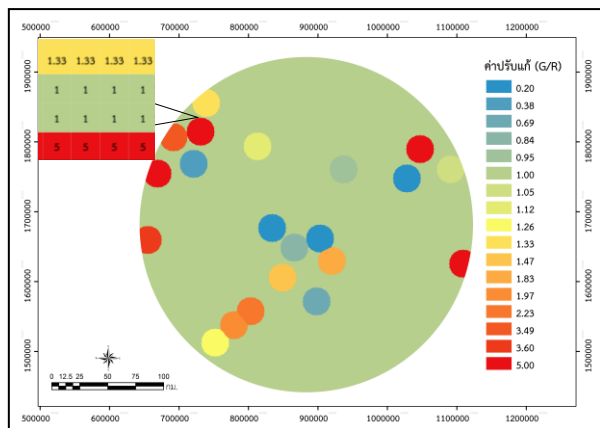
□ พิจารณาจากค่า RMSE พบว่ามีค่า RMSE น้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 3.94 มม./ชม. และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 3.02 มม./ชม. เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้อื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษา

□ พิจารณาจากค่า MSE พบว่ามีค่า MSE น้อยที่สุดสำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 15.52 (มม./ชม.)² และเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 9.14 (มม./ชม.)² เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้อื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษา

□ พิจารณาจากค่า MAE พบว่ามีค่า MAE น้อยที่สุดสำหรับ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 2.22 มม./ชม. และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 1.87 มม./ชม. เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียว โดยไม่ปรับแก้ และการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับ ค่าปรับแก้อื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษา

□ พิจารณาจากค่า R พบว่ามีค่า R ที่ใกล้เคียง 1 มากที่สุด สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบมีค่า 0.77 และ เหตุการณ์ ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นมีค่า 0.85 เมื่อเทียบกับการ ประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ และ การประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับค่าปรับแก้อื่นๆ ที่ใช้ในการศึกษา

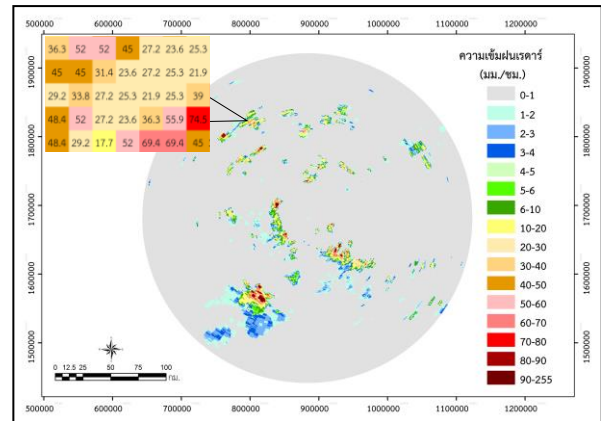
การศึกษาค้างนี้ได้การประยุกต์ใช้วิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยน ตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน และเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. หาค่าปรับแก้ราย กริด ขนาด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 29 มิ.ย. 2560 เวลา 9.00 น ดัง แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงค่าปรับแก้รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 29 มิ.ย. 2560 เวลา 9.00 น จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่เสนอแนะ

ผลการประเมินฝนเรดาร์พินายรายกริด ขนาด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 29 มิ.ย. 2560 เวลา 9.00 น โดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูป

หลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจาก สถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลัง ที่ช่วงเวลา 1 ชม. แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงความเข้มฝน (มม./ชม.) รายกริดขนาด 1 กม. X 1 กม. ในวันที่ 29 มิ.ย. 2560 เวลา 9.00 น จากการประเมินฝน โดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่เสนอแนะ

5 สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 1) การประเมินฝนเรดาร์พินายโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ยังคงมีค่า ความคลาดเคลื่อน (Bias) หลงเหลืออยู่เนื่องจากปริมาณฝนที่ ประเมินได้นี้เป็นปริมาณฝนที่อยู่เหนือพื้นดิน ยังไม่ใช้ปริมาณ ฝนที่เทียบเท่ากับฝนที่ตกบนพื้นดิน
- 2) การประเมินฝนเรดาร์พินายโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับ ค่าปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลาย เหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมี 20 กม. ที่ห่างจาก สถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลารายโดยใช้ฝน สะสมย้อนหลังที่ช่วงเวลา 1 ชม. ให้ผลการประเมินฝนที่ดีที่สุด โดยมีค่า RMSE, MSE, MAE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์หลัง ปรับแก้และปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ที่มีค่าน้อยที่สุดและ ค่า R ที่มีค่าใกล้ 1 มากที่สุด ของทั้ง เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบเพื่อหาค่าปรับแก้ และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น
- 3) เมื่อนำค่า RMSE จากการประเมินฝนเรดาร์พินายโดยใช้

- สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่ดีที่สุด เทียบกับค่า RMSE จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 21.98% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 41.59% สำหรับเหตุการณ์ทวนสอบ ตามลำดับ
- 4) เมื่อนำค่า MSE จากการประเมินฝนเรดาร์พินายโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่ดีที่สุด เทียบกับค่า MSE จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 39.18% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 65.90% สำหรับเหตุการณ์ทวนสอบ ตามลำดับ
 - 5) เมื่อนำค่า MAE จากการประเมินฝนเรดาร์พินายโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่ดีที่สุด เทียบกับค่า MAE จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 22.65% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 37.67% สำหรับเหตุการณ์ทวนสอบ ตามลำดับ
 - 6) เมื่อนำค่า R จากการประเมินฝนเรดาร์พินายโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ ร่วมกับวิธีการปรับแก้ที่ดีที่สุด เทียบกับค่า R จากการประเมินฝนโดยใช้สมการ $Z=90R^{1.6}$ เพียงอย่างเดียวโดยไม่ปรับแก้ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 32.76% สำหรับเหตุการณ์สอบเทียบ และ 41.67% สำหรับเหตุการณ์ทวนสอบ ตามลำดับ
 - 7) การศึกษาในอนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้ทฤษฎีทฤษฎีในการวิเคราะห์หาวิธีการปรับแก้ที่แปรเปลี่ยนตามขอบเขตพื้นที่อิทธิพลรูปหลายเหลี่ยมทิสเซนครอบคลุมพื้นที่ภายในรัศมีที่แตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่กำหนดไว้ที่ 20 กม. โดยจะทำการศึกษาที่ 30 กม., 40 กม. 50 กม. และ 60 กม. ที่ห่างจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินและเวลาโดยใช้ฝนสะสมย้อนหลังในช่วงเวลา 1 ชม. 2 ชม. 3 ชม. 6 ชม. 12 ชม. และ 24 ชม. จะถูกนำมาตรวจสอบเพื่อเลือกวิธีการปรับแก้ที่เหมาะสมเทียบกับการศึกษาในครั้งนี้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุดาใจ โล่ห์วนิชชัย ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น รัชเวช หาญชูวงศ์ วลัยรัตน์ บุญไทย ธนัท นกเอี้ยงทอง และวิษณุ ก่อพิมพ์, “โครงการจ้างเหมาดำเนินการ

- พัฒนาระบบประเมินปริมาณน้ำฝนและพยากรณ์ฝนล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ ระยะที่ 2: พื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้” 2561, สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.
- [2] D. Michelson, T. Einfalt, I. Holleman, U. Gjertsen, K. Friedrich, G. Haase, M. Lindskog and J. Sztuc, “Weather radar data quality in Europe: Quality control and characterization, COST 717 Working Document WDF_20_200204_1” 2004.
 - [3] ydro & meteo GmbH&Co. KG, “SCOUT Documentation Version 3.32”, Hydro & meteo GmbH & Co. KG, 2016, Germany.
 - [4] R.A. Futton, J.P. Breidenbach, D.J. Seo, D.A. Miller and T. O’Brannon, “The WSD-8 8 D rainfall algorithm. Weather Forecasting”, 1998, pp.13: 377 - 395.
 - [5] M. Steiner, J.A. Smith, S.J. Burges, C.V. Alonso and R.W. Darden, “Effect of bias adjustment and rain gauge data quality control on radar rainfall estimation” Water Resour Res, 1999, pp. 35: 2487 – 2503.
 - [6] Z.Y. Zhang, V. Koren, M. Smith, S. Reed and D. Wang “Use of next generation weather radar data and basindisaggregation to improve continuous hydrograph simulations” J Hydrolog Eng, 2004, pp. 9: 103 – 115.
 - [7] D.J. Seo, J.P. Breidenbach and E.R. Johnson, “Real-time estimation of mean field bias in radar rainfall data” J Hydrol, 1999, pp. 223: 131 – 147.
 - [8] S. Chumchuan, A. Sharma, A. Seed, “Radar rainfall error variance and its impact on radar rainfall calibration”, Phys. Chem.Earth, 2003, pp. 28: 27 – 39.
 - [9] Chumchuan, A. Sharma, A. Seed, “Correcting of real-time radar rainfall bias using a Kalman filtering approach”, J. Hydrol., 2006, pp 317, 123 – 137.
 - [10] S. Chumchuan, A. Sharma, A. Seed, “An integrated approach to error correction for real-time radar-rainfall estimation” J Atmos Ocean Tech, 2006, pp.23: 67 – 79.
 - [11] C. Yoo, J. Yoon, “A proposal of quality evaluation methodology for radar data”, Journal of The Korean Society of Civil Engineers, 2010, pp. 30: 429 – 435.
 - [12] E.N. Anagnostou, W.F. Krajewski and J.A. Smith, “Uncertainty quantification of mean-areal radar-rainfall estimates” J Atmos Ocean Tech, 1999, pp. 16: 206 – 215.
 - [13] รัชเวช หาญชูวงศ์, ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น และ อุรุยา วิสกุล, “ความคลาดเคลื่อนตามระยะทางของการประเมินน้ำฝนจากเรดาร์” การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, 2553, วันที่ 12 - 14 พฤษภาคม 2558 จ. อุบลราชธานี.



รัชเวช หาญชูวงศ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเกษตร และระดับปริญญาโทสาขาวิชา Water Resources Engineering จ า ก มหาวิทยาลัยขอนแก่น และระดับปริญญาเอกสาขา Civil Engineering จากมหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



วัลย์รัตน์ บุญไทย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และระดับปริญญาโทสาขา Soil Engineering จาก Asian Institute of Technology ปัจจุบันเป็น อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมชลประทาน จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระดับปริญญาโท สาขาวิชา Water Resources Development จาก Asian Institute of Technology และระดับปริญญาเอกสาขา Civil and Environmental Engineering จาก The University of New South Wales, Australia ปัจจุบันทำงานที่ บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด