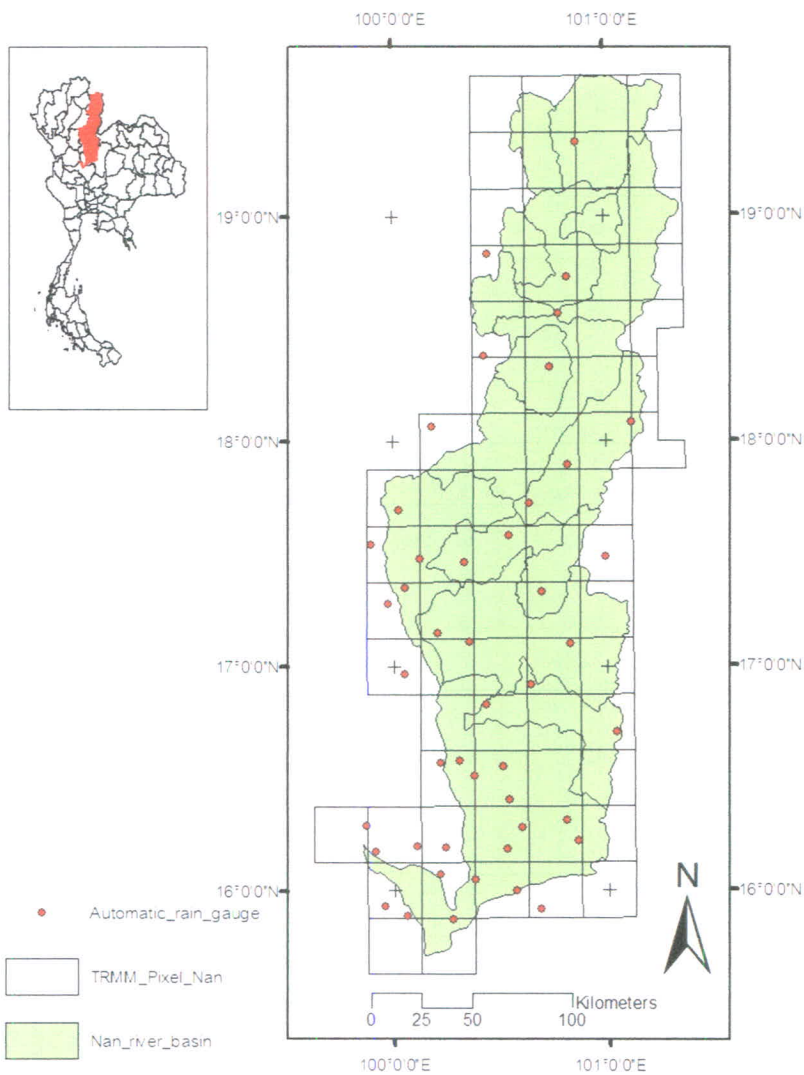
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการจัดทำฐานข้อมูลฝน

ผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM จากเว็บไซด์ของ TOVAS [15] และจากสถานวัดฝนอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา จัดทำเป็นฐานข้อมูล GIS ดังแสดงในภาพ 21

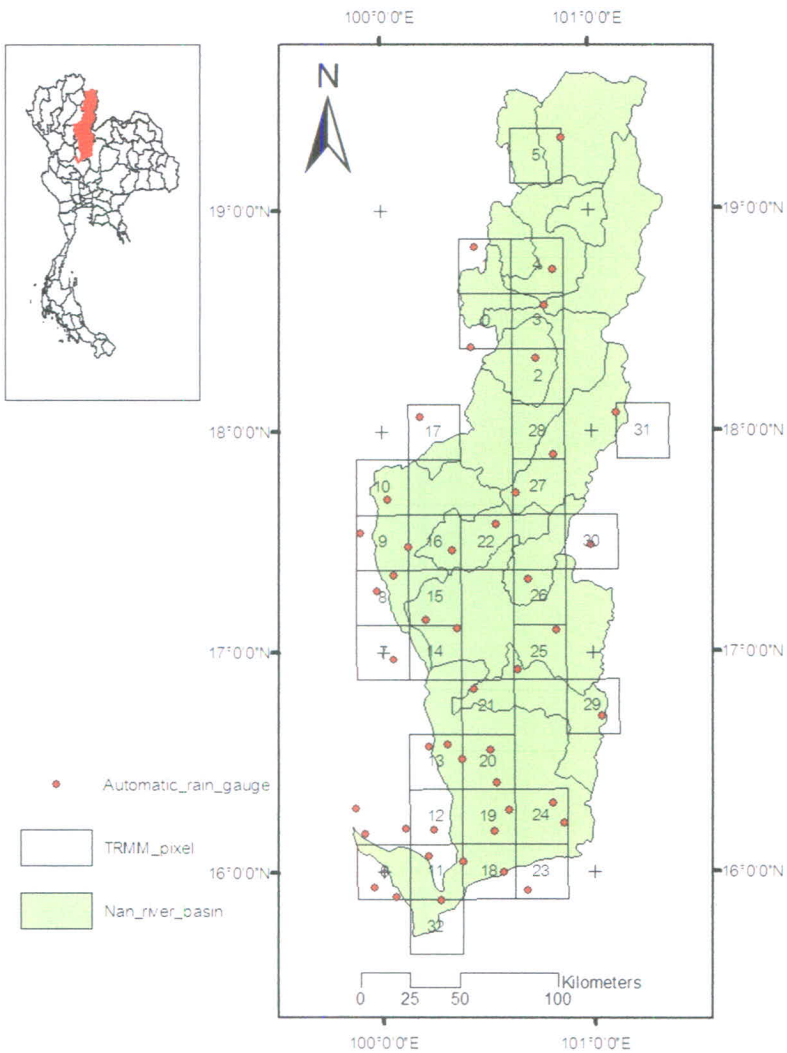


ภาพ 21 พื้นที่ลุ่มน้ำน่าน ตำแหน่งพิกเซลของดาวเทียมTRMM และสถานีวัดฝนอัตโนมัติ

ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านมีจำนวนพิกเซลจากการสำรวจของดาวเทียม TRMM รวมจำนวน 70 พิกเซล สถานีวัดฝนอัตโนมัติที่อยู่ภายในมีจำนวน 50 สถานีกระจายตัวหนาแน่นบริเวณตอนกลางจนถึงตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ ยกเว้นบริเวณตอนบนซึ่งเป็นพื้นที่ป่าและเขาสูงจะมีจำนวนน้อย

ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

ก่อนการนำข้อมูลฝนที่ได้จากสถานีวัดฝนอัติโนมัติมาใช้ในการศึกษา ได้ทำการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นเช่นจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ตรวจวัดได้ตั้งแต่ปี 2552-2554 ดังแสดงในตาราง 10 นอกจากนั้นทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลฝนโดยวิธี Double Mass Curve ผลการตรวจสอบแสดงในภาคผนวก ค และแสดงในภาพ 22



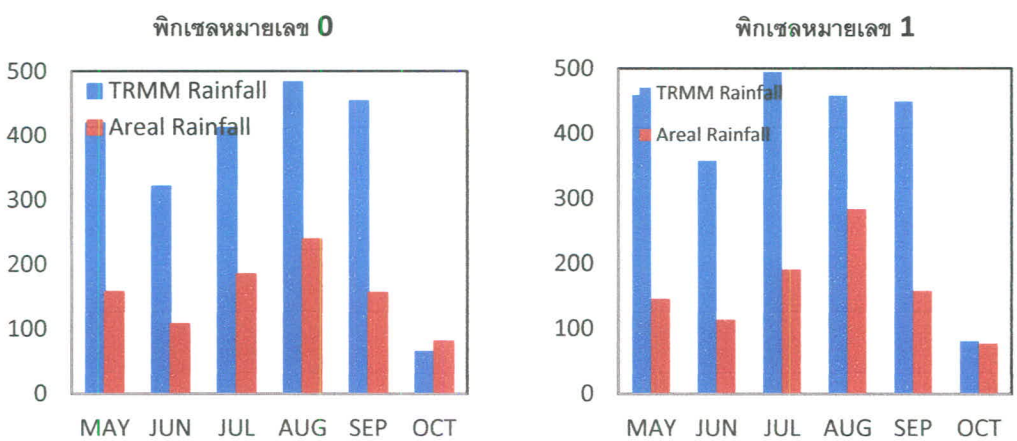
ภาพ 22 พื้นที่ลุ่มน้ำน่าน พิกเซลจากดาวเทียม TRMM ที่มีสถานีวัดฝนอัตโนมัติอยู่ภายใน

จากผลการตรวจสอบมีพิกเซลที่มีสถานีวัดฝนอัตโนมัติอยู่ภายในจำนวน 33 พิกเซล โดยมีจำนวนสถานีวัดฝนอัตโนโนมัติภายหลังจากการตรวจสอบความน่าเชื่อถือจำนวน 43 สถานี โดยมี 22 พิกเซลที่มีสถานีวัดฝนอัตโนมัติอยู่เพียงสถานีเดียว พิจารณาความหนาแน่นตามเกณฑ์ขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization : WMO) ดังแสดงในตาราง 11 พื้นที่ลุ่มน้ำน่านซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป็นภูเขาในเขตอบอุ่นหรือเขตร้อน มีความหนาแน่น 686.60 ตารางกิโลเมตรต่อสถานีน้อยกว่าเกณฑ์ความหนาแน่นที่แนะนำคือ 100 - 250 ตารางกิโลเมตรต่อสถานี

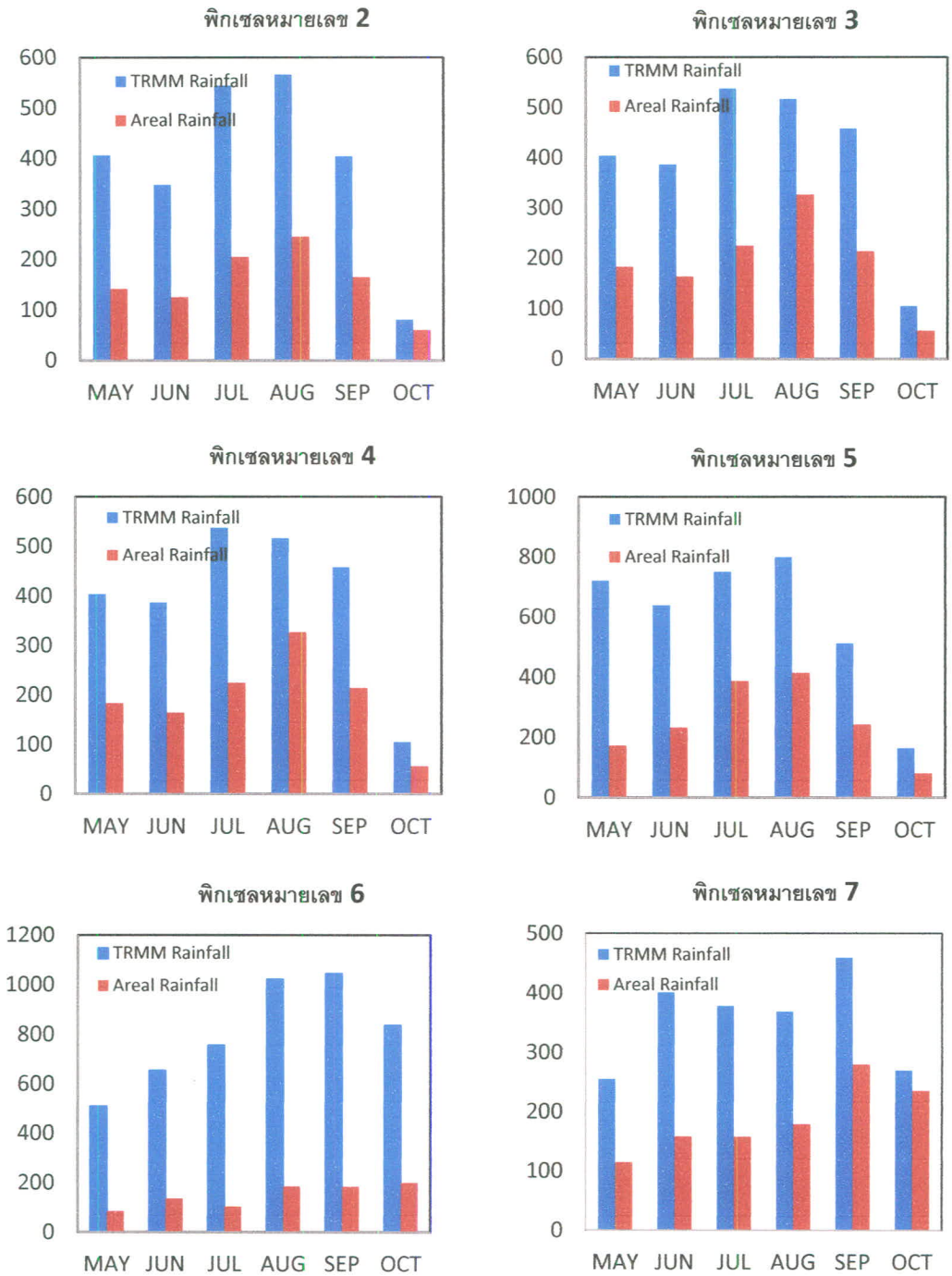
ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ปี 2552 ถึง 2554 ในพิกเซลหมายเลข 0 ถึง 7 แสดงในภาพ 23 และ 24 และในภาคผนวก จ ค่าสถิติเบื้องต้นของปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่แสดงในตาราง 12 และในภาคผนวก ฉ

ตาราง 11 เกณฑ์ความหนาแน่นของสถานีวัดฝนตามลักษณะพื้นที่ [46]

ลักษณะพื้นที่	ความหนาแน่นอย่างน้อย (ตร.กม./ สถานี)
พื้นที่ราบในเขตอบอุ่นหรือเขตร้อน	600
พื้นที่ที่เป็นภูเขาในเขตอบอุ่นหรือเขตร้อน	100-250
พื้นที่ที่มีภูเขาขนาดเล็กและมีฝนตกไม่สม่ำเสมอ	25
เขตแห้งแล้งและเขตภูมิอากาศขั้วโลก	1,500 – 10,000



ภาพ 23 ปริมาณฝนรายเดือนในพิกเซลหมายเลข 0 ถึง 1



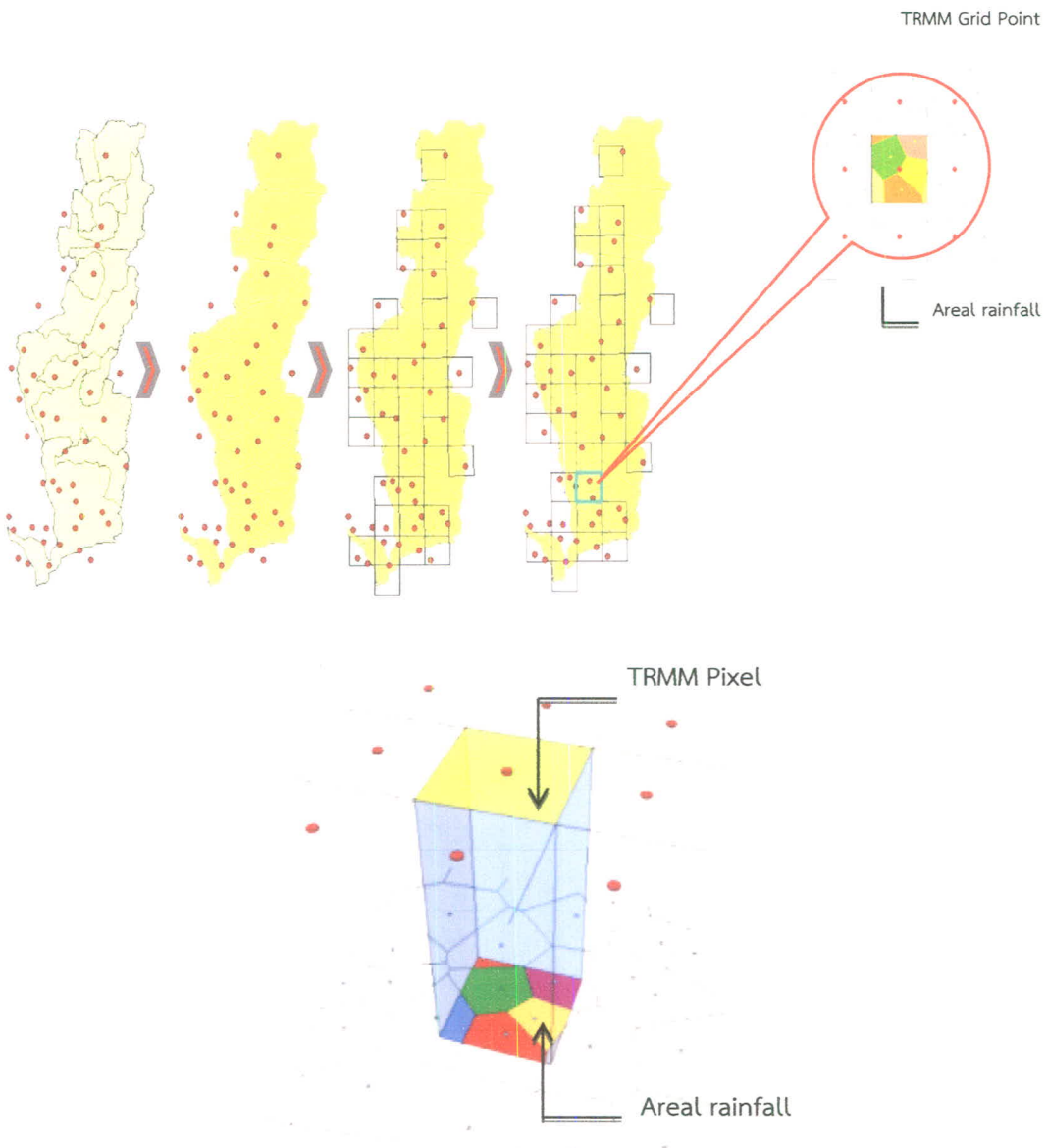
ภาพ 24 ปริมาณฝนรายเดือนในพิกเซลหมายเลข 2 ถึง 7

ตาราง 12 จำนวนพิกเซลจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน

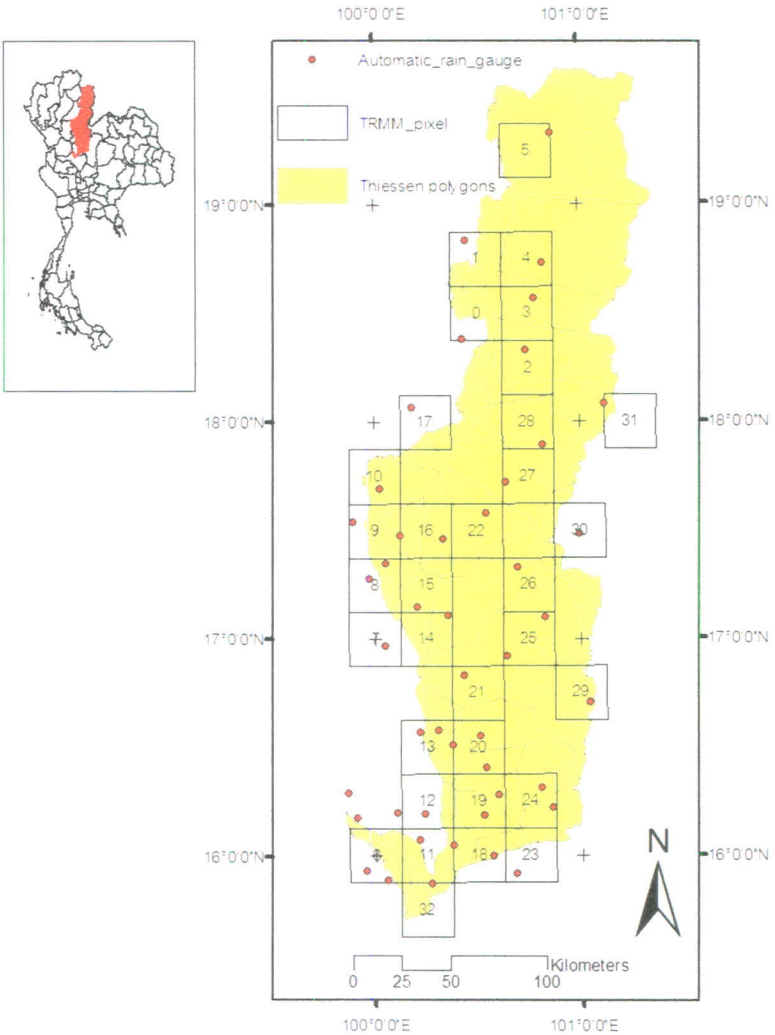
หมายเลขพิกเซล	จำนวนคู่	ค่าสถิติเบื้องต้น							
		ค่ามากที่สุด (มม.)		ค่าเฉลี่ย (มม.)		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มม.)		ความแปรปรวน (มม.)	
		TRMM	AREAL	TRMM	AREAL	TRMM	AREAL	TRMM	AREAL
0	2127	48.00	58.15	1.55	0.64	4.31	2.86	18.54	8.16
1	2102	69.54	55.44	1.66	0.67	4.42	2.74	19.57	7.52
2	1744	63.99	51.00	1.70	0.52	4.55	2.65	20.75	7.01
3	1841	78.24	53.39	1.72	0.65	4.85	2.95	23.52	8.70
4	2020	61.41	69.82	1.72	0.81	4.51	3.54	20.37	12.55
5	1813	117.84	77.50	2.58	1.06	7.65	4.63	58.51	21.44
6	1912	124.80	39.67	3.43	0.62	10.70	2.45	114.53	6.00
7	1976	69.60	50.14	1.54	0.78	4.90	3.18	24.04	10.09
8	1805	129.60	47.17	3.14	0.71	9.71	3.13	94.34	9.79
9	1802	153.84	63.63	3.25	0.77	10.35	3.23	107.11	10.46
10	1816	63.42	74.82	1.66	0.86	4.90	3.90	24.02	15.20
11	1709	76.35	51.28	1.64	0.68	5.36	2.95	28.69	8.68
12	1934	94.23	74.84	1.50	0.66	4.78	3.27	22.82	10.68
13	1860	167.64	51.48	2.95	0.70	9.79	3.04	95.93	9.21
14	1976	74.07	48.09	1.61	0.82	4.80	3.06	23.01	9.36
15	1989	52.92	54.83	1.53	0.80	4.11	3.22	16.86	10.36
16	1733	78.45	58.25	1.57	0.71	4.57	3.04	20.85	9.21
17	1967	72.09	49.20	1.57	0.65	4.67	2.89	21.80	8.37
18	1950	164.40	59.75	3.26	0.77	10.34	3.32	106.96	11.03
19	2002	133.02	41.80	3.03	0.69	9.07	2.78	82.35	7.71
20	1868	157.41	47.85	4.52	0.80	12.24	3.28	149.86	10.73
21	1965	62.49	50.62	1.52	0.81	4.22	3.26	17.77	10.64
22	1946	70.17	54.68	1.64	0.64	4.47	2.61	19.96	6.84
23	1993	78.39	67.58	1.76	0.79	5.18	3.20	26.78	10.22
24	1917	130.86	61.40	3.38	0.96	9.72	3.75	94.45	14.09
25	1984	112.80	36.58	3.41	0.70	8.86	2.70	78.42	7.30
26	2226	56.91	43.48	1.73	0.85	4.43	3.32	19.61	11.05
27	2134	51.33	48.97	1.65	0.68	4.42	2.73	19.55	7.46
28	1906	93.09	66.86	1.81	0.60	5.35	2.90	28.61	8.41
29	1891	49.83	86.00	1.73	0.70	4.29	3.41	18.44	11.62
30	2043	82.77	71.56	1.93	0.70	5.26	3.25	27.70	10.58
31	1828	82.32	48.50	2.09	0.62	5.61	2.95	31.43	8.71
32	1929	130.89	58.50	1.67	0.74	5.82	3.40	33.84	11.57

ผลการคำนวณหาปริมาณฝนเชิงพื้นที่

ปริมาณฝนเชิงพื้นที่ในลุ่มน้ำน่าน คำนวณโดยวิธี Thiessen Polygon จากตำแหน่งสถานีวัดฝนอัตโนมัติ จำนวน 43 สถานี และสถานีใกล้เคียง ดังแสดงกระบวนการคำนวณในภาพ 25 พร้อมผลการคำนวณหาปริมาณฝนเชิงพื้นที่ได้ผลดังแสดงใน ภาพ 26



ภาพ 25 กระบวนการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนเชิงพื้นที่

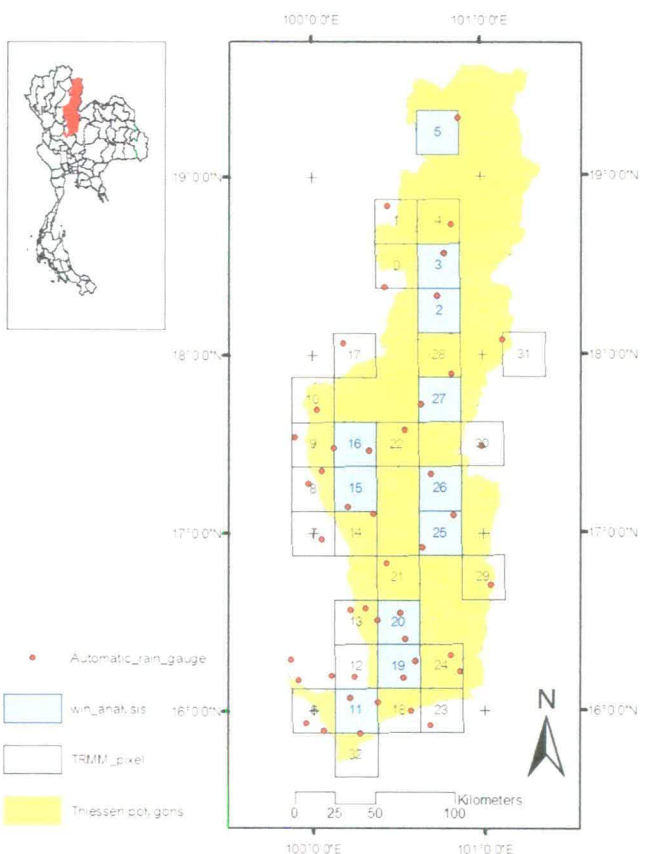


ภาพ 26 ผลการคำนวณปริมาณฝนเชิงพื้นที่โดยวิธี Thiessen Polygon

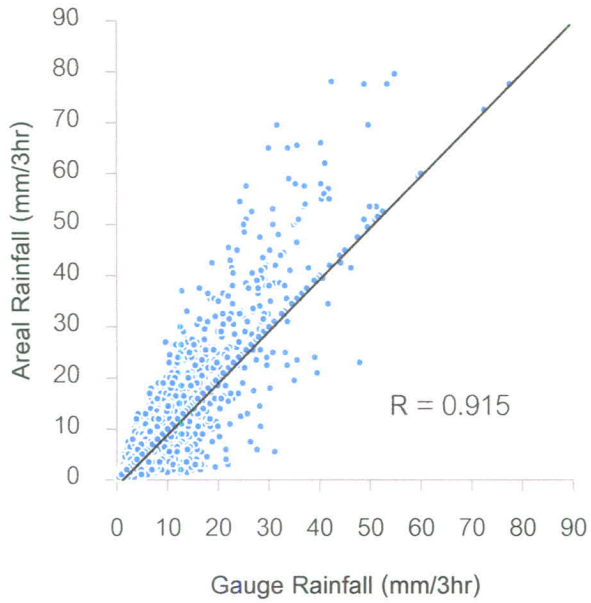
ผลการหาความสัมพันธ์ก่อนการปรับแก้ค่าฝนราย 3 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบค่าและหาความสัมพันธ์ระหว่างฝนจากดาวเทียม TRMM และฝนจากสถานีวัดฝนอัตโนมัติ ใช้เทคนิคที่เรียกว่า Up-scaling หรือ Pixel to pixel [35] เนื่องจากปริมาณฝนที่ได้จากดาวเทียมจะเป็นปริมาณฝนเชิงพื้นที่หรือเป็นพิกเซล (Pixel) ขนาดความละเอียด 0.25 x 0.25 องศา หรือประมาณ 25 x 25 กิโลเมตร เนื่องจากฝนจากสถานีวัดฝนอัตโนมัติเป็นข้อมูลเฉพาะจุด (Point Data) ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการแปลงค่าปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนอัตโนมัติที่อยู่ด้านล่างให้อยู่ในรูปปริมาณฝนเชิงพื้นที่(Areal Rainfall) และนำไปเปรียบเทียบกับฝนจากดาวเทียมในตำแหน่งเดียวกัน

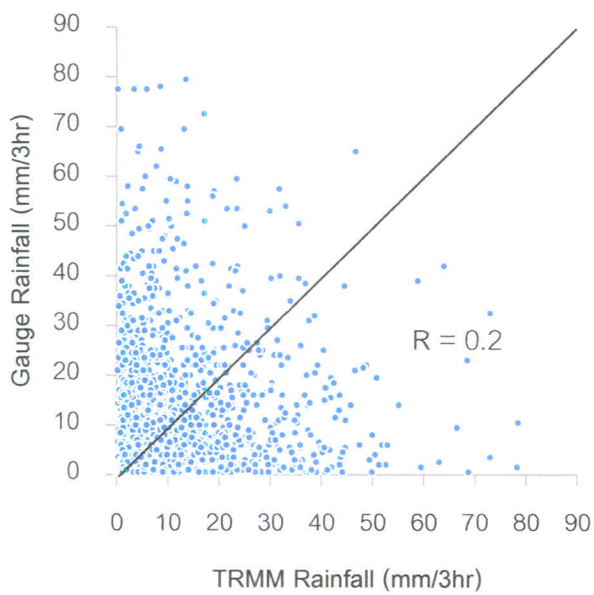
การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฝนจากสถานีและฝนเชิงพื้นที่ กราฟการกระจายและหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง จากข้อมูลที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร จำนวน 4,214 คู่ ภายในพิกเซลจำนวน 11 พิกเซลดังแสดงในภาพ 27 ผลการวิเคราะห์ได้ผล โดยแยกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากสถานีวัดและปริมาณฝนเชิงพื้นที่มีความสัมพันธ์กันดี ค่า R มีค่า 0.951 ดังแสดงในภาพ 28 2) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนและปริมาณฝนจาก TRMM ดังแสดงในภาพ 3 ค่า R เท่ากับ 0.2 โดยมีค่ามากที่สุด เป็นค่าประมาณ 80 มิลลิเมตร มีค่าปริมาณฝนจาก TRMM ค่ามากกว่าปริมาณฝนจากสถานีวัดฝน และ 3) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และปริมาณฝนจาก TRMM ดังแสดงใน ค่า R เท่ากับ 0.238 โดยค่ามากที่สุดมีค่าประมาณ 80 มิลลิเมตร ค่าปริมาณฝนจาก TRMM มีค่ามากกว่าปริมาณฝนจากสถานีวัดฝน จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนเชิงพื้นที่มีความสัมพันธ์ที่ดีกับปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM มากกว่าปริมาณฝนจากสถานีโดยตรง



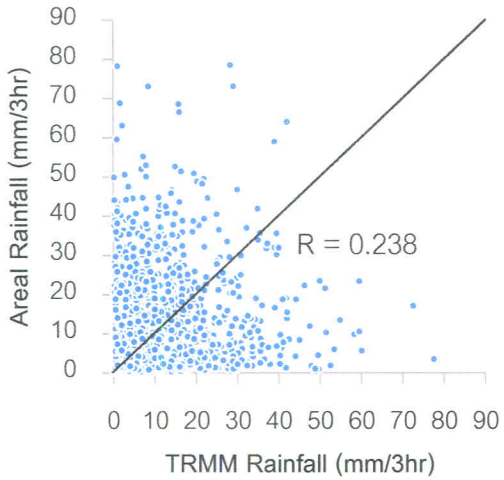
ภาพ 27 พิกเซลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์



ภาพ 28 การกระจายและหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนและปริมาณฝนเชิงพื้นที่



ภาพ 29 การกระจายและหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนและปริมาณฝนจาก TRMM



ภาพ 30 การกระจายและหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนและปริมาณฝนจาก TRMM

ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเชิงพื้นที่และฝนจากการสำรวจจากดาวเทียม TRMM จากข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมง ในฤดูฝนระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง 2554 มีจำนวนคู่ข้อมูลแยกเป็น 4 กรณี ดังแสดงในตาราง 13 จากจำนวนคู่ข้อมูลทั้งหมด 142,927 คู่ โดยค่าสถิติของข้อมูลทั้งหมดแสดงในตาราง 14

ตาราง 13 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

ตาราง 14 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติและความสัมพันธ์ของข้อมูลฝนก่อนการปรับแก้ค่า

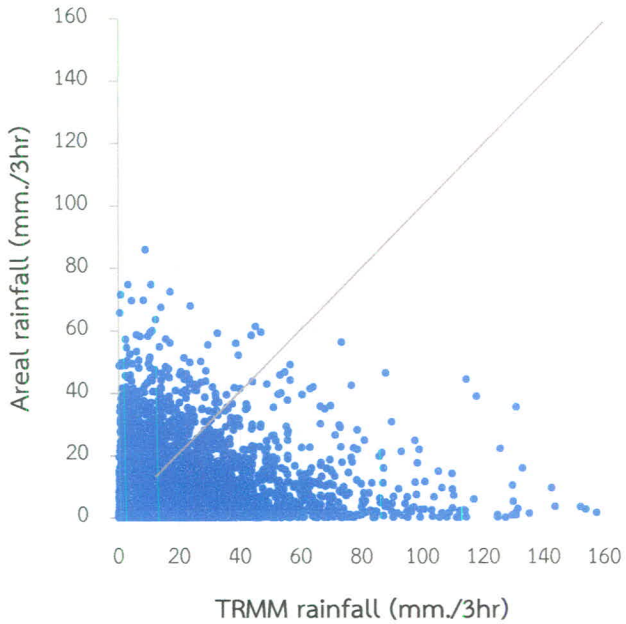
ประเภทของค่าสถิติ	ค่าสถิติ
จำนวนคู่ข้อมูล	142,927
Mean Absulute Error (MAE)	1.433
Multiplicative bias (Bias)	2.958
Probability Of Detection (POD)	0.580
False-Alarm Ratio (FAR)	0.557

ค่าสถิติที่สำคัญที่จะบอกถึงประสิทธิภาพของการตรวจวัดปริมาณฝนของดาวเทียมได้แก่ POD มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ค่า 1 แสดงว่าการตรวจวัดโดยดาวเทียมดีมาก และ FAR มีค่าระหว่าง 0-1 ค่า 0 แสดงว่าความผิดพลาดจากการตรวจวัดดีมาก ตาราง 15 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า POD และ FAR ที่ทำการศึกษาในพื้นที่อื่นๆ จะเห็นว่าค่า POD ของพื้นที่ลุ่มน้ำน่านมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่อื่นและผลการตรวจวัดที่พิจารณาจากค่า POD ค่อนข้างน่าพอใจ ส่วนค่า FAR มีค่าใกล้เคียงกับค่า FAR ในพื้นที่ประเทศเนปาลซึ่งเป็นเขตภูเขาสูงคล้ายกับลุ่มน้ำน่าน

ตาราง 15 การเปรียบเทียบค่า POD และ FAR

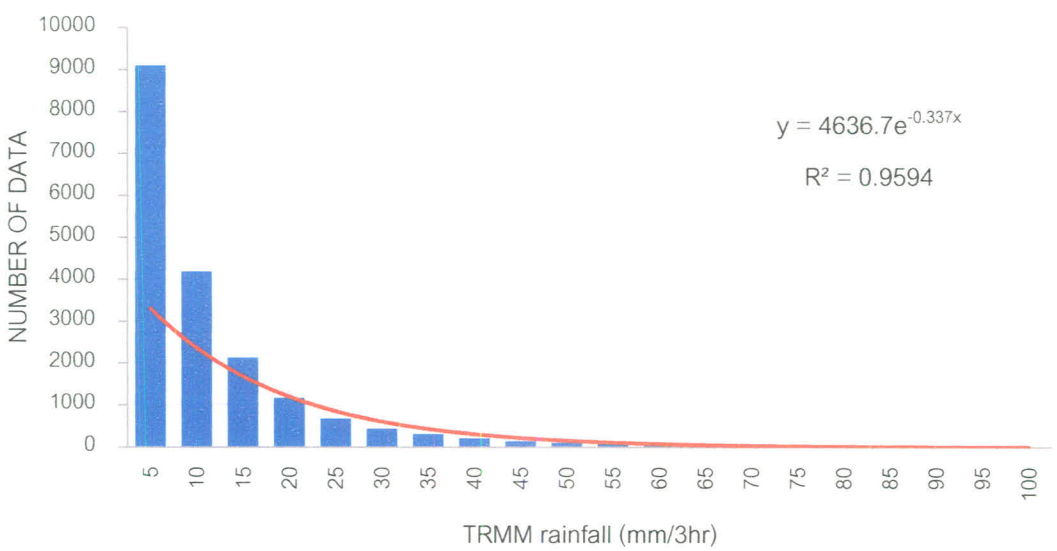
พื้นที่	ผู้ศึกษา	ปีข้อมูลที่ศึกษา	POD	FAR
ลุ่มน้ำน่าน, ประเทศไทย	สุบรร ผลกะสิ	2009 - 2011	0.580	0.557
Northwestern Europe	Elizabeth E. Ebert et.al. [47]	18 jan 2006	0.558	0.260
Dongjiang River Basin, China	Cheng Chen et.al. [48]	2002 - 2009	0.511	0.365
Mountainous Regions, Nepal	Nazrul Islam et.at [49]	1998 - 2007	0.530	0.680

ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนในกรณี A จำนวน 18,849 คู่ข้อมูล การกระจายตัวของข้อมูลจะเป็นดังแสดงใน ภาพ 31 ค่ามากที่สุด ค่าเฉลี่ย ค่าผลรวมและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฝนที่ได้จากการสำรวจจากดาวเทียม TRMM มีค่ามากกว่าฝนเชิงพื้นที่ ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 167.64 และ 86.00 มม. ตามลำดับ ปริมาณฝนโดยรวมจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM จะมากกว่าปริมาณฝนเชิงพื้นที่ 2.33 เท่า สาเหตุเนื่องมาจากระดับของเมฆฝนที่ตรวจวัดจากดาวเทียม TRMM จะอยู่เหนือขึ้นไปจากระดับพื้นดินประมาณ 2 กิโลเมตร [50] ดังนั้นหากมีอิทธิพลของลมในขณะที่เม็ดฝนกำลังตกลงพื้นดินหรือกรณีฝนตกในปริมาณที่น้อยกว่าเม็ดฝนจะระเหยไประหว่างทางก่อนตกลงพื้นดิน มีผลทำให้ปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียมมีความคลาดเคลื่อนและมีปริมาณมากกว่าที่วัดได้จากสถานีภาคพื้นดิน ความถี่ของข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดโดย TRMM ในแต่ละช่วง 5 มิลลิเมตรดังแสดงในภาพ 32 แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนร้อยละ 48 จะมีปริมาณอยู่ระหว่าง 0.1- 5 มิลลิเมตรและจำนวนลดลงในช่วงปริมาณฝนที่มากขึ้น หากพิจารณาปริมาณฝนเฉพาะในช่วงฤดูฝนปี 2554 ปริมาณฝนจาก TRMM เฉลี่ยส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าปริมาณฝนเชิงพื้นที่เฉลี่ยดังแสดงในภาพ 33

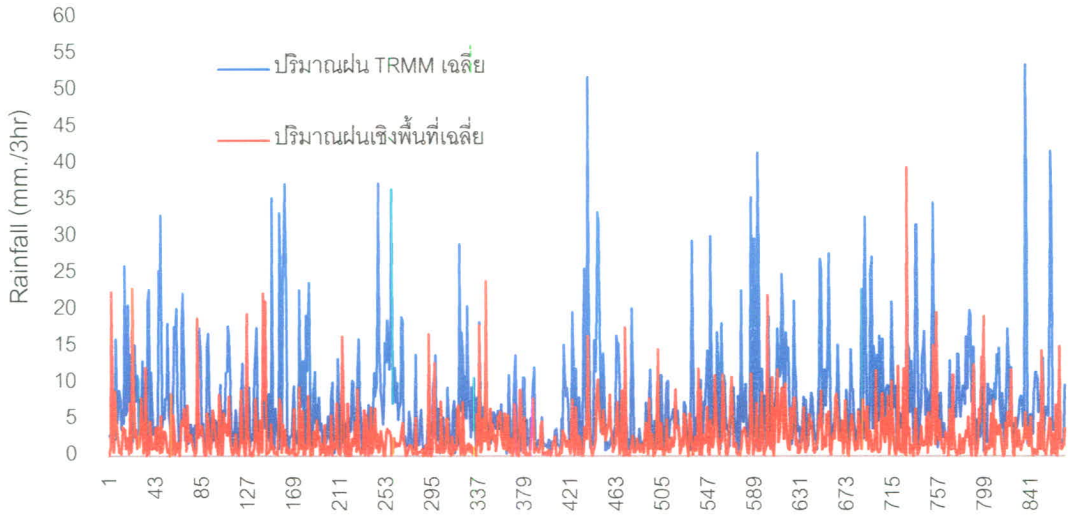


	TRMM	AREAL
MAX	167.64	86.00
MIN	0.12	0.05
MEAN	9.59	4.11
SUM	180,808.53	77,430.52
SD	12.90	6.96
Number of data		18,849

ภาพ 31 ค่าสถิติและแผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และปริมาณฝนจาก TRMM ในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านในช่วงฤดูฝนปี 2552 -2554



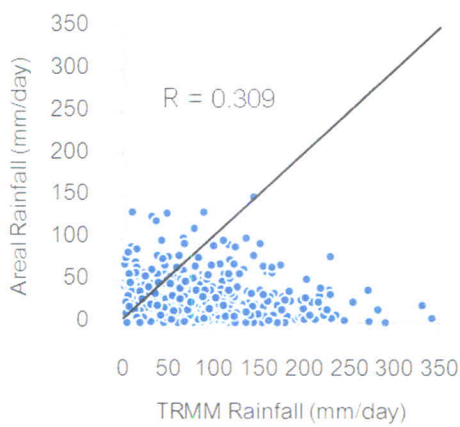
ภาพ 32 จำนวนข้อมูลปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM ในแต่ละช่วงปริมาณ 5 มิลลิเมตรในช่วงฤดูฝนปี 2552-2554



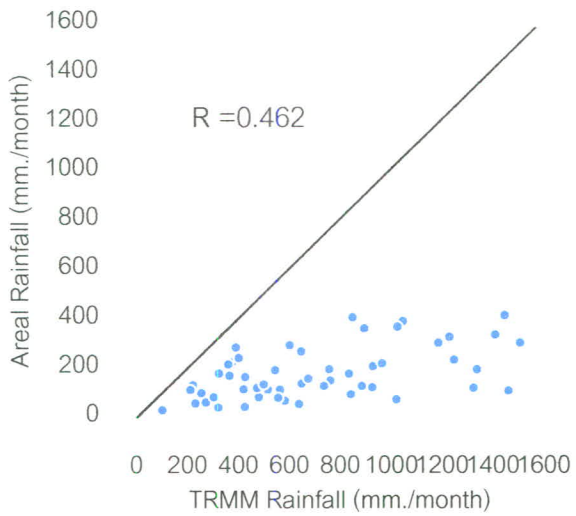
ภาพ 33 ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงในฤดูฝนปี 2554 จากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่

ผลการหาความสัมพันธ์ก่อนการปรับแก้ค่าฝนรายวันและรายเดือน

การกระจายและหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง จากข้อมูลที่มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร จำนวน 5,196 คู่ สำหรับข้อมูลฝนรายวัน จำนวน 594 คู่ สำหรับข้อมูลรายวัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient: R)เท่ากับ 0.309 และ R เท่ากับ 0.462 สำหรับข้อมูลรายเดือนผลการวิเคราะห์ข้อมูลรายวันแสดงในภาพ 34 และข้อมูลรายเดือนแสดงในภาพ 35

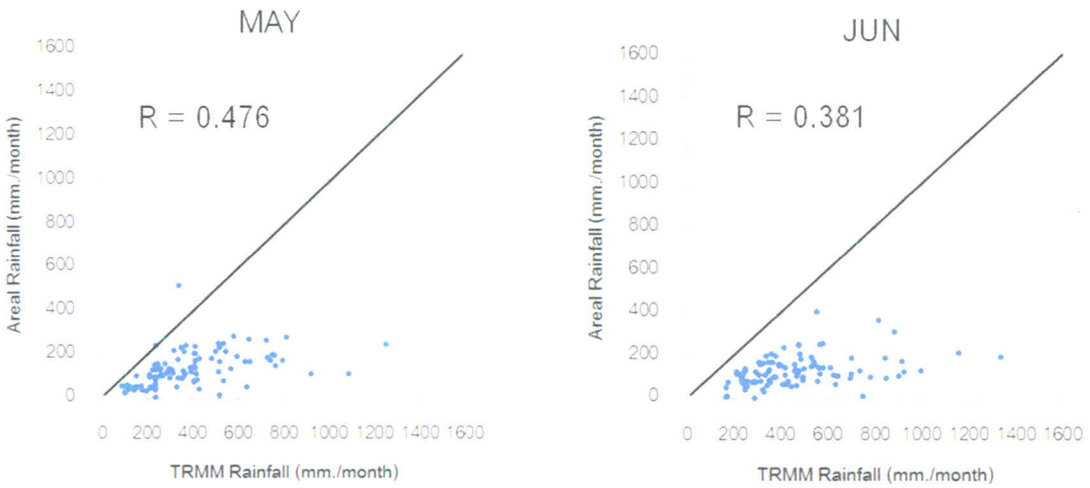


ภาพ 34 แผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และปริมาณฝนจาก TRMM รายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านในช่วงฤดูฝนปี 2552 -2554

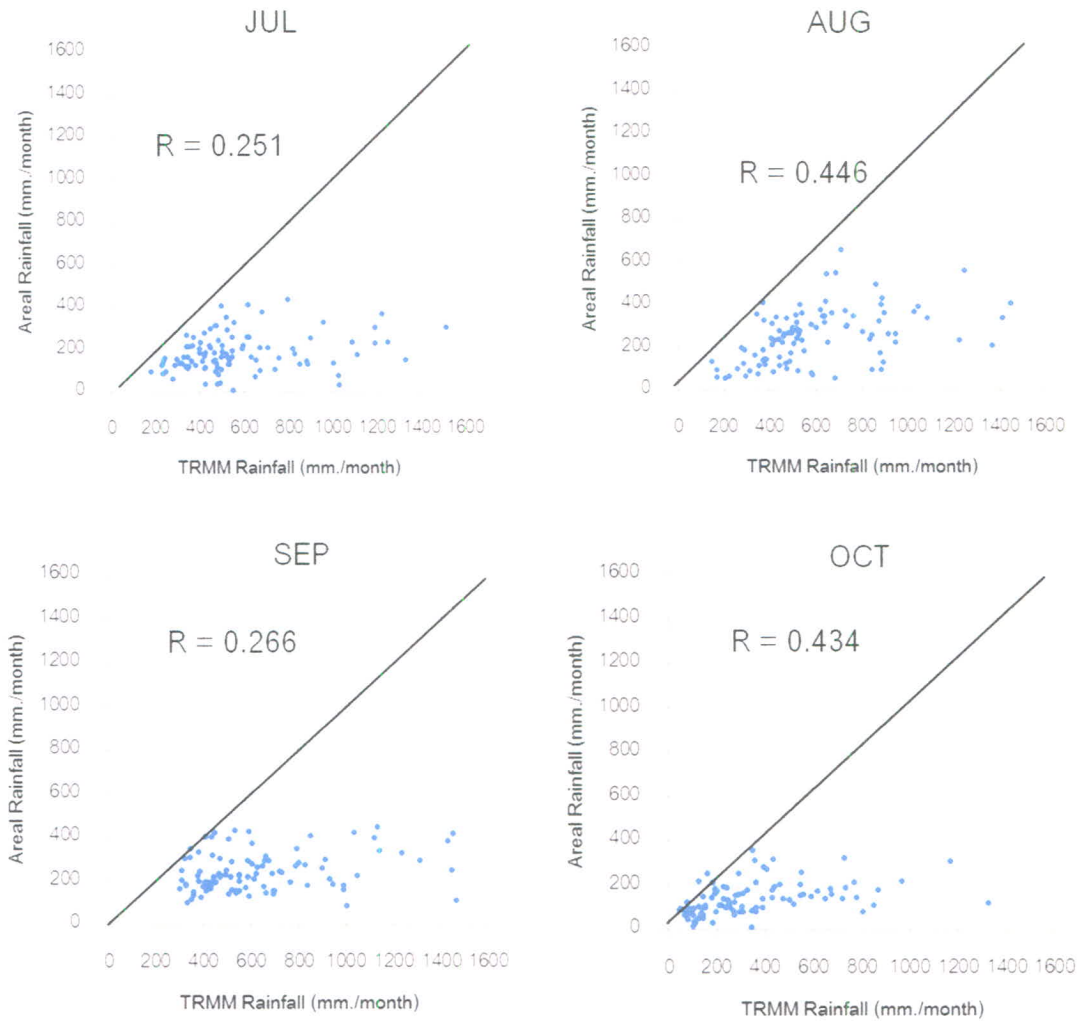


ภาพ 35 แผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และปริมาณฝน จาก TRMM รายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านในช่วงฤดูฝนปี 2552 -2554

เมื่อพิจารณาการกระจายโดยแยกเป็นรายเดือนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคาคม ค่า R มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.47 เดือนที่มีค่า R มากที่สุดคือเดือนพฤษภาคม และน้อยที่สุดคือเดือนกรกฎาคม โดยในทุกเดือนปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM มีค่ามากกว่าปริมาณฝนเชิงพื้นที่จากสถานีวัดฝนอัตโนมัติ



ภาพ 36 แผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และปริมาณฝน จาก TRMM รายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านในเดือน พฤษภาคม – มิถุนายน ปี 2552 -2554



ภาพ 37 แผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่และปริมาณฝน จาก TRMM รายเดือนในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านในเดือน กรกฎาคม – ตุลาคม ปี 2552 -2554

ผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของสมการสำหรับปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM

1. ฝนรายสามชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนจากทั้งสองแหล่ง ดังกล่าวในหัวข้อ 4.4 ปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM ไม่ตรงกับปริมาณฝนเชิงพื้นที่ที่ได้จากสถานีวัดฝนอัตโนมัติในพื้นที่ลุ่นน้ำน่าน ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการปรับแก้ค่าปริมาณฝน (Bias Correction) โดยเลือกใช้ข้อมูลฝนในช่วงฤดูปี 2552-2553 จำนวน 11,370 คู่ โดยทำการวิเคราะห์รวมทั้งหมด

11,370 คู่และวิเคราะห์แยกย่อยตามเวลาราย 3 ชั่วโมง ได้แก่ เวลา 0(T00), 3(T03), 6(T06), 9(T09), 12(T12), 15(T15), 18(T18) และ 21(T21) นาฬิกาตามเวลาสากล เลือกใช้ 6 เทคนิคสำหรับการปรับแก้ค่าปริมาณฝน ได้แก่ 1) Power Tranformations 2) Geostatistical Technique โดยวิธี 3) Hourly Local Bias Correction 3) Binning Technique 4) Hybridization Technique แบบที่ 1 5) Hybridization Technique แบบที่ 2 6) Hybridization Technique แบบที่ 3 และ 7) Hybridization Technique แบบที่ 4 ผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a b และค่าแฟคเตอร์ของ 3Hourly Local Bias Correction ในสมการ 22, 24 และ 25 แสดงในตาราง 16 สมการลูกผสมแบบที่ 1 ถึง 4 แสดงในตาราง 17 ถึง 20 ตามลำดับ

ตาราง 16 ค่าพารามิเตอร์และแฟคเตอร์ของสมการปรับแก้ค่าปริมาณฝนรายสามชั่วโมง

Time*	Number of Data	3Hourly Local Bias Correction	Power Transformation		Binning Technique			
		HLB factor	Parameter		Parameter			
			a	b	a	b	Data ≤	Limit
ALL	11,370	0.412	2.094	0.344	0.099	3.727	90	
T00	909	0.376	0.729	0.726	0.161	2.179	50	
T03	968	0.367	1.517	0.330	0.191	1.322	25	
T06	1,635	0.419	2.397	0.265	0.119	2.879	30	
T09	1,825	0.400	1.937	0.366	0.098	3.442	55	
T12	1,876	0.476	2.367	0.342	0.182	2.893	50	
T15	1,043	0.552	3.848	0.088	0.177	3.065	25	
T18	1,724	0.356	2.270	0.324	0.143	2.826	50	
T21	1,390	0.379	1.732	0.430	0.239	1.841	50	

*เวลามาตรฐานสากล

ตาราง 17 สมการลูกผสมแบบที่ 1 สำหรับการปรับแก้ค่าปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมง

Time	$TRMM_{H1} = a * [TRMM]^{b} * (G/S)_{HLB}$	
ALL	$TRMM_{H1} = 2.094 * [TRMM]^{0.344} * 0.412$	(33)
T00	$TRMM_{H1,00} = 0.729 * [TRMM]^{0.726} * 0.376$	(34)
T03	$TRMM_{H1,03} = 1.517 * [TRMM]^{0.330} * 0.367$	(35)
T06	$TRMM_{H1,06} = 2.397 * [TRMM]^{0.265} * 0.419$	(36)
T09	$TRMM_{H1,09} = 1.937 * [TRMM]^{0.366} * 0.400$	(37)
T12	$TRMM_{H1,12} = 2.367 * [TRMM]^{0.342} * 0.476$	(38)
T15	$TRMM_{H1,15} = 3.848 * [TRMM]^{0.088} * 0.552$	(39)
T18	$TRMM_{H1,18} = 2.270 * [TRMM]^{0.324} * 0.356$	(40)
T21	$TRMM_{H1,21} = 1.732 * [TRMM]^{0.430} * 0.379$	(41)

ตาราง 18 สมการลูกผสมแบบที่ 2 สำหรับการปรับแก้ค่าปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมง

Time	$TRMM_{H2} = a * [(G/S)_{HLB} * TRMM]^{b}$	
ALL	$TRMM_{H2} = 2.094 * [0.412 * TRMM]^{0.344}$	(42)
T00	$TRMM_{H2,00} = 0.729 * [0.376 * TRMM]^{0.726}$	(43)
T03	$TRMM_{H2,03} = 1.517 * [0.367 * TRMM]^{0.330}$	(44)
T06	$TRMM_{H2,06} = 2.397 * [0.419 * TRMM]^{0.265}$	(45)
T09	$TRMM_{H2,09} = 1.937 * [0.400 * TRMM]^{0.366}$	(46)
T12	$TRMM_{H2,12} = 2.367 * [0.476 * TRMM]^{0.342}$	(47)
T15	$TRMM_{H2,15} = 3.848 * [0.552 * TRMM]^{0.088}$	(48)
T18	$TRMM_{H2,18} = 2.270 * [0.356 * TRMM]^{0.324}$	(49)
T21	$TRMM_{H2,21} = 1.732 * [0.379 * TRMM]^{0.430}$	(50)

ตาราง 19 สมการลูกผสมแบบที่ 3 สำหรับการปรับแก้ค่าปริมาณฝนจากดาวเทียม TRMM

Time	$TRMM_{H3} = a * [TRMM_{BIN,}]^{b}$	
ALL	$TRMM_{H3} = 2.094 * [TRMM_{BIN,ALL}]^{0.344}$	(51)
T00	$TRMM_{H3,00} = 0.729 * [TRMM_{BIN,00}]^{0.726}$	(52)
T03	$TRMM_{H3,03} = 1.517 * [TRMM_{BIN,03}]^{0.330}$	(53)
T06	$TRMM_{H3,06} = 2.397 * [TRMM_{BIN,06}]^{0.265}$	(54)
T09	$TRMM_{H3,09} = 1.937 * [TRMM_{BIN,09}]^{0.366}$	(55)
T12	$TRMM_{H3,12} = 2.367 * [TRMM_{BIN,12}]^{0.342}$	(56)
T15	$TRMM_{H3,15} = 3.848 * [TRMM_{BIN,15}]^{0.088}$	(57)
T18	$TRMM_{H3,18} = 2.270 * [TRMM_{BIN,18}]^{0.324}$	(58)
T21	$TRMM_{H3,21} = 1.732 * [TRMM_{BIN,21}]^{0.430}$	(59)

ตาราง 20 สมการลูกผสมแบบที่ 4 สำหรับการปรับแก้ค่าปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมง

Time	$TRMM_{H4} = a * [(G/S)_{HLB} * TRMM_{BIN}]^{b}$	
ALL	$TRMM_{H4} = 2.094 * [0.412 * TRMM_{BIN}]^{0.344}$	(60)
T00	$TRMM_{H4,00} = 0.729 * [0.376 * TRMM_{BIN}]^{0.726}$	(61)
T03	$TRMM_{H4,03} = 1.517 * [0.367 * TRMM_{BIN}]^{0.330}$	(62)
T06	$TRMM_{H4,06} = 2.397 * [0.419 * TRMM_{BIN}]^{0.265}$	(63)
T09	$TRMM_{H4,09} = 1.937 * [0.400 * TRMM_{BIN}]^{0.366}$	(64)
T12	$TRMM_{H4,12} = 2.367 * [0.476 * TRMM_{BIN}]^{0.342}$	(65)
T15	$TRMM_{H4,15} = 3.848 * [0.552 * TRMM_{BIN}]^{0.088}$	(66)
T18	$TRMM_{H4,18} = 2.270 * [0.356 * TRMM_{BIN}]^{0.324}$	(67)
T21	$TRMM_{H4,21} = 1.732 * [0.379 * TRMM_{BIN}]^{0.430}$	(68)

* 00 03 06 09 12 15 18 และ21 คือ ข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมงในเวลา 00 03 06 09 12 15 18 และ 21 นาฬิกา ตามเวลาสากล ตามลำดับ

2. ฝนรายวันและรายเดือน

การปรับแก้ค่าปริมาณฝน (Bias Correction) รายวันและรายเดือน โดยเลือกใช้ข้อมูลฝนในช่วงฤดูปี 2552-2553 จำนวน 4,444 คู่ สำหรับข้อมูลรายวันและ 369 คู่สำหรับข้อมูลรายเดือนผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a, b และค่าแฟคเตอร์ ในสมการ 22, 24 และ 25 แสดงในตาราง 21 รูปแบบสมการสำหรับปรับแก้ค่ารายวันและรายเดือนแสดงตาราง 22 และ ตาราง 23 ตามลำดับ

ตาราง 21 ค่าพารามิเตอร์และแฟคเตอร์ของสมการปรับแก้ค่าปริมาณฝนรายวันและรายเดือน

Time*	Number of Data	Local Bias Correction Factor	Power Transformation Parameter		Binning Technique Parameter		
			a	b	a	b	Data Limit ≤
Daily	4,444	0.409	2.826	0.395	0.166	4.899	100
Monthly	369	0.337	7.218	0.507	0.254	44.426	800

ตาราง 22 สมการสำหรับการปรับแก้ค่าปริมาณฝนรายวัน

1	$\mathrm{TRMM_{DGEO}} = 0.409 * \mathrm{TRMM_D}$	(69)
2	$\mathrm{TRMM_{DPOW}} = 2.826 * \mathrm{TRMM_D}^{0.395}$	(70)
3	$\mathrm{TRMM_{DBIN}} = 0.166 * \mathrm{TRMM_D} + 4.899$	(71)
4	$\mathrm{TRMM_{DH1}} = \left[2.826 * \mathrm{TRMM_D}^{0.395}\right] * 0.409$	(72)
5	$\mathrm{TRMM_{DH2}} = 2.826 * [0.409 * \mathrm{TRMM_D}]^{0.395}$	(73)
6	$\mathrm{TRMM_{DH3}} = 2.826 * [\mathrm{TRMM_{DBIN}}]^{0.395}$	(74)
7	$\mathrm{TRMM_{DH4}} = 2.826 * [0.409 * \mathrm{TRMM_{DBIN}}]^{0.395}$	(75)

โดยที่ $TRMM_{DGEO}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายวันที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Geostatistical Bias Coorection (มม./วัน)

$TRMM_{DPOW}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายวันที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Power Transformation (มม./วัน)

$TRMM_{DBIN}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายวันที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Binning Technique (มม./วัน)

$TRMM_{DH1}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายวันที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 1(มม./วัน)

$TRMM_{DH2}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายวันที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 2 (มม./วัน)

$TRMM_{DH3}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายวันที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 3 (มม./วัน)

$TRMM_{DH4}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายวันที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 4 (มม./วัน)

$TRMM_{D}$ คือ ปริมาณฝนรายวันจากการสำรวจจากดาวเทียม TRMM (มม./วัน)

ตาราง 23 สมการสำหรับการปรับแก้ค่าปริมาณฝนรายเดือน

1	$TRMM_{MGEO} = 0.337 * TRMM_{M}$	(76)
2	$TRMM_{MPOW} = 7.218 * TRMM_{M}^{0.507}$	(77)
3	$TRMM_{MBIN} = 0.254 * TRMM_{M} + 44.426$	(78)
4	$TRMM_{MH1} = [7.218 * TRMM_{M}^{0.507}] * 0.337$	(79)
5	$TRMM_{MH2} = 7.218 * [0.337 * TRMM_{M}]^{0.507}$	(80)
6	$TRMM_{MH3} = 7.218 * [TRMM_{MBIN}]^{0.507}$	(81)
7	$TRMM_{MH4} = 7.218 * [0.37 * TRMM_{MBIN}]^{0.507}$	(82)

โดยที่ $TRMM_{MGEO}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายเดือนที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Geostatistical Bias Coorection (มม./เดือน)

$TRMM_{MPOW}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายเดือนที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Power Transformation (มม./เดือน)

$TRMM_{MBIN}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายเดือนที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Binning Technique (มม./เดือน)

$TRMM_{MH1}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายเดือนที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 1(มม./เดือน)

$TRMM_{MH2}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายเดือนที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 2 (มม./เดือน)

$TRMM_{MH3}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายเดือนที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 3 (มม./เดือน)

$TRMM_{MH4}$ คือ ปริมาณฝน TRMM รายเดือนที่ปรับแก้ค่าโดยวิธี Hybridization Model 4 (มม./เดือน)

$TRMM_{M}$ คือ ปริมาณฝนรายเดือนจากการสำรวจจากดาวเทียม TRMM (มม./เดือน)

ผลการตรวจสอบประสิทธิผลของการปรับแก้ค่าปริมาณฝน

1. ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมง

ในการตรวจสอบประสิทธิผลของวิธีปรับแก้ค่าปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมง จากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM โดยพิจารณาจากค่าRMSE, MAE และ ME ระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่กับปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM ที่อยู่ในพิกเซลและเวลาเดียวกัน โดยได้เลือกใช้ข้อมูลปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงในฤดูฝนปี 2554 จำนวน 7283 คู่ข้อมูล ผลการตรวจสอบประสิทธิผลแสดงในตาราง 24, 25 และ 26

จากตาราง 24 เมื่อพิจารณาผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการโดยการพิจารณาค่า RMSE กับข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมง พบว่าสมการ Power Transformations ให้ค่าต่ำที่สุดนั้น หมายถึงให้ความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสมการแบบอื่นๆ ทั้ง 5 แบบ ระดับรองลงมา คือ สมการแบบ Binning Technique, สมการลูกผสมแบบที่ 3, สมการลูกผสมแบบที่ 2, สมการลูกผสมแบบที่ 1 และสมการ Geostatistical Technique ตามลำดับ โดยสมการการปรับแก้ค่าที่ได้ให้ค่า RMSE ลดลงเมื่อเทียบกับไม่มีการปรับแก้ค่าประมาณ 50% แต่เมื่อพิจารณา

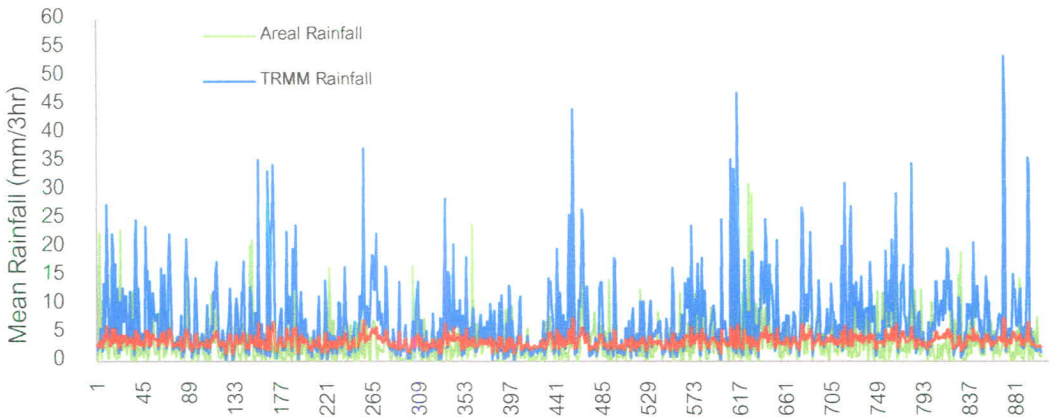
ปริมาณฝนเฉลี่ยก่อนและหลังการปรับแก้ค่าโดยสมการ Power Transformations ในช่วงฤดูในปี 2554 ดังแสดงในภาพ 38 จ ะเห็นได้ว่าปริมาณฝนก่อนการปรับแก้ค่า มีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 1-55 มิลลิเมตร ปริมาณฝนที่ปรับแก้ค่าแล้วมีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 2 – 7 มิลลิเมตร และปริมาณฝนเชิงพื้นที่จากสถานีวัดฝนอัตโนมัติมีค่าอยู่ระหว่างประมาณ 1-30 มิลลิเมตร จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสมการปรับแก้ค่าปริมาณฝนไม่เหมาะกับการใช้งานในกรณีที่มีเหตุการฝนตกหนัก (Extreme Event)

หากพิจารณาแยกตามเวลารายสามชั่วโมง เริ่มตั้งแต่เวลา 0 นาฬิกา ถึง เวลา 21 นาฬิกาตามเวลามาตรฐานสากลพบว่าการปรับแก้ค่าที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในเวลา 3, 6, 18 และ 21 นาฬิกาได้แก่การปรับแก้ค่าแบบ Power Transformations การปรับแก้ค่าที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในเวลา 0 และ 9 นาฬิกา ได้แก่ การปรับแก้ค่าแบบ Geostatistical Technique การปรับแก้ค่าที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในเวลา 12 นาฬิกา ได้แก่ การปรับแก้ค่าจากสมการลูกผสมแบบที่ 3 และการปรับแก้ค่าที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในเวลา 15 นาฬิกา ได้แก่ การปรับแก้ค่าจากสมการลูกผสมแบบที่ 2

ตาราง 24 ผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการปรับแก้ค่าปริมาณน้ำฝนราย 3 ชั่วโมง ด้วยค่า RMSE

Time	Number of Data	RMSE							
		Before	After						
		TRMM	$TRMM_{BIN}$	$TRMM_{POW}$	$TRMM_{GEO}$	$TRMM_{H1}$	$TRMM_{H2}$	$TRMM_{H3}$	$TRMM_{H4}$
ALL	7,283	12.791	7.582	6.811*	6.827	7.312	6.931	6.918	7.082
T00	593	10.835	7.034	6.785	6.646*	7.031	6.929	6.850	7.141
T03	713	9.289	5.133	4.723*	4.765	5.140	4.840	4.834	4.979
T06	897	9.486	7.194	6.864*	6.879	7.393	6.975	6.965	7.092
T09	1,127	11.655	6.936	6.352	6.336*	6.939	6.518	6.477	6.704
T12	1,283	11.674	7.342	6.313	6.372	6.665	6.345	6.296*	6.433
T15	858	8.816	7.312	6.616	6.669	6.794	6.607*	7.961	6.596
T18	1,003	11.096	8.143	8.043*	8.067	8.829	8.285	8.333	8.333
T21	809	11.637	7.884	7.480*	7.548	8.015	7.667	7.595	7.864

*ค่า RMSE ที่ต่ำที่สุดของแต่ละช่วงเวลา



ภาพ 38 ปริมาณฝนเฉลี่ยก่อนและหลังการปรับแก้ค่าในช่วงฤดูฝนปี 2554

จากตาราง 25 เมื่อพิจารณาผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการโดยการพิจารณาค่า ME กับข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมง พบว่าสมการ Power Transformations ให้ค่า ME ใกล้ค่า 0 ที่สุดซึ่งหมายถึงให้ความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสมการแบบอื่นๆ ทั้ง 6 แบบ

หากพิจารณาแยกตามเวลารายสามชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 0 นาฬิกา ถึง เวลา 21 นาฬิกา ตามเวลามาตรฐานสากล พบว่า การปรับแก้ค่าที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในเวลา 12, 18 และ 21 นาฬิกา ได้แก่ การปรับแก้ค่าแบบ Power Transformations การปรับแก้ค่าที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในเวลา 00, 03, 06, 09 และ 15 นาฬิกา ได้แก่ การปรับแก้ค่าแบบ Binning Technique

ตาราง 25 ผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการปรับแก้ค่าปริมาณน้ำฝนราย 3 ชั่วโมง ด้วยค่า ME

Time	Number of Data	ME							
		Before	After						
		TRMM	$TRMM_{BIN}$	$TRMM_{POW}$	$TRMM_{GEO}$	$TRMM_{H1}$	$TRMM_{H2}$	$TRMM_{H3}$	$TRMM_{H4}$
ALL	7,283	4.819	0.335	-0.291*	-0.498	-2.604	-1.325	-0.706	-1.631
T00	593	4.176	-0.038*	-0.561	-0.582	-2.364	-2.030	-1.695	-2.587
T03	713	3.869	-0.254*	-0.347	-0.396	-1.943	-1.057	-0.840	-1.412
T06	897	2.984	-0.518*	-0.552	-1.604	-2.708	-1.316	-0.876	-1.574
T09	1,127	5.178	-0.137*	-0.557	-0.651	-2.945	-1.691	-1.222	-2.167
T12	1,283	4.677	0.114	0.075*	-0.103	-2.294	-0.939	-0.519	-1.399
T15	858	1.876	0.097*	0.329	-0.763	-1.617	0.108	4.331	0.114

ตาราง 25 (ต่อ)

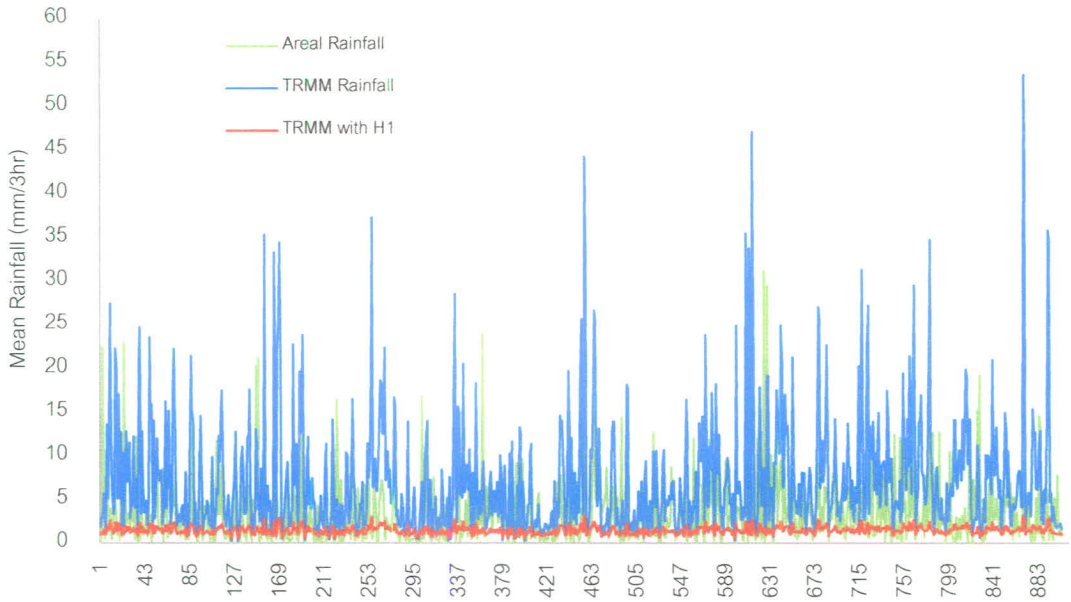
Time	Number of Data	ME							
		Before	After						
		TRMM	$TRMM_{BIN}$	$TRMM_{POW}$	$TRMM_{GEO}$	$TRMM_{H1}$	$TRMM_{H2}$	$TRMM_{H3}$	$TRMM_{H4}$
T18	1,003	3.942	-0.647	-0.628*	-1.632	-3.261	-1.791	-1.172	-2.180
T21	809	4.219	-0.476	-0.491*	-1.120	-2.905	-1.817	-1.356	-2.387

*ค่า ME เข้าใกล้ค่า 0 มากที่สุด

จากตาราง 26 เมื่อพิจารณาผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการโดยการพิจารณาค่า MAE กับข้อมูลฝนราย 3 ชั่วโมง พบว่าสมการ Hybridization Model 1 ให้ค่า MAE ต่ำที่สุดซึ่งหมายถึงให้ความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสมการแบบอื่นๆ ทั้ง 6 แบบ ทั้งกับข้อมูลโดยรวมและข้อมูลแยกตามเวลารายสามชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 0 นาฬิกา ถึง เวลา 21 นาฬิกาตามเวลา จากภาพ 39 จะเห็นได้ว่าปริมาณฝนที่ปรับแก้ค่าแล้วมีค่าอยู่ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสมการปรับแก้ค่าปริมาณฝนไม่เหมาะกับการใช้งานในกรณีที่มีเหตุการฝนตกหนัก (Extreme Event)

ตาราง 26 ผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการปรับแก้ค่าปริมาณน้ำฝนราย 3 ชั่วโมง ด้วยค่า MAE

Time	Number of Data	MAE							
		Before	After						
		TRMM	$TRMM_{BIN}$	$TRMM_{POW}$	$TRMM_{GEO}$	$TRMM_{H1}$	$TRMM_{H2}$	$TRMM_{H3}$	$TRMM_{H4}$
ALL	7,283	7.865	4.457	4.141	4.398	3.610*	3.790	4.066	3.792
T00	593	6.928	3.681	3.450	3.569	2.994*	3.005	3.100	3.023
T03	713	5.783	2.745	2.729	2.848	2.430*	2.511	2.601	2.479
T06	897	6.287	4.062	4.025	3.929	3.634*	3.793	3.986	3.790
T09	1,127	8.343	4.433	4.311	4.707	3.898*	3.999	4.106	3.947
T12	1,283	7.761	4.303	4.267	4.722	3.704*	3.917	4.038	3.809
T15	858	6.037	4.406	4.482	4.437	3.705*	4.376	6.911	4.368
T18	1,003	7.079	4.472	4.454	4.106	4.001*	4.095	4.433	4.170
T21	809	7.604	4.376	4.325	4.308	3.763*	3.881	4.049	3.828



ภาพ 39 ปริมาณฝนเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงก่อนและหลังการปรับแก้ค่าด้วยวิธี Hybridization Model 1

2. ปริมาณฝนรายวันและรายเดือน

ในการตรวจสอบประสิทธิผลของวิธีปรับแก้ค่าปริมาณฝนรายวันและรายจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM โดยพิจารณาจากค่าRMSE, MAE และ ME ระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่กับปริมาณฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM ที่อยู่ในพิกเซลและเวลาเดียวกัน โดยได้เลือกใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายในฤดูฝนปี 2554 รายวันจำนวน 1,143 คู่ และรายเดือนจำนวน 198 คู่ ผลการตรวจสอบประสิทธิผลแสดงในตาราง 27 ถึง 29

เมื่อพิจารณาค่า RMSE สมการปรับแก้ค่า Power Transformations ให้ค่าต่ำที่สุดสำหรับข้อมูลรายวันและรายเดือน เมื่อพิจารณาค่า ME กับข้อมูลรายเดือนสมการปรับแก้ค่า Geostatistical Technique ให้ค่าใกล้ค่า 0 มากที่สุด กับข้อมูลรายวันสมการปรับแก้ค่า Hybridzation Model 1 ให้ค่าใกล้ค่า 0 มากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่า MAE กับข้อมูลรายวันสมการ Hybridzation Model 2 ให้ค่าต่ำสุด กับข้อมูลรายเดือนสมการ Power Transformations ให้ค่าต่ำสุด

ตาราง 27 ผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการปรับแก้ค่าปริมาณน้ำฝนด้วยค่า RMSE

Time	Number of Data	RMSE							
		Before	After						
		TRMM	$TRMM_{BIN}$	$TRMM_{POW}$	$TRMM_{GEO}$	$TRMM_{H1}$	$TRMM_{H2}$	$TRMM_{H3}$	$TRMM_{H4}$
Daily	1,143	40.241	15.055	14.699*	18.702	16.492	15.326	15.455	16.226
Monthly	198	449.021	118.094	100.144*	111.836	183.360	147.629	157.419	190.336

*ค่า RMSE ที่มีค่าต่ำที่สุด

ตาราง 28 ผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการปรับแก้ค่าปริมาณน้ำฝนด้วยค่า ME

Time	Number of Data	ME							
		Before	After						
		TRMM	$TRMM_{BIN}$	$TRMM_{POW}$	$TRMM_{GEO}$	$TRMM_{H1}$	$TRMM_{H2}$	$TRMM_{H3}$	$TRMM_{H4}$
Daily	1,143	18.565	-1.507	-1.982	0.870	-0.805*	-4.777	-4.604	-6.613
Monthly	198	426.580	-52.294	-35.706	-3.369*	-159.159	-114.635	-127.374	-167.446

*ค่า ME ที่มีค่าใกล้ค่า 0 มากที่สุด

ตาราง 29 ผลการตรวจสอบประสิทธิผลของสมการปรับแก้ค่าปริมาณน้ำฝนด้วยค่า MAE

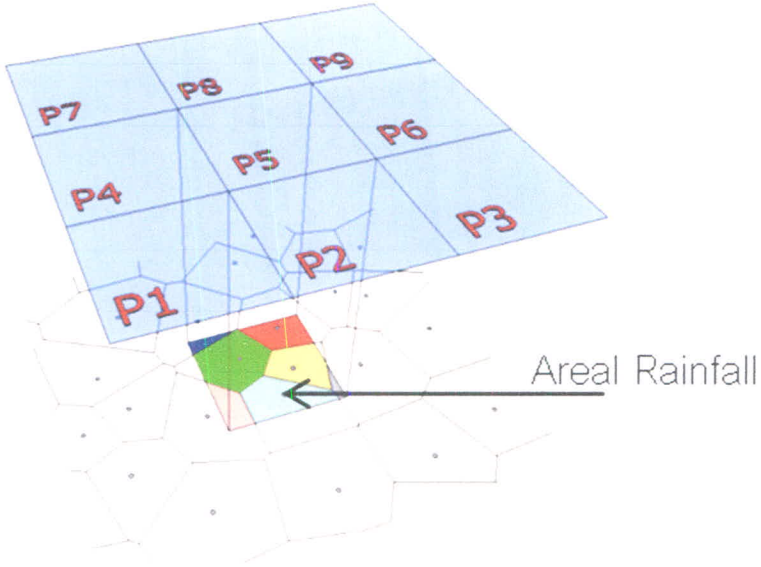
Time	Number of Data	MAE							
		Before	After						
		TRMM	$TRMM_{BIN}$	$TRMM_{POW}$	$TRMM_{GEO}$	$TRMM_{H1}$	$TRMM_{H2}$	$TRMM_{H3}$	$TRMM_{H4}$
Daily	1,143	23.932	9.264	8.690	11.345	9.077	8.669*	8.822	8.987
Monthly	198	432.554	93.976	81.655*	97.315	159.382	119.051	129.261	167.523

*ค่า MAE ที่มีค่าต่ำที่สุด

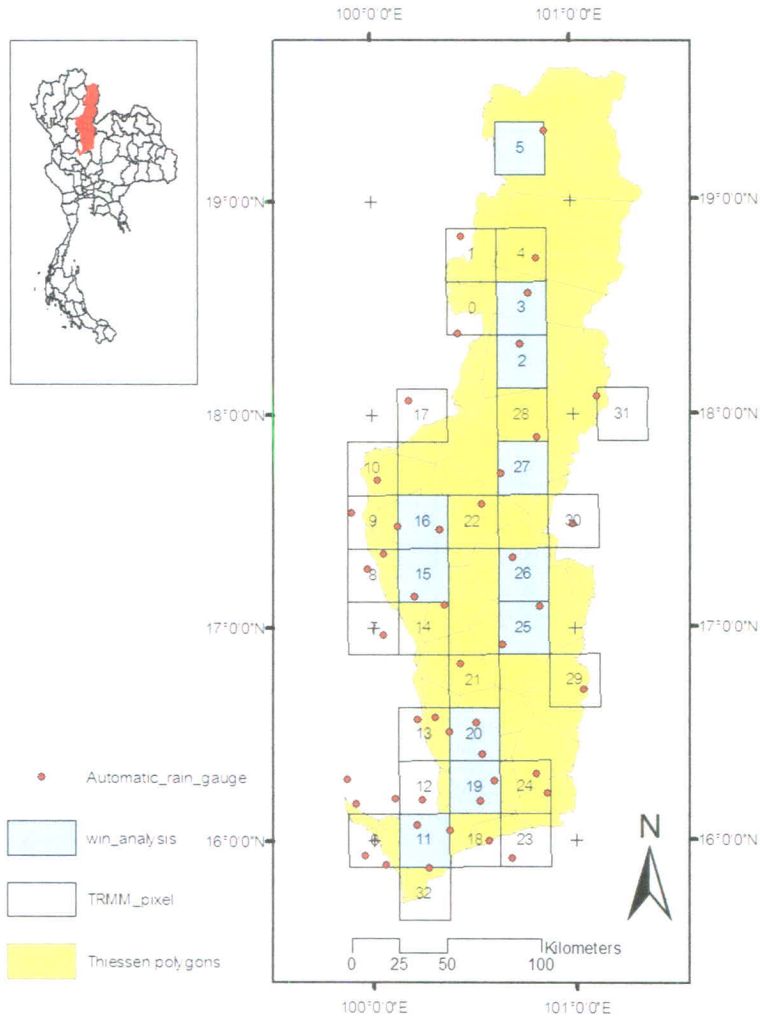
ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของพื้นที่และเวลา

1. อิทธิพลของพื้นที่

โดยทั่วไปแล้วระดับของเมฆฝนจะอยู่เหนือขึ้นไปจากระดับพื้นดินประมาณ 2 กิโลเมตร [50] ดังนั้น หากมีอิทธิพลของลมในขณะที่เม็ดฝนกำลังตกลงพื้นดิน ที่อาจจะมีผลทำให้ปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียมมีความคลาดเคลื่อน ด้วยเหตุดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนเชิงพื้นที่กับปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้จากดาวเทียม TRMM ที่อยู่โดยรอบพิกเซลในพื้นที่ศึกษาจำนวน 11 พิกเซล ดังแสดงในภาพ 40 และในภาพ 41



ภาพ 40 การกำหนดหมายเลขพิกเซลและพิกเซลโดยรอบที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์



ภาพ 41 พิกเซลที่ใช้ในการศึกษาเรื่องอิทธิพลของลมในลุ่มน้ำน่าน

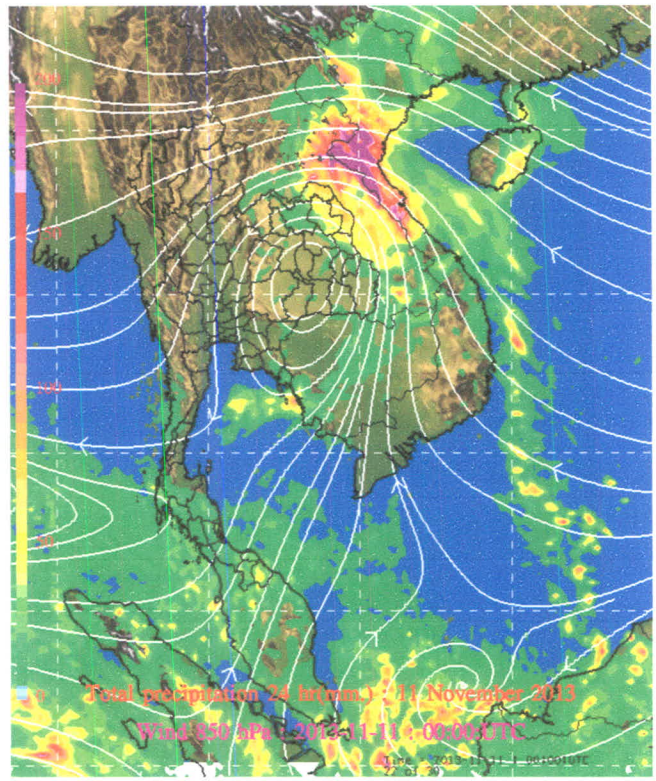
จากภาพ 41 พิกเซลสีฟ้าจำนวน 11 พิกเซลที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยพิกเซล P5 ดังแสดงในภาพ 40 เป็นพิกเซลที่อยู่ในตำแหน่งตรงกับพิกเซลของปริมาณฝนเชิงพื้นที่ ที่ใช้ศึกษา มีพิกเซล P1 P4 และ P7 อยู่ด้านซ้ายหรือด้านทิศตะวันตก พิกเซล P3 P6 และ P9 อยู่ด้านขวาหรือทิศตะวันออก จากผลการหาความสัมพันธ์แสดงในตาราง 30 จะเห็นว่าพิกเซลหมายเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 และ 11 ค่า R สูงที่สุดเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับพิกเซล P1 พิกเซลหมายเลข 8 และ 9 ค่า R สูงที่สุดเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับพิกเซล P7 และ P4 ตามลำดับ

จากผลความสัมพันธ์ดังกล่าว ปริมาณฝนเชิงพื้นที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนจากการสำรวจด้วยดาวเทียม TRMM ในพิกเซลทางด้านซ้ายหรือทางด้านทิศตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางลมพายุหมุนเขตร้อนและแนวร่องความกดอากาศต่ำที่เกิดขึ้นเป็นประจำในประเทศไทยดังแสดงในภาพ 42

ตาราง 30 ค่า R ระหว่างปริมาณเชิงพื้นที่กับปริมาณฝนจาก TRMM โดยรอบพิกเซล

ลำดับที่	หมายเลขพิกเซล	ค่า R ในพิกเซลโดยรอบ								
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
1	11	0.362*	0.281	0.197	0.307	0.298	0.237	0.161	0.184	0.152
2	19	0.366*	0.321	0.311	0.324	0.308	0.232	0.167	0.145	0.122
3	20	0.345*	0.257	0.138	0.285	0.179	0.077	0.195	0.122	0.032
4	25	0.247*	0.210	0.148	0.176	0.179	0.161	0.152	0.141	0.122
5	15	0.418*	0.366	0.170	0.295	0.270	0.134	0.179	0.202	0.100
6	26	0.308*	0.268	0.164	0.290	0.239	0.145	0.167	0.130	0.095
7	16	0.416*	0.345	0.205	0.377	0.356	0.155	0.182	0.173	0.126
8	27	0.224	0.184	0.164	0.283*	0.281	0.255	0.367	0.354	0.290
9	2	0.303	0.333	0.197	0.374	0.369*	0.184	0.237	0.259	0.200
10	3	0.417*	0.410	0.270	0.354	0.375	0.308	0.200	0.224	0.210
11	5	0.374*	0.366	0.298	0.359	0.336	0.266	0.263	0.265	0.249

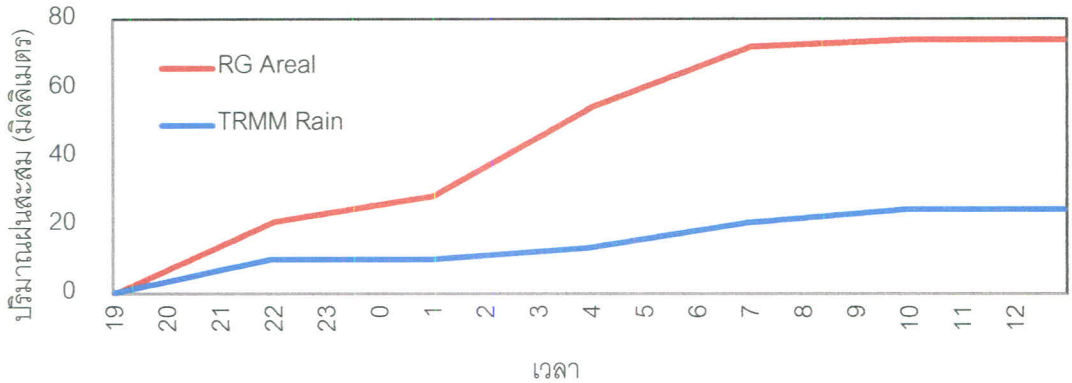
* ค่า R ที่มีค่าสูงสุด



ภาพ 42 ทิศทางลมมรสุมและทางเดินพายุหมุนเขตร้อน [51]

2. อิทธิพลของเวลา

การศึกษาอิทธิพลของเวลา โดยการพิจารณากราฟปริมาณฝนสะสม (Mass Curve) ที่กำหนดให้เวลาที่ฝนจาก TRMM เริ่มตกก่อนเวลาที่เกิดฝนบนพื้นดิน 5 นาที จากเหตุการฝนจำนวน 40 เหตุการณ์ ในพื้นที่ศึกษาจำนวน 11 พิกเซลดังแสดงในภาพ 43 ตัวอย่างเหตุการณ์ฝนตั้งแต่เวลา 19 นาฬิกา วันที่ 13 ตุลาคม 2553 ถึงเวลา 13 นาฬิกา วันที่ 14 ตุลาคม 2553 และเหตุการณ์ฝนอื่น ๆ แสดงในภาคผนวก ช จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของเวลาไม่มีผลกับความสัมพันธ์ของปริมาณฝนจาก TRMM กับปริมาณฝนเชิงพื้นที่จากสถานีวัดฝนอัตโนมัติในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน



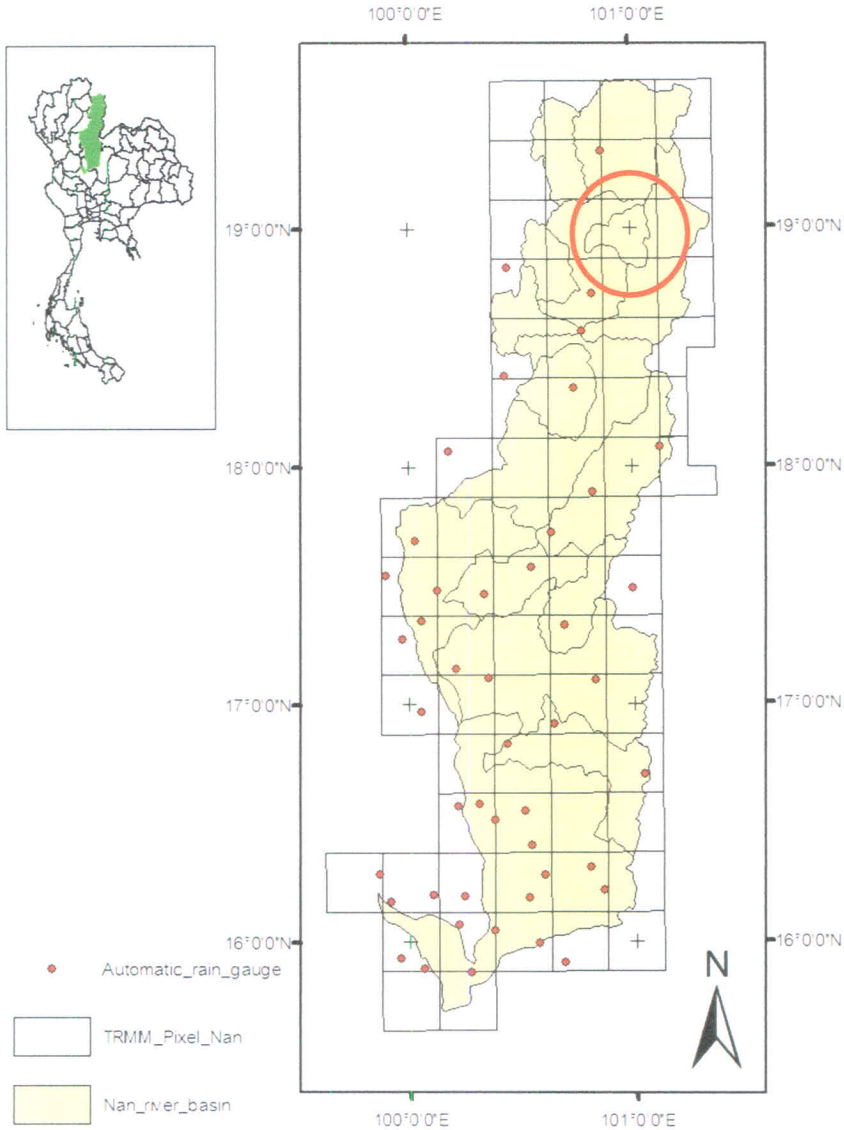
ภาพ 43 ปริมาณฝนสะสม ช่วงระหว่าง วันที่ 13 - 14 ตุลาคม 2553

การประยุกต์ใช้งานปริมาณฝนจาก TRMM กับพื้นที่ขนาดใหญ่

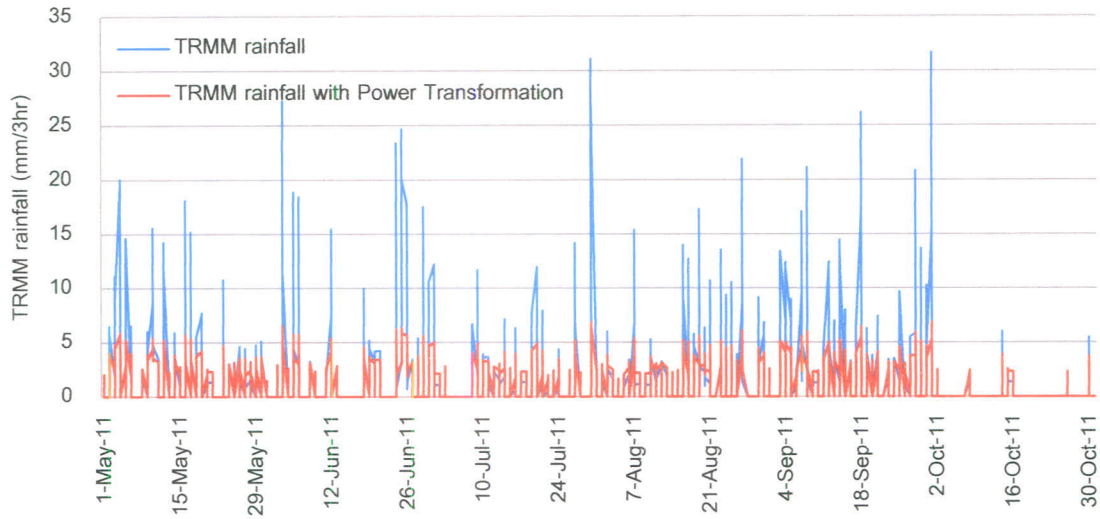
1. การประมาณค่าปริมาณฝนเพื่อการวางแผนการจัดการน้ำตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านที่ไม่มีสถานีวัดฝนในพื้นที่ในตำแหน่งพิกเซลที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ ละติจูดที่ 19 ลองติจูดที่ 101 ในพื้นที่วงกลมสีแดงดังแสดงในภาพ 44 ทำการปรับแก้ค่าปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมง ในช่วงฤดูฝนปี 2554 จำนวน 1,472 ค่า โดยการปรับแก้ค่าด้วยวิธี Power Transformation ดังสมการ 83

$$\mathrm{TRMM_{pow}} = 2.094 * (\mathrm{TRMM})^{0.344} \tag{83}$$

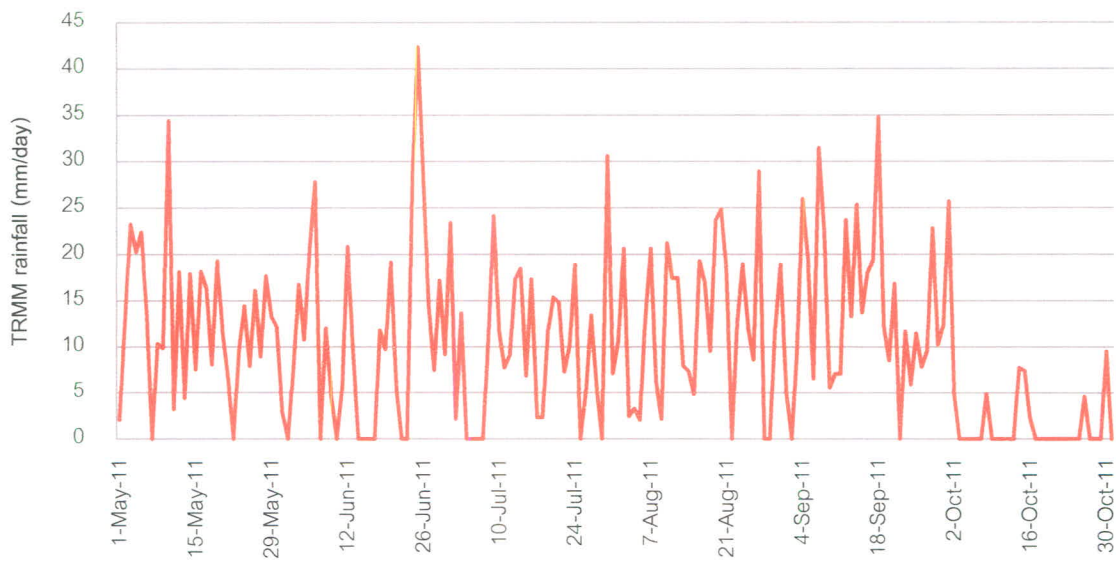
ภายในพิกเซลที่ไม่มีสถานีวัดฝนละติจูดที่ 19 ลองติจูดที่ 101 เมื่อทำการประยุกต์ใช้งานฝนจาก TRMM กับพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยวิธีการปรับแก้ค่าจะได้ข้อมูลฝน ดังแสดงตัวอย่างในภาพ 45 ถึง 45 จากตัวอย่างข้างต้นสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นในลุ่มน้ำน่านที่ไม่มีสถานีวัดฝนอยู่ในพื้นที่ รวมถึงสามารถการประยุกต์ใช้งานในพื้นที่อื่นๆ นอกจากลุ่มน้ำน่านได้



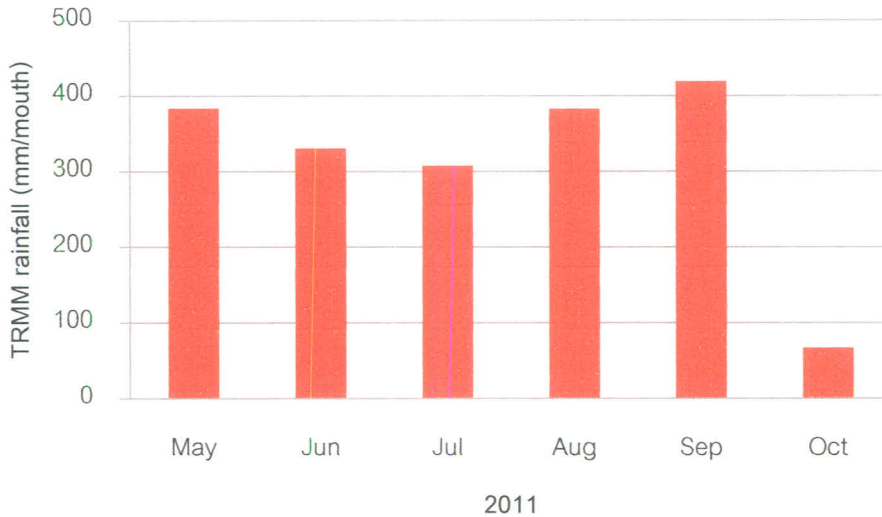
ภาพ 44 ตำแหน่งพิกเซลของ TRMM ที่เป็นตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานปริมาณฝนจาก TRMM



ภาพ 45 ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงจาก TRMM ก่อนและหลังการปรับแก้ค่า



ภาพ 46 ปริมาณฝนรายวันจาก TRMM หลังการปรับแก้ค่า



ภาพ 47 ปริมาณรายเดือนจาก TRMM หลังการปรับแก้ค่า

2. การประมาณค่าปริมาณฝนเพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมฉับพลัน

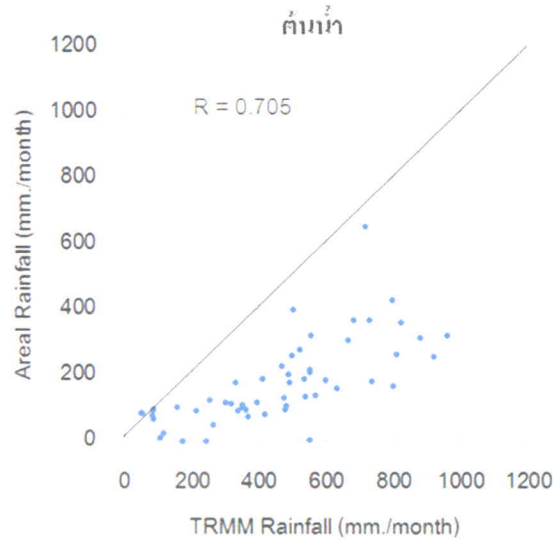
น้ำท่วมฉับพลัน (Flash Flood) เป็นภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันในพื้นที่เนื่องจากฝนตกหนักในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความชันมาก และมีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำหรือต้านน้ำน้อย หรืออาจเกิดจากสาเหตุอื่นๆ เช่น เขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำพังทลาย น้ำท่วมฉับพลัน มักเกิดขึ้นหลังจากฝนตกหนักไม่เกิน 6 ชั่วโมงและมักเกิดขึ้นในบริเวณที่ราบระหว่างหุบเขา ซึ่งอาจจะไม่มีฝนตกหนักในบริเวณนั้นมาก่อนเลยแต่มีฝนตกหนักมากบริเวณต้นน้ำที่อยู่ห่างออกไป การเกิดน้ำท่วมฉับพลันมีความรุนแรงและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมาก โอกาสที่จะป้องกันและหลบหนีจึงมีน้อย

ข้อมูลฝนจากการสำรวจโดยดาวเทียม TRMM (3B42-RT) เป็นข้อมูลใกล้เวลาจริง (Near Real Time) ล่าช้าจากเวลาจริงประมาณ 6 ชั่วโมง[52] ดังนั้น การเฝ้าระวังน้ำท่วมฉับพลันโดยการสังเกตค่าปริมาณฝนจาก TRMM ราย 3 ชั่วโมงหรือราย 6 ชั่วโมง จึงไม่เหมาะกับการใช้ข้อมูลนี้หากแต่จะเหมาะสำหรับการใช้ข้อมูลในงานแผนและจัดการบริหารทรัพยากรน้ำในระยะยาว

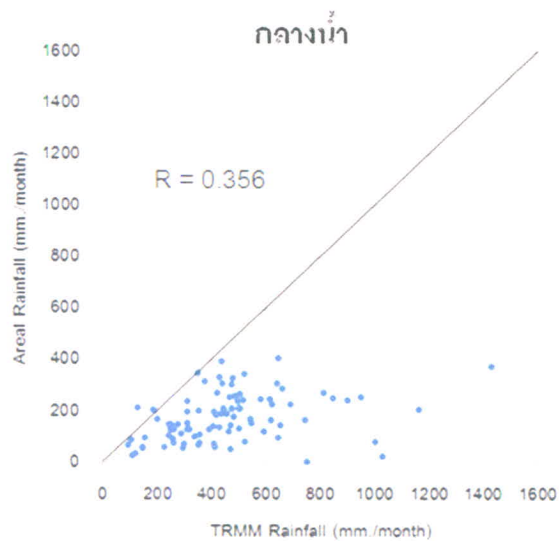
3. การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายเดือนแยกตามพื้นที่ลุ่มน้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายเดือน โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นต้นน้ำโดยใช้ข้อมูลในพิกเซลหมายเลข 2, 3 และ 5 พื้นที่กลางน้ำพิกเซลหมายเลข 15, 16, 25, 26 และ 27 และพื้นที่ปลายน้ำพิกเซลหมายเลข 11, 19 และ 20 ดังแสดงในภาพ 41 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยค่า R มีค่าความสัมพันธ์ที่ดีขึ้นดังแสดงในภาพ 48 ถึง 50 จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จะเห็น

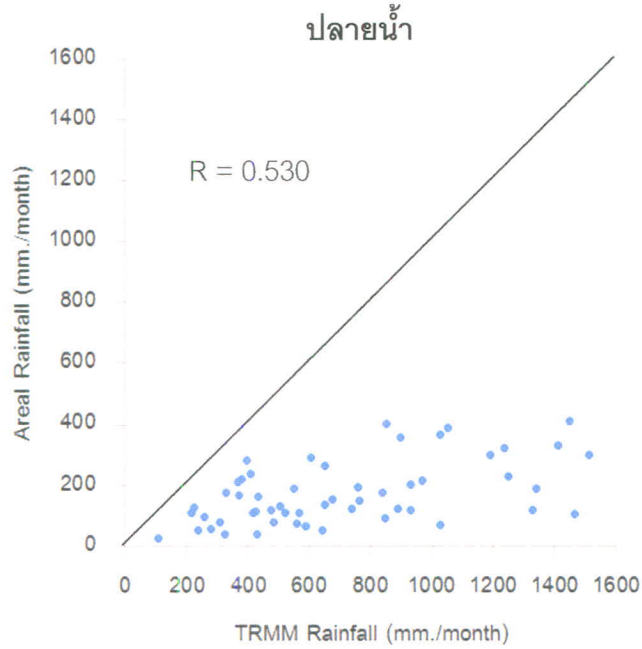
ได้ว่าในพื้นที่ต้นน้ำน่านมีความสัมพันธ์ที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบรวมข้อมูลทั้งลุ่มน้ำ



ภาพ 48 การกระจายระหว่างปริมาณฝนรายเดือนจากดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่ ในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำน่าน



ภาพ 49 การกระจายระหว่างปริมาณฝนรายเดือนจากดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่ ในพื้นที่กลางน้ำของลุ่มน้ำน่าน



ภาพ 50 การกระจายระหว่างปริมาณฝนรายเดือนจากดาวเทียม TRMM และปริมาณฝนเชิงพื้นที่ ในพื้นที่ปลายน้ำของลุ่มน้ำน่าน