

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนดาวเทียมกับฝนสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

The relationship between satellite rainfall and the gauge rainfall

in Nan River Basin

สุบรรณ ผลกะสิ*

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

*E-mail: subanphon@gmail.com

บทคัดย่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน โดยใช้ข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงระหว่างปี 2552 ถึง 2554 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝนจากดาวเทียมมีปริมาณมากกว่าฝนจากสถานีวัดปริมาณฝนจากดาวเทียมส่วนใหญ่ร้อยละ 48 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 5 มิลลิเมตร ค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจจับสัญญาณ (Probability Of Detection ,POD) มีค่า 58 % การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยใช้ข้อมูลฝนรายเดือนได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.557

คำสำคัญ: ฝนจากดาวเทียม ดาวเทียม TRMM ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

Abstract

The relationship between the rainfall obtained from weather satellite of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) and the recorded rainfall from Thai Meteorology Department (TMD) was investigated. The 3 hourly rainfall data during 2009-2011 over the study area of the Nan River Basin were used in this study. The TRMM rainfall is higher than 3- hourly areal rainfall over the study area. More than 48% of 3-hourly rainfall pair occurrences are in the range of 0-5 mm. The obtained Probability of Detection (POD) score is more than 58%. The comparison of the TRMM rainfalls and the gauging rainfalls was undertaken using the linear regression technique. The comparison result was quite satisfactory with R^2 of 0.557.

Keywords: Satellite rainfall, TRMM, linear regression technique

บทนำ

บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยเป็นแหล่งต้นน้ำสำคัญ มีสภาพภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงและป่าไม้ การประเมินน้ำฝนด้วยเครื่องมือภาคพื้นดินทั้งจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน หรือจากเรดาร์ตรวจอากาศ ไม่ทั่วถึงและมีจุดอ่อนในบางพื้นที่ จากการวิเคราะห์ระบบเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าใน 25 ลุ่มน้ำประธานของประเทศไทย [1] ระบุว่าลุ่มน้ำสาขาที่อยู่ตอนบนของแต่ละลุ่มน้ำประธานซึ่งเป็นพื้นที่ต้นน้ำของแต่ละลุ่มน้ำ มีจำนวนสถานีวัดน้ำฝนอยู่น้อย ความหนาแน่นของปริมาณสถานีวัดฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนของประเทศไทยประกอบด้วย ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน และสาละวิน เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (The World Meteorological Organization : WMO) ยังมีค่าน้อย [2] ในขณะที่เครือข่ายเรดาร์ตรวจอากาศที่มีอยู่ครอบคลุมทั่วประเทศ มีปัญหาการปรับแก้ค่าสัญญาณและปัญหาจากแนวภูเขาสูงบังสัญญาณในบางพื้นที่ [3] ดังนั้นข้อมูลปริมาณฝนในแต่ละช่วงเวลาที่ยังไม่เพียงพอที่จะสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทุกบริเวณ บางพื้นที่สถานีตรวจวัดปริมาณฝนมีความห่างกันมากทำให้ไม่สามารถทราบค่าปริมาณน้ำฝนบริเวณจุดที่สนใจ การตรวจวัดปริมาณฝนโดยใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเป็นอีกทางเลือก โดยสามารถตรวจวัดได้ครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน เช่น บริเวณพื้นที่ป่า บริเวณพื้นที่ภูเขาสูง ซึ่งไม่สะดวกในการตั้งสถานีภาคพื้นดิน ดังนั้นจุดประสงค์หลักในการศึกษาครั้งนี้คือการเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้โดยดาวเทียมอุตุนิยมวิทยากับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดฝนภาคพื้นดินในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม ข้อมูลฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน และวิธีการทางสถิติ มีรายละเอียดดังนี้

พื้นที่ศึกษา

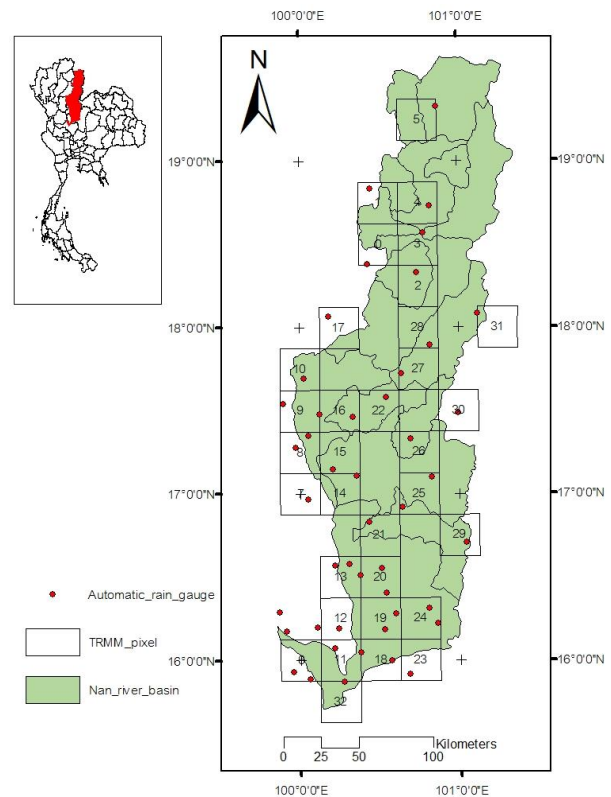
พื้นที่ลุ่มน้ำน่านดังแสดงในรูปที่ 1 ครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัดในเขตภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดน่าน, อุตรดิตถ์, พิษณุโลก, พิจิตร และนครสวรรค์ ลักษณะลุ่มน้ำวางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้ มีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งสิ้น 34,331 ตารางกิโลเมตร [4] แม่น้ำน่านประกอบด้วย 16 ลำน้ำสาขา ได้แก่ แม่น้ำน่านตอนบน ห้วยน้ำยาว 1 แม่น้ำน่านส่วนที่ 2 น้ำยาว 2 น้ำสมุน แม่น้ำน่านส่วนที่ 3 น้ำสา น้ำว่า น้ำแห้ง น้ำน่านส่วนที่ 4 น้ำปาด คลองตรอน แม่น้ำแควน้อย น้ำภาค แม่น้ำวังทอง และแม่น้ำน่านตอนล่าง [5]

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจาก TRMM

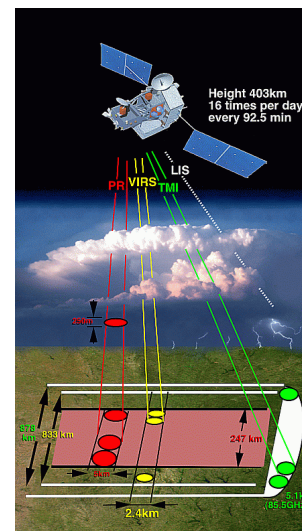
ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาดังแสดงในรูปที่ 2 ชื่อว่า The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) ซึ่งเป็นโครงการที่มีความร่วมมือกันเกิดขึ้นระหว่าง (National Aeronautics Space Administration) NASA และ (Japan Aerospace Exploration Agency) JAXA เริ่มใช้งานเมื่อ (วันที่ 27 พฤศจิกายน 2540) [6] ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงในช่วงระหว่างปี 2552 ถึงปี 2554 จากผลการสำรวจ Product ของ TRMM Multisatellite Precipitation Analysis ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ที่ <http://disc.2nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/realtime.3B42RT.2.shtml>

ข้อมูลฝนจากสถานีวัด

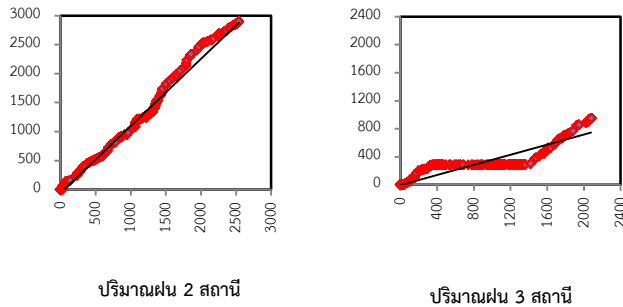
กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ได้ดำเนินการตามแผนการติดตั้งเครือข่ายสถานีวัดฝนอัตโนมัติ พัฒนาระบบเฝ้าระวังการเตือนภัย โดยกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นหน่วยงานหลักในการดูแลรับผิดชอบ ดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดฝนอัตโนมัติพร้อมระบบสื่อสาร จำนวน 820 สถานี ทั่วประเทศไทย แล้วเสร็จพร้อมทั้งทดสอบการทำงานในช่วงต้นปี 2552 และได้ขยายเป็น 1,184 สถานี ในช่วงปลายปี 2552 [8] สามารถรายงานข้อมูลได้ทันทั่วทั้งและมีความละเอียดถึงระดับนาที่ โดยจำนวนสถานีวัดปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักทางภาคเหนือ 5 ลุ่มน้ำ มีจำนวนและความหนาแน่นดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 เครือข่ายสถานีวัดน้ำฝน และ TRMM พิกเซลในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 2 ดาวเทียมลักษณะการทำงานของดาวเทียม TRMM [9]



รูปที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลฝนที่ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของ TOVAS [7]

ตารางที่ 1 ความหนาแน่นของสถานีวัดฝนอัตโนมัติในกลุ่มน้ำทางภาคเหนือ [2]

หมายเลข ลุ่มน้ำ	ชื่อลุ่มน้ำ	พื้นที่ (ตร.กม.)	จำนวน สถานีวัดฝน	ความหนาแน่น (ตร.กม. / สถานี)
1	สาละวิน	17,918	12	1,493.16
6	ปิง	33,896	45	753.24
7	วัง	10,791	16	674.44
8	ยม	23,330	45	518.44
9	น่าน	34,330	50	686.60

ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านมีสถานีวัดฝนอัตโนมัติจำนวน 50 สถานี และมีพิกเซลของ TRMM จำนวน 70 พิกเซลในพื้นที่ศึกษาดังรายละเอียดในรูปที่ 1 มีพิกเซลที่มีสถานีวัดฝนอัตโนมัติอยู่ภายในมี 10 พิกเซลที่มีสถานีวัดฝนมากกว่า 1 สถานีในพื้นที่พิกเซล มี 22 พิกเซลที่มีสถานีวัดฝน 1 สถานีในพื้นที่พิกเซล และมี 37 พิกเซลที่ไม่มีสถานีวัดฝนอยู่ในพื้นที่พิกเซล

การเปรียบเทียบปริมาณ

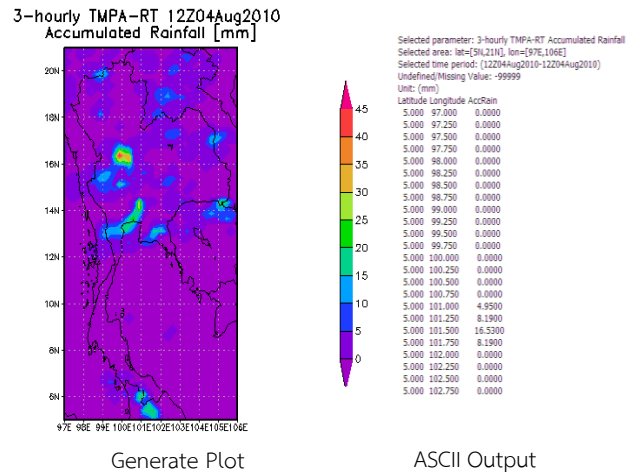
สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบความสัมพันธ์และเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ได้จาก TRMM กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝน ได้แก่ Mean Absolute Error (MAE) คือค่าความคลาดเคลื่อนกลางเฉลี่ยสมบูรณ์, Multiplicative Bias (Bias) คือค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง, Probability of Detection (POD) และ False-alarm Ratio (FAR) [10]

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |(S - G)| \quad (1)$$

$$Bias = \sum S / \sum G \quad (2)$$

$$POD = \frac{A}{A+C} \quad (3)$$

$$FAR = \frac{B}{A+B} \quad (4)$$

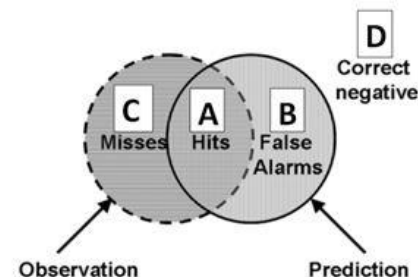


โดยที่ G คือ ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ที่ได้จากสถานีวัดฝน (มม.)
S คือ ปริมาณฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM (มม.)
N คือ จำนวนคู่ของข้อมูลระหว่าง S และ G ที่อยู่ในตำแหน่งและเวลาเดียวกัน

ค่า A B C และ D คือกรณีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่จากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน โดยให้ค่าเริ่มต้นที่ 0.1 มม. ที่เป็นค่าเริ่มต้นที่ได้จากดาวเทียม TRMM ดังแสดงกรณีต่างๆ ในตารางที่ 2 และในรูปที่ 4

ตารางที่ 2 กรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม

	ฝนเชิงพื้นที่ ≥ 0.1 มม.	ฝนเชิงพื้นที่ < 0.1 มม.
TRMM ≥ 0.1 มม.	A	B
TRMM < 0.1 มม.	C	D



รูปที่ 4 กรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจจากดาวเทียม [11]

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

รวบรวมข้อมูล

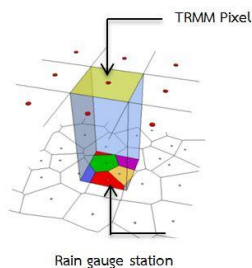
ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันและราย 3 ชั่วโมงในช่วงปี 2552 -2554 จากกรมอุตุนิยมวิทยาและจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM รวมทั้งข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาภายในพื้นที่ศึกษาจากกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา

วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

พื้นที่ลุ่มน้ำน่านมีสถานีวัดฝนอัตโนมัติจำนวน 50 สถานี และพิกเซลจาก TRMM จำนวน 70 พิกเซล ทำการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้น ได้แก่ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด จำนวนที่ข้อมูลขาดหาย ปริมาณฝนรวมรายปีและค่าสถิติพื้นฐาน จากนั้นทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยวิธี Double Mass Curve คัดเลือกสถานี รูปที่ 5 (ก) ผลการตรวจสอบข้อมูลสถานี 3790002 เป็นลักษณะเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลน่าเชื่อถือ ต่างกับผลการตรวจสอบในรูปที่ 5 (ข) สถานี 378000 ค แสดงผลการตรวจสอบข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ จากนั้นทำการจัดสร้างฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในส่วนอื่นต่อไป

เปรียบเทียบปริมาณฝน

การตรวจสอบความสัมพันธ์และเปรียบเทียบปริมาณฝนที่ได้จาก TRMM กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนอัตโนมัติ โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ Bias MAE POD และ FAR ในเวลาและตำแหน่งเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 6 ค่าสถิติที่สำคัญที่จะบอกถึงประสิทธิภาพของการตรวจวัดปริมาณฝนของดาวเทียมได้แก่ POD ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ค่า 1 แสดงว่าการตรวจวัดโดยดาวเทียมมีประสิทธิภาพดีมาก และ ค่า FAR มีค่าระหว่าง 0-1 ค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าความผิดพลาดจากการตรวจวัดมีน้อยมาก



รูปที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณฝนจากสถานีพื้นดินและปริมาณจากการสำรวจโดยดาวเทียม [2]

หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจาก TRMM กับฝนจากสถานีวัด

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณน้ำฝนจาก TRMM กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน โดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลปริมาณฝนตกปานกลาง (10.1 – 35 มม.) และฝนตกหนัก (35.1 - 90 มม.) ตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา [12] เนื่องจากเป็นช่วงปริมาณฝนส่วนใหญ่ที่เกิดในฤดูของประเทศไทย

ผลการวิจัย

ผลการรวบรวมข้อมูลจากสถานีวัดและจากดาวเทียม TRMM จากข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมง ในฤดูฝนระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง 2554 ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงจากทั้งสองแหล่งข้อมูลที่มีค่ามากกว่า 0.1 มิลลิเมตร มีจำนวน 18,849 คู่ ปริมาณฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM ส่วนใหญ่ร้อยละ 48 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM และค่าปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนมีค่า 9.59 มิลลิเมตรและ 4.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ จำนวนคู่ข้อมูลแยกเป็น 4 กรณีจากจำนวนคู่ข้อมูลทั้งหมด 142,927 คู่ ดังแสดงในตารางที่ 3

ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนโดยค่าสถิติของข้อมูลทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4 การกระจายตัวของข้อมูลฝนในกรณี A จำนวน 18,849 คู่ข้อมูล จาก TRMM ในแต่ละช่วงปริมาณ 5 มม. แสดงในรูปที่ 7 ปริมาณฝนร้อยละ 48 จะมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.1- 5 มิลลิเมตรและจำนวนลดลงในช่วงปริมาณฝนที่มากขึ้น

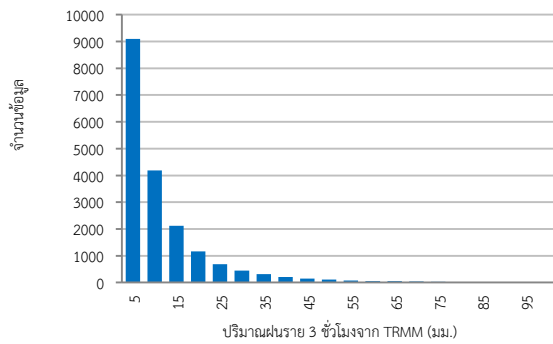
ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกรณี A ในช่วงข้อมูลปริมาณฝนตกปานกลางและฝนตกหนัก แบบเส้นตรง แบบ Exponential และแบบยกกำลัง แสดงผลโดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.557 0.519 และ 0.492 ดังแสดงในรูปที่ 8 ถึง 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 จำนวนกรณีของการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจจากดาวเทียม

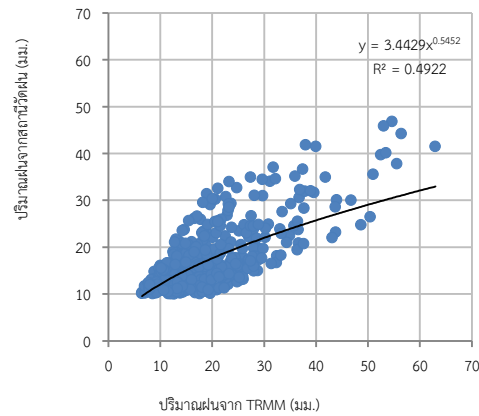
	ฝนเชิงพื้นที่ ≥ 0.1 มม.	ฝนเชิงพื้นที่ < 0.1 มม.
TRMM ≥ 0.1 มม.	(A) 18,849	(B) 23,647
TRMM < 0.1 มม.	(C) 13,671	(D) 86,760

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติและความสัมพันธ์ของข้อมูลฝน

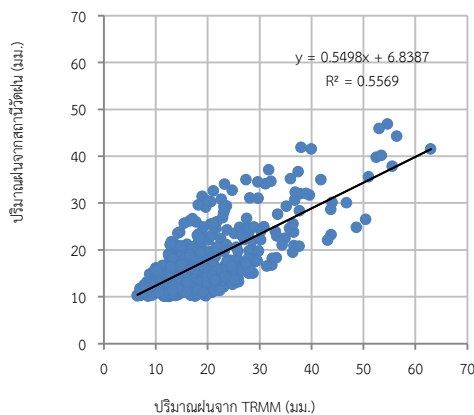
ประเภทของค่าสถิติ	ค่าสถิติ
จำนวนคู่ข้อมูล	142,927
Mean Absolute Error (MAE)	1.433
Multiplicative bias (Bias)	2.958
Probability Of Detection (POD)	0.580
False-Alarm Ratio (FAR)	0.557



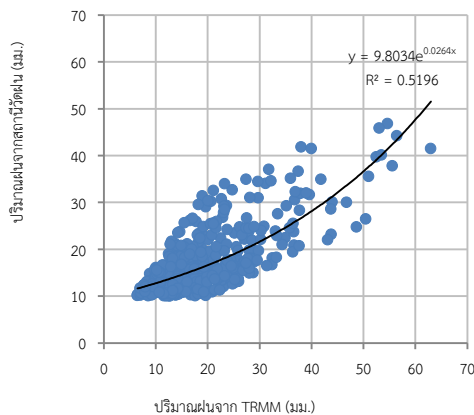
รูปที่ 7 จำนวนข้อมูลปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM ในแต่ละช่วงปริมาณ 5 มิลลิเมตรในช่วงฤดูฝนปี 2552-2554



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์แบบยกกำลังระหว่างข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์แบบ Exponential ระหว่างข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

สรุปผล

จากข้อมูลทั้งหมดจำนวนทั้งสิ้น 142,927 คู่ ได้ค่าสถิติ ดังนี้ MAE เท่ากับ 1.433, Bias มีค่าเท่ากับ 2.958, POD มีค่าเท่ากับ 0.58 เป็นค่าที่ค่อนข้างน่าพอใจและค่า FAR คือค่าเปอร์เซ็นต์สัญญาณการตรวจจับที่ผิดพลาด มีค่าเท่ากับ 0.557 เป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ พิจารณาในช่วงฤดูฝนพบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM มีค่าที่มากกว่าปริมาณฝนเฉลี่ยจากสถานีวัดฝน 2.33 เท่า สาเหตุเนื่องมาจากระดับของเมฆฝนที่ตรวจวัดจากดาวเทียม TRMM จะอยู่เหนือขึ้นไปจากระดับพื้นดินประมาณ 2 กิโลเมตร [13] ดังนั้นหากมีอิทธิพลของลมในขณะที่เมฆฝนกำลังตกลงพื้นดินหรือกรณีฝนตกในปริมาณที่น้อยกว่าเมฆฝนจะระเหยไประหว่างทางก่อนตกลงพื้นดิน มีผลทำให้ปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียมมีความคลาดเคลื่อนและมีปริมาณมากกว่าที่วัดได้จากสถานีภาคพื้นดิน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เฉพาะในช่วงข้อมูลปริมาณฝนตกปานกลางและฝนตกหนัก แบบเส้นตรงแบบ Exponential และแบบยกกำลัง พบว่าวิธีการหาความสัมพันธ์แบบเส้นตรงให้ค่า R^2 ดีที่สุด

การศึกษาครั้งนี้เป็นส่วนเริ่มต้นของใช้ผลการสำรวจปริมาณฝนจากดาวเทียมเพื่อจะได้นำผลความสัมพันธ์ไปใช้เป็นตัวปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน โดยวิธีการศึกษาดังกล่าวสามารถนำไปปรับใช้ในบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดฝนหรือบริเวณที่สนใจอื่น ๆ หรือนำวิธีการศึกษานี้ไปปรับใช้กับการสำรวจปริมาณฝนจากดาวเทียมดวงอื่น ๆ เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ในทางอุทกวิทยาด้านต่าง ๆ เช่น การเตือนภัยน้ำหลาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่อนุเคราะห์ข้อมูลฝนที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วัชร องค์กรโชติกุล, 2542. การวิเคราะห์ระบบเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าใน 25 กลุ่มน้ำประธานของประเทศไทย กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] S. Tantane and S. Phonkasi, Investigation of relationship between satellite rainfall and observed rainfall from gauging station network for northern Thailand. In The 2nd EIT International Conference on Water Resources Engineering. Chiang Rai: Le Méridien Chiang Rai Resort 2013.
- [3] R. Chokngamwong and S. Chiu Long , Thailand Daily Rainfall and Comparison with TRMM Products. Journal of Hydrometeorology, 2008, pp. 256-266.
- [4] สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่กรมชลประทาน 25 กลุ่มน้ำ. ที่มา <http://kromchol.rid.go.th/lproject/2010/index.php/> สืบค้นเมื่อ [14 กันยายน 2555]
- [5] สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา. แผนที่มาตรฐานการแบ่งลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย กรุงเทพฯ . กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2552.
- [6] M.N. Islam and H. Uyeda, "Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh," Remote Sensing of Environment, 2007 108(3), pp. 264-276.
- [7] National Aeronautics and Space Administration. TRMM Online Visualization and Analysis System Retrieved May 3 2010, from <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>
- [8] กรมอุตุนิยมวิทยากระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. รายงานประจำปี 2551. กรุงเทพฯ: กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- [9] A. Braun, TRMM Background. Retrieved October 22, 2010, from http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/background.html.
- [10] T. Dinku, F. Ruiz, J. Stephen and P. Ceccato, "Validation and Intercomparison of Satellite Rainfall Estimates over Colombia," Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol.49(5), 2009, pp. 1004-1014.
- [11] A. Behrangil, B. Khakbaz, T.Chun, H. AghaKouchak, and S.Sorooshian, Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin. Journal of Hydrology, 2011, pp. 225-237.
- [12] U.Lewlomphaisarl, and P. Saengsatcha, "High accuracy tipping bucket rain gauge," In IEEE SICE Annual Conference (SICE), Proceedings 2012.
- [13] S.A. Ackerman, and J.Knox, Meteorology. N.P: Jones & Bartlett, 2011.