

การประเมินปริมาณน้ำฝนจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนกลับกับความเข้มฝน สำหรับเรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลก

ASSESSMENT OF RAINFALL THROUGH REFLECTIVITY AND RAINFALL INTENSITY RELATIONSHIP AT PHITSANULOK WEATHER RADAR STATION

Received: September 5, 2019

Revised : October 2, 2019

Accepted : November 11, 2019

วืรงรอง สุขา¹⁾, สูดสายสิน แก้วเรือง²⁾, รติยา ฐวพานิชยานันท์³⁾, รักษศักดิ์ เสริมศักดิ์⁴⁾

¹⁾นักศึกษาระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีระบบเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^{2),(3),(4)} อาจารย์ประจำ ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wirongrong Sukha¹⁾, Sudsaisin Kaewrueng²⁾, Ratiya Thuwapanichayanant³⁾, Raksak Sermsak⁴⁾

¹⁾Master of Science (Agricultural Systems Technology) Kasetsart University,

^{2),(3),(4)} Farm Machinery Faculty of Agriculture Kasetsart University

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจอากาศ (Z) กับความเข้มฝน (R) : (Z-R relationship) ซึ่งได้จากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินที่อยู่ในรัศมีห้วงผลของเรดาร์ตรวจอากาศ และเพื่อประเมินความแม่นยำของการประมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจากเรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลก และข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติ กรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงปี 2550-2551 โดยได้อาศัยหลักการจับคู่ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนกลับเรดาร์ตรวจอากาศกับความเข้มฝน ที่เรียกว่า Buffer Probability Technique (BPT) ซึ่งหลักการนี้จะลดผลกระทบจากลม และความคลาดเคลื่อนของเวลาจากความสูงที่ต่างระดับกัน ระหว่างการตรวจวัดด้วยเรดาร์ตรวจอากาศและการวัดฝนที่ภาคพื้นดิน โดยการผสมผสาน Buffer Function ของแบบจำลองภูมิสารสนเทศและการจับคู่ด้วย Probability Matching ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่า เทคนิค BPT สามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจอากาศ (Z) กับค่าความเข้มฝน (R): (Z-R relationship) ได้เป็นอย่างดี พบว่า ค่า Z-R relationship ที่ได้จากการศึกษามีค่าคงที่ $a=85$ และค่าคงที่ $b=1.3$ โดยเมื่อนำค่า Z-R relationship ที่ได้นี้ไปเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ของ Marshall-Palmer ($a=200$, $b=1.6$) และ WSR-88D ($a=300$, $b=1.4$) พบว่า ค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R relationship ที่ได้จากการศึกษานี้มีความเหมาะสมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการพยากรณ์อากาศและการเตือนภัยในพื้นที่ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ชุมชนเมือง เขตเกษตรกรรมขนาดใหญ่ในพื้นที่ที่มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ ตลอดจนประโยชน์ต่อการวางแผนในการท่องเที่ยวและเกษตรกรรมอีกด้วย

คำสำคัญ : การประเมินปริมาณน้ำฝน ความสัมพันธ์ Z-R relationship เรดาร์ตรวจอากาศ

ABSTRACT

This study aimed to find the relationship of the reflection of weather radar (Z) and the rain intensity (R): (Z-R relationship). The actual rain measurement was obtained from the rain gage station located on the permanent land within the weather radar radius. The study also evaluated the accuracy of precipitation estimates with the weather radar from Phitsanulok and from automatic weather stations of the Meteorological Department from 2007 to 2008. Based on the match of those radar data to determine the relationship of radar reflection and rain intensity, this principle is called Buffer Probability Technique (BPT). In this way it helped reduce the effects of winds and time deviation from their different heights during the actual measurement of weather radar and the rainfall volume on the land station by integrating the Buffer Function of Geoinformatics and matching with Probability Matching. The result was found the BPT technique was able to analyze very well the relationship between the reflectivity of the weather radar (Z) and the rainfall intensity (R): (Z-R relationship). This method was also appropriate to apply for weather forecasting and warning, especially in an urban and a large agricultural area which locates remote from meteorological stations. It benefits the planning of tourism as well.

Keywords : Rainfall assessment, Z-R relationship, Weather radar

บทนำ

เรดาร์ตรวจอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจสภาพอากาศระยะไกลสามารถตรวจวัดความเข้มของฝน (อัตราการตกของฝน) ปริมาณฝนสะสม, ความเร็วในการเคลื่อนตัวของกลุ่มฝน (Radial velocity) และบอกถึงระดับความรุนแรงของกลุ่มฝนได้ โดยเรดาร์ตรวจอากาศทำงานโดยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นจังหวะในช่วงเวลาสั้นๆ ในลักษณะลำคลื่นมุมแคบ (Narrow beam) เมื่อลำคลื่นดังกล่าวกระทบกับกลุ่มฝนหรือสิ่งกีดขวางสัญญาณคลื่นจะสะท้อนกลับมายังจานสายอากาศก่อนเข้าสู่เครื่องรับเพื่อนำมาประมวลผลสัญญาณก่อนที่จะถูกส่งไปแสดงผลต่อไป ในการตรวจวัดกลุ่มฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ จะดำเนินการโดยการวัดค่าระดับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับ (Backscattering signal) มายังเครื่องรับสัญญาณเรดาร์ หลังจากทีคลื่น

ดังกล่าวกระทบกับเม็ดน้ำ ค่าระดับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้รับได้จากเครื่องรับสัญญาณเรดาร์ (Pr) จะถูกแปลงมาเป็นค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ (Z) โดยค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์จะขึ้นอยู่กับจำนวนและการกระจายตัวของเม็ดน้ำ ภายในปริมาตรของบรรยากาศหนึ่งหน่วยที่สำรวจ (หน่วยเป็น mm^6/m^3) ความสัมพันธ์สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1)

$$Z = \frac{\sum_i D_i^6}{V} \quad (1)$$

เมื่อ D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดน้ำ (mm)

V คือ ปริมาตรของบรรยากาศที่สำรวจ (m^3)

จากสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่า หากเม็ดน้ำมีขนาดใหญ่และมีจำนวนมากต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศ พลังงานสะท้อนมากกลับ จะมีค่ามากด้วยเช่นกัน ในทางกลับกันหากเม็ดน้ำมีขนาดใหญ่และมี

จำนวนมากต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศน้อยลงค่าพลังงานที่สะท้อนกลับก็จะลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์แปรผันค่าในช่วงกว้างเช่นเดียวกับค่าของกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจึงนิยมแสดงค่าของการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ ในรูปแบบลอการิทึม (Logarithm) หรือ เดซิเบล (dBz) เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจดังนี้

$$dBz = 10 \log_{10} \frac{Z_e}{1 \text{ mm}^6 \cdot \text{m}^{-3}} \quad (2)$$

โดยที่ Z_e คือ Equivalent reflectivity (mm^6/m^3)

ข้อมูลความเข้มฝนในรูปแบบของคลื่นสะท้อนจากเม็ดฝนในอากาศนี้ (Radar Reflectivity) ไม่สามารถบอกปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดินได้โดยตรง ดังเช่นการตรวจวัดปริมาณฝนด้วยเครื่องมือตรวจวัดฝนบริเวณพื้นผิวโลกการที่แปลงค่าสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับซึ่งมักมีหน่วยเป็น dBz ให้เป็นอัตราการตกของฝนที่มี

หน่วยเป็น mm/hr ต้องใช้สมการความสัมพันธ์ตามสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ (Z) และอัตราการตกของฝน (R) หรือเรียกว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R (Z-R relationship)

โดยสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ได้รับความนิยมใช้กัน คือสมการความสัมพันธ์ Z-R ของ Marshall และ Palmer อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับสมการความสัมพันธ์ Z-R นั้น ทั้งอยู่ในรูปแบบของงานวิจัยด้านเรดาร์ตรวจอากาศ การประมาณปริมาณฝน และแบบจำลองสภาพอากาศระยะปัจจุบัน (Nowcasting model) ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของสถานที่ติดตั้งสถานีเรดาร์และลักษณะทางกายภาพของเมฆฝนที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ จากผลงานการวิจัยที่ผ่านมาบางส่วน เกี่ยวกับสมการความสัมพันธ์ Z-R relationship ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิจัยที่ผ่านมาบางส่วนที่เกี่ยวข้องกับการหาสมการความสัมพันธ์ Z-R

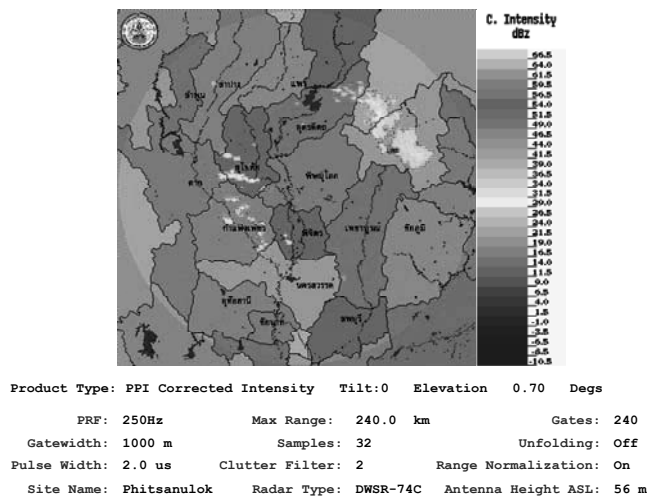
Sources	Places	Rainfall types	a	b
Marshall & Palmer	Wildly used globally	All types (bulk)	200	1.6
Woodley & Herndon	Miami, USA	All types (bulk)	300	1.4
Rosenfeld	Darwin, Australia	Tropical rain	250	1.2
WSR-88D	South Carolina, USA	All types (bulk) Summer Deep Convection	300	1.4

โดยค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์สามารถบ่งบอกความรุนแรงของกลุ่มฝนได้ เช่น ถ้าค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์มีค่ามากกว่า 23 dBz จะเริ่มมีฝนตกเบาบาง และจะมีค่าการสะท้อนเพิ่มขึ้นตามความรุนแรงของกลุ่มฝนที่เพิ่มขึ้น โดยสามารถประมาณค่าอัตราการตกของฝน (mm/h)

สำหรับการแสดงผลการตรวจวัดจากเรดาร์ตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาไทยส่วนใหญ่ ยังมีลักษณะไปทางเชิงวิทยาศาสตร์ โดยแสดงภาพการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ที่แสดงหน่วยเป็นเดซิเบล ซึ่งสามารถบอกลักษณะทางฟิสิกส์ การกระจายตัวและการเคลื่อนที่ของเมฆน้ำในอากาศหรือกลุ่มเมฆได้เป็น

อย่างดี ทั้งนี้เนื่องจากผู้นำผลการตรวจไปวิเคราะห์ เพื่อพยากรณ์อากาศ และเตือนภัยเป็นผู้มีความรู้ พื้นฐานในการใช้ข้อมูลเรดาร์เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม ยังมีผู้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดด้วยเรดาร์ ในสาขาวิชาชีพ อื่นๆ ที่มีพื้นฐานด้านวิชาการแตกต่างไปจากผู้ใช้ กลุ่มแรกแต่มีความจำเป็นที่จะต้องประยุกต์ใช้ข้อมูล จากเรดาร์ตรวจอากาศ ในลักษณะข้อมูลอัตราการตก ของฝนหรือปริมาณฝนสะสม ในการใช้เพื่อวางแผน

ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในสาขาวิชาชีพเฉพาะ ของตนเอง เช่น วิศวกรรมชลประทาน เกษตรกรรม การท่องเที่ยว เป็นต้น ดังนั้น การพัฒนาและปรับปรุง การประมาณปริมาณฝน (QPE: Quantitative precipitation estimates) ด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ จะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการวางแผน สำหรับการทำการกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่าง รวดเร็ว ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1 แสดงผลการตรวจวัดกลุ่มเมฆฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ จากเรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลก

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมการ ระหว่างค่าสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจอากาศ (Z) และ อัตราการตกของฝน (R) หรือเรียกว่า สมการ ความสัมพันธ์ Z-R (Z-R relationship) ที่เหมาะสม สำหรับสถานีเรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลก จ.พิษณุโลก เพื่อใช้ในการประมาณปริมาณฝนบริเวณภาคเหนือ ตอนล่างของประเทศไทย

ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษากำหนดขอบเขตพื้นที่ที่ครอบคลุม จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย อุตรดิตถ์ ที่มักเป็นพื้นที่

ประสบอุทกภัย และอยู่ในระยะทางที่สถานีเรดาร์ตรวจ อากาศครอบคลุม โดยจะศึกษาเพื่อประเมินค่าปริมาณ น้ำฝนจากข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลกของกรม อุตุนิยมวิทยา

2) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ของสถานีวัดน้ำฝน ภาคพื้นดิน จำนวน 29 สถานี โดยเลือกเฉพาะข้อมูล ที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดปริมาณฝนอัตโนมัติอยู่ใน

บริเวณรัศมี 240 กิโลเมตรจากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลก

งานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงปี 2550 ถึง 2551 (เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าว ข้อมูลปริมาณฝนมีความต่อเนื่องครบถ้วน) เพื่อทำการหาสมการความสัมพันธ์ Z-R สำหรับการประมาณปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ และทำการประเมินประสิทธิภาพ ของการประมาณปริมาณฝนที่ได้จากการศึกษา

ข้อมูลค่าการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์จากสถานีเรดาร์ตรวจอากาศพิษณุโลก ถูกเลือกใช้สำหรับการศึกษานี้ โดยจะทำการแปลงรูปแบบของข้อมูลเรดาร์ ที่รวบรวมได้ให้มีรูปแบบเป็นระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) การควบคุมคุณภาพ (Quality control) ของข้อมูลเรดาร์ทำโดยพิจารณาผลการตรวจวัดด้วยเรดาร์ที่มีรูปแบบของข้อมูลผลการตรวจที่ไม่เป็นไปตามลักษณะทางกายภาพของกลุ่มเมฆฝนโดยเปรียบเทียบข้อมูลกับข้อมูลเมฆฝนจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลจากโครงข่ายสถานีตรวจวัดปริมาณฝนผิวพื้น ในช่วงเวลาเดียวกัน หากพบว่าผลการตรวจดังกล่าวเกิดจากผลของสัญญาณรบกวนจะไม่ใช้ข้อมูลดังกล่าว โดยการศึกษาเลือกใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากเรดาร์ตรวจอากาศที่มีค่าการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณเรดาร์ในช่วง 55 ถึง 15 dBz เนื่องจากค่าการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณเรดาร์ที่เกินกว่า 55 dBz เป็นผลมาจากสัญญาณที่สะท้อนมาจากลูกเห็บ (Hail) และค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์ที่มีค่าน้อยกว่า 15 dBz เป็นสัญญาณที่สะท้อนมาจากวัตถุต่าง ๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศรวมถึงเมฆน้ำที่ยังไม่สามารถพัฒนาขึ้นเป็นฝนได้

การคัดกรองข้อมูลฝนรายชั่วโมงจากระบบตรวจวัดปริมาณฝนอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ผ่านการควบคุมคุณภาพด้วยวิธีการเส้นโค้งทับทวิ (Double mass curve) จำนวนทั้งสิ้น 29 สถานี โดยเลือกเฉพาะข้อมูลที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดปริมาณฝนอัตโนมัติอยู่ในบริเวณรัศมี 240 กิโลเมตรจากสถานีเรดาร์พิษณุโลก ข้อมูลที่ผ่านการคัดกรองแล้วได้ถูกใช้วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ Z-R การประมาณปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ

การแปลงค่าการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณเรดาร์ที่มีหน่วยเป็น dBz ให้เป็นอัตราการตกของฝนหรือปริมาณฝน สามารถทำได้โดยการหาสมการความสัมพันธ์ Z-R relationship ที่วิเคราะห์ด้วยสมการยกกำลัง ดังสมการที่ 3 สมการความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้จะสามารถใช้เพื่อแปลงผลการตรวจกลุ่มฝนด้วยเรดาร์ให้เป็นอัตราการตกของฝนได้ต่อไป

$$Z = aR^b \quad (3)$$

โดยที่ Z คือ ค่าสัญญาณสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (mm^6/m^3)

R คือ อัตราการตกของฝน (mm/h)

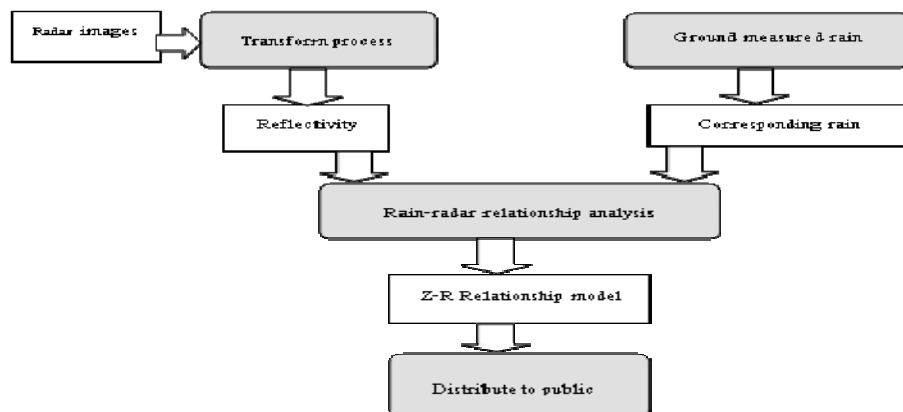
a และ b คือ ค่าคงที่

โดย ค่า a และ b ที่นิยมใช้กัน จะได้จากสมการของ Marshall และ Palmer คือ $a=200$ และ $b=1.6$ ซึ่ง ค่าคงที่ a สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 500 และค่าคงที่ b สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 1.0 ถึง 2.0 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่ ข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากเครื่องมือตรวจวัดฝนอัตโนมัติ (Automatic tipping bucket) ถูกใช้เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Z-R ในการสร้างแบบจำลองการประมาณปริมาณฝน ด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ โดยหาค่าความสัมพันธ์ Z-R ด้วยวิธีการ จับคู่ค่าการสะท้อนของสัญญาณคลื่นเรดาร์รายชั่วโมงเฉลี่ย ข้อมูล

เหนือสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติ และอัตราการตกของฝนรายชั่วโมง ณ เวลาเดียวกัน เมื่อความถี่ของข้อมูลถูกปรับเป็นรายชั่วโมงเท่ากันแล้วจะดำเนินการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ Z-R ตามสมการที่ 3

การวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบการประมาณปริมาณฝนรายชั่วโมงด้วยเรดาร์ตรวจ



ภาพที่ 2 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย

ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลผลการตรวจวัดปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศและข้อมูลปริมาณฝนรายชั่วโมงจากสถานีตรวจวัดฝนอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา จากนั้นตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ และข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ ขั้นตอนต่อไปคือจัดรูปแบบข้อมูลทั้งสองให้มีความละเอียดเชิงเวลาสอดคล้องกัน และนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับและค่าความเข้มของฝนที่ตก ในรูปสมการที่ 3

ผลการวิจัย

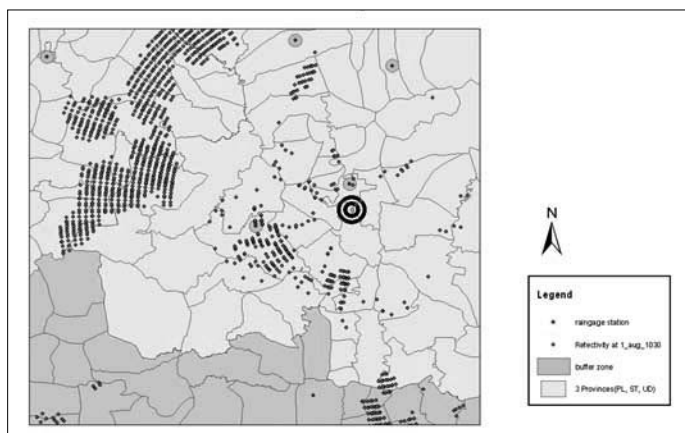
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Radar Reflectivity-Rainfall

อากาศ โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยหลัก ๆ ได้แก่ การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์เพื่อหาค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R relationship และทดสอบประสิทธิภาพของการประมาณปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ ดังภาพที่ 2

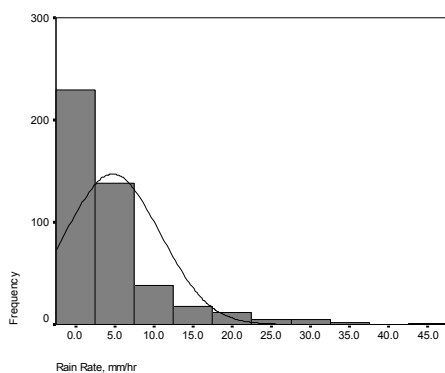
จากการศึกษาข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่เกิดขึ้นด้วย Buffer probability technique (BPT) ที่พัฒนาขึ้นภายใต้หลักการที่จะลดผลกระทบจากลม เนื่องจากในการศึกษาไม่ต้องการให้มีค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูลฝนที่ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลฝนที่ได้จากการประเมินจากค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ เพื่อหาค่าฝนที่ตำแหน่ง pixel ต่าง ๆ ดังนั้นจึงกำหนดให้ตำแหน่งข้อมูลฝนที่วัดจากสถานีเป็นจุดตายตัว และใช้ค่าฝนที่วัดได้จริงจากสนามเป็นข้อมูลในการศึกษา แต่จากการวิเคราะห์พบว่า ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกันโอกาสที่จะพบว่าข้อมูลฝนกับข้อมูล reflectivity ของเรดาร์ที่เกิดตรงกันมีจำนวนน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษาจึงอาศัยขั้นแรก ของ BPT ซึ่งเป็นเทคนิค ของ Buffer ใน GIS ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าฝนไม่ได้ตกลงบนพื้นโลกในแนวตั้งเนื่องจากผลกระทบของลม แต่ที่สถานีเรดาร์พิกษณโลก

ไม่ได้มีการรวบรวมข้อมูลลมไว้ ดังนั้นจึงทำการประเมินข้อมูลฝนและข้อมูล Reflectivity ที่เกี่ยวข้องกัน โดยอาศัยการสร้าง Buffer ในแผนที่ GIS รอบสถานีตรวจวัดน้ำฝน และทำการอ่าน ค่า Reflectivity ที่วัดได้สำหรับเวลานั้น ๆ ในพื้นที่ของ Buffer เพื่อทำการจับคู่กับข้อมูลฝนที่เวลาเดียวกัน ซึ่งจะต้องทำการสร้าง Buffer และจับคู่สำหรับทุกช่วงเวลาศึกษา แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งตารางสรุปข้อมูลของ Radar reflectivity และข้อมูลน้ำฝนที่เกี่ยวข้องกันที่ประเมินได้จากเทคนิคของ Buffer และเมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของข้อมูล Reflectivity และข้อมูลฝน

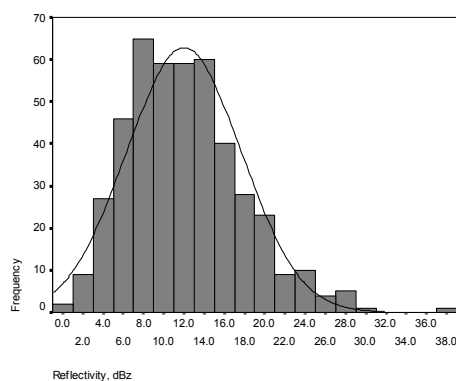
พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลเชิงความถี่ดังแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากการกระจายความถี่ของการเกิดสำหรับค่า Reflectivity ระหว่าง 6-16 dBz มีความถี่ของการเกิดมากที่สุด และมีรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลใกล้เคียงกับ Normal distribution สำหรับค่าของฝนความถี่มากที่สุดของการเกิดอยู่ในช่วง 1-6 มม/ชม ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลไม่เป็นแบบ Normal Distribution มีความเบ้ของการกระจายตัวของข้อมูล



ภาพที่ 3 การสร้าง Buffer รอบสถานีวัดปริมาณฝนเพื่อจับคู่ข้อมูลปริมาณฝน และ Reflectivity



(a) Reflectivity



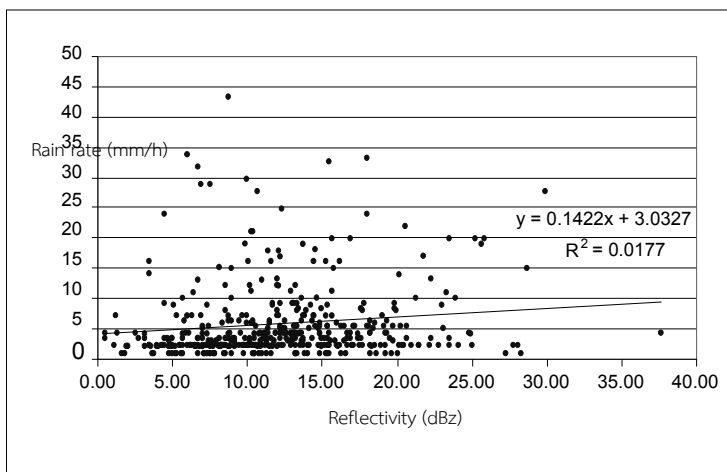
(b) Rain rate

ภาพที่ 4 Histogram with Normal Distribution ของข้อมูล Reflectivity และ Rain rate

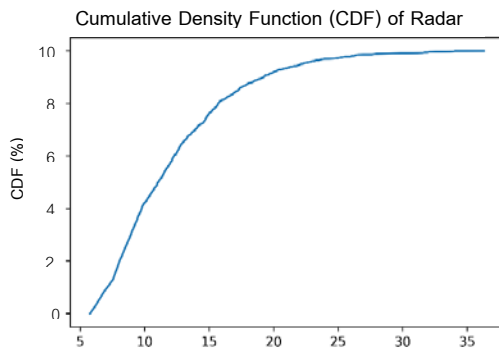
จากคู่ของข้อมูล Reflectivity และ Rain rate ที่หาได้ด้วย ชั้นแรกของ BPT ที่เวลาเดียวกัน เมื่อนำมาทำการทดสอบหาความสัมพันธ์เบื้องต้นด้วย Linear function พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจนและมีค่า R^2 ต่ำมากคือเท่ากับ 0.0177 ซึ่งหมายความว่าข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กันที่เวลาเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องหาแนวทางในการกำจัดผลความคลาดเคลื่อนจากเวลา ซึ่งในวิธีการของ BPT นี้จะอาศัยการทำ Probability matching คือการจับคู่ของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน ด้วยการจับคู่ของข้อมูลฝน และ Reflectivity ที่ Cumulative distribution function (CDF,%) เดียวกันซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (4)

$$\int_{R_i}^{\infty} P(R)dR = \int_{Z_i}^{\infty} P(Z)dZ \quad (4)$$

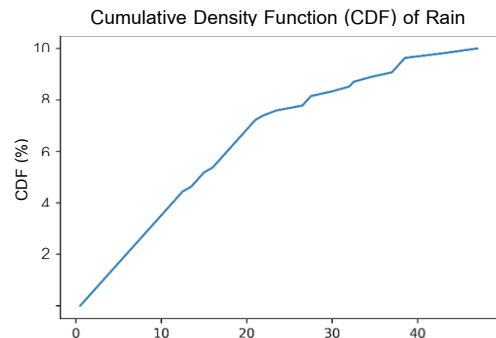
โดยที่ $P(R)$ คือ Probability density function ของข้อมูลฝน และ $P(Z)$ คือ Probability density function ของข้อมูล Reflectivity ดังนั้น ในขั้นที่สองของ BPT จึงทำการสร้าง Cumulative distribution function (CDF) สำหรับชุดข้อมูล Reflectivity และ Rain rate ของ Non zero pair data ขึ้น ดังกราฟภาพที่ 6 เพื่อจับคู่ค่า Reflectivity และ Rain rate ที่ Probability เดียวกัน (Z-R pair) เพื่อให้ได้คู่ที่เหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Z-R relationship และเมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่จับคู่ที่ Probability เดียวกันจากตารางดังกล่าว พบว่าสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์รูปยกกำลังที่ให้ค่า R^2 สูงเท่ากับ 0.9896 โดยที่ Z คือ ค่า Reflectivity (dBz) และ R คือ Rain rate (mm/hr)



ภาพที่ 5 Linear function ระหว่างข้อมูล Reflectivity และ Rain rate ที่เวลาเดียวกัน



(a) CDF ของ Reflectivity (%)



(b) CDF ของ Rain Rate (%)

ภาพที่ 6 Cumulative distribution function สำหรับชุดข้อมูล Reflectivity และ Rain rate

เพื่อทำการทดสอบแบบจำลองที่ได้จากการศึกษาด้วยชุดข้อมูลที่เตรียมไว้อีกชุดหนึ่งซึ่งไม่ได้ถูกใช้ในกระบวนการสร้างแบบจำลอง จำนวน 499 คู่พบว่า ค่าความสัมพันธ์ของอัตราการตกของฝนที่คำนวณได้จากแบบจำลองนี้สามารถประมาณอัตราการตกของฝนได้ในช่วงปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จริงในกรณีที่อัตราการตกของฝนมีค่าประมาณต่ำกว่า 20 มม/ชม ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีที่ฝนตกหนักการตรวจวัดฝนที่มีรูปแบบเชิงจุดจะให้ค่าที่สูงกว่าการประมาณปริมาณฝนเชิงพื้นที่ และยังพบอีกว่าค่าฝนที่ประมาณได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าที่ตรวจวัดได้จริง (Underestimate) เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวมาในช่วงต้น อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของสภาพภูมิประเทศ จึงทำให้ไม่สามารถตรวจวัดฝนได้ทำให้ความแม่นยำในการประมาณฝนมีค่าน้อยกว่าพื้นที่บริเวณอื่นของประเทศ

เนื่องจากการประมาณปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศเป็นการตรวจวัดปริมาณฝนทางอ้อม กล่าวคือมีกระบวนการประมาณค่าปริมาณฝนจากการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณเรดาร์โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ Z-R relationship ที่ได้จากการศึกษา ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าปรับแก้สำหรับปริมาณฝน

ที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ Z-R relationship ซึ่งจะส่งผลให้ค่าปริมาณฝนที่คำนวณได้ มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนที่ตกจริงมากยิ่งขึ้นจึงนำค่าฝนที่ประมาณค่าได้จากสมการ $Z=85R^{1.3}$ มาทำการหาค่าความลำเอียงของปริมาณฝนจากเรดาร์ด้วยการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนที่ตกจริงกับปริมาณฝนที่ประมาณค่าด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ (อัตราส่วน G/R) ดัง สมการที่ (5)

$$G/R = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T G_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T R_{i,t}} \quad (5)$$

เมื่อ G/R คือ ค่าความลำเอียงของปริมาณฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศ

$G_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัด i ณ เวลา t (mm/h)

$R_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนที่ประมาณค่าได้ด้วยสมการ Z-R ที่เหนือสถานีตรวจวัด i ณ เวลา t (mm/h)

ผลการศึกษาพบว่าค่าอัตราส่วน G/R ที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าเป็น 4.0476 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณฝนที่ประมาณค่าด้วยสมการความสัมพันธ์ Z-R มีค่าน้อยกว่าปริมาณฝนที่ตกจริง โดยค่าอัตราส่วน G/R นี้

จะถูกนำไปใช้เป็นค่าปรับแก้สำหรับสมการ และค่าคงที่ $b=1.3$
ความสัมพันธ์ Z-R จากการศึกษาที่มีค่าคงที่ $a=85$

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่า RMSE จากสมการความสัมพันธ์ Z-R ต่าง ๆ

	a=85, b=1.3	a=200, b=1.6	a=300, b=1.4
	RMSE	RMSE	RMSE
การสอบเทียบ (950)	7.8506	14.2233	13.8089
การทวนสอบ (499)	7.8369	14.2126	13.8328

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วน G/R จากสมการความสัมพันธ์ Z-R ต่าง ๆ

	a=85, b=1.3	a=200, b=1.6	a=300, b=1.4
	G/R	G/R	G/R
การสอบเทียบ (950)	4.0476	5.6793	5.3789
การทวนสอบ (499)	3.9095	5.4707	5.1881

ตารางที่ 2 และ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประมาณปริมาณฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R แตกต่างกันพบว่า ค่าปริมาณฝนที่ได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จริงสำหรับทุกสมการความสัมพันธ์ อย่างไรก็ตาม ค่าการประมาณปริมาณฝนจากสมการความสัมพันธ์ Z-R ของการศึกษานี้ให้ค่าอัตราส่วน G/R น้อยกว่าสมการอื่น ๆ และมีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด โดยค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE : Root mean Squared Error) จากการทดสอบแบบจำลองก็แสดงค่าที่น้อยที่สุดเช่นกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่มีค่าคงที่ $a=85$ และค่าคงที่ $b=1.3$ มีความแม่นยำกว่าสมการของ Marshall-Palmer ($a=200$, $b=1.6$) และ WSR-88D ($a=300$, $b=1.4$) โดยสามารถลดข้อผิดพลาดจากการประมาณปริมาณฝนด้วยรูปแบบเดิม ผลที่ได้ในการศึกษานี้จึงเหมาะที่จะนำไปใช้

ปรับปรุงการประมาณปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศสำหรับภาคเหนือของประเทศไทย

การวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ Z-R ของแต่ละกลุ่มฝน และคัดเลือกสมการความสัมพันธ์ Z-R relationship ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มฝนแต่ละชนิดจะพิจารณาจากค่า RMSE ของการสอบเทียบ (Calibration) การทวนสอบ (Verification) และค่าของสมการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ระหว่างฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศและปริมาณฝนจากถังวัดฝนที่มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมดังนี้

1. สมการความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมจะต้องมีค่า RMSE ที่น้อยที่สุดของการสอบเทียบ (Calibration) การทวนสอบ (Verification)
2. ในกรณีที่ไม่มีเป็นไปตามข้อ 1 ให้พิจารณาค่า RMSE ของค่าการทวนสอบ (Verification) ที่น้อยที่สุด

จากการพิจารณาสามารถสรุปสมการ ชนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มฝนแต่ละ

ตารางที่ 4 สมการความสัมพันธ์ Z-R relationship ของกลุ่มฝน

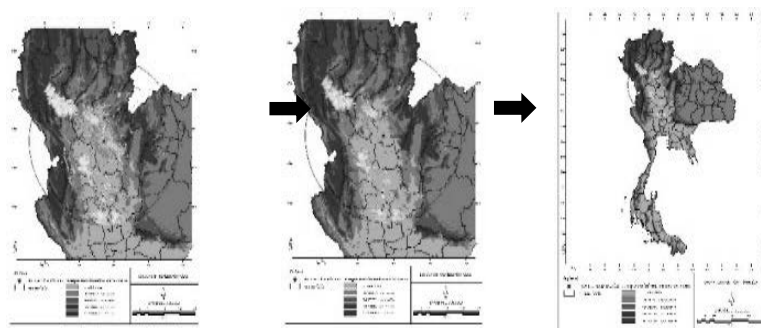
ชนิดของฝน	เหตุการณ์	สมการ	RMSE	
			การสอบเทียบ (Calibration)	การทวนสอบ(Verification)
Stratiform	350	$Z=85R^{1.3}$	6.253	6.327
Convective	100	$Z=85R^{1.3}$	7.615	7.632

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าพารามิเตอร์ a จะมีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของกลุ่มฝน โดยกลุ่มฝนที่เกิดจากเมฆ Stratiform จะมีค่า a มากกว่ากลุ่มฝนที่เกิดจากเมฆ Convective ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่าค่าสะท้อนกลับของกลุ่มฝนที่เกิดจากเมฆ Stratiform จะมีค่าน้อยกว่าค่าสะท้อนกลับของกลุ่มฝนที่เกิดจากเมฆ Convective เนื่องจากกลุ่มฝนที่เกิดจากเมฆ Convective มีการก่อตัวสูงกว่ากลุ่มฝนที่เกิดจากเมฆ Stratiform และกลุ่มฝนที่เกิดจากเมฆ Convective มีความปั่นป่วนของกระแสอากาศในก้อนเมฆที่รุนแรงกว่าและขนาดเม็ดฝนใหญ่กว่า จากผลวิเคราะห์ค่า RMSE ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ Z-R แสดงให้เห็นว่าการใช้ความสัมพันธ์ Z-R ที่เหมาะสมกับกลุ่มฝนแต่ละชนิดจะให้ค่า RMSE ที่น้อยกว่าการประยุกต์

แบบจำลอง เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณฝนของเรดาร์ตรวจอากาศพิชฌ์โลก บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การประยุกต์ใช้สมการ $Z=85R^{1.3}$ ที่ได้จากผลการศึกษาการประเมินปริมาณฝนที่อยู่ภายใต้การตรวจวัดของเรดาร์ตรวจอากาศพิชฌ์โลก 240 กิโลเมตร เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณฝนในภาคเหนือตอนล่าง ของเรดาร์ตรวจอากาศพิชฌ์โลก ในวันที่ฝนตก บนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แสดงดังภาพที่ 7 โดยกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

ค่าการสะท้อนกลับของเรดาร์ตรวจอากาศ (Z) มีค่าอยู่ในช่วง $21 \text{ dBZ} \leq Z \leq 55 \text{ dBZ}$ โดยถ้า $Z > 55 \text{ dBZ}$ จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 55 dBZ



ภาพที่ 7 แสดงการประเมินปริมาณฝนของเรดาร์ตรวจอากาศพิชฌ์โลกบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูล ณ วันที่ 10 สิงหาคม 2551

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการประมาณปริมาณฝนด้วยเรดาร์ตรวจอากาศ โดยใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศจากสถานีเรดาร์พิษณุโลกจากการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ Z-R พบว่า ค่า Z-R ที่ได้จากการศึกษามีค่าคงที่ $a=85$ และค่าคงที่ $b=1.3$ โดยเมื่อนำค่า Z-R ที่ได้นี้ไปเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ของ Marshall & Palmer (1948) และของ Fulton et al. (1998) พบว่าค่าสมการความสัมพันธ์ Z-R ที่ได้จากการศึกษานี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้เพื่อการประมาณค่าฝนมากกว่าสมการที่ได้จากการศึกษาก่อนหน้านี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2521). **อุตุนิยมวิทยาทั่วไป**. กรุงเทพฯ : กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ชวนพิศ เงินฉลาด. (2555). **การตรวจอากาศด้วยเรดาร์**. สงขลา : ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก.
- ศิริลักษณ์ ชุ่มชื่น, รัชเวช หาญชูวงศ์, และอนุสรณ์ หอมเมือง. (2541). การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของสมการ Z-R ของกลุ่มเมฆฝนชนิดต่าง ๆ ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุวพันธ์ นิลายน. (2539). **อุตุนิยมวิทยา**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Chantraket, P., Detyothin, C., & Suknarin, A. (2013). Radar reflectivity derived rain-storm characteristics over northern Thailand. *EnvironmentAsia*, 6(2), 24-33.
- Chumchuan, S., Seed, A., & Sharma, A. (2008). An operational approach for classifying storms in real-time radar rainfall estimation. *Journal of Hydrology*, 363 (1-4), 1-17.
- Doviak, R. J., & Zmric, D. S. (1993). **Doppler Radar and Weather Observations**. New York: Academic Press.
- Fulton, R. A., Breidenbach, J. P., Seo, D. J., Miller, D. A., & O'Bannon, T. (1998). The WSR-88D rainfall algorithm. *Weather and Forecasting*, 13(2), 377-395.
- Marshall, J. S., & Palmer, W. M. K. (1948). The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, 5(4), 165-166.
- Rinehart, R. E. (2004). **Radar for Meteorologists, or, You Too Can Be a Radar Meteorologist, Part III** (Fourth ed.). Columbia, MO: Rinehart.
- Rosenfeld, D., & Amitai, E. (1998). Comparison of WPMM versus regression for evaluating Z-R relationships. *Journal of Applied Meteorology*, 37(10), 1241-1249.

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

สามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์ในการเฝ้าระวังสภาพอากาศ การเตือนภัยธรรมชาติ และการพยากรณ์ลักษณะอากาศได้ ระบบเรดาร์ตรวจอากาศควรได้รับการบำรุงรักษา และเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง และมีมาตรฐานในการปฏิบัติงานอยู่เสมอ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

นำวิธีการประเมินค่าไปใช้คำนวณหาค่าความสัมพันธ์กับพื้นที่ที่มีสภาพอากาศ/สภาพภูมิประเทศที่แตกต่าง

- Shelton, M. L. (2009). **Hydroclimatology : Perspectives and Applications**. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Woodley, W., & Herndon, A. (1970). A rain gauge evaluation of the Miami reflectivity-rainfall rate relation. **Journal of Applied Meteorology**, 9(2), 258-264.