

การวิเคราะห์หาสมการ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนเพื่อใช้ในการประเมินฝนเรดาร์สัตหีบ

Analysis of Z-R Relationship Equations Varying by Rain Cluster for Rainfall Estimation Using Sattahip Radar

รัชเวช หาญชูวงศ์^{1,*} และ ชนัญชิดา แหยมทอง²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร

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

บทคัดย่อ

เรดาร์ตรวจอากาศจะวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์เมื่อกระทบกับอนุภาคของเม็ดฝน ซึ่งค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์นี้จะแปรผันตามขนาดและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนเมื่อนำข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มาใช้ในการประเมินปริมาณฝน ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นข้อมูลความเข้มฝน (R (มม./ชม.)) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z=aR^b$) การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้งหมด 510 เหตุการณ์ในช่วงระหว่างวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน 110 สถานี และข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์สัตหีบ มาทำการวิเคราะห์หาวิธีการประเมินฝนที่เหมาะสมโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน, การประเมินฝนโดยใช้สมการ Z-R เฉลี่ย, $Z=300R^{1.4}$ และ $Z=200R^{1.6}$ ผลการศึกษาพบว่าวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามกลุ่มฝนตามค่าความเข้มฝนให้ผลการประเมินฝนของเรดาร์สัตหีบที่แม่นยำที่สุด เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติ RMSE, MSE และ MAE มีค่าใกล้เคียงศูนย์ที่สุด สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) และ สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) เมื่อเทียบกับวิธีการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดกลุ่มฝนตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, Z-R เฉลี่ย, $Z=300R^{1.4}$ และ $Z=200R^{1.6}$ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เรดาร์ตรวจอากาศ, ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, เม็ดฝน, เรดาร์สัตหีบ

Abstract

Weather radar measures the reflectivity of radar waves when they interact with raindrops. This radar reflectivity varies according to the size and distribution pattern of the raindrops. When using radar reflectivity data to estimate rainfall, this data is converted to rainfall intensity (R, (mm/hr)) using the Z-R relationship equation ($Z=aR^b$). This study collected data from 510 rainfall events between February 2, 2018, and August 31, 2020, comprising hourly rainfall from 110 automatic rain gauges and radar reflectivity within a 240 km radius of the Sattahip

radar. The data was analyzed to determine the most appropriate rainfall estimation method using various Z-R relationship equations: Z-R relationships that vary according to rain clusters based on radar reflectivity, Z-R relationships that vary according to rain clusters based on rainfall intensity measured by automatic rain gauges, climatological Z-R equation, $Z=300R^{1.4}$, and $Z=200R^{1.6}$. The results indicated that the rainfall estimation method using Z-R relationships that vary according to rain clusters based on rainfall intensity provided the most accurate rainfall estimation for the Sattahip radar. This was determined by examining the statistical values of RMSE, MSE, and MAE, which were closest to zero for both calibration and verification rainfall events, when compared to rainfall estimation methods using Z-R relationships that vary according to rain clusters based on radar reflectivity, climatological Z-R equation, $Z=300R^{1.4}$, and $Z=200R^{1.6}$ respectively.

Keywords: Weather Radar, Radar Reflectivity, Raindrops, Sattahip Radar

1. คำนำ

ประเทศไทยมักประสบปัญหาอุทกภัยบ่อยครั้ง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และพื้นที่ภาคกลางซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำที่ไหลจากเทือกเขาสูงทางภาคเหนือ รวมไปถึงปัญหากล้นน้ำที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปัญหาในการขาดการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างถูกต้องและมีระบบ ซึ่งการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำจำเป็นต้องทราบข้อมูลที่แสดงถึงปริมาณและการกระจายตัวของฝนทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ดังนั้นหากเราสามารถดำเนินการประเมินปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ได้ถูกต้อง จะช่วยให้การวางแผนบริหารจัดการน้ำในพื้นที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกี่ยวกับฝนนั้นมีความสลับซับซ้อนของขบวนการเป็นอย่างมาก ดังนั้นการตรวจวัดฝนโดยใช้สถานีวัดน้ำฝนที่มีความละเอียดเฉพาะจุด [1] ครอบคลุมพื้นที่ 200 cm^2 ส่งผลให้ขาดแคลนข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ถูกต้องเพื่อนำมาใช้ในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ จึงได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลด้วยเรดาร์ตรวจอากาศเข้ามาใช้ในการตรวจวัดปริมาณฝนซึ่งเรดาร์สามารถตรวจวัดฝนที่มีความละเอียดสูงในเชิงพื้นที่และเวลา ดังนั้นหากนำข้อมูลฝนเชิงพื้นที่ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ตรวจอากาศมาใช้ในการประเมินฝนร่วมกับข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะช่วยเพิ่มความถูกต้องใน

การประเมินฝนเชิงพื้นที่ที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากเรดาร์ตรวจอากาศไม่ได้ทำการตรวจวัดฝนโดยตรง แต่จะทำการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปทำการตรวจวัดฝนหลังจากที่คลื่นดังกล่าวกระทบกับเม็ดฝน คลื่นดังกล่าวจะสะท้อนกลับมายังเครื่องรับสัญญาณ (Radar Receiver) และถูกแปลงเป็นค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity, Z (มม.⁶/ม.³)) ซึ่งค่า Radar Reflectivity นี้จะแปรผันตามขนาดและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนภายในปริมาตรของบรรยากาศหนึ่ง ๆ ที่สำรวจ เมื่อนำข้อมูล Radar Reflectivity มาใช้ในการประเมินปริมาณฝน ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นข้อมูลความเข้มฝน (R (มม./ชม.)) โดยใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ($Z=aR^b$) จากขบวนการที่ซับซ้อนดังกล่าวจึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในขบวนการประเมินฝนด้วยเรดาร์ซึ่งประกอบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ และความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่ใช้แปลงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ให้เป็นความเข้มฝน ดังนั้นการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ เฉลี่ยในการประเมินฝนเรดาร์สถิติเพียงสมการเดียวยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา [2-5] ที่กล่าวว่าการใช้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ เฉลี่ยมีข้อจำกัดคือไม่สามารถเป็นตัวแทนของสมการความสัมพันธ์ที่แท้จริงของฝนที่แตกต่างกันได้ โดยความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีสาเหตุจากการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนและชนิดของฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ มีค่าแตกต่างกันและเพื่อที่ลดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวการศึกษาครั้งนี้จึงประยุกต์ใช้วิธีการศึกษา [6] ที่พิจารณาแยกชนิดกลุ่มฝนตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์แล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, [7] ที่พิจารณาแยกชนิดกลุ่มฝนจากความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินแล้วทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ เฉลี่ยของกลุ่มฝนในแต่ละช่วงความเข้มฝน, ตามลำดับ มาทำการศึกษหาสมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดกลุ่มฝนตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์, สมการความสัมพันธ์ $Z-R$ ที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดกลุ่มฝนตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน เพื่อนำมาใช้ในการประเมินฝนของเรดาร์ให้มีความถูกต้องมากที่สุดภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์สถิติ

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของสถานีเรดาร์ฝนหลวงสถิติ ชนิด Doppler radar แบบ S-band ตั้งอยู่ที่ อำเภอสถิติ จังหวัดชลบุรี พิกัดเส้นรุ้ง 12° 38' 56" N เส้นแวง 100° 57' 46" E ที่ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 174 เมตร ดังรูปที่ 1 โดยข้อมูลการตรวจวัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่ตรวจวัดฝนถูกจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ Volume files ที่บันทึกเป็นเวลาสากลเชิงพิกัด (Coordinated Universal Time, UTC) ที่มีการตรวจวัดทุกๆ 6 นาที จากมุมเงยที่ตรวจวัดทั้งหมด 14 มุมเงย ได้แก่ 0.5°, 1.5°, 2.4°, 3.4°, 4.3°, 5.2°, 6.2°, 7.5°, 8.7°, 10.0°, 12.0°, 14.0°, 16.7° และ 19.5° ตามลำดับ ในช่วงระหว่าง 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ที่จัดเก็บข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Radar Reflectivity, Z) ในรูปแบบ Volume files และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ซึ่งในแต่ละเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการศึกษาจะต้องมีข้อมูลการตรวจวัดฝนจากเรดาร์และข้อมูลฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่สอดคล้องกัน

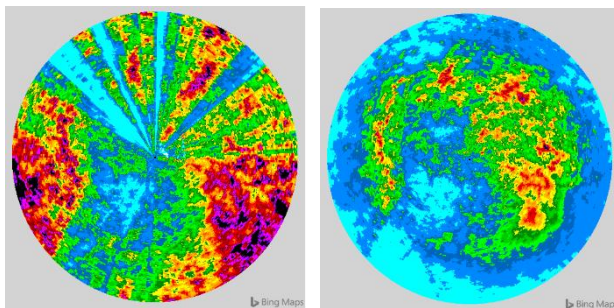
และข้อมูลทั้งสองดังกล่าวจะต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลก่อนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาดังนี้



รูปที่ 1 ภาพสถานีเรดาร์สถิติชนิด Doppler radar แบบ S-band

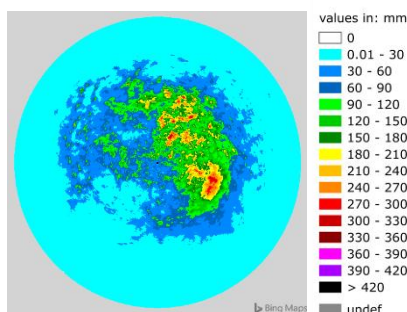
การศึกษานี้ได้ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลและปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์สถิติ ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหาคลื่นเรดาร์กระทบกับเป้าสะท้อนถาวร (Ground clutter) ดังเช่น ภูเขา อาคาร หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ที่อยู่บนพื้นดิน ซึ่งไม่ใช่กลุ่มฝน ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่ตรวจวัดได้ โดยในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัญหา Ground clutter สำหรับการศึกษาครั้งนี้ทำการจัดสร้างข้อมูลแผนที่ Ground Clutter Map ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Reflectivity) ที่อยู่ในตำแหน่ง Ground Clutter จะถูกปรับแก้ใหม่โดยคำนวณจากค่า Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [8-9], ในส่วนผลกระทบเนื่องจากปัญหาลำคลื่นเรดาร์กระทบกับเป้าสะท้อนถาวร ส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) ที่ตรวจวัดในพื้นที่ที่อยู่ด้านหลังสิ่งกีดขวางมีค่าน้อยกว่าปกติ การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการปรับแก้โดยนำข้อมูลค่า Radar Reflectivity จากการตรวจวัดฝนสะสมรายเดือนมาพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งที่เกิด Beam Blockage ค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งของ Beam Blockage ได้ถูกปรับแก้ใหม่ โดยคำนวณจากค่า Radar Reflectivity ของพิกเซลที่อยู่ข้างเคียงโดยวิธี Interpolation [8-9], ขณะที่ผลกระทบเนื่องจากพลังงานคลื่นเรดาร์ถูกดูดกลืน (Attenuation) เมื่อเคลื่อนที่ผ่าน ก๊าซในชั้นบรรยากาศ, ไอน้ำ, ออกซิเจน และ ปริมาณน้ำฝน [10-11] พลังงานของคลื่นเรดาร์ถูกดูดกลืนและมีค่าลดลง สำหรับความอ่อนไหวของสัญญาณคลื่นเรดาร์ต่อการลดลงของพลังงานขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นเรดาร์ที่ถูกส่งออกไป โดยการลดลงของพลังงานจะเป็นปัญหากับเรดาร์ประเภท X-band และ C-band ซึ่งมีความยาวคลื่น 2.5 และ 5.5 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่จะไม่ใช่ปัญหากับเรดาร์ประเภท S-band ที่มีความยาวคลื่น 10.7 เซนติเมตร [12] ดังนั้นสำหรับเรดาร์สถิติซึ่งเป็นเรดาร์ประเภท S-band จึงไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหา Attenuation และเพื่อหลีกเลี่ยงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) ตรวจสัญญาณที่ไม่ได้เกิดจากกลุ่มฝน จึงเลือกใช้เฉพาะข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิด

จากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีนี้ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53 dBZ [13] ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์สัทธิบภายหลังปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนจากมุมตรวจวัด 14 มุม ถูกนำมาคัดเลือกหามุมตรวจวัดที่เหมาะสมของเรดาร์สัทธิบจากมุมตรวจวัดที่ให้ค่าการตรวจวัดกลุ่มฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของเรดาร์สัทธิบประกอบกับสามารถตรวจวัดปริมาณฝนได้ใกล้เคียงกับปริมาณฝนที่ตรวจวัดจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมากที่สุด และ มีค่าความคลาดเคลื่อนภายหลังปรับแก้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์เนื่องจากปัญหา Ground Clutter และ Beam Blockage เหลือเหลือน้อยที่สุด ผลการตรวจสอบมุมตรวจวัดที่เหมาะสมของเรดาร์สัทธิบ แสดงตัวอย่างของมุมตรวจวัด 3 มุมที่ตรวจวัดใกล้พื้นดินมากที่สุด แสดงในรูปที่ 2 พบว่ามุมตรวจวัดที่ 1 คือ 0.5° ซึ่งเป็นมุมตรวจวัดที่ต่ำที่สุด นั้นยังคงเกิดปัญหาเนื่องจาก Beam Blockage เป็นจำนวนมากและเมื่อพิจารณามุมตรวจวัดที่ 2 คือ 1.5° เห็นได้ว่าปัญหาเนื่องจาก Beam Blockage ลดลงและยังคงตรวจวัดกลุ่มฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของสถานีเรดาร์ ขณะที่เมื่อพิจารณามุมตรวจวัดที่ 3 คือ 2.4° ตรวจวัดกลุ่มฝนครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของสถานีเรดาร์ได้น้อยลงเมื่อเทียบกับมุมตรวจวัดที่ 2 จากเหตุผลดังกล่าวเมื่อพิจารณาด้านคุณภาพของข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่ภายหลังการปรับแก้แล้วจะต้องลดค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากปัญหา Ground Clutter และ Beam Blockage ให้เหลือน้อยที่สุด และ ต้องตรวจวัดกลุ่มฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัดของสถานีเรดาร์สัทธิบให้มากที่สุดเมื่อเทียบกับมุมตรวจวัดอื่นๆ ดังนั้นข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์จากมุมตรวจวัดที่ 2 จึงเป็นมุมตรวจวัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเรดาร์สัทธิบ



(ก) มุมตรวจวัดที่ 0.5°

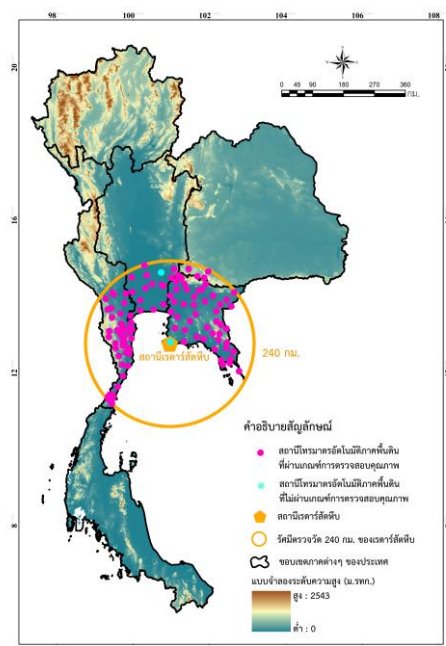
(ข) มุมตรวจวัดที่ 1.5°



(ค) มุมตรวจวัดที่ 2.4°

รูปที่ 2 ตัวอย่างปริมาณฝนสะสมรายเดือนที่ตรวจวัดได้จากเรดาร์สัทธิบจากมุมยก 3 มุม ของเหตุการณ์ฝนเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบด้วยวิธี Double Mass Curve และ มีค่าสถิติ R-squared ที่มากกว่า 0.90 สำหรับรายละเอียดของการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลน้ำฝนด้วยวิธี Double Mass Curve จะพิจารณานำข้อมูลน้ำฝนสะสมรายชั่วโมงของสถานีที่ต้องการตรวจสอบกับค่าปริมาณน้ำฝนสะสมรายชั่วโมงเฉลี่ยของสถานีข้างเคียงมาพล็อตกราฟ ถ้าข้อมูลของสถานีที่ต้องการตรวจสอบพร้อมทั้งสถานีข้างเคียงความลาดชันของเส้นกราฟ Double Mass Curve จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหรือความชันมีค่าเพิ่มขึ้นแบบคงที่ ขณะที่การวิเคราะห์หาค่า R-squared ของสถานีที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลน้ำฝนจะพิจารณานำข้อมูลน้ำฝนสะสมรายชั่วโมงของสถานีที่ต้องการตรวจสอบกับค่าปริมาณน้ำฝนสะสมรายชั่วโมงเฉลี่ยของสถานีข้างเคียงมาทำการวิเคราะห์หาค่าเช่นกัน ถ้าข้อมูลฝนของสถานีที่ต้องการตรวจสอบพร้อมทั้งสถานีข้างเคียงจากผลการตรวจสอบด้วยวิธี Double Mass Curve และมีค่าสถิติ R-squared ที่มากกว่า 0.90 จะพิจารณาให้สถานีที่ต้องการตรวจสอบนั้นผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพ ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่รวบรวมข้อมูลตั้งแต่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 จำนวนทั้งหมด 110 สถานี ซึ่งได้ถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพข้อมูลพบว่ามีสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจำนวน 108 สถานี และไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจำนวน 2 สถานี เพื่อให้การประเมินปริมาณน้ำฝนโดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศมีความแม่นยำ การศึกษาค้นคว้านี้จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล และไม่ได้ตั้งอยู่ในพื้นที่เรดาร์ตาบอดของเรดาร์สัทธิบ (พื้นที่ภายในรัศมี 10 กม. จากสถานีเรดาร์) เนื่องจากในพื้นที่เรดาร์ตาบอดเรดาร์จะตรวจวัดฝนได้น้อยกว่าความเป็นจริง สถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภายใต้รัศมีการตรวจวัด 240 กม. ของเรดาร์สัทธิบที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลปริมาณน้ำฝน

3. การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R

ข้อมูลเหตุการณ์ฝนทั้ง 510 เหตุการณ์ในช่วงระหว่างวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ถูกนำมาวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R โดยใช้วิธี Regression ซึ่งหลักการของวิธี Regression คือต้องคัดเลือกคู่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radar Reflectivity) และค่าความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกันมาใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R โดยในการศึกษาจะเลือกใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่มีค่ามากกว่า 15 dBZ และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาผลกระทบเนื่องจากเรดาร์ตรวจสัญญาณที่เกิดจากลูกเห็บ ดังนั้นในกรณีที่ค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์มีค่ามากกว่า 53 dBZ จะถูกพิจารณาให้มีค่าเท่ากับ 53 dBZ [13] และพิจารณาใช้ค่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่มากกว่า 0.2 มม./ชม. และเลือกใช้วิธีในการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินเพื่อให้ได้คู่ Z-R ในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน โดยแบ่งการสุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ **ข้อมูลกลุ่มที่ 1** จะทำการสุ่มเลือกสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจาก 80% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน ผลลัพธ์ที่ได้คือข้อมูล Z-R มาใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ($Z=aR^b$) **ข้อมูลกลุ่มที่ 2** สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่วิเคราะห์ได้ในข้อมูลกลุ่มที่ 1 ถูกนำมาทวนสอบความเชื่อมั่นโดยข้อมูล Z-R ของสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินที่เหลือจากข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 20% จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินทั้งหมดในแต่ละเหตุการณ์ฝนในแต่ละวัน จากงานวิจัยที่ผ่านมา [14-16] ใช้เครื่องมือ Disdrometer วัด Drop Size Distribution (DSD) และเมื่อทราบข้อมูล DSD นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R , [17-18] พบว่าค่าพารามิเตอร์ b ที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนของสมการ Z-R คือ $b=1.6$ และในทำนองเดียวกันจากการศึกษา [19] พบว่าค่าพารามิเตอร์ b ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ระหว่างฝนจากเรดาร์และฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมากนัก และจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาในช่วงต้น สามารถสรุปได้ว่าค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และค่าความเข้มฝน มีความสัมพันธ์กับลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนในแต่ละกลุ่มฝน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R โดยพิจารณาใช้ค่าพารามิเตอร์ b คงที่เท่ากับ 1.6 [17-18] และทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่แปรเปลี่ยนตามลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนในแต่ละกลุ่มฝน โดยวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่ทำให้ค่า (Mean Square Error, MSE) ระหว่างค่าความเข้มฝนจากเรดาร์และความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดจากข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบของข้อมูลกลุ่มที่ 1 โดยในการศึกษาจะแบ่งกรณีศึกษาในการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้งหมด 3 กรณี

กรณีที่ 1 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย

กรณีที่ 2 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ [6] ดังนี้

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 1 15 dBZ<=ค่าการสะท้อนกลับ< 30 dBZ

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 2 30 dBZ<=ค่าการสะท้อนกลับ< 38 dBZ

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 3 38 dBZ<=ค่าการสะท้อนกลับ< 44 dBZ

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 4 44 dBZ<=ค่าการสะท้อนกลับ<=53 dBZ

กรณีที่ 3 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินโดยแบ่งช่วงความเข้มฝนตามการศึกษา [7] ดังนี้

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 1 ความเข้มฝน < 10 มม./ชม.

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 2 10 มม./ชม. <=ความเข้มฝน<= 30 มม./ชม.

กลุ่มฝนกลุ่มที่ 3 ความเข้มฝน > 30 มม./ชม.

สมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 3 กรณี ที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบของข้อมูลกลุ่มที่ 1 และเพิ่มเติมสมการที่นิยมใช้ทั่วไปอีก 2 กรณี เป็น กรณีที่ 4 ใช้สมการ Woodley and Herndon [20], $Z=300R^{1.4}$ และ กรณีที่ 5 ใช้สมการ Marshall and Palmer [2] , $Z=200R^{1.6}$ จะถูกนำมาทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สัดหีบ โดยพิจารณาจากค่าสถิติ RMSE (Root Mean Squared Error) , MSE (Mean Squared Error) , MAE (Mean Absolute Error) ดังแสดงในสมการที่ 1-3 ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์สัดหีบที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 5 กรณี เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินจะต้องมีค่าน้อยที่สุด ของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ของข้อมูลกลุ่มที่ 1 และ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) ของข้อมูลกลุ่มที่ 2

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

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

$$MAE = \frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^{N_i} |R_{i,t} - G_{i,t}| \quad (3)$$

เมื่อ

$R_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่คำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ (Z-R) ที่สถานีโทรมาตรอัตโนมัติ i ณ เวลา t (มม./ชม.)

$G_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน i ณ เวลา t (มม./ชม.)

N คือ จำนวนสถานีโทรมาตรอัตโนมัติทั้งหมดที่ใช้

N_t คือ ช่วงเวลาที่ฝนตก (ชม.)

4. ผลการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์สัดหีบ

การศึกษาครั้งนี้ทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R โดยพิจารณาใช้ค่าพารามิเตอร์ b คงที่เท่ากับ 1.6 และทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่แปรเปลี่ยนตามลักษณะกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนในแต่ละกลุ่มฝน โดยวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ที่ทำให้ค่า (Mean Square Error, MSE) ระหว่างค่าความเข้มฝนจากเรดาร์และความเข้มฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมีค่าน้อยที่สุด จากข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) ของข้อมูลกลุ่มที่ 1 โดยมีผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ของสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เสนอแนะทั้ง 3 กรณี และเพิ่มเติมสมการที่นิยมใช้ทั่วไปอีก 2 กรณี เป็น กรณีที่ 4 ใช้สมการ Woodley and Hemdon , $Z=300R^{1.4}$ และ กรณีที่ 5 ใช้สมการ Marshall and Palmer , $Z=200R^{1.6}$ แสดงในตารางที่ 1

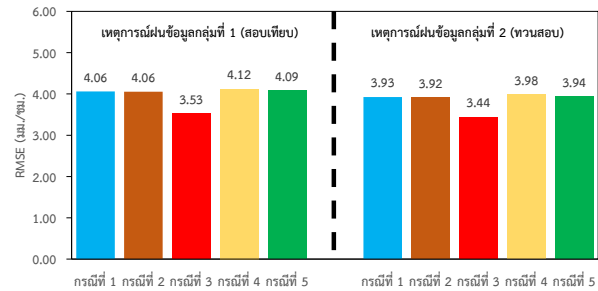
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a ของสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 5 กรณี

หัวข้อ	กลุ่มฝน	a	b
กรณีที่ 1 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย	กลุ่มฝนรวม	175	1.6
กรณีที่ 2 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความถี่ของการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์	กลุ่มฝนกลุ่มที่ 1 15 dBZ<=การสะท้อนกลับ< 30 dBZ	121	1.6
	กลุ่มฝนกลุ่มที่ 2 30 dBZ<=การสะท้อนกลับ< 38 dBZ	175	1.6
	กลุ่มฝนกลุ่มที่ 3 38 dBZ<=การสะท้อนกลับ< 44 dBZ	174	1.6
	กลุ่มฝนกลุ่มที่ 4 44 dBZ<=การสะท้อนกลับ<=53 dBZ	220	1.6
กรณีที่ 3 วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝน	กลุ่มฝนกลุ่มที่ 1 ความเข้มฝน < 10 มม./ชม.	465	1.6
	กลุ่มฝนกลุ่มที่ 2 10 มม./ชม. <=ความเข้มฝน<= 30 มม./ชม.	94	1.6
	กลุ่มฝนกลุ่มที่ 3 ความเข้มฝน > 30 มม./ชม.	67	1.6
กรณีที่ 4 สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย Woodley and Hemdon	กลุ่มฝนรวม	300	1.4
กรณีที่ 5 สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ย Marshall and Palmer	กลุ่มฝนรวม	200	1.6

เมื่อพิจารณาจากค่าสถิติ RMSE, MSE และ MAE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์สัดหีบที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ทั้ง 5 กรณี เมื่อเทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ของข้อมูลเหตุการณ์ฝน ข้อมูลกลุ่มที่ 1 ที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) หาสมการความสัมพันธ์ Z-R และข้อมูลเหตุการณ์ฝน ข้อมูลกลุ่มที่ 2 ที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น (Verification) แสดงในรูปที่ 4-6 ตามลำดับ

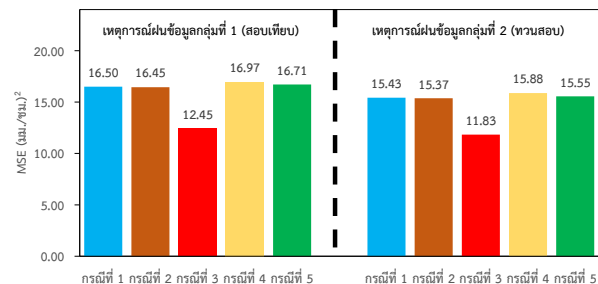
ผลค่า RMSE ในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า การประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ในกรณีที่ 3 มีค่า RMSE น้อยที่สุดสำหรับข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบของข้อมูลกลุ่มที่ 1 มีค่า 3.53 (มม./ชม.) และข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบ

ความเชื่อมั่นของข้อมูลกลุ่มที่ 2 มีค่า 3.44 (มม./ชม.) เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหลืออีก 4 กรณี



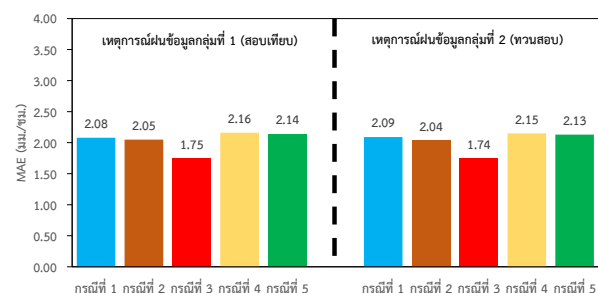
รูปที่ 4 ค่า RMSE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์สัดหีบที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ 5 กรณี

ผลค่า MSE ในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า การประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ในกรณีที่ 3 มีค่า MSE น้อยที่สุดสำหรับข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบของข้อมูลกลุ่มที่ 1 มีค่า 12.45 (มม./ชม.)² และข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่นของข้อมูลกลุ่มที่ 2 มีค่า 11.83 (มม./ชม.)² เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหลืออีก 4 กรณี



รูปที่ 5 ค่า MSE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์สัดหีบที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ผลค่า MAE ในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า การประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ในกรณีที่ 3 มีค่า MAE น้อยที่สุดสำหรับข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ ของข้อมูลกลุ่มที่ 1 มีค่า 1.75 (มม./ชม.) และข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการทวนสอบความเชื่อมั่น ของข้อมูลกลุ่มที่ 2 มีค่า 1.74 (มม./ชม.) เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหลืออีก 4 กรณี



รูปที่ 6 ค่า MAE ระหว่างปริมาณฝนจากเรดาร์สัดหีบที่ประเมินฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ 5 กรณี

ผลการศึกษาในรูปแบบที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่าการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ในกรณีที่ 3 เป็น สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินฝนเรดาร์สถิติหิมามากที่สุดโดยมีค่า RMSE , MSE และ MAE ระหว่างปริมาณฝนเรดาร์สถิติหิมากับปริมาณฝนจากสมการดังกล่าว เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดของทั้งข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ และ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการการทวนสอบความเชื่อมั่น เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหลืออีก 4 กรณี ขณะที่การประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าตามค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ ในกรณีที่ 2, การประเมินฝนโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในกรณีที่ 1, การประเมินฝนโดยใช้สมการ Marshall and Palmer ในกรณีที่ 5 และ การประเมินฝนโดยใช้สมการ Woodley and Herndon ในกรณีที่ 4 ให้ความถูกต้องในการประเมินฝนในลำดับถัดมาตามลำดับ ผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษา [6-7] ในการประเมินฝนเรดาร์โดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยเพียงสมการเดียวในกรณีที่ 1, กรณีที่ 5 และ กรณีที่ 4 ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนหลงเหลืออยู่ โดยความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีสาเหตุเนื่องจากกลุ่มฝนแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของอนุภาคของเม็ดฝนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ สมการความสัมพันธ์ Z-R มีค่าแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มฝน ดังนั้น การใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มฝนในกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 ช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์สถิติหิมามากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับสมการ Woodley and Herndon ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

5. บทสรุป

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) สมการความสัมพันธ์ Z-R มีค่าแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มฝน ดังนั้น การใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มฝนในกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 ที่เสนอแนะ ช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนเรดาร์สถิติหิมามากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับสมการ Woodley and Herndon ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2) การประเมินฝนเรดาร์สถิติหิมโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ในกรณีที่ 3 เป็น สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับการประเมินฝนเรดาร์สถิติหิมามากที่สุดโดยมีค่า RMSE , MSE และ MAE ระหว่างปริมาณฝนเรดาร์สถิติหิมากับปริมาณฝนจากสมการดังกล่าว เทียบกับปริมาณฝนจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดินมีค่าน้อยที่สุดของข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ และ ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการการทวนสอบความเชื่อมั่น

3) การประเมินฝนเรดาร์สถิติหิมโดยใช้สมการความสัมพันธ์ Z-R เฉลี่ยในแต่ละกลุ่มฝนที่แบ่งตามค่าความเข้มฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน ในกรณีที่ 3 เมื่อพิจารณาจากค่า RMSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 16.75% , 15.86% เมื่อพิจารณาจากค่า MSE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 36.29% , 34.23% เมื่อพิจารณาจากค่า MAE สามารถช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประเมินฝนได้ 23.43% , 23.56% เมื่อเทียบกับการประเมินฝนโดยใช้สมการ Woodley and Herndon ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สำหรับเหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการสอบเทียบ และ เหตุการณ์ฝนที่ใช้ในการการทวนสอบความเชื่อมั่น ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณกรมฝนหลวงและการบินเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์สถิติหิมที่จัดเก็บในรูปแบบ CAPPI และ UF files และ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากสถานีโทรมาตรอัตโนมัติภาคพื้นดิน และอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่างการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Morin, E. and Gabella, M. (2007). Radar-based quantitative precipitation estimation over Mediterranean and dry climate regimes. *J Geophys Res*, 112: D20108.
- [2] Marshall, J. S. and Palmer, W. M. K. (1984). The Distribution of Raindrops with Size. *Journal of Meteorology*, 5(4), 165-166.
- [3] Mapiam, P. and Sriwongsitanon, N. (2008). Climatological Z-R relationship for radar rainfall estimation in the upper Ping river basin. *ScienceAsia*, 34, 215-222.
- [4] Hanchoo Wong, R., Weesakul, U. and Chumchean, S. (2012). Bias correction of radar rainfall estimates based on a geostatistical technique. *ScienceAsia*, 38, 373-385.
- [5] Chantraket, P., Detyothin, C., Pankaew, S. and Kirtsang, S. (2016). An Operational Weather Radar-Based Calibration of Z-R Relationship over Central Region of Thailand. *Int J Eng*, 2, 92-100.
- [6] Ayat, H., Kaviaanpour, M. R., Moazami, S., Hong, Y. and Ghaemi, E. (2018). Calibration of weather radar using region probability matching method (RPMM). *Theor Appl Climatol*, DOI 10.1007/s00704-017-2266-7.
- [7] Ramli, S. and Tahir, W. (2011). Radar Hydrology: New Z/R Relationships for Quantitative Precipitation Estimation in Klang River Basin, Malaysia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2(3).
- [8] Michelson, D., Einfalt, T., Holleman, I., Gjertsen, U., Friedrich, K., Haase, G., Lindsog, M. and Sztuc, J. (2004). Weather radar data quality in Europe: Quality control and characterization, *COST 717 Working Document WDF_20_200204_1*.
- [9] Hydro & meteo GmbH & Co. KG. (2016). *SCOUT Documentation Version 3.32*, Hydro & meteo GmbH & Co. KG., Germany.
- [10] Battan, L. J. (1973). *Radar Observation of the Atmosphere*, The University of Chicago Press, pp.324.
- [11] Chumchean, S. (2004). *Improved Estimation of Radar Rainfall for Use in Hydrological Modelling*, Ph.D. Thesis, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- [12] Delrieu, G., Andrieu, H., and Creutin, J.D. (2000). Quantification of path-integrated attenuation for X-and C-band weather radar systems operating in Mediterranean heavy rainfall, *J. Appl. Meteor*, 39(6), pp.840-850.

- [13] Futon, R.A., Breidenbach, J.P., Seo, D.J., Miller, D.A. and O'Brannon, T. (1998). The WSD-88D rainfall algorithm, *Weather Forecasting*, 13, pp.377 -395.
- [14] Doelling I. G., Joss, J. and Riedl, J. (1998). Systematic variations of Z-R relationships from drop size distributions measured in northern Germany during seven years, *Atmospheric Research*, 47-48, pp.635- 649.
- [15] Steiner, M. and Smith, J. A. (2000). Reflectivity, rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra, *American Meteorological Society*, 39, pp.1923-1940.
- [16] Hagen, M. and Yuter, S. E. (2003). Relations between radar reflectivity, liquid water content, and rainfall rate during the MAP-SOP, *Atmospheric Sciences*, 128, pp. 477-494.
- [17] Mapiam, P., Sriwongsitanon, N., Chumchean, S. and Sharma, A. (2009). Effects of Rain Gauge Temporal Resolution on the Specification of a ZR Relationship, *J. Atmos. Oceanic Technol*, 26, pp.1302-1314.
- [18] Mapiam, P., Sharma, A. and Sriwongsitanon, N. (2014). Defining the Z-R Relationship Using Gauge Rainfall with Coarse Temporal Resolution: Implications for Flood Forecasting, *J. Hydrol. Eng.*, 19(8):04114003.
- [19] Seed, A., Sirivarden, L., Sun, X., Jordan, P. and Elliot, J. (2002). On the calibration of Australian weather radars, *Technical report 02/7*. 2002; 40.
- [20] Woodley. W. and Herndon, A. A. (1970). Raingage evaluation of the Miami reflectivity-rainfall rate relation, *Journal of Applied Meteorology*, 9(2), PP.258-264.