



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การคำนวณสเกลทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน
ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

Statistical Downscaling for an Evaluation of Rainfall Occurrence and Amount
in the Upper Ping River Basin under Climate Change Scenarios

นามผู้วิจัย นายเผ่าเทพ ปานขาว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์กฤษณ์ สุกิตย์, วศ.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การดาวน์โหลดทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน
ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

Statistical Downscaling for an Evaluation of
Rainfall Occurrence and Amount
in the Upper Ping River Basin under Climate Change Scenarios

โดย

นายเผ่าเทพ ปานขาว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2556

เผ่าเทพ ปานขาว 2556: การคำนวณสเกลทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝน และปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 205 หน้า

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสามารถประเมินได้โดยแบบจำลองภูมิอากาศโลกซึ่งมีการดำเนินงานบนสเกลที่หยาบ จึงจำเป็นต้องนำเทคนิคการคำนวณสเกลมาใช้เพื่อประเมินผลลัพธ์จากแบบจำลองให้อยู่ในสเกลที่เล็กลงของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในการศึกษาได้นำวิธีการคำนวณสเกลทางสถิติมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนรายวันที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 22 สถานี ในลุ่มน้ำปิงตอนบน การคำนวณสเกลเริ่มต้นด้วยการคัดเลือกตัวแปรฝนรายวันและตัวแปรภูมิอากาศโลกรายวันที่ได้จากการรีอานาไลซิส (จากหน่วยงาน NCEP/NCAR ที่มีขนาดกริดข้อมูล $2.5^\circ \times 2.5^\circ$) เพื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์การถดถอยเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนเหล่านั้น โดยการเกิดฝนของวันก่อนหน้า (Q_{t-1}) เป็นตัวแปรที่ถูกเลือกใช้เพื่อการประเมินการเกิดฝนสำหรับทุกสถานีวัดน้ำฝน ในขณะที่ $vwnd700$ และ $omega250$ ได้รับการคัดเลือกมากที่สุดจากตัวแปรภูมิอากาศโลกจำนวน 72 ตัวแปร โดยได้รับการคัดเลือกที่ 15 สถานี (78% ของทั้งหมด) สำหรับในส่วนของประเมินปริมาณฝนนั้น พบว่า ปริมาณฝนของวันก่อนหน้า (R_{t-1}) ถูกเลือกใช้จำนวน 13 สถานี (59% ของทั้งหมด) ในขณะที่ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุดคือ $umwd850$ ซึ่งได้รับการคัดเลือกสำหรับ 18 สถานี (82% ของทั้งหมด) จากนั้นจึงนำตัวแปรที่ได้รับการคัดเลือกมาสร้างสมการการถดถอยเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน โดยการสอบเทียบ (ค.ศ.1960-1989) และตรวจพิสูจน์ (ค.ศ.1990-2007) สมการถดถอย ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรทางสถิติซึ่งประกอบด้วย สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) คัดชนิประสิทธิภาพ (ED) และ รากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสอง ($RMSE$) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมากสำหรับผลการประเมินจำนวนวันฝนตกและปริมาณฝน แต่สำหรับในกรณีของจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องและฝนไม่ตกต่อเนื่อง พบว่าค่าทางสถิติไม่ดีเท่าที่ควรซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลการศึกษาทั่วไป จากนั้นจึงนำสมการการถดถอยที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับตัวแปรภูมิอากาศโลกในอดีต (ค.ศ.1960-2005) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR (ขนาดกริด $1.875^\circ \times 1.875^\circ$) ทั้งนี้ ตัวแปรเหล่านี้ได้ผ่านการปรับชุดข้อมูลให้เข้ากับตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอานาไลซิสโดยวิธี Nested Bias Correction (NBC) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความมีประสิทธิภาพสูงมาก โดยผลการคำนวณสเกลที่ได้จากการใช้แบบจำลอง MPI-ESM-LR ในอดีตมีความเข้ากันได้ดีกับผลการคำนวณสเกลที่ได้จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอานาไลซิส ดังนั้น ค่าการปรับแก้ในอดีตจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ปรับแก้ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ในอนาคต เพื่อการประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคต (ค.ศ.2006-2100) ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ซึ่งผลการศึกษาในภาพรวมของสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 22 สถานี พบว่า จำนวนวันฝนตกรายปีมีแนวโน้มลดลงประมาณ 3.02%, 3.23% และ 4.78% ตามลำดับ และปริมาณฝนรายปีลดลงประมาณ 5.00%, 4.62% และ 5.75% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณสเกลสำหรับเหตุการณ์ในอดีตที่ได้จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR

Phaotep Parnkhao 2013: Statistical Downscaling for an Evaluation of Rainfall Occurrence and Amount in the Upper Ping River Basin under Climate Change Scenarios. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nuchanart Sriwongsitanon, Ph.D. 205 pages.

Climate Change can be assessed by the General Circulation Models (GCMs) which operate on a course scale. Therefore, downscaling technique is required to evaluate the model results in a comparatively smaller river basin scale. In this study, statistical downscaling technique was used to estimate the daily rainfall occurrence and rainfall amount at 22 rain gauge stations in the Upper Ping River Basin. Downscaling processes starting by applying the daily rainfall variables and daily reanalysis climate data (based on $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ grid obtained from NCEP/NCAR) to be used for creating the regression relationships for estimating the daily rainfall occurrence and rainfall amount at the study stations. Rainfall occurrence at a previous day (Q_{t-1}) was selected for all rainfall stations to estimate the rainfall occurrence at a current day, while $wvnd700$ and $omega250$ were selected from 72 climate variables for 15 stations (78% of the overall stations). For an estimation of rainfall amount at a current day, rainfall amount at a previous day (R_{t-1}) was selected at 13 stations (59% of the overall stations), while $uwnd850$ was selected for 18 stations (82% of the overall stations). The selected variables were then used to create the regression relationships for estimating rainfall occurrence and rainfall amount by calibrating (between 1960 and 1989) and verifying (between 1990 and 2007) the relationships. The results show that the statistical values comprise the correlation coefficient (r), efficiency index (EI), and root mean square error ($RMSE$) for evaluating the average rainy days and average rainfall amount are within a higher range. However, those statistical values for estimating the average wet spell and dry spell are quite in a lower range, which is always the case by comparison with the results carried out worldwide. The regression relationships were later applied using the historical (1960-2005) climate variables which are the outputs from the MPI-ESM-LR model ($1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ grid size). These variables were already adjusted to be corresponding to the selected reanalysis variables by using the Nested Bias Correction (NBC), which was proved to be a highly effective technique. The downscaling results using historical outputs from the MPI-ESM-LR model were highly corresponded to that of using the historical reanalysis climate variables. Therefore, historical adjusting factors are suitable to be applied for future climate variables gained from the MPI-ESM-LR model for estimating future (2006-2100) rainfall occurrence and rainfall amount under climate change scenarios: RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. The results show that rainy days averaging over the overall 22 rain gauge stations will be reduced by approximately 3.02%, 3.23% and 4.78% compared to the historical MPI-ESM-LR events, while the average rainfall amount will be reduced by approximately 5.00%, 4.62% and 5.75%.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อ.ดร.กฤษณัส สุรกิจย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด ในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณสำนักวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษานี้ ขอขอบพระคุณกรมชลประทานที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบพระคุณนักวิจัยทุกท่านที่ร่วมอยู่ในงานวิจัยเรื่อง"การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนภูมิพล" ที่กรุณาอนุเคราะห์แนวทางในการดำเนินการศึกษานี้

คุณความดีหรือประโยชน์อันใดที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่อาจารย์และผู้มีบุญคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาความสามารถของผู้ศึกษาจนสามารถศึกษาจนงานวิจัยนี้ได้สำเร็จ

เผ่าเทพ ปานขาว

พฤษภาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	26
ผลการศึกษา	57
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	110
สรุปผลการศึกษา	110
ข้อเสนอแนะ	112
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	113
ภาคผนวก	116
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	205

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบน	6
2	รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ตำแหน่งที่ตั้งและจำนวนปีข้อมูล	8
3	ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ใช้ในการศึกษานี้	11
4	รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา	28
5	ระยะเวลาการเก็บข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาที่ศึกษา	29
6	ตัวแปรภูมิอากาศโลกสำหรับการคำนวณสเกลการเกิดฝนและปริมาณฝน	31
7	ตัวอย่างการคำนวณความน่าจะเป็นของการเกิดฝนรายวันที่สถานีวัดน้ำฝน 07072	39
8	รูปแบบข้อมูลสำหรับการคัดเลือกตัวแปร โดยโปรแกรม SPSS เพื่อประเมินการเกิดฝน	41
9	รูปแบบข้อมูลสำหรับการคัดเลือกตัวแปร โดย โปรแกรม SPSS เพื่อประเมินปริมาณฝน	47
10	ผลการประเมินพารามิเตอร์ในสมการการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงเพื่อประเมินปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝน 07072	51
11	ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝนสถานีวัดน้ำฝน 07013 ถึง 07182	58
12	ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝนสถานีวัดน้ำฝน 07192 ถึง 17052	60
13	การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรที่คัดเลือกเพื่อประเมินการเกิดฝน	62
14	เปอร์เซ็นต์การเลือกใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกและ O_i เพื่อประเมินการเกิดฝน	64
15	สมการเพื่อประเมินการเกิดฝนสำหรับสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	66
16	ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝนสถานีวัดน้ำฝน 07013 ถึง 07182	67
17	ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝนสถานีวัดน้ำฝน 07192 ถึง 17052	69
18	การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรที่คัดเลือกเพื่อประเมินปริมาณฝน	71
19	เปอร์เซ็นต์การเลือกใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกและความลึกฝนของวันก่อนหน้า (R_{i-1}) เพื่อประเมินการเกิดฝน	73
20	สมการประเมินปริมาณฝนสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	75
21	ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	78
23	ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการคำนวณสเกลข้อมูลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	79
24	ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการคำนวณสเกลข้อมูลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	80
25	ค่าของตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนและปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนโดยข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR และข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	83
26	ค่าของตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนโดยข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR และข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	84
27	ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ	86
28	ผลการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ	88
29	ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ	90
30	ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
31	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 6 สถานีวัดน้ำฝน	94
32	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 3 สถานีวัดน้ำฝน	94
33	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 13 สถานีวัดน้ำฝน	95
34	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน ที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 5 สถานีวัดน้ำฝน	96
35	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน ที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 16 สถานีวัดน้ำฝน	98
36	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกต่อเนื่อง เฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 7 สถานีวัดน้ำฝน	99
37	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกต่อเนื่อง เฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 14 สถานีวัดน้ำฝน	100
38	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่อง เฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 3 สถานีวัดน้ำฝน	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
39	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 6 สถานีวัดน้ำฝน	102
40	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 13 สถานีวัดน้ำฝน	103
41	ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ	105
42	ผลการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ	106
43	ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ	107
44	ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ	108

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	5
2	แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน	7
3	ภาพจำลองการทำงานของแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs)	18
4	ประเภทของวิธีในการทำดาวนส์สเกล	23
5	การจำลองข้อมูลภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยเทคนิคการดาวนส์สเกล	24
6	แผนที่แสดงตำแหน่งและรหัสสถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกมาศึกษา	27
7	การปรับกริดข้อมูลภูมิอากาศโลกมายังตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา	34
8	การเปิดเพิ่มข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ Microsoft Excel	40
9	หน้าต่างกำหนดข้อมูลวิเคราะห์การถดถอยสำหรับการเกิดฝน	42
10	หน้าต่างกำหนดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างกัน	44
11	เมตริกซ์แสดงสหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันของตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือก	45
12	หน้าต่างกำหนดข้อมูลวิเคราะห์การถดถอยสำหรับปริมาณฝน	48
13	หน้าต่างกำหนดรายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง	50
14	การใส่ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง	50
15	หน้าต่างสำหรับเพิ่มพารามิเตอร์ของสมการการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง	51
16	การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรภูมิอากาศโลกที่คัดเลือกเพื่อประเมินการเกิดฝน	65
17	การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรภูมิอากาศโลกที่คัดเลือกเพื่อประเมินปริมาณฝน	74
18	ผลการปรับแก้ข้อมูลศักระยะความสูงทางภูมิศาสตร์ที่ระดับความดันบรรยากาศ 700 มิลลิบาร์ ของตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศ MPI-ESM-LR ให้เข้ากับตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส	82
19	ผลการดาวนส์สเกลการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคตโดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 22 สถานี สำหรับแต่ละสถานการณ์เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยผลการดาวนส์สเกลในอดีต	109

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
1 ผลการดาวน์โหลดสเกลทางสถิติการเกิดฝนและความลึกฝน เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดที่สถานี 07013-17052 ในช่วงการสอบเทียบระหว่างปี ค.ศ.1960-1989	117
2 ผลการดาวน์โหลดสเกลทางสถิติการเกิดฝนและความลึกฝน เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดที่สถานี 07013-17052 ในช่วงการตรวจพิสูจน์ระหว่างปี ค.ศ.1990-2007	139
3 ผลการดาวน์โหลดสเกลการเกิดฝนและความลึกฝนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ที่ผ่านการปรับชุดข้อมูลเปรียบเทียบกับผลการดาวน์โหลดนาไลซิสสำหรับสถานี 07013-17052 ระหว่างปี ค.ศ.1960-2005	161
4 ผลการดาวน์โหลดสเกลการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคตที่สถานีวัดน้ำฝน 07013-17052 สำหรับแต่ละสถานการณ์เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยผลการดาวน์โหลดในอดีต	183

การดาวน์โหลดทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน
ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

**Statistical Downscaling for an Evaluation of Rainfall Occurrence and Amount
in the Upper Ping River Basin under Climate Change Scenarios**

คำนำ

ปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) หมายถึง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ ทั่วโลกพื้นผิวโลก และผิวน้ำในมหาสมุทรตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 20 และมีการ คาดการณ์ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ของ สหประชาชาติได้สรุปไว้ว่า “การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษ ที่ 20 เกิดจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น โดยกิจกรรมของมนุษย์ ทำให้เกิด ปรากฏการณ์เรือนกระจก” ข้อสรุปดังกล่าวได้รับการรับรองโดยสมาคมและสถาบันการศึกษาทาง วิทยาศาสตร์ไม่น้อยกว่า 30 แห่ง รวมทั้งราชสมาคมทางวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติที่สำคัญของ ประเทศอุตสาหกรรม ปรากฏการณ์โลกร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) และส่งผลกระทบต่อดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตต่างๆ ซึ่งเห็นได้จากภัย พิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในทุกภูมิภาคทั่วโลก เช่น ภัยแล้ง อุทกภัย วัตภัย และคลื่น ความร้อน เป็นต้น ซึ่งปัญหาดังกล่าววันข้างหน้าจะทวีความรุนแรงมากขึ้น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสามารถประเมินได้โดยแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองภูมิอากาศโลกมีการดำเนินงานบน สเกลที่หยาบ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการดาวน์โหลด (downscaling technique) เพื่อประเมิน ผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกให้อยู่ในสเกลที่เล็กลงในระดับของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยได้มีการ ตีพิมพ์วารสารทางวิชาการมากมาย เช่น การศึกษาของ Hewitson and Crane (1996); Wilby and Wigley (1997); Zorita and von Storch (1999); Xu (1999); Wilby *et al.* (2004)

เทคนิคการดาวน์สเกลประกอบด้วย 2 วิธีการ คือ วิธีการดาวน์สเกลทางพลศาสตร์ (dynamical downscaling) และวิธีการดาวน์สเกลทางสถิติ (statistical downscaling) โดยวิธีการดาวน์สเกลทางสถิติแยกย่อยออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) การเลียนแบบสภาพอากาศ (weather typing schemes) (2) การสร้างสภาพอากาศ (weather generators) และ (3) การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีการดาวน์สเกลทางสถิติประเภทวิธีการวิเคราะห์การถดถอยตามวิธีการที่นำเสนอโดย Wilby และคณะ (1999) มาประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินการเกิดฝน และปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนที่ได้รับการคัดเลือกในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศแบบรีอนาไลซิสรายวันในอดีตจากหน่วยงาน National Centers for Environmental Prediction/Nation Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ถูกนำมาใช้เพื่อการสอบเทียบการประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน ในระหว่างปี ค.ศ. 1960-1989 และนำมาใช้เพื่อการตรวจพิสูจน์การประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน ในระหว่างปี ค.ศ. 1990-2007

ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกรายวันในอนาคต จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ของหน่วยงาน Max Planck Institute for Meteorology ประเทศเยอรมัน ที่ผ่านการปรับชุดข้อมูลให้เข้ากับข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศแบบรีอนาไลซิสด้วยวิธี Nested Bias Correction (NBC) ถูกนำมาใช้ประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคต ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5

วัตถุประสงค์

ศึกษาผลกระทบของเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเกิดฝนและปริมาณฝนที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยวิธีการดาวนส์สเกลทางสถิติประเภทวิธีการวิเคราะห์การถดถอย

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาสภาพทั่วไปลุ่มน้ำปิงตอนบน ขอบเขตลุ่มน้ำและลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน รวมทั้งข้อมูลฝนของสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน
2. รวบรวมข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลก ศึกษาแนวทางการปรับกริด (regrid) ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกให้เข้ากับตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน และศึกษาแนวทางการปรับชุดข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ให้เข้ากันได้กับข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส
3. ศึกษาขั้นตอนการดาวนส์สเกลทางสถิติประเภทวิธีการวิเคราะห์การถดถอยตามแนวทางของ Wilby และคณะ (1999) เพื่อสร้างสมการประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน ณ ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยทำการสอบเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดระหว่างปี ค.ศ. 1960-1989 และทำการตรวจพิสูจน์กับข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดในระหว่างปี ค.ศ. 1990-2007
4. ประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคต ณ ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ในระหว่างปี ค.ศ. 2006-2100 ทั้งนี้ช่วงเวลาดังกล่าว เป็นช่วงเวลาของตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ที่ใช้ในการศึกษานี้

การตรวจเอกสาร

1. พื้นที่ศึกษา

1.1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

กลุ่มน้ำปิงเป็นลุ่มน้ำสาขาหลักของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 34,856 ตร.กม. แม่น้ำปิงเป็นลำน้ำสายหลักของกลุ่มน้ำปิงมีความยาวประมาณ 740 กม. แม่น้ำปิงมีต้นกำเนิดจากทิวเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และมีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงมาทางทิศใต้ ผ่านจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอคอยเต่า ถัดจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล แม่น้ำปิงจะไหลผ่านที่ราบมาบรรจบกับแม่น้ำวังที่จังหวัดตาก และไหลผ่านที่ราบกว้างใหญ่ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ถัดจากนั้นไหลมาบรรจบกับแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพจังหวัดนครสวรรค์ แม่น้ำปิงมีลำน้ำสาขาประกอบด้วย น้ำแม่จัดไหลบรรจบแม่น้ำปิงทางฝั่งซ้ายในเขตอำเภอแม่แตง น้ำแม่แตงไหลบรรจบทางฝั่งขวาในเขตอำเภอแม่แตง น้ำแม่กวงไหลบรรจบทางฝั่งซ้ายในเขตจังหวัดลำพูน น้ำแม่ลีไหลบรรจบทางฝั่งซ้ายในเขตอำเภอจอมทอง น้ำแม่แจ่มไหลบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอด เนื่องจากมีเขื่อนภูมิพลกั้นแม่น้ำปิงที่อำเภอสามเงาจังหวัดตาก ดังนั้นลุ่มน้ำปิงจึงถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่อยู่เหนือเขื่อนภูมิพลและลุ่มน้ำปิงตอนล่างที่อยู่ท้ายเขื่อนภูมิพล ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่รับน้ำเหนือเขื่อนภูมิพลประมาณ 25,370 ตร.กม. ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดลำพูนและเชียงใหม่ ระหว่างเส้นละติจูด $17^{\circ} 14' 30''$ ถึง $19^{\circ} 47' 52''$ เหนือ และระหว่างเส้นลองจิจูด $98^{\circ} 4' 30''$ ถึง $99^{\circ} 22' 30''$ ตะวันออก มีสภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนปกคลุมด้วยป่าไม้ประมาณ 75.5% ในปีพ.ศ. 2548 (นุชนารถ และคณะ, 2011) พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนแสดงในภาพที่ 1 ประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อย คือ แม่น้ำปิงตอนบน น้ำแม่จัด น้ำแม่แตง แม่น้ำปิงส่วนที่ 2 น้ำแม่ริม น้ำแม่กวง น้ำแม่งาน น้ำแม่ลี น้ำแม่กลาง แม่น้ำปิงส่วนที่ 3 น้ำแม่แจ่มตอนบน น้ำแม่แจ่มตอนล่าง น้ำแม่หาด และน้ำแม่ตื้น สำหรับรายละเอียดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ที่มา: นุชนารอด และคณะ (2555)

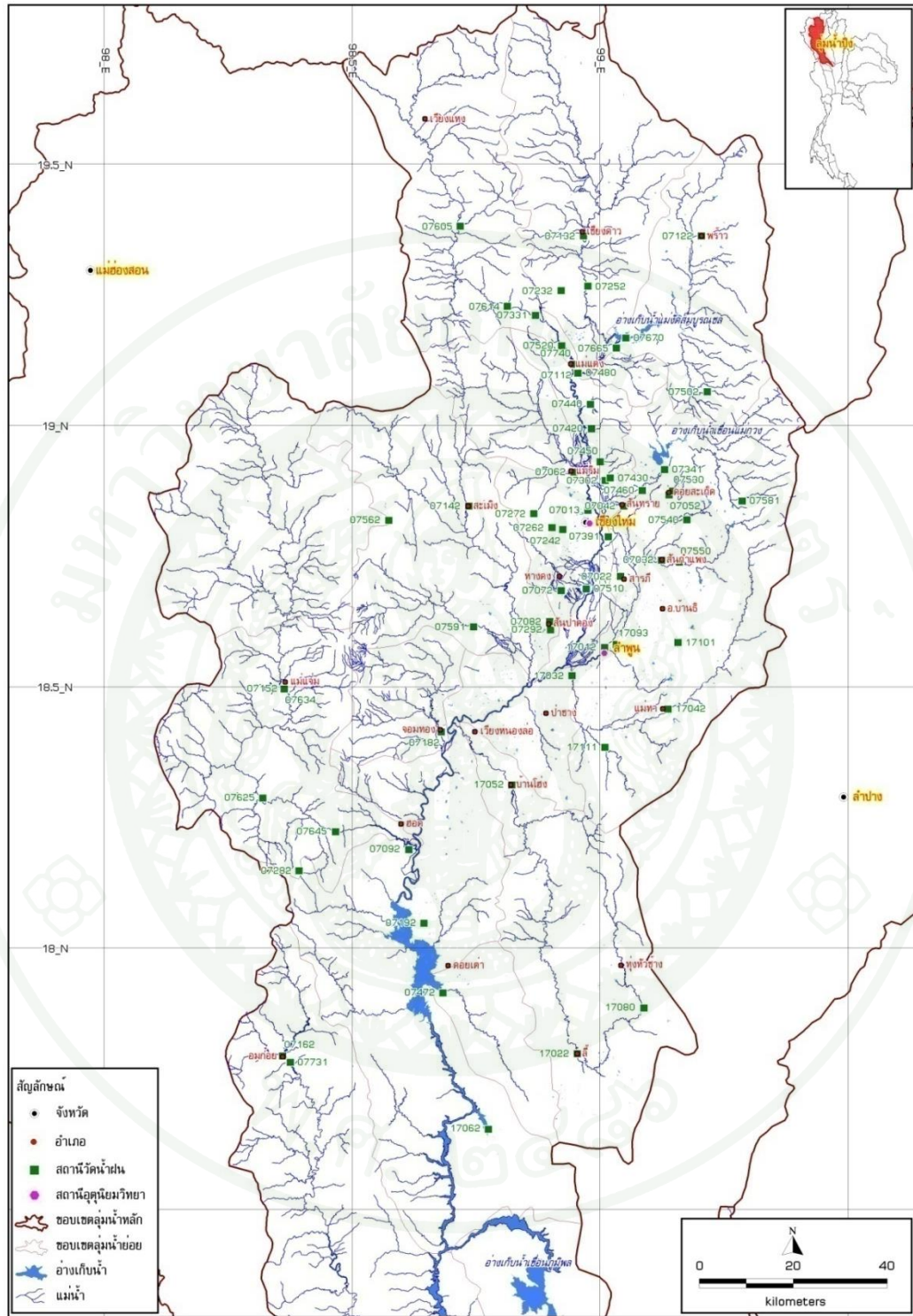
ตารางที่ 1 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
1	แม่น้ำปิงตอนบน	1,972.33
2	น้ำแม่จัด	1,282.39
3	น้ำแม่แตง	1,955.63
4	แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	1,723.15
5	น้ำแม่ริม	565.45
6	น้ำแม่กวง	2,680.05
7	น้ำแม่งาน	1,731.68
8	น้ำแม่ลี	2,079.86
9	น้ำแม่กลาง	615.84
10	แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	3,179.72
11	น้ำแม่แจ่มตอนบน	1,965.24
12	น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	1,930.26
13	น้ำแม่หาด	520.76
14	น้ำแม่ตัน	3,167.27
	ลุ่มน้ำปิงตอนบน	25,369.63

ที่มา: นุชนารถ และคณะ (2555)

1.2 สถานีวัดน้ำฝน

พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีสถานีวัดน้ำฝนที่รวบรวมข้อมูลได้ 80 สถานี โดยสถานีวัดน้ำฝนเหล่านี้อยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน 51 สถานี กรมอุตุนิยมวิทยา 22 สถานี และจากหน่วยงานอื่น 7 สถานี โดยที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนดังกล่าวแสดงในภาพที่ 2 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนตำแหน่งที่ตั้ง และจำนวนปีข้อมูลแสดงในตารางที่ 2 ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน

ที่มา: นุชนารถ และคณะ (2555)

ตารางที่ 2 รายชื่อสถานีวิัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ตำแหน่งที่ตั้ง และจำนวนปีข้อมูล

ลำดับที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง		จำนวนปี ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
1	07013	อ.เมือง	เชียงใหม่	18°50'23"	98°58'32"	52
2	07022	อ.สารภี	เชียงใหม่	18°42'48"	99°02'29"	50
3	07032	อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	18°44'39"	99°07'28"	50
4	07042	อ.สันทราย	เชียงใหม่	18°50'51"	99°02'54"	48
5	07052	อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	18°52'08"	99°08'22"	52
6	07062	อ.แม่ริม	เชียงใหม่	18°54'47"	98°56'52"	52
7	07072	อ.หางดง	เชียงใหม่	18°41'10"	98°55'19"	52
8	07082	อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	18°37'37"	98°53'56"	51
9	07072	อ.ฮอด	เชียงใหม่	18°11'26"	98°36'52"	52
10	07112	อ.แม่แตง	เชียงใหม่	19°07'08"	98°56'52"	52
11	07122	อ.พร้าว	เชียงใหม่	19°21'52"	99°12'17"	52
12	07132	อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	19°21'53"	98°58'00"	50
13	07142	อ.สะเมิง	เชียงใหม่	18°50'52"	98°44'09"	52
14	07152	อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	18°29'54"	98°21'54"	52
15	07162	อ.อมก๋อย	เชียงใหม่	17°47'45"	98°21'36"	50
16	07182	อ.จอมทอง	เชียงใหม่	18°24'57"	98°40'47"	52
17	07192	บ้านแฮ่น กิ่ง อ.ดอยเต่า	เชียงใหม่	18°03'00"	98°38'43"	45
18	07232	นิคมสร้างตนเองดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	19°15'36"	98°55'19"	12
19	07242	อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย	เชียงใหม่	18°48'10"	98°55'30"	43
20	07252	ศูนย์วิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำดอยเชียงดาว	เชียงใหม่	19°16'07"	98°58'32"	40
21	07262	พระตำหนักภูพิงศ์ ดอยบวกห้า	เชียงใหม่	18°48'24"	98°54'12"	36
22	07272	ศูนย์วิจัยลุ่มน้ำห้วยคอกม้า	เชียงใหม่	18°50'00"	98°52'00"	9
23	07282	ศูนย์ปลูกพันธุ์ไม้ดอยบ่อแก้ว อ.ฮอด	เชียงใหม่	18°09'01"	98°23'35"	38
24	07292	สถานีทดลองข้าว สันป่าตอง	เชียงใหม่	18°36'40"	98°54'02"	42
25	07302	สถานีอากาศเกษตรแม่โจ้ อ.สันทราย	เชียงใหม่	18°53'48"	99°00'39"	27
26	07331	แก่งกืด (P.13) อ.แม่แตง	เชียงใหม่	19°12'45"	98°52'12"	28
27	07341	แม่กวาง (P.25) อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	18°55'04"	99°07'50"	30

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง		จำนวนปี ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
28	07391	ศูนย์อุทกวิทยาที่ 1 สำนักงานชลประทานที่ 1	เชียงใหม่	18°47'21"	99°01'01"	33
29	07420	ไซฟอนห้วยแม่แฝก อ.สันทราย	เชียงใหม่	18°59'44"	98°59'00"	42
30	07430	ไซฟอนห้วยแม่โจ้	เชียงใหม่	18°54'06"	99°01'14"	41
31	07440	ไซฟอนห้วยแม่แก้ว	เชียงใหม่	19°02'33"	98°58'52"	41
32	07450	ไซฟอนห้วยแม่เตาไห	เชียงใหม่	18°55'57"	99°00'02"	40
33	07460	ประตูระบายน้ำโครงการแม่แฝก	เชียงใหม่	18°52'40"	99°05'08"	34
34	07472	นิคมสร้างตนเองเขื่อนภูมิพล อ.ดอยเต่า	เชียงใหม่	17°55'00"	98°41'00"	34
35	07480	ฝายสนธิกิจปริชา (ฝายแม่แฝก)	เชียงใหม่	19°06'08"	98°57'21"	42
36	07502	สวนป่าแม่หอพระ อ.แม่แตง	เชียงใหม่	19°04'00"	99°13'00"	32
37	07510	โครงการแม่ปิงเก่า	เชียงใหม่	18°41'22"	98°58'20"	17
38	07520	ห้วยงานแม่แตง	เชียงใหม่	19°09'16"	98°55'22"	19
39	07530	ไซฟอนแม่ฮ่องฮัก (ตอน 1) อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	18°52'35"	99°08'48"	20
40	07540	ไซฟอนแม่โป่ง (ตอน 2) อ.ดอยสะเก็ด	เชียงใหม่	18°49'17"	99°10'32"	20
41	07550	บ้านส้มวัวแดง (ตอน 3) อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	18°44'26"	99°09'37"	35
42	07562	ศูนย์อุตสาหกรรมเหมืองแร่สะเมิง	เชียงใหม่	18°49'14"	98°34'26"	3
43	07581	ห้วยแม่ลาย (P.36) อ.สันกำแพง	เชียงใหม่	18°51'26"	99°17'12"	9
44	07591	บ้านปางเดิม (P.41) อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	18°37'00"	98°44'43"	15
45	07605	เมืองโขง อ.เชียงดาว	เชียงใหม่	19°23'00"	98°43'06"	23
46	07614	โครงการแม่กืด อ.แม่แตง	เชียงใหม่	19°13'48"	98°48'48"	23
47	07625	ห้วยแม่เก่า อ.แม่แตง	เชียงใหม่	18°17'21"	98°19'12"	9
48	07634	แม่แจ่ม อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	18°29'52"	98°21'47"	12
49	07645	แก่งออบหลวง อ.แม่แจ่ม	เชียงใหม่	18°13'30"	98°28'00"	21
50	07665	เขื่อนแม่จัด	เชียงใหม่	19°09'00"	99°02'00"	8
51	07670	โครงการแม่จัด (P.28A) อ.สันป่าตอง	เชียงใหม่	19°10'10"	99°03'09"	16
52	07680	บ้านแม่ทะลบ (G.7)	เชียงใหม่	19°42'40"	99°12'50"	7
53	07702	อ.เวียงแห	เชียงใหม่	18°17'21"	98°38'18"	15
54	08082	อ.เวียงป่าเป้า	เชียงราย	19°20'47"	99°30'40"	48

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง		จำนวนปี ข้อมูล
				ละติจูด	ลองจิจูด	
55	08252	อ.ป่าแดด	เชียงราย	19°31'37"	100°01'44"	48
56	16032	อ.เกาะคา	ลำปาง	18°11'21"	99°23'50"	15
57	16042	อ.สบปราบ	ลำปาง	17°52'45"	99°20'26"	51
58	16062	อ.ห้างฉัตร	ลำปาง	18°25'00"	99°13'00"	52
59	16072	อ.เถิน	ลำปาง	17°36'39"	99°13'08"	52
60	16082	อ.แม่พริก	ลำปาง	17°26'49"	99°07'04"	48
61	16162	สวนป่าทุ่งเกวียน อ.ห้างฉัตร	ลำปาง	18°25'00"	99°13'00"	31

ที่มา: บุชนารถ และคณะ (2555)

ตารางที่ 3 ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ใช้ในการศึกษานี้

ลำดับที่	รหัสสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)												รายปี
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
1	07013	51.4	158.9	128.1	155.7	228.8	226.7	119.2	47.2	18.2	7	8.1	17.1	1,166.4
2	07022	24.9	130.8	102.6	106.3	161.3	175.8	94.2	24.9	8.5	4	3.3	9.5	846.1
3	07032	34.9	127.8	109.8	122.9	179.9	194.2	79.5	27	9	2.4	3.1	12.6	903.1
4	07042	43.6	139.9	124.9	148.7	227.3	194.9	95.2	26.8	11.6	7.2	6.8	17.3	1,044.2
5	07052	43.3	151	137.1	161.3	248.9	220.8	106.4	40.3	12.8	6.8	7	16.1	1,151.8
6	07062	40.8	157.4	126.8	145.4	210.5	178.9	96.1	27.1	10.7	5	1.6	10.9	1,011.2
7	07072	44.5	141.5	118.5	143.2	193.3	207.2	122.7	42.1	14.6	5.3	6.7	14.9	1,054.5
8	07082	38.6	120.5	85.4	124.2	149.7	184.3	106.1	42.1	9.9	6.9	4.4	8.8	880.9
9	07092	53.7	150.5	117.4	103.1	147.4	221.5	151.3	52	11.7	8.3	8.2	17.8	1,042.9
10	07112	39.3	157.3	146.7	184.4	249	197.7	94	39.8	13.1	8.1	5.2	16	1,150.6
11	07122	55.4	184	134.7	183.3	250.4	186	92.1	34.9	16.3	10.8	5.8	15.3	1,169.0
12	07132	75.1	187.2	174.6	203.6	272.7	201.5	114.5	25.9	13.7	8.8	4.1	29.5	1,311.2
13	07142	48.1	176.3	160.5	172.6	233.2	201.7	104.7	36.1	7.8	7.9	3.4	11.8	1,164.1
14	07152	35.2	122.7	130.3	141.1	189.1	193.6	83.6	13.7	7	3.6	2.9	8.3	931.1
15	07162	46.2	155.6	99.2	100.2	130.7	183	124.8	32.8	7.5	6.5	7.3	9.1	902.9

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส สถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)												รายปี
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
16	07182	45.8	141.5	81.5	95.4	145.1	191.7	133.4	51	12.5	9.1	9.4	16.9	933.3
17	07192	38.6	142.1	96.6	93.8	141.2	197.4	141	49.1	8.1	9.7	8.1	13.6	939.3
18	07232	37.5	196.6	148.2	211.7	303.6	231.6	139	24	13.1	3	0.5	12	1,320.8
19	07242	59.4	216.8	187.5	236.4	297.2	303.7	182.1	65.3	31.2	9.3	7.5	22.2	1,618.6
20	07252	53.4	200.6	192	256.8	303.3	251.9	135.7	47.9	21.6	9.6	2.8	17	1,492.6
21	07262	59.4	250.4	207.8	245	317.3	345.4	199.5	81	28.2	11.8	6.4	26.7	1,778.9
22	07272	87.1	225.3	256.4	269.8	384.9	423.6	230.6	148.6	32.6	30.4	3.6	7.4	2,100.3
23	07282	55	186.6	126	110.2	151.7	229	137.7	53.3	11.2	8.4	7	16.9	1,093.0
24	07292	48.4	125.5	96.2	119.6	164.4	193.1	128.9	51.3	14.8	4.2	4.4	13.4	964.2
25	07302	48.5	166.6	115.2	164.4	196.2	195.3	104.1	41	20.5	10.9	7	12	1,081.7
26	07331	52.2	234.1	247.3	281.4	374.1	272.1	149.5	37.1	22.6	16.4	3.1	12.5	1,702.4
27	07341	37.1	166.2	154.3	178.3	254.8	209.9	115.9	30.4	10.7	10.9	4.7	7.5	1,180.7
28	07391	43.4	145.8	114.4	139.8	211.7	196.7	100.8	50.6	15.4	9.3	5.9	19.6	1,053.4
29	07420	23.9	120	126.7	142.9	208.7	184	93.3	25.9	9.5	6	2.4	4.4	947.7
30	07430	34	138.1	121.3	166.1	209.8	197.4	95.1	21.4	14.6	6.8	3	9.8	1,017.4

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส สถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)												รายปี
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
31	07440	29.1	140.5	140.2	166.7	226.4	221.2	102.5	29.6	13.9	11.4	2.2	6.7	1,090.4
32	07450	35.6	150.7	119.4	152.6	207.0	185.1	85.5	26.6	10.1	8.0	2.7	5.4	988.7
33	07460	32.4	129.2	126.1	181.7	230.2	192.6	92.2	24.7	14.4	7.1	2.3	7.6	1,040.5
34	07472	50.9	141.8	89.6	83.5	139.5	196.3	136.9	47.9	9.5	8.9	5.0	19.5	929.3
35	07480	34.0	157.9	156.3	180.9	234.6	224.7	89.7	28.7	9.4	8.8	3.9	12.3	1,141.2
36	07502	33.1	161.4	154.8	189.8	232.0	223.9	115.3	48.7	15.0	10.5	5.1	14.7	1,204.3
37	07510	37.8	133.8	118.3	150.8	169.6	168.4	119.8	36.1	22.6	11.2	2.2	5.7	976.3
38	07520	31.0	151.9	183.1	207.7	246.1	194.0	106.1	50.5	20.4	12.0	5.3	6.1	1,214.2
39	07530	37.1	149.2	149.0	168.9	208.4	178.9	95.9	24.6	6.9	10.3	3.7	2.2	1,035.1
40	07540	36.3	160.2	149.5	158.7	200.8	187.5	91.0	28.9	6.9	7.4	3.1	1.2	1,031.5
41	07550	36.6	150.3	123.8	137.4	186.2	190.6	95.8	26.9	5.0	4.9	2.4	3.9	963.8
42	07562	63.3	118.9	89.3	143.0	242.3	266.3	228.0	22.2	19.3	37.0	0.1	2.3	1,232.0
43	07581	61.3	194.3	147.3	243.9	242.4	258.6	183.7	56.7	10.7	6.1	5.4	8.8	1,419.2
44	07591	43.1	185.7	123.4	118.7	179.6	159.5	145.8	70.5	9.3	0.3	1.2	3.2	1,040.3
45	07605	52.2	184.1	170.5	191.9	257.6	209.5	133.7	52.8	21.1	13.6	5.9	16.7	1,309.6

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส สถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)												รายปี
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
46	07614	50.1	242.7	237.3	275.6	307.4	274.0	144.1	61.3	19.6	11.0	3.7	11.9	1,638.7
47	07625	56.2	143.1	117.0	136.5	197.8	175.5	98.7	24.0	6.7	20.3	5.4	13.0	994.2
48	07634	33.7	142.7	148.6	150.2	184.9	161.3	56.8	12.7	6.7	13.4	1.8	14.9	927.7
49	07645	47.0	189.9	150.2	116.1	147.8	203.9	146.8	59.8	7.4	9.0	3.6	13.4	1,094.9
50	07665	24.1	123.9	208.7	147.3	215.4	132.1	88.4	64.3	10.2	2.4	4.7	11.4	1,032.9
51	07670	36.8	129.6	189.9	198.9	226.0	182.9	93.3	43.4	12.3	1.9	6.3	17.7	1,139.0
52	07680	43.1	155.5	95.7	173.8	189.9	177.3	107.5	39.1	37.1	0.1	9.4	9.2	1,037.7
53	07702	57.8	184.1	111.8	182.9	229.9	187.0	77.2	34.1	16.1	4.5	11.5	25.4	1,122.3
54	08082	40.6	140.4	117.2	156.5	213.9	193.5	93.8	30.4	10.9	6.9	4.9	7.4	1,016.4
55	08252	66.6	154.7	152.4	268.0	260.9	221.0	98.9	39.3	16.8	5.1	11.9	27.0	1,322.6
56	16032	64.3	168.9	131.9	148.1	192.8	231.4	125.8	30.0	11.5	4.5	7.9	28.8	1,145.9
57	16042	65.2	170.8	109.2	107.0	143.7	209.1	134.1	29.7	7.7	5.2	7.6	17.7	1,007.0
58	16062	53.0	146.6	141.2	150.9	207.4	205.0	99.1	23.0	6.8	8.7	6.1	15.4	1,063.2
59	16072	66.6	167.9	106.4	107.2	155.9	236.4	145.2	32.4	6.4	5.3	5.1	22.3	1,057.1
60	16082	51.8	178.6	105.3	84.5	129.6	220.5	162.2	37.3	6.0	4.7	3.8	21.9	1,006.2

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส สถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)												รายปี
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
61	16162	55.4	204.3	172.6	180.0	250.3	226.9	106.2	40.7	7.6	9.8	9.2	24.0	1,287.0
62	16303	53.6	174.3	147.3	142.8	209.6	210.7	106.1	34.9	6.5	1.8	10.0	28.5	1,126.1
63	17012	39.2	135.8	119.6	114.6	174.7	196.0	115.2	37.8	8.1	5.0	4.3	9.8	960.1
64	17022	66.7	176.9	106.4	112.2	171.8	209.3	128.7	35.6	5.6	6.6	6.0	19.2	1,045.0
65	17032	49.0	155.3	96.6	112.4	184.5	188.5	118.8	39.4	15.7	7.6	5.4	14.3	987.5
66	17042	59.2	163.6	151.2	150.1	205.3	212.6	124.0	31.1	8.0	7.0	5.4	20.4	1,137.9
67	17052	57.7	163.3	97.6	86.9	150.2	206.9	136.0	52.5	11.0	7.5	5.1	18.4	993.1
68	17062	59.7	158.9	83.8	96.7	145.4	216.7	147.9	40.4	10.5	5.2	7.5	20.3	993.0
69	17081	47.8	168.6	105.8	114.7	182.6	204.1	124.3	36.5	8.6	3.3	7.4	22.4	1,026.1
70	17093	36.6	149.1	121.6	115.5	167.8	196.1	105.9	50.9	10.6	2.3	5.3	13.5	975.2
71	17101	24.5	217.3	83.3	169.2	103.7	139.3	115.1	38.5	0.9	2.5	2.1	1.5	897.9
72	17111	45.4	95.3	175.5	91.9	190.0	147.2	99.1	79.0	2.3	0.0	0.4	14.4	940.5
73	63022	39.3	152.4	85.4	80.4	91.3	198.5	176.2	42.1	5.6	3.9	8.6	10.3	894.0
74	63052	33.9	169.8	291.0	327.8	371.1	234.1	114.2	19.0	3.5	1.8	8.3	11.0	1,585.5
75	63062	37.6	156.5	85.8	83.7	88.9	202.3	157.2	38.9	5.0	3.7	6.0	17.5	883.1

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	รหัส สถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)												รายปี
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
76	63075	42.8	190.4	81.7	89.5	108.4	236.9	195.7	47.6	7.0	4.8	2.9	17.2	1,024.9
77	63092	47.7	195.1	392.4	471.3	482.5	256.3	106.3	24.6	5.3	4.5	5.2	11.9	2,003.1
78	63111	51.7	152.2	78.0	124.3	79.6	251.8	190.0	24.3	1.6	4.1	8.1	6.3	972.0
79	63162	62.9	139.6	67.7	63.4	110.6	189.9	163.6	43.7	6.2	4.2	4.7	11.9	868.4
80	63172	64.9	124.0	79.2	80.3	121.8	173.1	131.9	33.6	3.7	0.1	6.7	11.1	830.4
	ค่าเฉลี่ย	46.8	161.4	136.9	157.4	206.7	209.5	122.8	40.2	11.9	7.5	5.2	13.8	1,120.1
	ค่าสูงสุด	87.1	250.4	392.4	471.3	482.5	423.6	230.6	148.6	37.1	37.0	11.9	29.5	2,100.3
	ค่าต่ำสุด	23.9	95.3	67.7	63.4	79.6	132.1	56.8	12.7	0.9	0.0	0.1	1.2	830.4

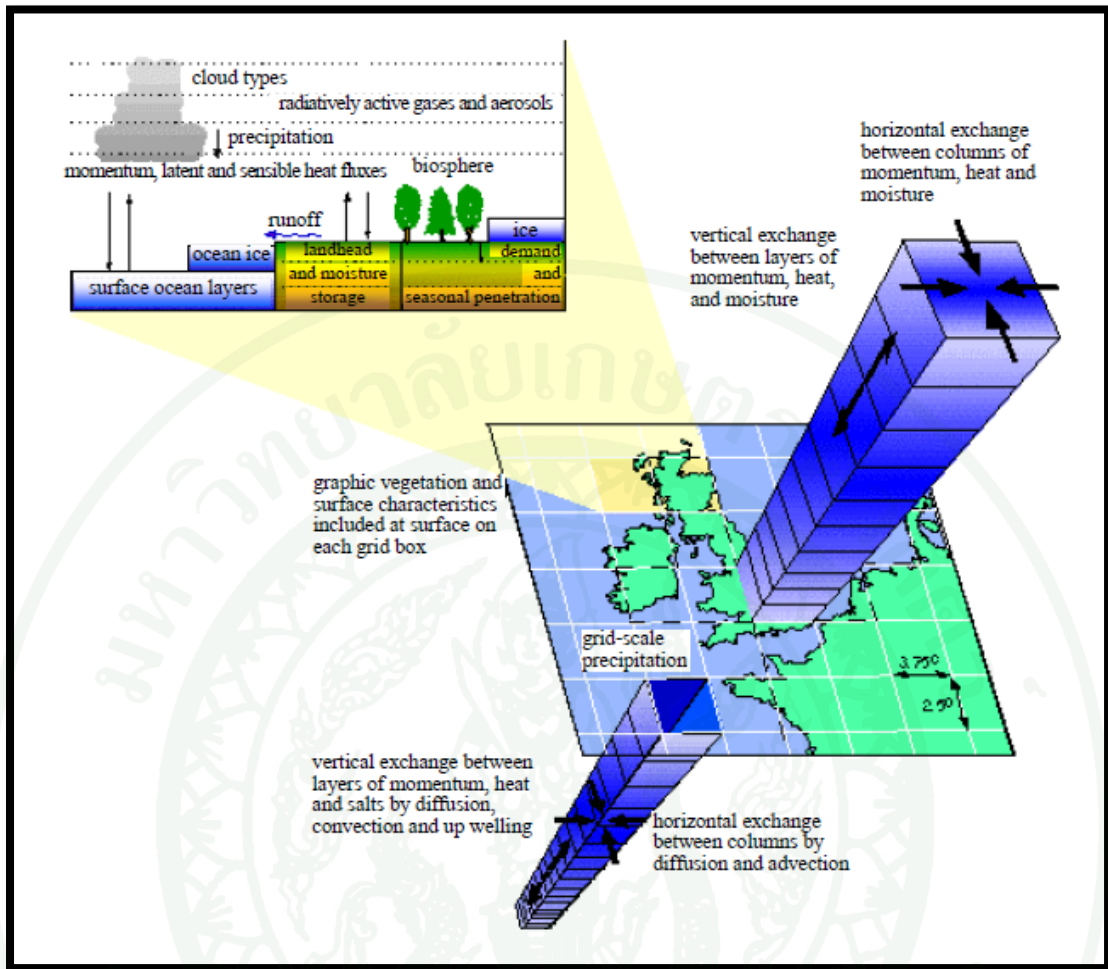
ที่มา: นุชนารถ และคณะ (2555)

2. แบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs)

แบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้หลักการของการถ่ายเทพลังงานของระบบ ซึ่งประกอบด้วย ชีวภพ อุทกภาคหรือพื้นน้ำ บรรยากาศ และพื้นธรณี แบบจำลองภูมิอากาศโลกพลังงานความร้อนจะถูกถ่ายเทตามกระบวนการระหว่างส่วนประกอบของระบบ เพื่อให้เกิดสมดุลของพลังงาน ทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ และฤดูกาลในภูมิภาคต่าง ๆ (กัณฑ์ชัย, 2548)

แบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อน การสร้างและพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลกจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในหลายสาขา ใช้ข้อมูลจำนวนมาก และต้องการเครื่องประมวลผลสมรรถนะสูง (super computer) ตัวอย่างกระบวนการทำงานของแบบจำลองภูมิอากาศโลกแสดงในภาพที่ 3 จากที่กล่าวมาจึงมีเพียงสถาบันชั้นนำของโลกเท่านั้นที่สามารถพัฒนาแบบจำลองดังกล่าวได้ เช่น แบบจำลอง ECHAM5-OM ของประเทศเยอรมัน แบบจำลอง HadCM3 ของประเทศอังกฤษ แบบจำลอง CGCM3 ของประเทศแคนาดา และแบบจำลอง CSIRO-Mk3 ของประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น โดยหน่วยงานเหล่านี้ได้มีการแสดงผลข้อมูลภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองภายใต้กริดขนาดใหญ่ (ประมาณ 50,000 ตารางกิโลเมตร)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสามารถประเมินได้โดยแบบจำลองภูมิอากาศโลก สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (scenarios) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินผลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต อย่างไรก็ตามผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกซึ่งก็คือ ตัวแปรภูมิอากาศโลกจะแสดงผลบนกริดที่มีขนาดพื้นที่กว้างมากๆ เช่น ตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส จะแสดงผลบนกริดสี่เหลี่ยมที่มีขนาด $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ได้จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR จะแสดงผลบนกริดสี่เหลี่ยมที่มีขนาด $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ เป็นต้น



ภาพที่ 3 ภาพจำลองการทำงานของแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs)

ที่มา: IPCC (2006)

3. สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินผลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต โดยสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นผลการศึกษาภายใต้โครงการเปรียบเทียบแบบจำลองร่วม (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP) ระยะที่ 5 (CMIP5) โดยโครงการ CMIP5 เป็นโครงการที่หน่วยงานต่าง ๆ ทั่วโลกมากกว่า 20 หน่วยงาน ซึ่งเป็นคณะทำงานของโครงการวิจัยด้านภูมิอากาศโลก (The World Climate Research Programme's (WCRP's) Working Group on Coupled Modelling, WGCM) ร่วมกันนำเสนอผลการทดลองจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกชุดใหม่ในรายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 5 ของ IPCC (The Fifth Assessment Report (AR5) of the Intergovernmental Panel on Climate Change) ในปี ค.ศ. 2013 ซึ่งโครงการ CMIP5 เน้นไปที่การสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมที่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีตและในอนาคต

ผลการทดลองภายใต้โครงการ CMIP5 (The CMIP5 experiments) ประกอบด้วย ผลการทดลองของแบบจำลองภูมิอากาศโลก 2 ชนิด คือ 1) long-term (century time scale) integrations และ 2) near-term integrations (10–30 year) หรือเรียกว่า decadal prediction experiments (Meehl *et al.* 2009) ซึ่งผลการทดลองชนิด long-term integrations นั้น เป็นผลการทดลองที่มีช่วงเวลาเริ่มต้นจากหลายศตวรรษก่อนยุคอุตสาหกรรม (preindustrial control หรือ quasi equilibrium) ในขณะที่ decadal prediction experiments เป็นผลการทดลองที่ถูกกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นจากสภาพภูมิอากาศที่มีการตรวจวัดไว้ในอดีตที่มีระยะเวลาไม่ไกลนักและมีช่วงระยะเวลาดสั้น ๆ คือ ทุก 5 ปี และ 10 ปี โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ long-term integrations ซึ่งเป็นผลจากการทดลองภายใต้โครงการ CMIP5 ที่เลือกใช้

ผลจากการทดลองชนิด long-term ที่จะใช้สำหรับการศึกษานี้ ประกอบด้วยผลลัพธ์ที่เป็นชุดตัวแปรในอดีต (historical) และผลลัพธ์ที่เป็นชุดตัวแปรเพื่อคาดการณ์ในอนาคต ซึ่งในโครงการ CMIP5 ได้ใช้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เรียกว่า representative concentration pathways (RCPs) โดยชุดตัวแปรในอดีตเกิดจากแบบจำลองที่ถูกขับเคลื่อน (forced) ด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศที่มีการตรวจวัดทั้งที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์และเกิดจากธรรมชาติ โดยครอบคลุมช่วงเวลาของยุคอุตสาหกรรมตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 19 จนถึงปัจจุบัน หรือจะถือว่าเป็นการจำลอง

สถานการณ์ในช่วงศตวรรษที่ 20 ก็ได้ ส่วนชุดตัวแปรเพื่อคาดการณ์ในอนาคตซึ่งใช้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เรียกว่า RCPs เกิดจากแบบจำลองที่ถูกขับเคลื่อนด้วยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศหรือสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีการเพิ่มสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามนโยบายลดผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไว้ด้วย

สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศหรือ RCPs ที่ใช้ในโครงการ CMIP5 ถูกกำหนดโดยการคาดการณ์การเพิ่มของประชากรในอนาคต การพัฒนาเทคโนโลยี และการตอบสนองทางสังคม ซึ่งประกอบด้วย 4 สถานการณ์ คือ RCP2.6, RCP4.5, RCP6 และ RCP8.5 โดยตัวเลขเหล่านี้แสดงถึงการประเมินการแผ่รังสี (radiative forcing) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโอโซนในชั้นบรรยากาศ หน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร โดยเป็นการประเมินการแผ่รังสีที่จะเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2100 ตัวอย่างเช่น สถานการณ์ RCP8.5 หมายถึง มีการเพิ่มขึ้นของการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศจนถึง 8.5 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อสิ้นศตวรรษที่ 21 หรือ ค.ศ. 2100 ซึ่งถือว่าเป็นสถานการณ์ที่รุนแรงที่สุดสำหรับสถานการณ์ RCP6 และ RCP4.5 นั้น ถือเป็นสถานการณ์ที่มีความรุนแรงในระดับปานกลาง ส่วนสถานการณ์ RCP2.6 ถือว่าเป็นสถานการณ์ที่มีความรุนแรงน้อยที่สุด (Taylor และคณะ, 2012)

4. ตัวแปรภูมิอากาศโลก

ผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก คือ ตัวแปรภูมิอากาศโลก โดยตัวแปรภูมิอากาศโลกที่นำมาศึกษามี 2 ชุดข้อมูล คือ ตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส และตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR

ตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส ถูกสร้างด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดรวมถึงแบบจำลองเชิงตัวเลข เพื่อการจำลองแบบลักษณะต่าง ๆ ของระบบที่เกี่ยวข้องกับโลก ผลลัพธ์แสดงในรูปแบบเป็นกริดสี่เหลี่ยมที่มีสเกลขนาดใหญ่ คือ ขนาด $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ตัวแปรภูมิอากาศประเภทรีอนาไลซิสนั้น จัดทำขึ้นโดยหน่วยงาน National Centers for Environmental Prediction/Nation Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) ประเทศสหรัฐอเมริกา

ตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MPI-ESM-LR ภายใต้โครงการ CMIP5 จัดทำขึ้นโดยหน่วยงาน Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M) ประเทศเยอรมัน ผลลัพธ์แสดงในรูปแบบเป็นกริดสี่เหลี่ยมที่มีสเกลขนาดใหญ่ คือ $1.875^\circ \times 1.875^\circ$

ตัวอย่างตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส และตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ประกอบด้วยตัวแปรประเภท 3 มิติ และตัวแปรประเภท 2 มิติ โดยตัวแปรประเภท 3 มิติ เป็นตัวแปรที่ระดับความดันบรรยากาศต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ศักย์ความสูงทางภูมิศาสตร์ Vertical velocity ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นจำเพาะ ความเร็วลมในแนวราบ ความเร็วลมในแนวตั้ง สำหรับตัวแปรประเภท 2 มิติ ได้แก่ ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล อุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิว อุณหภูมิสูงสุดที่ระดับพื้นผิว อุณหภูมิต่ำสุดที่ระดับพื้นผิว ความเร็วลมในแนวราบที่ระดับพื้นผิว ความเร็วลมในแนวตั้งที่ระดับพื้นผิว ปริมาณฝน ปริมาณฝนแบบ Convective สัดส่วนของเมฆปกคลุมทั้งหมด Surface upward latent heat flux, Surface upward sensible heat flux, Surface downwelling surface longwave radiation และ Surface upwelling surface longwave radiation

5. เทคนิคการดาวนัสเกล

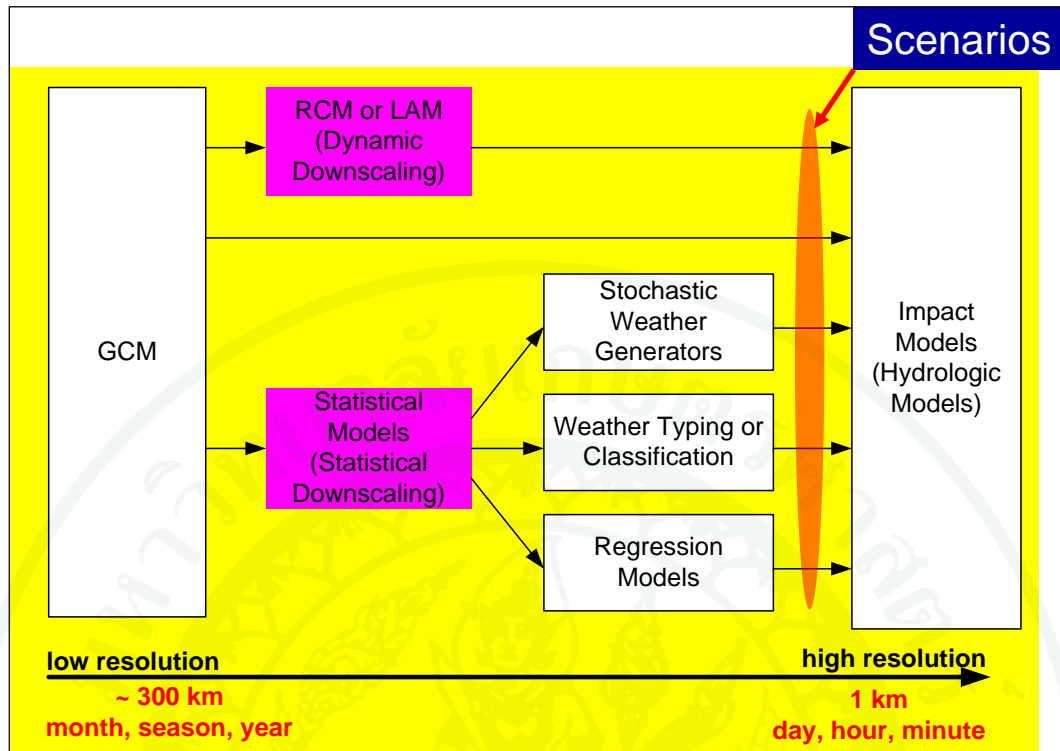
แบบจำลองภูมิอากาศโลกจะแสดงผลในพื้นที่ขนาดกว้างมาก เช่น ตัวแปรภูมิอากาศประเภทรีอนาไลซิส แสดงในรูปแบบเป็นกริดสี่เหลี่ยมที่มีสเกลขนาดใหญ่ $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ขณะที่ตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MPI-ESM-LR แสดงในรูปแบบเป็นกริดสี่เหลี่ยมที่มีสเกลขนาดใหญ่ $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ ขณะที่การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ขนาดประมาณ $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ Salath'e (2003) จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคเพื่อประเมินผลลัพธ์จากแบบจำลองให้อยู่ในสเกลที่เล็กลง เรียกว่า ดาวนัสเกลเทคนิค

สำหรับหลักการของการดาวนัสเกล คือ การนำชุดข้อมูลในอดีตของตัวแปรด้านภูมิอากาศคาดการณ์ (predictors) ที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านภูมิอากาศหรือตัวแปรด้านอุทกวิทยาภาคพื้นดินซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรที่ถูกคาดการณ์ (predictands) เพื่อสร้างฟังก์ชันการเปลี่ยนค่า (transfer function) จากนั้นจึงนำฟังก์ชันการเปลี่ยนค่ามาประยุกต์ใช้กับตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตตามสถานการณ์ (scenarios) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศก็จะได้

ตัวแปรภูมิอากาศหรือตัวแปรด้านอุทกวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในสเกลระดับท้องถิ่นหรือสเกลของพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณา (เทวิน พริกมาก, 2553)

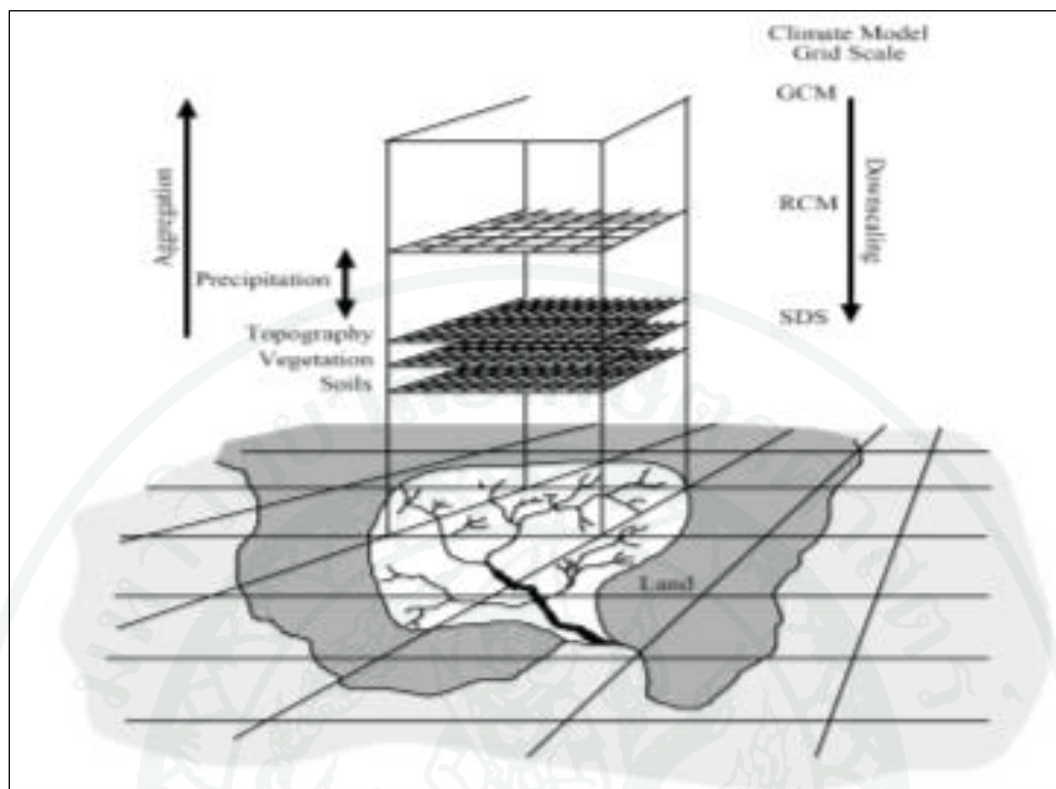
ในการทำดาวนส์สเกลสามารถดำเนินการได้ 2 วิธี คือ วิธีการดาวนส์สเกลทางพลศาสตร์ (dynamical downscaling) และวิธีการดาวนส์สเกลทางสถิติ (statistical downscaling) ดังแสดงในภาพที่ 4 วิธีการดาวนส์สเกลทางพลศาสตร์ จะทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศในระดับภูมิภาคที่มีความละเอียดสูง (High Resolution Regional Climate Models, RCMs) ซึ่งจะใช้ผลลัพธ์ของตัวแปรภูมิอากาศที่มีความละเอียดในระดับต่ำ (coarser resolution) จาก GCMs มาเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) และเงื่อนไขขอบเขตด้านข้าง (lateral boundary condition) โดยจะได้เป็นผลลัพธ์ของตัวแปรด้านภูมิอากาศที่มีความละเอียดมากขึ้น (higher resolution) อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้วิธีการนี้มีข้อด้อยที่สำคัญ คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงและผลลัพธ์ที่ได้รับขึ้นอยู่กับความถูกต้องของแบบจำลอง GCMs รวมทั้งมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้กับผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภูมิอากาศตามสถานการณ์ต่าง ๆ (scenarios) ในอนาคต

เทคนิคการดาวนส์สเกลทางสถิติโดยทั่วไปแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ (1) การเลียนแบบสภาพอากาศ (weather typing schemes) (2) การสร้างสภาพอากาศ (weather generators) และ (3) แบบจำลองถดถอย (regression models) โดยทุกวิธีมีหลักการพื้นฐานเดียวกัน คือ สภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคเป็นฟังก์ชันกับสถานะของสภาพภูมิอากาศที่มีสเกลที่หยาบโดยความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจแสดงในรูปของฟังก์ชันแบบสโตคาสติก (stochastic) และ/หรือดีเทอร์มินิสติก (deterministic) ระหว่างตัวแปรคาดการณ์ในชั้นบรรยากาศที่มีสเกลหยาบและตัวแปรที่ถูกคาดการณ์ของสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคหรือระดับท้องถิ่นที่มีสเกลละเอียดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งการดาวนส์สเกลทางสถิติมีการใช้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการดาวนส์สเกลทางพลศาสตร์มากและให้ผลการคำนวณที่มีประสิทธิภาพ ยอมรับได้ เป็นวิธีการที่ตั้งอยู่บนกระบวนการทางสถิติที่เป็นที่ยอมรับ และสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาใช้ในการดำเนินงาน



ภาพที่ 4 ประเภทของวิธีในการทำดาวนัสเกล

ที่มา: Dimitri (2008)



ภาพที่ 5 การจำลองข้อมูลภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยเทคนิคการดาวน์สเกล

ที่มา: Robert L., R.L. Wilby and C.W. Dawson (2007)

6. การดาวน์สเกลข้อมูลภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินข้อมูลการเกิดฝนและปริมาณฝน

Wilby *et al.* (1999) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการดาวน์สเกลทางสถิติโดยการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน โดยรายละเอียด มีดังนี้

การดาวน์สเกลทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝน มีรูปแบบสมการ ดังสมการที่ (1)

$$O_i = A_1 + \alpha_{O_{i-1}} O_{i-1} + \alpha_{SH} SH_i + \alpha_{mslp} mslp_i + \alpha_H H_i \quad (1)$$

- โดยที่ O_i = ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนวันที่ i
 O_{i-1} = ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนวันก่อนหน้า
 α = ค่าคงที่ได้จากวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง
 $SH, mslp, H$ = ตัวแปรคาดการณ์ ประกอบด้วย SH หมายถึง ความชื้นจำเพาะ
 $mslp$ หมายถึง ความดันที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง
และ H หมายถึง ความสูงของศักย์ทางภูมิศาสตร์

การคำนวณสเกลทางสถิติเพื่อประเมินปริมาณฝน มีรูปแบบสมการ ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$R_i = \exp(\beta_0 + \beta_{SH}SH_i + \beta_{mslp}mslp_i + \beta_H H_i + \varepsilon_i) \quad (2)$$

$$E(R_i) = \phi C_R \exp(\beta_0 + \beta_{SH}SH_i + \beta_{mslp}mslp_i + \beta_H H_i) \quad (3)$$

- โดยที่ R_i = ปริมาณฝนวันที่ i
 $E(R_i)$ = ค่าที่ถูคาดการณ์ (expected value) ปริมาณฝนของวันที่ฝนตก
 β = ค่าคงที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง
 $SH, mslp, H$ = ตัวแปรคาดการณ์ ประกอบด้วย SH หมายถึง ความชื้นจำเพาะ
 $mslp$ หมายถึง ความดันที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง
และ H หมายถึง ความสูงของศักย์ทางภูมิศาสตร์
 ε = ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง
 C_R = ค่าปรับแก้ที่เกิดจากการแปลงค่า $\ln(R)$ เป็น R เพื่อบังคับให้
ความถี่ฝนรวมทั้งห้วงระหว่างผลที่ได้จากการคำนวณสเกลกับ
ค่าที่ได้จากการตรวจวัดเท่ากัน
 ϕ = ค่าสุ่ม (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1) เพื่อปรับค่าความแปรปรวนของ
ปริมาณฝนที่ได้จากการคำนวณสเกลให้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝน
ที่ได้จากการตรวจวัด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

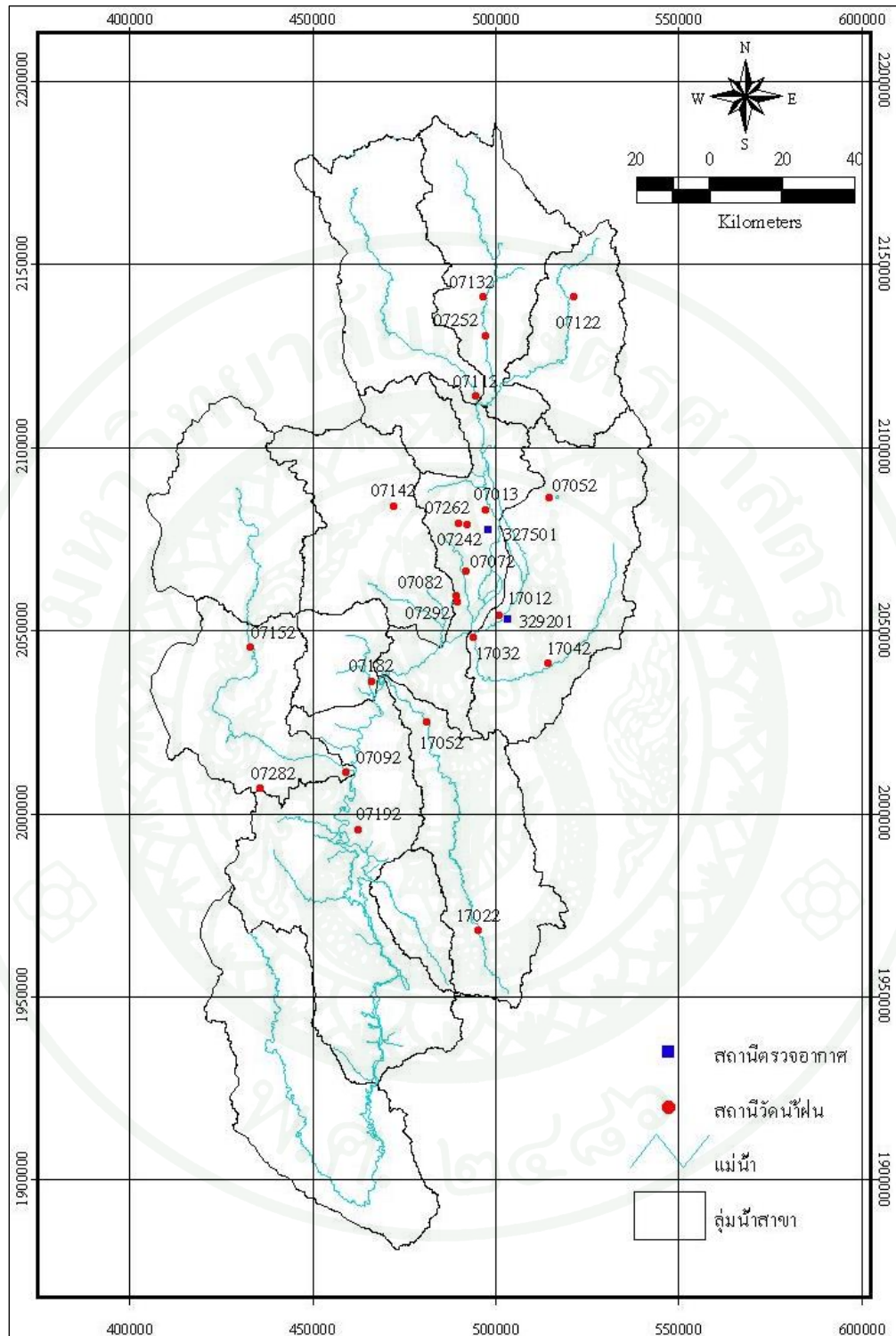
1. เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. โปรแกรม Microsoft excel
3. โปรแกรม SPSS
4. ข้อมูลฝนตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส และข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR
5. เครื่องเขียนและอุปกรณ์สำนักงาน

วิธีการ

1. รวบรวมข้อมูล

1.1 ข้อมูลปริมาณฝน

การศึกษานี้จะต้องทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ สมการประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนกับข้อมูลตรวจวัดที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา สถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกมาศึกษาจะต้องมีช่วงเวลาการเก็บข้อมูลที่ยาวนานเพียงพอ โดยช่วงเวลาของการสอบเทียบอยู่ระหว่าง ค.ศ. 1960-1989 และช่วงเวลาของการตรวจพิสูจน์ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกระหว่าง ค.ศ. 1990-2007 นอกจากนั้นแล้ว การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย “การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำปึงตอนบน เพื่อการบริหารจัดการน้ำเขื่อนภูมิพล” ดังนั้นสถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกมาศึกษาต้องกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนเพื่อใช้ประกอบการประเมินน้ำท่า จากการศึกษาพบว่า สถานีวัดน้ำฝนที่กระจายทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนที่ได้รับการคัดเลือกมีทั้งสิ้น 22 สถานี โดยตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกมาศึกษาแสดงในภาพที่ 6 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนแสดงในตารางที่ 4 จากสถานีวัดน้ำฝนที่ได้รับการคัดเลือกทั้ง 22 สถานีดังกล่าว ได้นำมาตรวจสอบระยะเวลาการเก็บข้อมูลซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาที่ทำการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาอยู่ระหว่าง 73-100 %



ภาพที่ 6 แผนที่แสดงตำแหน่งและรหัสสถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกมาศึกษา

ที่มา: นุชนารถ และคณะ (2555)

ตารางที่ 4 รายชื่อสถานีวิคน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	รหัสสถานี	สถานี	ละติจูด			ลองจิจูด		
			°	'	''	°	'	''
จังหวัดเชียงใหม่								
1	07013	อ.เมือง	18	50	23	98	58	32
2	07052	อ.ดอยสะเก็ด	18	52	08	99	08	22
3	07072	อ.หางดง	18	41	10	98	55	19
4	07082	อ.สันป่าตอง	18	37	37	98	53	56
5	07092	อ.ฮอด	18	11	26	98	36	52
6	07112	อ.แม่แตง	19	07	08	98	56	52
7	07122	อ.พร้าว	19	21	52	99	12	17
8	07132	อ.เชียงดาว	19	21	53	98	58	00
9	07142	อ.สะเมิง	18	50	52	98	44	09
10	07152	อ.แม่แจ่ม	18	29	54	98	21	54
11	07182	อ.จอมทอง	18	24	57	98	40	47
12	07192	บ้านแอ่น อ.ดอยเต่า	18	03	00	98	38	43
13	07242	อุทยานแห่งชาติสุเทพ-ปุย	18	48	10	98	55	30
14	07252	ศูนย์พัฒนาลุ่มน้ำคอยเชียงดาว	19	16	07	98	58	32
15	07262	พระตำหนักภูพิงศ์ ดอยบวกห้า	18	48	24	98	54	12
16	07282	คอยบ่อแก้ว อ.ฮอด	18	09	01	98	23	35
17	07292	สถานีทดลองพันธุ์ข้าวสันป่าตอง	18	36	40	98	54	02
จังหวัดลำพูน								
18	17012	อ.เมือง	18	34	38	99	00	34
19	17022	อ.ลี้	17	48	01	98	57	17
20	17032	อ.ป่าซาง	18	31	25	98	56	38
21	17042	อ.แม่ทา	18	27	35	99	08	14
22	17052	อ.บ้านโฮ้ง	18	18	52	98	49	21

ที่มา: นุชนารถ และคณะ (2555)

ตารางที่ 5 ระยะเวลาการเก็บข้อมูลของสถานีวัดน้ำฝนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาที่ศึกษา

ลำดับที่	รหัสสถานี	เปอร์เซ็นต์ข้อมูล	
		ระหว่าง ค.ศ. 1960-1989	ระหว่าง ค.ศ. 1960-1989
1	07013	100	100
2	07052	100	98
3	07072	98	90
4	07082	73	100
5	07092	100	100
6	07112	99	95
7	07122	100	98
8	07132	86	100
9	07142	100	100
10	07152	97	99
11	07182	99	100
12	07192	100	83
13	07242	98	100
14	07252	87	100
15	07262	74	95
16	07282	81	100
17	07292	95	99
18	17012	97	100
19	17022	99	93
20	17032	100	98
21	17042	100	100
22	17052	95	100

ที่มา: นุชนารถ และคณะ (2555)

1.2 ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลก

ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่นำมาใช้ในการคำนวณสเกลจะต้องเป็นตัวแปรที่มีอยู่ทั้งในชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสและข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่พิจารณาเลือกใช้ ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MPI-ESM-LR ภายใต้โครงการ CMIP5 ของประเทศเยอรมันสำหรับ 3 สถานการณ์ คือ RCP2.6 RCP4.5 และ RCP8.5 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสจะมีจำนวนตัวแปรมากกว่าตัวแปรจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก โดยตัวแปรภูมิอากาศโลกที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ มีทั้งสิ้น 72 ตัวแปรดังแสดงในตารางที่ 6

ตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากเว็บไซต์ <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html> ของหน่วยงาน Physical Sciences Division (PSD) ของ NOAA/OAR/ESRL (National Oceanic and Atmospheric Administration/Office of Oceanic and Atmospheric Research/Earth System Research Laboratory) เมืองโบลเดอร์ มลรัฐโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยขั้นตอนการดาวน์โหลดข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสสามารถศึกษาได้จากผลงานวิจัยเรื่อง "การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนภูมิพล" ซึ่งทำการศึกษาโดยนุชนารถ และคณะ (2555)

ตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MPI-ESM-LR ภายใต้โครงการ CMIP5 สามารถดาวน์โหลดข้อมูลทางเว็บไซต์ได้หลายช่องทางจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยในการศึกษานี้ได้ดาวน์โหลดข้อมูลทางเว็บไซต์ <http://ipcc-ar5.dkrz.de/home.htm> โดยขั้นตอนการดาวน์โหลดข้อมูลสามารถศึกษาได้จากผลงานวิจัยโดยนุชนารถ และคณะ (2555)

ตัวแปรภูมิอากาศโลกทั้งประเภทรีอนาไลซิสและจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นชุดตัวแปรที่ถูกบันทึกไว้ในรูปแบบของ binary file ประเภท netCDF (network common data form) (นามสกุล *.nc) ซึ่งแฟ้มข้อมูลประเภทดังกล่าวต้องใช้โปรแกรมที่มีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อการอ่านและดึงผลลัพธ์ข้อมูลมาใช้งาน โดยในที่นี้ได้เลือกใช้โปรแกรม NetCDF4Excel ซึ่งสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมดังกล่าวได้จากเว็บไซต์ <http://netcdf4excel.free.fr/workbook.html> ขั้นตอนการใช้งานของโปรแกรม NetCDF4Excel สามารถศึกษาได้จากผลงานวิจัยโดยนุชนารถ และคณะ (2555)

ตารางที่ 6 ตัวแปรภูมิอากาศโลกสำหรับการคำนวณสเกลการเกิดฝนและปริมาณฝน

ลำดับ	ตัวแปรภูมิอากาศโลก	จำนวน ตัวแปร	อักษรย่อตัวแปรภูมิอากาศ	
			จากหน่วยงาน NCEP/NCAR	จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR
	อุณหภูมิอากาศที่ระดับความดัน			
1	บรรยากาศ 1,000, 850, 700, 500, 250, 150, 100, 70, 50, 30 และ 10 มิลลิบาร์	11	<i>airXXX</i>	<i>taXXX</i>
	ศักย์ความสูงทางภูมิศาสตร์ที่ระดับความดัน			
2	ดันบรรยากาศ 1,000, 850, 700, 500, 250, 150, 100, 70, 50, 30 และ 10 มิลลิบาร์	11	<i>hgtXXX</i>	<i>zgXXX</i>
	Vertical velocity ที่ระดับความดัน			
3	บรรยากาศ 1,000, 850, 700, 500, 250, 150 และ 100 มิลลิบาร์	7	<i>omegaXXX</i>	<i>wapXXX</i>
	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความดัน			
4	บรรยากาศ 1,000, 850, 700, และ 500 มิลลิบาร์	4	<i>rhumXXX</i>	<i>hurXXX</i>
	ความชื้นจำเพาะที่ระดับความดัน			
5	บรรยากาศ 1,000, 850, 700, และ 500 มิลลิบาร์	4	<i>shumXXX</i>	<i>husXXX</i>
	ความเร็วลมในแนวราบที่ระดับความดัน			
6	บรรยากาศ 1,000, 850, 700, 500, 250, 150, 100, 70, 50, 30 และ 10 มิลลิบาร์	11	<i>uwndXXX</i>	<i>uaXXX</i>
7	ความเร็วลมในแนวตั้งที่ระดับความดัน	11	<i>vwndXXX</i>	<i>vaXXX</i>
	บรรยากาศ 1,000, 850, 700, 500, 250, 150, 100, 70, 50, 30 และ 10 มิลลิบาร์			
8	ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล	1	<i>slp</i>	<i>psl</i>

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปรภูมิอากาศโลก	จำนวน ตัวแปร	อักษรย่อตัวแปรภูมิอากาศ	
			จากหน่วยงาน NCEP/NCAR	จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR
9	อุณหภูมิอากาศใกล้พื้นผิว	1	<i>tas</i>	<i>tas</i>
10	อุณหภูมิสูงสุดที่ระดับพื้นผิว	1	<i>tmax</i>	<i>tasmax</i>
11	อุณหภูมิต่ำสุดที่ระดับพื้นผิว	1	<i>tmin</i>	<i>tasmin</i>
12	ความเร็วลมในแนวราบที่ระดับพื้นผิว	1	<i>uwnd</i>	<i>uas</i>
13	ความเร็วลมในแนวตั้งที่ระดับพื้นผิว	1	<i>vwnd</i>	<i>vas</i>
14	ปริมาณฝน	1	<i>prat</i>	<i>pr</i>
15	ปริมาณฝนแบบคอนเว็คทีฟ	1	<i>cprat</i>	<i>prc</i>
16	สัดส่วนของเมฆปกคลุมทั้งหมด	1	<i>tcdc</i>	<i>clt</i>
17	Surface upward latent heat flux	1	<i>lhtfl</i>	<i>hfls</i>
18	Surface upward sensible heat flux	1	<i>shtfl</i>	<i>hfss</i>
19	Surface downwelling longwave radiation	1	<i>dlwrf</i>	<i>rlds</i>
20	Surface upwelling longwave radiation	1	<i>ulwrf</i>	<i>rlus</i>
จำนวนตัวแปรรวม		72		

หมายเหตุ XXX หมายถึง ระดับความดันบรรยากาศต่าง ๆ ของตัวแปรภูมิอากาศ

2. การปรับกริดข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลก

ตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสแสดงผลเป็นกริดสี่เหลี่ยมขนาด $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ขณะที่ตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MPI-ESM-LR แสดงผลเป็นกริดสี่เหลี่ยมขนาด $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ ดังนั้น ก่อนที่จะนำตัวแปรดังกล่าวมาศึกษาจะต้องทำการปรับตำแหน่งกริดข้อมูลตัวแปรให้ตรงกับตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการปรับกริดด้วยวิธี Inverse Distance Square (IDS) ซึ่งคำนวณตามสมการที่ (4) และสมการที่ (5)

$$W_c = \frac{\frac{1}{d_c^2}}{\frac{1}{d_a^2} + \frac{1}{d_b^2} + \frac{1}{d_c^2} + \frac{1}{d_d^2}} \quad (4)$$

$$P = P_a W_a + P_b W_b + P_c W_c + P_d W_d \quad (5)$$

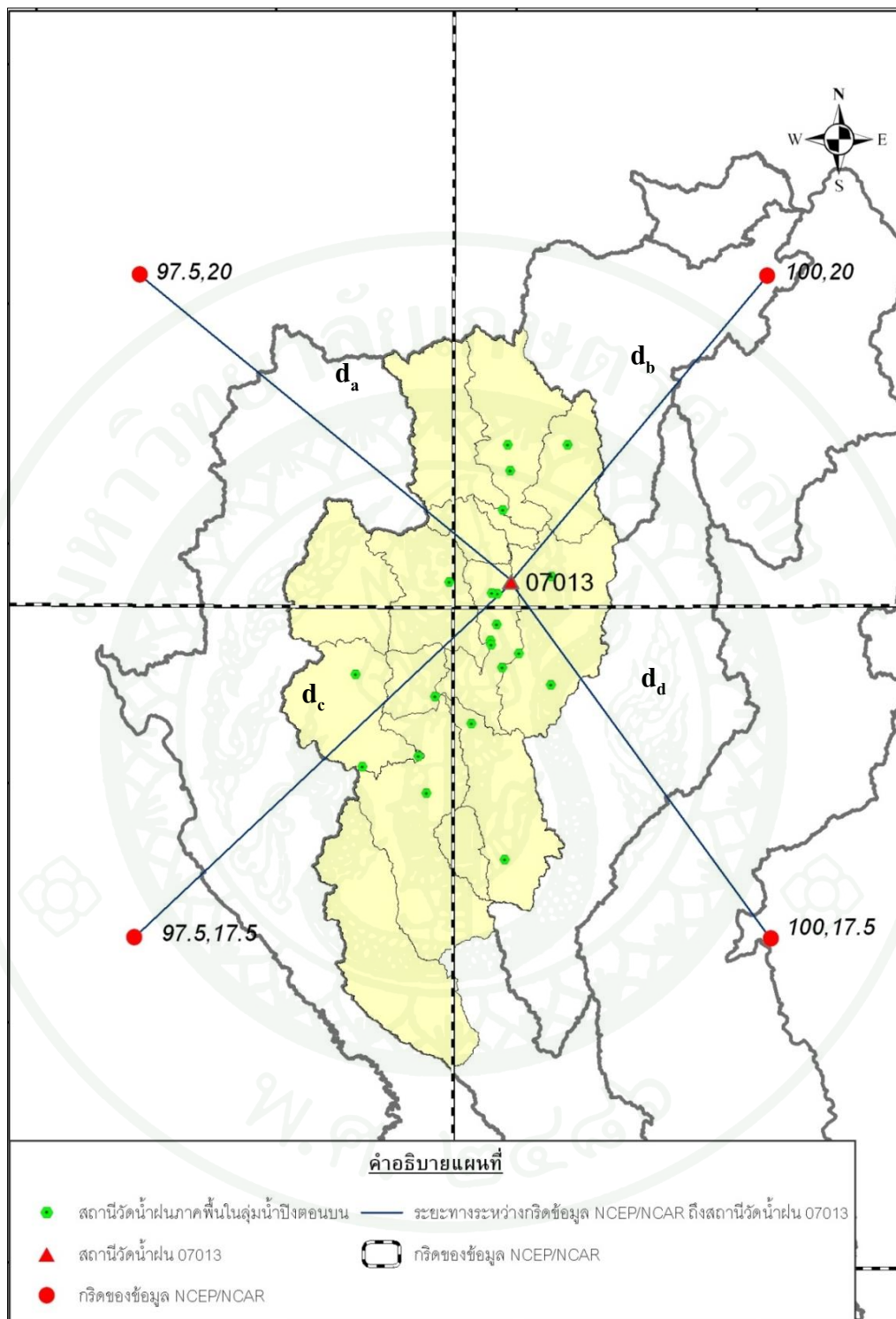
โดยที่ W_a, W_b, W_c, W_d = ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับกริดที่ตำแหน่ง a, b, c และ d

d_a, d_b, d_c, d_d = ระยะระหว่างกริดข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ตำแหน่ง a, b, c และ d มายังตำแหน่งกริดสถานีวัดน้ำฝนที่พิจารณา

P_a, P_b, P_c, P_d = ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ตำแหน่ง a, b, c และ d

P = ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่พิจารณา

ตัวอย่างการคำนวณแสดงภาพประกอบในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การปรับกริดข้อมูลภูมิอากาศโลกมายังตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา

ที่มา: นุชนารถ และคณะ (2555)

3. การทำนอร์มัลไลซ์ (normalize)

เนื่องจากข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทหรือนาไลซิสแต่ละตัวแปรมีปริมาณที่ต่างกัันมาก ดังนั้น ก่อนนำไปวิเคราะห์การถดถอยจะต้องทำการนอร์มัลไลซ์ โดยภายหลังการทำนอร์มัลไลซ์ตัวแปรภูมิอากาศโลกแต่ละตัวแปรจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1 โดยการทำนอร์มัลไลซ์แสดงดังสมการ (6)

$$x_{norm,i} = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (6)$$

โดยที่ $x_{norm,i}$ = ข้อมูลภูมิอากาศโลกวันที่ i ที่ผ่านการทำนอร์มัลไลซ์
 x_i = ข้อมูลภูมิอากาศโลกวันที่ i
 μ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภูมิอากาศโลก
 σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภูมิอากาศโลก

4. การคำนวณสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน

การคำนวณสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนตามแนวทาง Wilby *et al.* (1999) แสดงในสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ โดยการศึกษาไม่ได้กำหนดให้ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกตามแนวทางดังกล่าว เพื่อสร้างความเหมาะสมที่ได้จากผลการวิเคราะห์สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปึงตอนบน

$$O_i = A_0 + A_1 B_1 + A_2 B_2 + \dots + A_{n-1} B_{n-1} + A_n B_n \quad (7)$$

โดยที่ O_i = ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนในวันที่ i
 A_n = ค่าคงที่ประเมินจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง
 B_n = ตัวแปรภูมิอากาศโลก และความน่าจะเป็นของการเกิดฝนในวันก่อนหน้า O_{i-1}

$$R_i = \exp(A_0 + A_1B_1 + A_2B_2 + \cdots + A_{n-1}B_{n-1} + A_nB_n + \varepsilon) \quad (8)$$

โดยที่ R_i = ปริมาณฝน (มิลลิเมตร) ในวันที่ i
 A_n = ค่าคงที่ประเมินจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง
 B_n = ตัวแปรภูมิอากาศโลก และปริมาณฝนในวันก่อนหน้า R_{i-1}
 ε = ค่าผิดพลาดแบบสุ่มหรือค่าผิดพลาดจากการจำลองแบบ

สมการที่ (8) สามารถปรับให้อยู่ในรูปปริมาณฝนที่คาดการณ์ว่าจะตกได้ดังสมการที่ (9)

$$E(R_i) = \emptyset C_R \exp(A_0 + A_1B_1 + A_2B_2 + \cdots + A_{n-1}B_{n-1} + A_nB_n) \quad (9)$$

โดยที่ $E(R_i)$ = ปริมาณฝน (มิลลิเมตร) ในวันที่ i
 A_n = ค่าคงที่ประเมินจากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง

C_R คือ ค่าปรับแก้ที่เกิดจากการแปลงค่า $\ln(R_i)$ เป็น R_i โดย C_R เป็นค่าปรับแก้ให้ปริมาณฝนรวมทั้งหมดจากการคำนวณสเกลมีค่าเท่ากับค่าตรวจวัดในช่วงของการสอบเทียบ สำหรับค่า \emptyset ซึ่งเป็นตัวเลขสุ่ม (มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1) ทำหน้าที่ปรับผลการคำนวณสเกลที่ได้ให้มีค่าความแปรปรวนใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดมากขึ้น

สำหรับขั้นตอนการคำนวณสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนมีรายละเอียดดังนี้

4.1 คำนวณความน่าจะเป็นของการเกิดฝนวันก่อนหน้า O_{i-1}

ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนวันก่อนหน้าคำนวณโดยใช้ข้อมูลฝนในอดีตระหว่างปี ค.ศ. 1960-1989 โดยในขั้นตอนแรกจะพิจารณาแบ่งเหตุการณ์ฝน 2 วันต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กรณี คือ

- 1) วันนี้ฝนไม่ตก และวันก่อนหน้าฝนไม่ตก ใช้สัญลักษณ์ 00
- 2) วันนี้ฝนตก และวันก่อนหน้าฝนไม่ตก ใช้สัญลักษณ์ 10
- 3) วันนี้ฝนไม่ตก และวันก่อนหน้าฝนตก ใช้สัญลักษณ์ 01
- 4) วันนี้ฝนตก และวันก่อนหน้าฝนตก ใช้สัญลักษณ์ 11

การกำหนดวันฝนตกนั้นกำหนดจากวันที่มีปริมาณฝนตรวจวัดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดน้ำฝน โดยวันฝนตกกำหนดเป็นตัวเลข 1 ส่วนวันฝนไม่ตกกำหนดเป็นตัวเลข 0 จากนั้นจะใช้หลักการ Moving Window 31 วัน กำหนดจำนวนของการเกิดเหตุการณ์ฝนทั้ง 4 กรณี ของวันที่พิจารณาในรอบ 30 ปี ดังตัวอย่างการคำนวณแสดงในตารางที่ 7 สำหรับวันที่ 11 พฤษภาคม ค.ศ. 1960 การนับจำนวนเหตุการณ์ฝน 2 วันต่อเนื่องกัน ในแต่ละกรณีของวันนี้จะนับเหตุการณ์ฝนในวันก่อนหน้าจำนวน 15 วัน และหลังจากวันที่พิจารณาอีก 15 วัน ซึ่งในกรณีนี้ จำนวนครั้งของเหตุการณ์ฝน “00”, “10”, “01” และ “11” เท่ากับ 17, 4, 3, และ 7 ครั้ง ตามลำดับ (คอลัมน์ที่ 5, 6, 7 และ 8 ของตารางที่ 7) จากนั้นนำจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ฝนทั้ง 4 กรณี ของวันที่ 11 พฤษภาคม ในรอบ 30 ปี มารวมกัน (คอลัมน์ที่ 9, 10, 11 และ 12 ของตารางที่ 7) ก็จะได้จำนวนวันทั้งหมดที่เกิดเหตุการณ์ฝนทั้ง 4 กรณี จากนั้นจะใช้วิธีการของ Markov Chain ตามสมการที่ (10) คำนวณค่าความน่าจะเป็นของการเกิดฝน (คอลัมน์ที่ 15 และ 16 ของตารางที่ 7) ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนที่เลือกใช้ (คอลัมน์ที่ 17) จะกำหนดตามข้อมูลตรวจวัดจริงของวันก่อนหน้า กล่าวคือ ถ้าวันก่อนหน้ามีฝนจะใช้ความน่าจะเป็นกรณี P_{11} แต่ถ้าวันก่อนหน้าไม่มีฝนก็จะใช้ความน่าจะเป็นกรณี P_{10} สำหรับความน่าจะเป็นของการเกิดฝนวันก่อนหน้า O_{i-1} คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนของวันก่อนหน้าที่คำนวณได้

$$P_{00} = \frac{N_{00}}{(N_{00}+N_{10})}$$

$$P_{10} = \frac{N_{10}}{(N_{00}+N_{10})}$$

$$P_{01} = \frac{N_{01}}{(N_{01}+N_{11})}$$

$$P_{11} = \frac{N_{11}}{(N_{01}+N_{11})}$$

(10)

โดยที่ P_{00} = ความน่าจะเป็นที่วันนี้ฝนไม่ตกและวันก่อนหน้าฝนไม่ตก

P_{10} = ความน่าจะเป็นที่วันนี้ฝนตกและวันก่อนหน้าฝนไม่ตก

P_{01} = ความน่าจะเป็นที่วันนี้ฝนไม่ตกและวันก่อนหน้าฝนตก

P_{11} = ความน่าจะเป็นที่วันนี้ฝนตกและวันก่อนหน้าฝนตก

N_{00} = จำนวนวันที่วันนี้ฝนไม่ตกและวันก่อนหน้าฝนไม่ตกของแต่ละวันในช่วงเวลาระหว่าง ปี ค.ศ. 1960-1989

N_{10} = จำนวนวันที่วันนี้ฝนตกและวันก่อนหน้าฝนไม่ตกของแต่ละวันในช่วงเวลาระหว่าง ปี ค.ศ. 1960-1989

N_{01} = จำนวนวันที่วันนี้ฝนไม่ตกและวันก่อนหน้าฝนตกของแต่ละวันในช่วงเวลาระหว่าง ปี ค.ศ. 1960-1989

ตารางที่ 7 ตัวอย่างการคำนวณความน่าจะเป็นของการเกิดฝนรายวันที่สถานีวัดน้ำฝน 07072

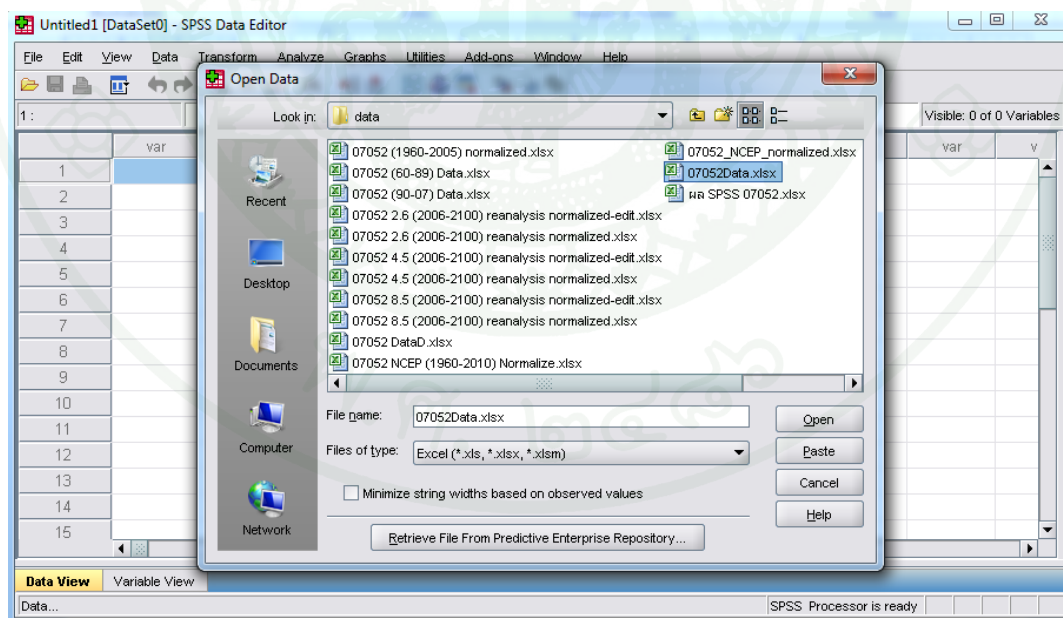
วันที่	ความ ลึกฝน	กำหนด วันฝนตก	กำหนด ตัวเลข เหตุการณ์ ฝน 2 วัน ต่อเนื่องกัน	ผลรวมเหตุการณ์ฝนตก หรือไม่ตก 2 วัน ต่อเนื่องกัน ของแต่ละวัน รอบใน 30 ปี										ความน่าจะเป็น ของช่วงการ เปลี่ยน		ความน่าจะเป็น	
				Moving windows 31 วัน								ผลรวม		P ₁₀	P ₁₁	วันนี้มี ฝนตก	วันก่อน หน้ามี ฝนตก
				N ₀₀	N ₁₀	N ₀₁	N ₁₁	N ₀₀	N ₁₀	N ₀₁	N ₁₁	N ₀₀ +N ₁₀	N ₀₁ +N ₁₁				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
9/05/1960	3.1	1	10	18	3	4	6	556	128	120	126	684	246	0.187	0.512	0.187	0.182
10/05/1960	3.8	1	11	18	4	3	6	546	130	124	130	676	254	0.192	0.512	0.512	0.187
11/05/1960	18.6	1	11	17	4	3	7	536	134	124	136	670	260	0.200	0.523	0.523	0.512
12/05/1960	0	0	01	16	4	4	7	527	133	126	144	660	270	0.201	0.533	0.533	0.523
13/05/1960	0	0	00	15	5	4	7	523	130	124	153	653	277	0.199	0.552	0.199	0.533
14/05/1960	0	0	00	14	5	5	7	519	128	124	159	647	283	0.198	0.562	0.198	0.199
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

4.2 การคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝน

การคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝนและสัมประสิทธิ์ตัวแปรดำเนินการด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

(1) จัดเตรียมข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 8 เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรม SPSS เพื่อคัดเลือกตัวแปร ข้อมูลที่จัดเตรียมประกอบด้วย ความน่าจะเป็นของการเกิดฝน O_i ความน่าจะเป็นของการเกิดฝนวันก่อนหน้า O_{i-1} และตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทหรือนาไลซิสทั้ง 72 ตัวแปร อนึ่งด้วยข้อจำกัดของโปรแกรม SPSS ตัวแปรความชื้นจำเพาะที่ระดับความดัน *shumXXX* จะต้องเปลี่ยนชื่อตัวแปรดังกล่าวเป็น *SshumXXX* โปรแกรม SPSS จึงจะสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้

(2) เริ่มต้นโปรแกรม SPSS เปิดข้อมูลที่จัดเตรียมโดยไปที่ File→Open→Data เมื่อหน้าต่าง Open Data เปิดขึ้นไปยัง directory ที่เก็บข้อมูล ในช่อง Files of type: เลือก Excel (*.xls, *.xlsx, *.xlsm) จากนั้นเปิดข้อมูลที่จัดเตรียม ดังแสดงในภาพที่ 8

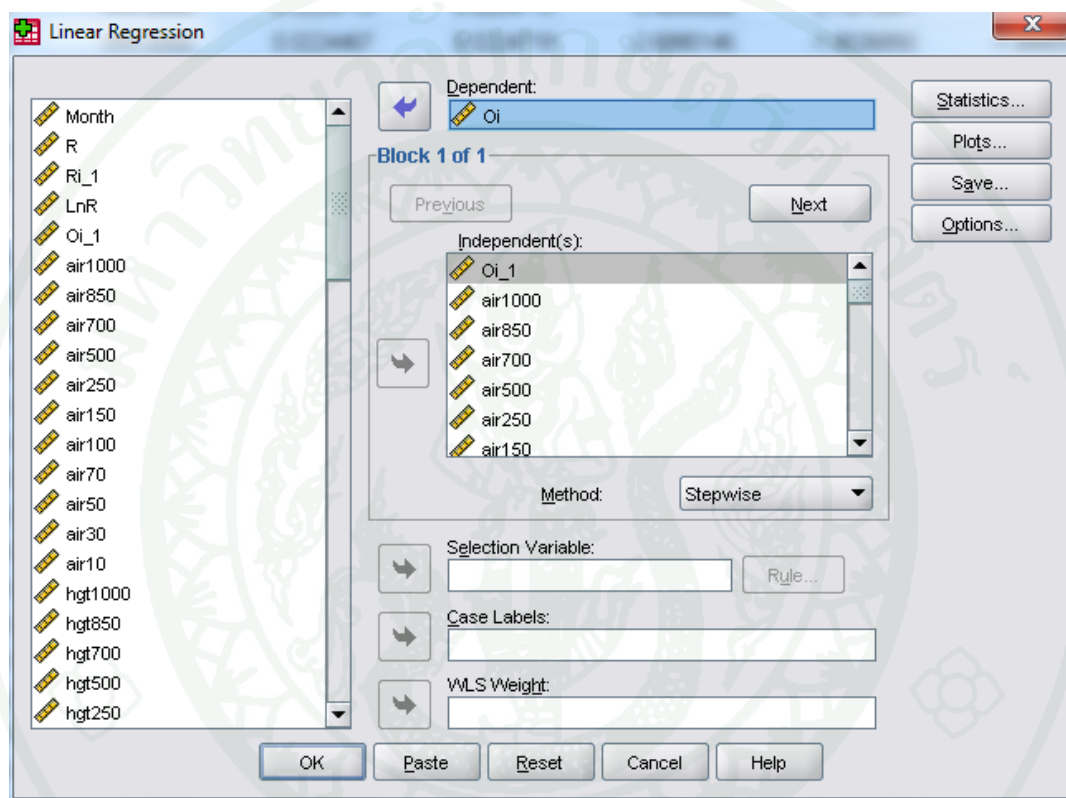


ภาพที่ 8 การเปิดแฟ้มข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ Microsoft Excel

ตารางที่ 8 รูปแบบข้อมูลสำหรับการคัดเลือกตัวแปร โดยโปรแกรม SPSS เพื่อประเมินการเกิดฝน

วัน/เดือน/ปี	O_i	O_{i-1}	<i>air1000</i>	<i>air850</i>	<i>air700</i>	<i>air500</i>	<i>air250</i>	...	<i>ubwrf</i>
1/1/1960	0.0143	0.0143	-2.49	-2.928	-1.392	-0.351	-1.205	...	-2.062
2/1/1960	0.0143	0.0143	-3.498	-2.751	-1.05	-0.521	-0.871	...	-2.81
3/1/1960	0.0132	0.0143	-2.72	-1.793	-1.066	-1.015	-1.026	...	-2.875
4/1/1960	0.0154	0.0132	-1.472	-1.392	-0.805	-1.233	-0.917	...	-2.069
5/1/1960	0.0165	0.0154	-0.65	-0.78	-1.337	-1.72	-0.668	...	-1.646
6/1/1960	0.0165	0.0165	-0.872	-0.985	-1.867	-1.353	-0.608	...	-1.271
7/1/1960	0.0154	0.0165	-0.781	-0.853	-1.774	-0.953	-0.807	...	-1.038
8/1/1960	0.0154	0.0154	-0.404	-0.627	-1.609	-0.721	-0.927	...	-0.895
9/1/1960	0.0154	0.0154	-0.329	-0.44	-1.21	-1.408	-1.029	...	-0.593
10/1/1960	0.0154	0.0154	-0.437	-0.357	-1.36	-2.072	-1.057	...	-0.416
.
.
.
.
.
.
19/12/1989	0.0244	0.0244	-2.109	-2.479	-1.36	-2.006	-1.905	...	-1.97
20/12/1989	0.0245	0.0244	-1.593	-2.296	-1.23	-1.282	-1.624	...	-2.21
21/12/1989	0.0245	0.0245	-0.785	-1.524	-0.699	-1.316	-0.871	...	-1.827
22/12/1989	0.0234	0.0245	-0.777	-1.47	-0.814	-0.668	-1.043	...	-1.229
23/12/1989	0.0222	0.0234	-0.682	-1.154	-0.555	-1.22	-1.37	...	-1.043
24/12/1989	0.0222	0.0222	-0.844	-1.178	-0.483	-1.32	-0.882	...	-1.086
25/12/1989	0.0222	0.0222	-0.672	-0.964	-0.354	-1.303	-0.46	...	-1.175
26/12/1989	0.0222	0.0222	-0.629	-1	-0.138	-1.856	-0.994	...	-0.567
27/12/1989	0.02	0.0222	-0.674	-1.234	-0.499	-1.29	-0.834	...	-0.804
28/12/1989	0.0188	0.02	-0.409	-1.028	-1	-1.216	-0.436	...	-0.895
29/12/1989	0.0166	0.0188	-0.478	-0.77	-0.911	-1.49	-0.84	...	-0.878
30/12/1989	0.0155	0.0166	-0.835	-0.87	-0.816	-0.841	-0.902	...	-1.142
31/12/1989	0.0154	0.0155	-0.73	-0.943	-0.5	-0.836	-0.591	...	-1.117

(3) คัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกโดยโปรแกรม SPSS โดยเลือกที่เมนู Analyze→Regression→Linear จะปรากฏหน้าต่างกำหนดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยความน่าจะเป็นของการเกิดฝน O_i จะเป็นตัวแปรตาม ส่วนความน่าจะเป็นของการเกิดฝนวันก่อนหน้า O_{i-1} และตัวแปรภูมิอากาศโลก 72 ตัวแปร จะเป็นตัวแปรอิสระแล้วเลือกวิธีการแบบ Stepwise แล้วกดปุ่ม OK

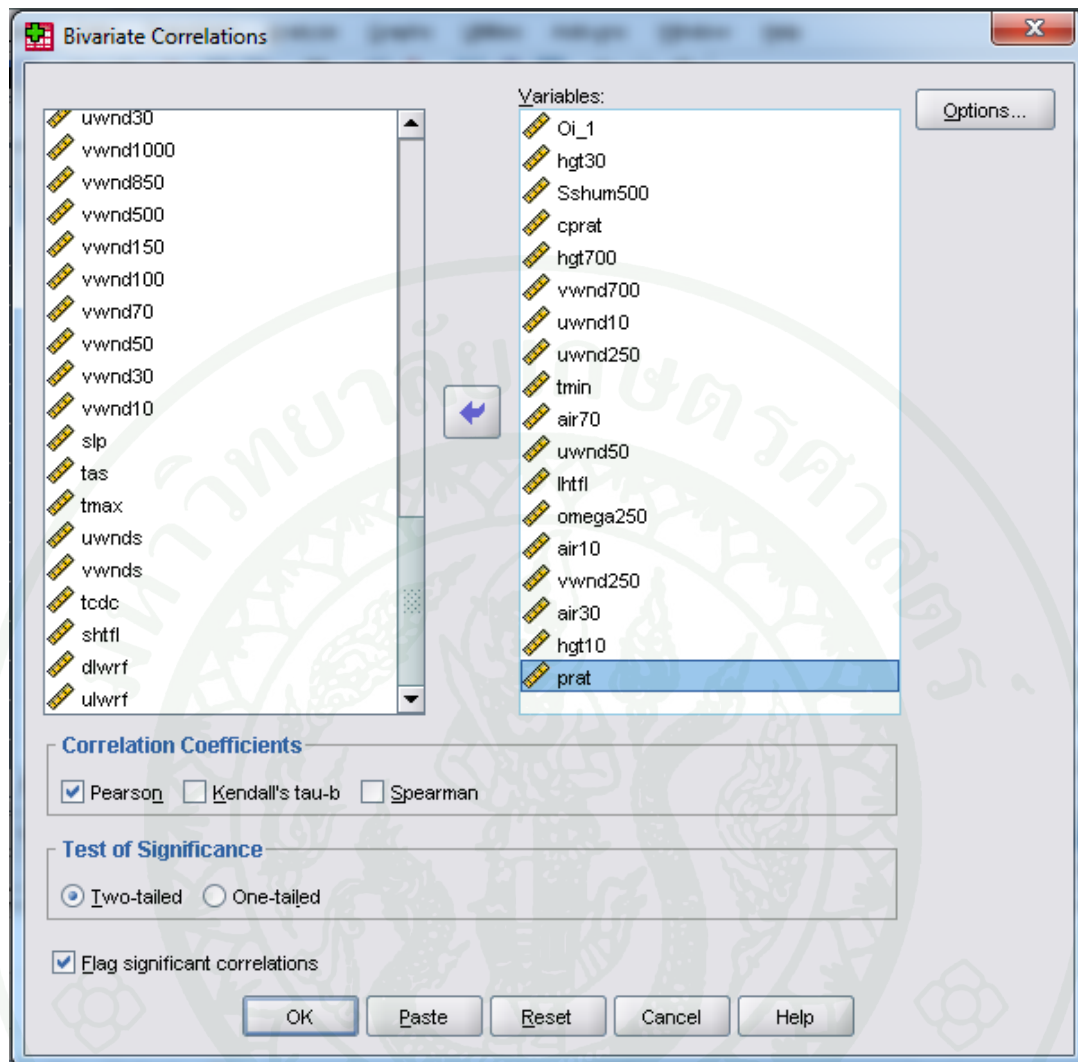


ภาพที่ 9 หน้าต่างกำหนดข้อมูลวิเคราะห์การถดถอยสำหรับการเกิดฝน

(4) ผลของการคัดเลือกจะได้ชุดของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม O_i ตามลำดับความสัมพันธ์จากมากที่สุดกับไปยังความน้อยที่สุด โดยในที่นี้ได้แสดงตัวอย่างสถานี 07072 ซึ่งผลการคัดเลือกจะได้ตัวแปรอิสระซึ่งประกอบด้วย O_{i-1} , *hgt30*, *shum500*, *cprat*, *hgt700*, *vwnd700*, *uwnd10*, *uwnd250*, *tmin*, *air70*, *uwnd50*, *lhtfl*, *omega250*, *air10*, *vwnd250*, *air30*, *hgt10*, *prat*, *shum850*, *rhum850*, *air1000*, *uwnd850*, *uwnd1000*, *air850*, *shum700*, *rhum700*, *vwnds*, *vwnd50*, *uwnd150*, *rhum1000*, *air150* และ *air100* ในบางกรณีโปรแกรม SPSS จะตัดตัวแปรอิสระบางตัวที่มีความสัมพันธ์มากกับตัวแปรตามออกไปจากสมการซึ่งในตัวอย่างนี้ได้ตัดตัวแปร *cprat* ซึ่งมี

ความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากออกไปจากการสมการเมื่อเลือกตัวแปร *shum850* ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามน้อยกว่าเข้ามา เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงต้องทำการคัดเลือกตัวแปรตามขั้นตอนที่ (3) อีกครั้ง โดยตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์อีกครั้งจะต้องเป็นตัวแปรที่โปรแกรม SPSS คัดเลือกเข้ามาแล้วไม่ไปดึงตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากกว่าออกไปจากสมการ ซึ่งตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ (3) อีกครั้งประกอบด้วย O_{i-1} , *hgt30*, *shum500*, *cpnat*, *hgt700*, *vwnd700*, *uwnd10*, *uwnd250*, *tmin*, *air70*, *uwnd50*, *lhtfl*, *omega250*, *air10*, *vwnd250*, *air30*, *hgt10* และ *prat* ซึ่งในการคัดเลือกครั้งนี้ไม่มีการตัดตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามในระดับมากออกไปจากสมการ

(5) เพื่อป้องกันความซ้ำซ้อนเชิงสถิติ ตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือกเข้ามาไม่ควรมีความสัมพันธ์ภายในระหว่างกัน จากการทดลองคัดเลือกตัวแปรในหลายๆ ข้อมูลพบว่าไม่สามารถหาตัวแปรที่ไม่มีสหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันได้ ดังนั้นการพิจารณาตัดตัวแปรอิสระจึงเลือกตัดตัวแปรที่มีสหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันที่มีค่า Pearson Correlation มากกว่า 0.5 ออกไป ซึ่งดำเนินการโดยการนำตัวแปรที่ถูกคัดเลือกตามขั้นตอนที่ (4) มาทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างกัน โดยเลือกที่เมนู Analyze→Correlate→Bivariate จะปรากฏหน้าต่าง Bivariate Correlations จากนั้นนำตัวแปรอิสระจากขั้นตอนที่ (4) นำมาใส่ไว้ในช่อง Variables แล้วจึงทำการกดปุ่ม “OK” ดังแสดงในภาพที่ 10 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ตารางในลักษณะเมตริกซ์ที่แสดงสหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันของตัวแปรแต่ละตัวที่ถูกคัดเลือกดังแสดงในภาพที่ 11 จากผลของการคัดเลือกจะได้ชุดตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ไม่มีสหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันของสถานีวัดน้ำฝน 07072 ซึ่งประกอบด้วย O_{i-1} , *hgt700*, *vwnd700*, *omega250*, *air10*, *vwnd250* และ *air30*



ภาพที่ 10 หน้าต่างกำหนดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างกัน

		Oi_1	hgt30	Sshum500	cprat	hgt700	wwnd700	uwnd10	uwnd250
Oi_1	Pearson Correlation	1	.794"	.764"	.698"	-.420"	.070"	.656"	-.548"
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
hgt30	Pearson Correlation	.794"	1	.764"	.725"	-.365"	-.011	.669"	-.546"
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.000	.260	.000	.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
Sshum500	Pearson Correlation	.764"	.764"	1	.714"	-.464"	.095"	.663"	-.572"
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
cprat	Pearson Correlation	.698"	.725"	.714"	1	-.383"	.038"	.581"	-.502"
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
hgt700	Pearson Correlation	-.420"	-.365"	-.464"	-.383"	1	-.075"	-.539"	.194"
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
wwnd700	Pearson Correlation	.070"	-.011	.095"	.038"	-.075"	1	-.011	-.013
	Sig. (2-tailed)	.000	.260	.000	.000	.000		.241	.183
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
uwnd10	Pearson Correlation	.656"	.669"	.663"	.581"	-.539"	-.011	1	-.358"
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.241		.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
uwnd250	Pearson Correlation	-.548"	-.546"	-.572"	-.502"	.194"	-.013	-.358"	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.183	.000	
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
tmin	Pearson Correlation	.635"	.708"	.613"	.708"	-.237"	-.011	.497"	-.515"
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.231	.000	.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958
air70	Pearson Correlation	.628"	.781"	.586"	.518"	-.240"	-.013	.534"	-.295"
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.166	.000	.000
	N	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958	10958

ภาพที่ 11 เมตริกซ์แสดงสหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันของตัวแปรอิสระที่ถูกคัดเลือก

(6) เนื่องจากแต่ละสถานีวัดน้ำฝนมีการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกที่แตกต่างกันตามข้อมูลตรวจวัดของแต่ละสถานี การศึกษาในระดับพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งมีขนาดพื้นที่เล็กมากเมื่อเทียบกับกริดข้อมูลภูมิอากาศโลก ดังนั้น สถานีวัดน้ำฝนที่ใกล้เคียงกันควรมีชุดตัวแปรภูมิอากาศโลกที่เหมือนกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินการเกิดฝนในขั้นตอนที่ (1) ถึง (5) สำหรับสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนทั้ง 22 สถานี จากนั้นนำชุดตัวแปรที่ได้ในขั้นตอนที่ (5) ของแต่ละสถานีมาจัดเป็นกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกตัวแปรตัวแปรภูมิอากาศโลกเหมือนกัน

(7) นำตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ได้จากขั้นตอนที่ (6) ของแต่ละสถานีมาวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงโดยวิธี Stepwise อีกครั้ง เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ (3) สำหรับการพิจารณาผลการวิเคราะห์ทำได้โดยเลือกชุดตัวแปรที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุด อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่จำนวนตัวแปรที่เลือกเพิ่มขึ้น 1 ตัวแปร ไม่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเพิ่มขึ้นเกิน 5% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากจำนวนตัวแปรที่น้อยกว่า 1 ตัวแปร ให้เลือกชุดตัวแปรที่น้อยกว่า เนื่องจากเป็นการเพิ่มขึ้นที่ไม่มีนัยสำคัญ

4.3 การคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝน

การคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝนและสัมประสิทธิ์ตัวแปร จะดำเนินการด้วยโปรแกรม SPSS ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

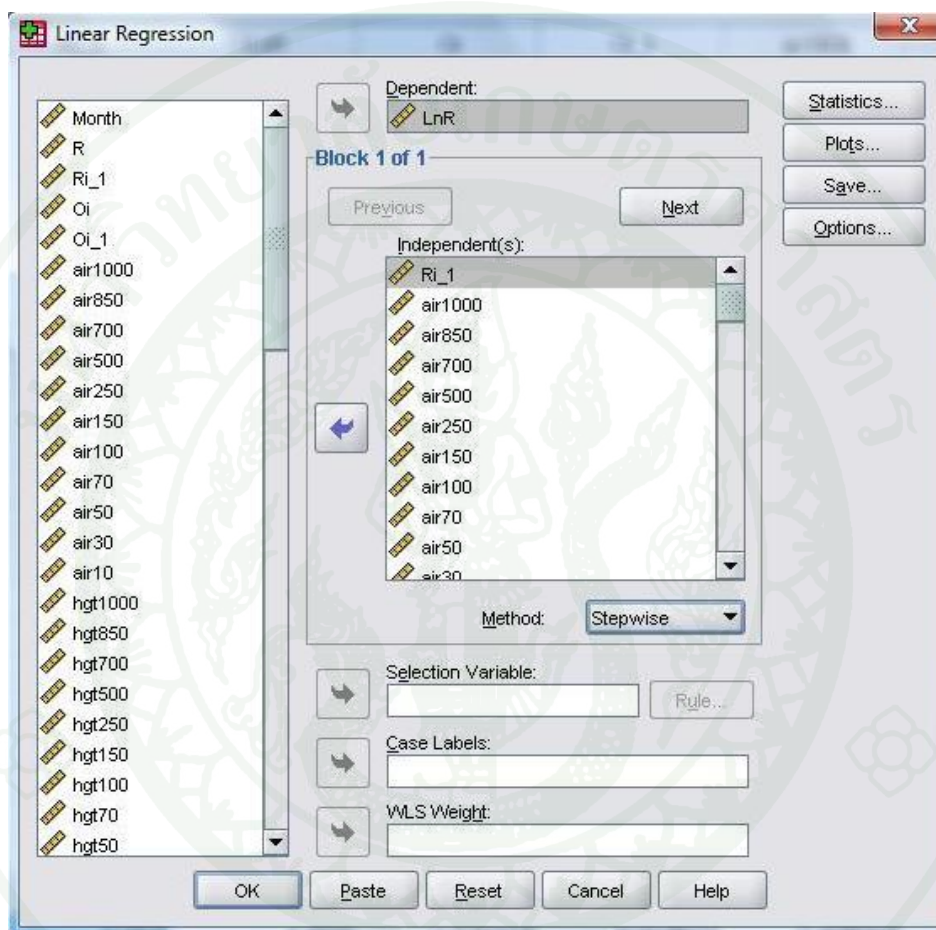
(1) จัดเตรียมข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 9 เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรม SPSS เพื่อคัดเลือกตัวแปร โดยข้อมูลที่จัดเตรียมประกอบด้วย ปริมาณฝนรายวัน R_i โดยคัดเลือกเฉพาะวันที่มีปริมาณฝนมากกว่า 0.30 มิลลิเมตร ปริมาณฝนรายวันในรูปของ $\ln R_i$ ปริมาณฝนวันก่อนหน้า R_{i-1} และตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทหรือนาไลซิสทั้ง 72 ตัวแปร เช่นเดียวกับการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝน

(2) เริ่มต้นโปรแกรม SPSS เพื่อการเปิดข้อมูลที่จัดเตรียม โดยไปที่ File→Open→Data เมื่อหน้าต่าง Open Data เปิดขึ้น ให้ไปยัง directory ที่เก็บข้อมูล ในช่อง Files of type: เลือก Excel (*.xls, *.xlsx, *.xlsm) จากนั้นเปิดข้อมูลที่จัดเตรียมเช่นเดียวกับการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝน เมื่อเปิดข้อมูลแล้ววันที่ปริมาณฝนน้อยกว่า 0.30 มิลลิเมตร กำหนดให้มีค่าเท่ากับ -999 ซึ่งค่านี้จะนำไปกำหนดเป็นข้อมูลที่สูญหายในโปรแกรม SPSS เพื่อให้โปรแกรมพิจารณาเฉพาะวันที่มีปริมาณฝนเท่านั้น

ตารางที่ 9 รูปแบบข้อมูลสำหรับการคัดเลือกตัวแปร โดยโปรแกรม SPSS เพื่อประเมินปริมาณฝน

วัน/เดือน/ปี	R_t	$\ln R_t$	R_{t-1}	<i>air1000</i>	<i>air850</i>	<i>air700</i>	<i>air500</i>	...	<i>ubwrf</i>
1/1/1960	-999	-999	0	-2.49	-2.928	-1.392	-0.351	...	-2.062
2/1/1960	-999	-999	0	-3.499	-2.751	-1.05	-0.521	...	-2.81
3/1/1960	-999	-999	0	-2.72	-1.793	-1.066	-1.015	...	-2.875
4/1/1960	-999	-999	0	-1.472	-1.392	-0.805	-1.233	...	-2.069
5/1/1960	-999	-999	0	-0.65	-0.78	-1.337	-1.72	...	-1.646
6/1/1960	-999	-999	0	-0.872	-0.985	-1.867	-1.353	...	-1.271
7/1/1960	-999	-999	0	-0.781	-0.853	-1.774	-0.953	...	-1.038
8/1/1960	-999	-999	0	-0.404	-0.627	-1.609	-0.721	...	-0.895
9/1/1960	-999	-999	0	-0.329	-0.44	-1.21	-1.408	...	-0.593
10/1/1960	-999	-999	0	-0.437	-0.357	-1.36	-2.072	...	-0.416
.
.
.
.
.
.
19/12/1989	-999	-999	0	-2.109	-2.479	-1.36	-2.006	...	-1.97
20/12/1989	-999	-999	0	-1.593	-2.296	-1.23	-1.282	...	-2.21
21/12/1989	-999	-999	0	-0.785	-1.524	-0.699	-1.316	...	-1.827
22/12/1989	-999	-999	0	-0.777	-1.47	-0.814	-0.668	...	-1.229
23/12/1989	-999	-999	0	-0.682	-1.154	-0.555	-1.22	...	-1.043
24/12/1989	-999	-999	0	-0.844	-1.178	-0.483	-1.32	...	-1.086
25/12/1989	-999	-999	0	-0.672	-0.964	-0.354	-1.303	...	-1.175
26/12/1989	-999	-999	0	-0.629	-1	-0.138	-1.856	...	-0.567
27/12/1989	-999	-999	0	-0.674	-1.234	-0.499	-1.29	...	-0.804
28/12/1989	-999	-999	0	-0.409	-1.028	-1	-1.216	...	-0.895
29/12/1989	-999	-999	0	-0.478	-0.77	-0.911	-1.49	...	-0.878
30/12/1989	-999	-999	0	-0.835	-0.87	-0.816	-0.841	...	-1.142
31/12/1989	-999	-999	0	-0.73	-0.943	-0.5	-0.836	...	-1.117

(3) คัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกโดยโปรแกรม SPSS โดยเลือกที่เมนู Analyze→Regression→Linear จะปรากฏหน้าต่างกำหนดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 12 โดยปริมาณฝนที่อยู่ในรูป $\ln R_i$ จะเป็นตัวแปรตาม ส่วนปริมาณฝนของวันก่อนหน้า R_{i-1} และตัวแปรภูมิอากาศโลก 72 ตัวแปร จะเป็นตัวแปรอิสระแล้วเลือกวิธีการแบบ Stepwise แล้วกดปุ่ม OK



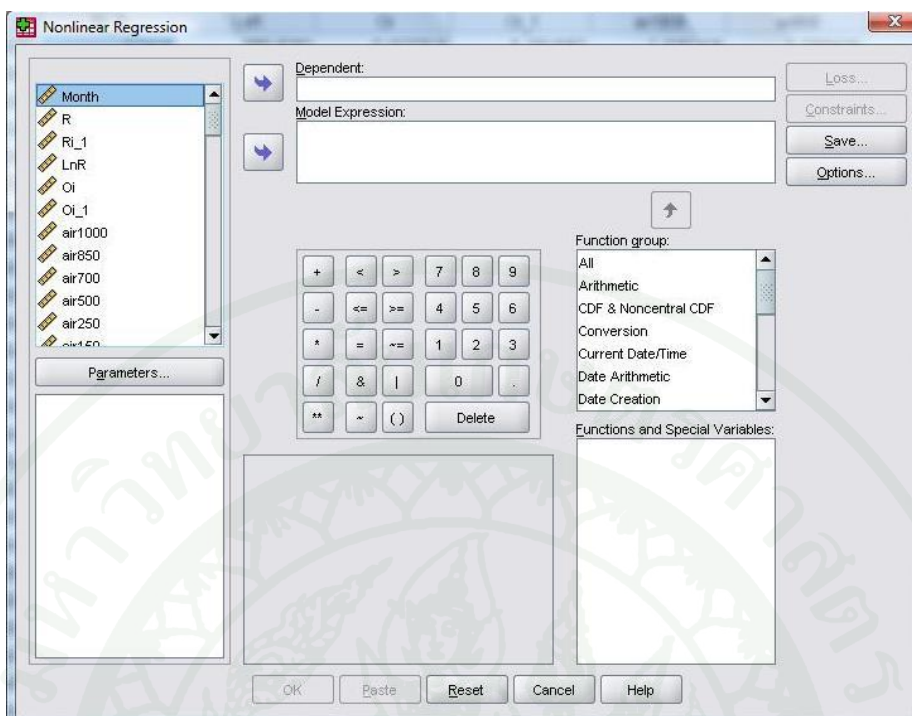
ภาพที่ 12 หน้าต่างกำหนดข้อมูลวิเคราะห์การถดถอยสำหรับปริมาณฝน

(4) ผลของการคัดเลือกจะได้ชุดของตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม $\ln R_i$ ตามลำดับความสัมพันธ์จากมากที่สุดกับไปยังความน้อยที่สุด โดยในที่นี้ได้แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สำหรับสถานีวัดน้ำฝน 07072 โดยผลการคัดเลือกจะได้ตัวแปรอิสระซึ่งประกอบด้วย *omega700*, *uwnd850*, *tcde*, *uwnd1000*, *hgt500*, *prat*, *air30*, *air100*, *uwnd100* และ *rhum1000*

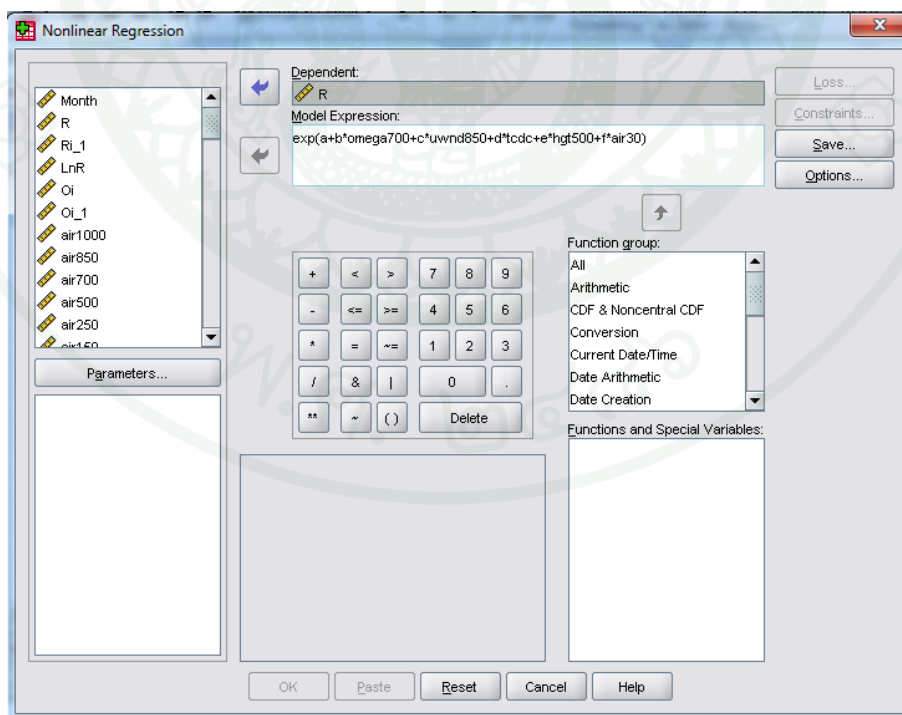
(5) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ภายในระหว่างกันของตัวแปรที่คัดเลือกในขั้นตอนที่ (4) เช่นเดียวกับการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝน ซึ่งจะได้ชุดตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ไม่มี สหสัมพันธ์ภายในระหว่างกันของสถานีวัดน้ำฝน 07072 ซึ่งประกอบด้วย *omega700*, *uwnd850*, *tcdc*, *hgt500* และ *air30*

(6) ทำการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินปริมาณฝนสำหรับสถานีวัด น้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนทั้ง 22 สถานี ในขั้นตอนที่ (1) ถึง (5) จากนั้นนำชุดตัวแปรที่ได้ของแต่ละสถานีมาจัดเป็นกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกตัวแปรตัวแปรภูมิอากาศโลกเหมือนกัน เช่นเดียวกับการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝน

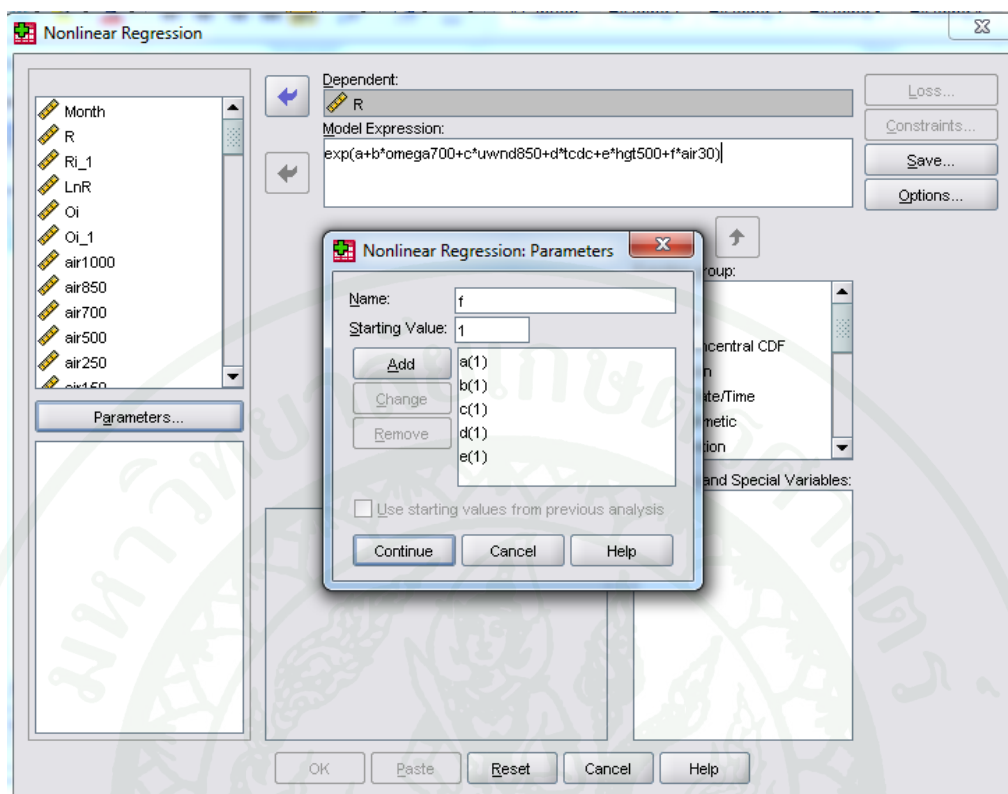
(7) นำตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ได้จากขั้นตอนที่ (6) ของแต่ละสถานีมาทำการคำนวณค่าคงที่ โดยเลือกเมนู Analyze→Regression→Nonlinear จะปรากฏหน้าต่างกำหนดรายละเอียด สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงดังแสดงในภาพที่ 13 จากหน้าต่างนี้ช่องตัวแปรตาม (Dependent) คือ ปริมาณฝน R_i ช่อง Model Expression คือ ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่คัดเลือกจากขั้นตอนที่ (6) และอยู่ในรูปสมการ ดังแสดงในภาพที่ 14 จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์เท่ากับจำนวนตัวแปรภูมิอากาศโลกบวกกับพารามิเตอร์ที่เป็นค่าคงที่ซึ่งการเพิ่มพารามิเตอร์กระทำโดยการกดปุ่ม “Parameter” ด้านซ้ายของหน้าจอจะปรากฏหน้าต่างสำหรับเพิ่มพารามิเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 15 ในช่อง Name ให้ใส่ชื่อพารามิเตอร์หรือค่าคงที่ตามที่ต้องการ จากนั้นในช่อง Starting Value ให้ใส่ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์นั้นซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 กดปุ่ม “Add” และทำการเพิ่มพารามิเตอร์ไปเรื่อย ๆ ตามจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการในสมการ หลังจากนั้นให้กดปุ่ม “Continue” กดปุ่ม OK ซึ่งโปรแกรม SPSS จะทำการคำนวณพารามิเตอร์ของสมการและค่าทางสถิติของแต่ละพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 10



ภาพที่ 13 หน้าต่างกำหนดรายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง



ภาพที่ 14 การใส่ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง



ภาพที่ 15 หน้าต่างสำหรับเพิ่มพารามิเตอร์ของสมการการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง

ตารางที่ 10 ผลการประเมินพารามิเตอร์ในสมการการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงเพื่อประเมินปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝน 07072

พารามิเตอร์	ค่าจากการประเมิน	ความผิดพลาดมาตรฐาน	95% ช่วงความมั่นใจ	
			ขีดจำกัดล่าง	ขีดจำกัดบน
a	2.252	0.070	2.115	2.388
b	0.125	0.021	0.083	0.166
c	-0.202	0.025	-0.251	-0.154
d	0.470	0.079	0.315	0.624
e	0.083	0.026	0.032	0.135
f	-0.048	0.032	-0.110	0.015

4.4 การประเมินผลการดาวน์โหลดทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน

ภายหลังจากได้สมการประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนสำหรับสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนทั้ง 22 สถานีแล้ว จากนั้นได้ทำการประเมินผลการดาวน์โหลดโดยการคำนวณตัวแปรทางสถิติเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณจากสมการเทียบกับข้อมูลตรวจวัด ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการสอบเทียบช่วงปี ค.ศ. 1960-1989 และตรวจพิสูจน์ช่วงปี ค.ศ. 1990-2007 โดยค่าตัวแปรทางสถิติที่นำมาใช้ในการประเมินผลการดาวน์โหลดประกอบด้วย Correlation Coefficient (r), Efficiency Index (EI) และ Relative Root Mean Square Error ($Rel.RMSE$) โดยมีรายละเอียดสมการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Correlation Coefficient } (r) = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (11)$$

$$\text{Efficiency Index } (EI) = 1 - \left[\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \right] \quad (12)$$

$$\text{Relative Root Mean Square Error } (Rel.RMSE) = \frac{\sqrt{\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{N}}}{\bar{Y}} \quad (13)$$

โดยที่	X_i	=	ผลการคำนวณจากแบบจำลอง
	\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ยของผลการคำนวณจากแบบจำลอง
	Y_i	=	ข้อมูลการตรวจวัดจริง
	\bar{Y}	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	N	=	จำนวนข้อมูล

ค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ในกรณีที่ r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ตีมาก และในกรณีที่ r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์ที่ตีมากแต่ในเชิงปฏิภาคผกผัน โดยทั่วไปแล้ว ค่า r ควรมีค่ามากกว่า 0.7 จึงจะถือว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วนค่า EI ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% และ $Rel.RMSE$ เท่ากับ 0 แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับที่ได้จากการตรวจวัดทุกข้อมูล

5. การปรับแก้ชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกให้เข้ากันได้

ตัวแปรภูมิอากาศโลกในการศึกษานี้มี 2 ชุดข้อมูล คือ ตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส มีชุดข้อมูลภูมิอากาศในอดีตจนถึงปัจจุบัน (ค.ศ. 1960-2010) และตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ซึ่งมีชุดข้อมูลภูมิอากาศในอดีต (ค.ศ. 1960-2005) และชุดข้อมูลภูมิอากาศในอนาคต (ค.ศ. 2006-2100) ตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่างๆ โดยข้อมูลสองชุดดังกล่าวมาจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้น ต้องทำการปรับแก้ (bias correction) ชุดข้อมูลทั้งสองให้เข้ากันได้ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการปรับแก้ชุดข้อมูลด้วยวิธี NBC (nesting bias correction) โดยเทคนิคการปรับแก้ด้วยวิธี NBC ผลลัพธ์จากแบบจำลองที่เป็นชุดข้อมูลรายวันจะถูกปรับด้วยชุดข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี ของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด โดยสมการที่ใช้ในการปรับแก้ชุดข้อมูลแสดงดังในสมการที่ (14) ถึง (22)

4.1 การปรับแก้ชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกรายวัน

$$x'_i = \frac{x_i - \mu_{mod,i}}{\sigma_{mod,i}} \quad (14)$$

$$x''_i = \rho_{obs,i} \times x'''_{i-1} + \sqrt{1 - \rho_{obs,i}^2} \left(\frac{x'_i - \rho_{mod,i} x'_{i-1}}{\sqrt{1 - \rho_{mod,i}^2}} \right) \quad (15)$$

$$x'''_i = x''_i \times \sigma_{obs,i} + \mu_{obs,i} \quad (16)$$

โดยที่ x_i = ข้อมูลภูมิอากาศโลกวันที่ i
 μ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภูมิอากาศโลกจาก moving window 31 วัน
 σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภูมิอากาศโลกจาก moving window 31 วัน
 ρ = lag one autocorrelations ของข้อมูลภูมิอากาศโลกแบบรายวัน
 mod, obs = ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกและข้อมูลประเภทรีอนาไลซิสตามลำดับ

4.2 การปรับแก้ชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกรายเดือน

$$y'_j = \frac{y_j - \mu_{mod,j}}{\sigma_{mod,j}} \quad (17)$$

$$y''_j = \rho_{obs,j} \times y'''_{j-1} + \sqrt{1 - \rho_{obs,j}^2} \left(\frac{y'_j - \rho_{mod,j} y'_{j-1}}{\sqrt{1 - \rho_{mod,j}^2}} \right) \quad (18)$$

$$y'''_j = y''_j \times \sigma_{obs,j} + \mu_{obs,j} \quad (19)$$

โดยที่ y_j = ข้อมูลภูมิอากาศโลกเดือนที่ j
 μ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภูมิอากาศโลกแบบรายเดือน
 σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภูมิอากาศโลกแบบรายเดือน
 ρ = lag one autocorrelations ของข้อมูลภูมิอากาศโลกแบบรายเดือน
 mod, obs = ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกและข้อมูลประเภทรีอนาไลซิสตามลำดับ

4.3 การปรับแก้ชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกรายปี

$$z'_k = \frac{z_k - \mu_{mod,k}}{\sigma_{mod,k}} \quad (20)$$

$$z''_k = \rho_{obs,k} \times z'''_{k-1} + \sqrt{1 - \rho_{obs,k}^2} \left(\frac{z'_k - \rho_{mod,k} z'_{k-1}}{\sqrt{1 - \rho_{mod,k}^2}} \right) \quad (21)$$

$$z'''_k = z''_k \times \sigma_{obs,k} + \mu_{obs,k} \quad (22)$$

โดยที่ z_k = ข้อมูลภูมิอากาศโลกปีที่ k
 μ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภูมิอากาศโลกแบบรายปี
 σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภูมิอากาศโลกแบบรายปี
 ρ = lag one autocorrelations ของข้อมูลภูมิอากาศโลกแบบรายปี
mod, obs = ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกและข้อมูลประเภทรีอนาไลซิสตามลำดับ

เนื่องจากตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส ถูกสร้างด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์จากข้อมูลตรวจวัดจริง ดังนั้นต้องทำการปรับแก้ชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ให้เข้ากันได้กับชุดข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส

6. การคำนวณสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกในอดีต

ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอดีตช่วงปี ค.ศ.1960-2005 จากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ที่ผ่านกระบวนการปรับชุดข้อมูลให้เข้ากับตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส และผ่านการนอร์มัลไลซ์เพื่อลดความแตกต่างของปริมาณ จะต้องทำการคำนวณสเกลเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนทั้ง 22 สถานี เช่นเดียวกับตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส และจะต้องคำนวณค่าตัวแปรทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณสเกลด้วยตัวแปรทั้งสองประเภทดังกล่าว

7. การคำนวณสเกลทางสถิติตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ภายหลังการคำนวณสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกในอดีตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR เพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนทั้ง 22 สถานี ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนแล้ว ถ้าในกรณีที่ค่าของตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสมีความน่าเชื่อถือ ข้อมูลภูมิอากาศโลกในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 สามารถนำมาคำนวณสเกลเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคตที่สถานีวัดน้ำฝนได้ โดยตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตดังกล่าวจะต้องผ่านกระบวนการปรับชุดข้อมูลให้เข้ากับตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส และผ่านการนอร์มัลไลซ์เพื่อลดความแตกต่างของปริมาณก่อนนำไปคำนวณสเกลเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการคำนวณสเกลภูมิอากาศโลกในอนาคตในช่วงปี ค.ศ. 2006-2100 ซึ่งเป็นช่วงเวลาในอนาคตของตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR

ผลการศึกษา

การศึกษาเรื่อง “การดาวน์โหลดสเกลทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนสำหรับสถานวัดน้ำฝนในกลุ่มน้ำปิงตอนบน” มีขั้นตอนการดำเนินงานหลัก ๆ ดังนี้คือ 1) การคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทหรือนาไลซิสที่สัมพันธ์กับข้อมูลการเกิดฝนและปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนที่พิจารณา 2) การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์สมการการถดถอยที่ใช้ในการดาวน์โหลดตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทหรือนาไลซิสเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน 3) การปรับชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ให้เข้ากับข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทหรือนาไลซิส 4) การดาวน์โหลดตัวแปรภูมิอากาศโลกในอดีตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR เพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน และ 5) การดาวน์โหลดตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเพื่อประเมินการเกิดฝนในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ โดยผลการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทหรือนาไลซิสที่สัมพันธ์กับข้อมูลการเกิดฝนและปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนที่พิจารณา

1.1 การคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝน

การคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝนโดยใช้สมการการถดถอยดำเนินการโดยโปรแกรม SPSS ซึ่งในการศึกษานี้ได้ดำเนินการที่สถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 22 สถานี โดยผลการคัดเลือกตัวแปรแสดงในตารางที่ 11 ถึงตารางที่ 12 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับ O_i ที่ดีที่สุด 4 ลำดับแรกของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนสามารถนำมาจัดเป็นกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนได้ 3 กลุ่ม ตามตัวแปรที่คัดเลือกดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพที่ 16 สำหรับเปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่เลือกใช้ตัวแปรแสดงในตารางที่ 14 ซึ่งจากผลการคัดเลือกดังกล่าวสามารถสร้างสมการเพื่อประเมินการเกิดฝนได้ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 11 ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝนสถานีวัดน้ำฝน 07013 ถึง 07182

ตัวแปร ภูมิภาคสโตน	สถานีวัดน้ำฝน										
	07013	07052	07072	07082	07092	07112	07122	07132	07142	07152	07182
O_{i-1}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
air1000		12	8		4	4					16
air850	10		11			15		11			20
air150				11	10						21
air100	4	7	15	10		6	5				17
air30		8	7	7	7		15		6	4	12
air10	6	5	5		8	14	3		4	8	9
hgt1000											19
hgt850								2			
hgt700			2								18
hgt500		3		6			12				
omega1000		11		12		17					
omega850		13			15		13				
omega700								8			
omega500	5					7	11	4	10	3	
omega250	8	4	4	5	6	3	6	7	2		7
omega150		15		14							15
omega100	9	16		15	13					6	10
uwnd1000	3	10	10			5	7		9	7	5
uwnd850		9	9	4	9				8	12	4
uwnd700										13	
uwnd150			14		3		4				3
uwnd100						12		12	7	10	14
uwnd70											
uwnd50				3							13
vwnd1000							9		5	2	
vwnd850						2	16	6			6
vwnd700	2	2	3	2	2		2		3	5	2
vwnd500				13							

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ตัวแปร ภูมิอากาศโลก	สถานีวัดน้ำฝน										
	07013	07052	07072	07082	07092	07112	07122	07132	07142	07152	07182
<i>vwnd250</i>	7	6	6	8		9	10	10		11	
<i>vwnd150</i>							14	9			
<i>vwnd100</i>					5	10					8
<i>vwnd70</i>		17		9	11						
<i>vwnd50</i>			13			13	17		11		
<i>vwnd30</i>		14			12						
<i>tas</i>								5			
<i>tmax</i>						16	18				
<i>uwnds</i>					14	8	8		12		
<i>vwnds</i>			12								
<i>ulwrf</i>	11					11		3		9	11

หมายเหตุ ตัวเลขในตาราง หมายถึง ลำดับการมีความสัมพันธ์กับ O_i ของตัวแปรภูมิอากาศที่ได้รับ
การคัดเลือก

ตารางที่ 12 ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินการเกิดฝนสถานีวัดน้ำฝน 07192 ถึง 17052

ตัวแปร ภูมิอากาศโลก	สถานีวัดน้ำฝน										
	07192	07242	07252	07262	07282	07292	17012	17022	17032	17042	17052
O_{i-1}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
air1000			16		8	12	13		12		15
air850					6	13			13		17
air150					16		17				22
air100		11	5					12	10		16
air30	11			16	15	9	19		15	4	11
air10		7	6	6	9	8	3	2	4	8	5
hgt1000							20				
hgt850											
hgt700		2		3			4				
hgt500							11				
omega1000		6	10	13	13					11	14
omega850		8	9	14						15	
omega700					12						
omega500		13	4		14					17	19
omega250	5	5	14	4	4	7	5	4	7	6	9
omega150				7		15	14	10	17		21
omega100				15	5	16	10	11	16	5	13
uwnd1000		4		8	19	6	7	14	6	12	8
uwnd850	7	9	3		10	5	6	15	5	7	6
uwnd700	8	15			11			16			
uwnd150	3				17	3	16	8	3	3	2
uwnd100			13				18		18	10	23
uwnd70											10
uwnd50							9		9		
vwnd1000			8								
vwnd850		12	2	9	2	4					7
vwnd700	2	3	7	2		2	2	3	2	2	3

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ตัวแปร ภูมิอากาศโลก	สถานีวัดน้ำฝน										
	07192	07242	07252	07262	07282	07292	17012	17022	17032	17042	17052
<i>vwnd250</i>	6	17	11	5		10		5		9	
<i>vwnd150</i>			12								
<i>vwnd100</i>	4				3		15	9	8		4
<i>vwnd70</i>											20
<i>vwnd50</i>	12	14				14		13		16	
<i>vwnd30</i>	9				18		12	6	11		12
<i>tas</i>			17	12					14		18
<i>tmax</i>											
<i>uwnds</i>		10	15	10		11	8	17			13
<i>vwnds</i>											
<i>ulwrf</i>	10	16	18	11	7			7		14	

หมายเหตุ ตัวเลขในตาราง หมายถึง ลำดับการมีความสัมพันธ์กับ O_i ของตัวแปรภูมิอากาศที่ได้รับการคัดเลือก

ตารางที่ 13 การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรที่คัดเลือกเพื่อประเมินการเกิดฝน

กลุ่มที่	สถานีวัด น้ำฝน	ตัวแปร										
		O_{i-1}	<i>air100</i>	<i>air10</i>	<i>hgt700</i>	<i>omega500</i>	<i>omega250</i>	<i>uwnd1000</i>	<i>uwnd850</i>	<i>uwnd150</i>	<i>vwnd850</i>	<i>vwnd700</i>
1	07052	1			3		4		9			2
	07072	1			2		4		9			3
	07082	1			6		5		4			2
	07132	1			2		7					6
	07242	1			2		5		9			3
	07262	1			3		4					2
	17012	1			4		5		6			2

ตารางที่ 13 (ต่อ)

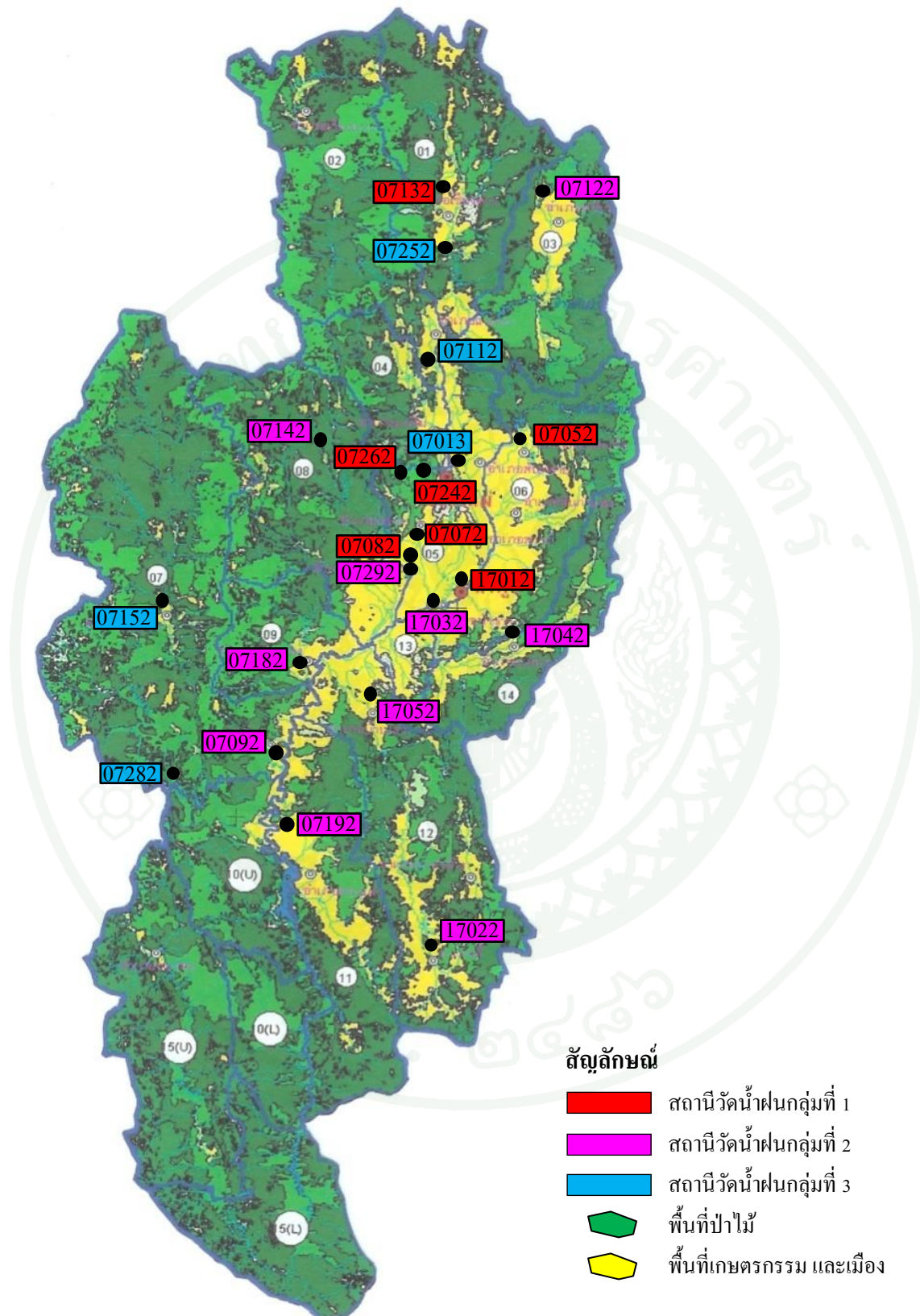
กลุ่มที่	สถานีวัด น้ำฝน	ตัวแปร										
		O_{i-1}	<i>air100</i>	<i>air10</i>	<i>hgt700</i>	<i>omega500</i>	<i>omega250</i>	<i>uwnd1000</i>	<i>uwnd850</i>	<i>uwnd150</i>	<i>vwnd850</i>	<i>vwnd700</i>
2	07092	1		8			6			3		2
	07122	1		3			6			4		2
	07142	1		4			2			7		3
	07182	1		9			7			3		2
	07192	1					5			3		2
	07292	1		8			7			3		2
	17022	1		2			4			8		3
	17032	1		4			7			3		2
	17042	1		8			6			3		2
	17052	1		5			9			2		3
3	07013	1	4			5		3				2
	07112	1	6			7		5			2	
	07152	1	8			3		7			5	
	07252	1	5			4		3			2	
	07282	1	6			4		10			2	

ตารางที่ 14 เปอร์เซ็นต์การเลือกใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกและ O_i เพื่อประเมินการเกิดฝน

ตัวแปรภูมิอากาศโลก	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกใช้
O_{i-1}	100.00
<i>omega250</i>	77.27
<i>vwnd700</i>	77.27
<i>air10</i>	45.45
<i>uwnd150</i>	45.45
<i>hgt700</i>	31.82
<i>uwnd850</i>	31.82
<i>air100</i>	22.73
<i>omega500</i>	22.73
<i>uwnd1000</i>	22.73
<i>vwnd850</i>	22.73

1.2 การคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝน

ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝนโดยใช้สมการการถดถอยดำเนินการโดยโปรแกรม SPSS ที่สถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจำนวน 22 สถานี แสดงในตารางที่ 16 ถึงตารางที่ 17 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินปริมาณฝนสำหรับสถานีวัดน้ำฝนจะได้จำนวนตัวแปรน้อยกว่าในกรณีของการเกิดฝน โดยตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์ที่ดีกับ $\ln R_i$ จะค่อนข้างกระจัดกระจาย อย่างไรก็ตามสามารถนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ที่ดีกับ $\ln R_i$ ดีที่สุด 3 ลำดับแรก มาจัดเป็นกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนได้ 8 กลุ่ม ตามตัวแปรภูมิอากาศโลกที่คัดเลือกดังแสดงในตารางที่ 18 และภาพที่ 17 สำหรับเปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่เลือกใช้ตัวแปรแสดงในตารางที่ 19 ซึ่งจากผลการคัดเลือกดังกล่าวสามารถสร้างสมการประเมินปริมาณฝนได้ดังแสดงในตารางที่ 20



ภาพที่ 16 การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรภูมิอากาศโลกที่คัดเลือกเพื่อประเมินการเกิดฝน

ตารางที่ 15 สมการเพื่อประเมินการเกิดฝนสำหรับสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา

กลุ่มที่	สถานี วัดน้ำฝน	สมการเพื่อประเมินการเกิดฝน
1	07052	$O_i = 0.058 + 0.771O_{i-1} - 0.018hgt700 + 0.017\omega250 + 0.009uwnd850 + 0.007vwnd700$
	07072	$O_i = 0.052 + 0.749O_{i-1} - 0.017hgt700 + 0.015\omega250 + 0.009uwnd850 + 0.007vwnd700$
	07082	$O_i = 0.048 + 0.649O_{i-1} - 0.016hgt700 + 0.015\omega250 + 0.008uwnd850 + 0.006vwnd700$
	07132	$O_i = 0.064 + 0.739O_{i-1} - 0.020hgt700 + 0.014\omega250 + 0.015uwnd850 + 0.003vwnd700$
	07242	$O_i = 0.054 + 0.849O_{i-1} - 0.016hgt700 + 0.015\omega250 + 0.012uwnd850 + 0.006vwnd700$
	07262	$O_i = 0.061 + 0.808O_{i-1} - 0.018hgt700 + 0.018\omega250 + 0.014uwnd850 + 0.007vwnd700$
	17012	$O_i = 0.054 + 0.697O_{i-1} - 0.015hgt700 + 0.016\omega250 + 0.008uwnd850 + 0.007vwnd700$
2	07092	$O_i = 0.052 + 0.808O_{i-1} + 0.019\omega250 - 0.010uwnd150 + 0.008vwnd700 + 0.001air10$
	07112	$O_i = 0.052 + 0.798O_{i-1} + 0.013\omega250 - 0.015uwnd150 + 0.004vwnd700 - 0.001air10$
	07142	$O_i = 0.056 + 0.780O_{i-1} + 0.019\omega250 - 0.014uwnd150 + 0.006vwnd700 - 0.003air10$
	07182	$O_i = 0.052 + 0.698O_{i-1} + 0.017\omega250 - 0.013uwnd150 + 0.008vwnd700 + 0.001air10$
	07192	$O_i = 0.060 + 0.778O_{i-1} + 0.022\omega250 - 0.010uwnd150 + 0.009vwnd700 + 0.001air10$
	07292	$O_i = 0.052 + 0.759O_{i-1} + 0.017\omega250 - 0.011uwnd150 + 0.008vwnd700 + 0.001air10$
	17022	$O_i = 0.046 + 0.843O_{i-1} + 0.017\omega250 - 0.004uwnd150 + 0.004vwnd700 + 0.001air10$
	17032	$O_i = 0.055 + 0.724O_{i-1} + 0.018\omega250 - 0.012uwnd150 + 0.011vwnd700 - 0.001air10$
17042	$O_i = 0.046 + 0.765O_{i-1} + 0.017\omega250 - 0.008uwnd150 + 0.005vwnd700 + 0.001air10$	
17052	$O_i = 0.055 + 0.759O_{i-1} + 0.020\omega250 - 0.013uwnd150 + 0.008vwnd700 - 0.001air10$	
3	07013	$O_i = 0.047 + 0.841O_{i-1} + 0.021\omega500 + 0.010vwnd850 + 0.005uwnd1000 + 0.004air100$
	07112	$O_i = 0.051 + 0.801O_{i-1} + 0.022\omega500 + 0.011vwnd850 + 0.003uwnd1000 + 0.003air100$
	07152	$O_i = 0.052 + 0.804O_{i-1} + 0.029\omega500 + 0.011vwnd850 + 0.003uwnd1000 + 0.004air100$
	07252	$O_i = 0.043 + 0.859O_{i-1} + 0.018\omega500 + 0.009vwnd850 + 0.003uwnd1000 + 0.003air100$
07282	$O_i = 0.064 + 0.782O_{i-1} + 0.029\omega500 + 0.015vwnd850 - 0.001uwnd1000 + 0.002air100$	

ตารางที่ 16 ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝนสถานีวัดน้ำฝน 07013 ถึง 07182

ตัวแปร ภูมิภาคสโตน	สถานีวัดน้ำฝน										
	07013	07052	07072	07082	07092	07112	07122	07132	07142	07152	07182
R_{i-1}	4				3		2	2	1	1	6
air700								7			
air150	3				4	4			4		
air100			6								
air50							5				
air30			5	3						6	
air10								3			
hgt700											8
hgt500			4						3		
hgt250							6				
hgt100											2
hgt10								6			
omega1000								8			7
omega850											
omega700			1		2			1		2	1
omega500		1				1	1		2		
omega250							7	4			
omega150											4
omega100											
rhum500			9								
shum700					6						
uwnd1000							4				
uwnd850	2	4	2	1	1	3		5	6	3	
uwnd700		2	8				3				5
uwnd250											
uwnd100			7								12
uwnd70											
uwnd30										5	
vwnd1000		6						9			9

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ตัวแปร ภูมิอากาศโลก	สถานีวัดน้ำฝน										
	07013	07052	07072	07082	07092	07112	07122	07132	07142	07152	07182
<i>vwnd850</i>					5						
<i>vwnd700</i>	5	8									3
<i>vwnd500</i>		7									
<i>vwnd150</i>		9				5					
<i>vwnd70</i>											10
<i>vwnd50</i>		5									11
<i>vwnd30</i>								10			
<i>tmax</i>									7		
<i>tmin</i>									5		
<i>uwnds</i>											4
<i>vwnds</i>											
<i>prat</i>	1			2							
<i>tcdc</i>		3	3			2					
<i>ulwrf</i>					7						

หมายเหตุ ตัวเลขในตาราง หมายถึง ลำดับการมีความสัมพันธ์กับ $\ln R_i$ ของตัวแปรภูมิอากาศที่ได้รับการคัดเลือก

ตารางที่ 17 ผลการคัดเลือกตัวแปรเพื่อประเมินปริมาณฝนสถานีวัดน้ำฝน 07192 ถึง 17052

ตัวแปร ภูมิภาคสโตน	สถานีวัดน้ำฝน										
	07192	07242	07252	07262	07282	07292	17012	17022	17032	17042	17052
R_{i-1}	1	5	2	2	3			3	4	2	5
<i>air700</i>											
<i>air150</i>		6				4					
<i>air100</i>								6			
<i>air50</i>	7										
<i>air30</i>							3	11			
<i>air10</i>										4	3
<i>hgt700</i>		7									
<i>hgt500</i>	5						6	5			
<i>hgt250</i>											
<i>hgt100</i>											
<i>hgt10</i>											
<i>omega1000</i>	3						5	9			
<i>omega850</i>				5				10			
<i>omega700</i>	2	1			2	1			1	1	1
<i>omega500</i>			1	1							
<i>omega250</i>	9	4					7				
<i>omega150</i>											
<i>omega100</i>								4			
<i>rhum500</i>		2	7	4		3					4
<i>shum700</i>											
<i>uwnd1000</i>											
<i>uwnd850</i>		3	5	3	1	2	2	1	2		2
<i>uwnd700</i>	4		3								
<i>uwnd250</i>						5					
<i>uwnd150</i>		8									
<i>uwnd100</i>	10										
<i>uwnd30</i>		9				6					
<i>vwnd1000</i>	8						6	7			6

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ตัวแปร	สถานีวัดน้ำฝน											
	ภูมิอากาศโลก	07192	07242	07252	07262	07282	07292	17012	17022	17032	17042	17052
<i>vwnd850</i>												
<i>vwnd700</i>								7				7
<i>vwnd500</i>									8			
<i>vwnd150</i>												
<i>vwnd70</i>							4					
<i>vwnd50</i>												
<i>vwnd30</i>												
<i>tmax</i>												
<i>tmin</i>						6						
<i>uwnds</i>			6	6								
<i>vwnds</i>								1	2			
<i>prat</i>			4			5				3		

หมายเหตุ ตัวเลขในตาราง หมายถึง ลำดับการมีความสัมพันธ์กับ $\ln R_i$ ของตัวแปรภูมิอากาศที่ได้รับการคัดเลือก

ตารางที่ 18 การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรที่คัดเลือกเพื่อประเมินปริมาณฝน

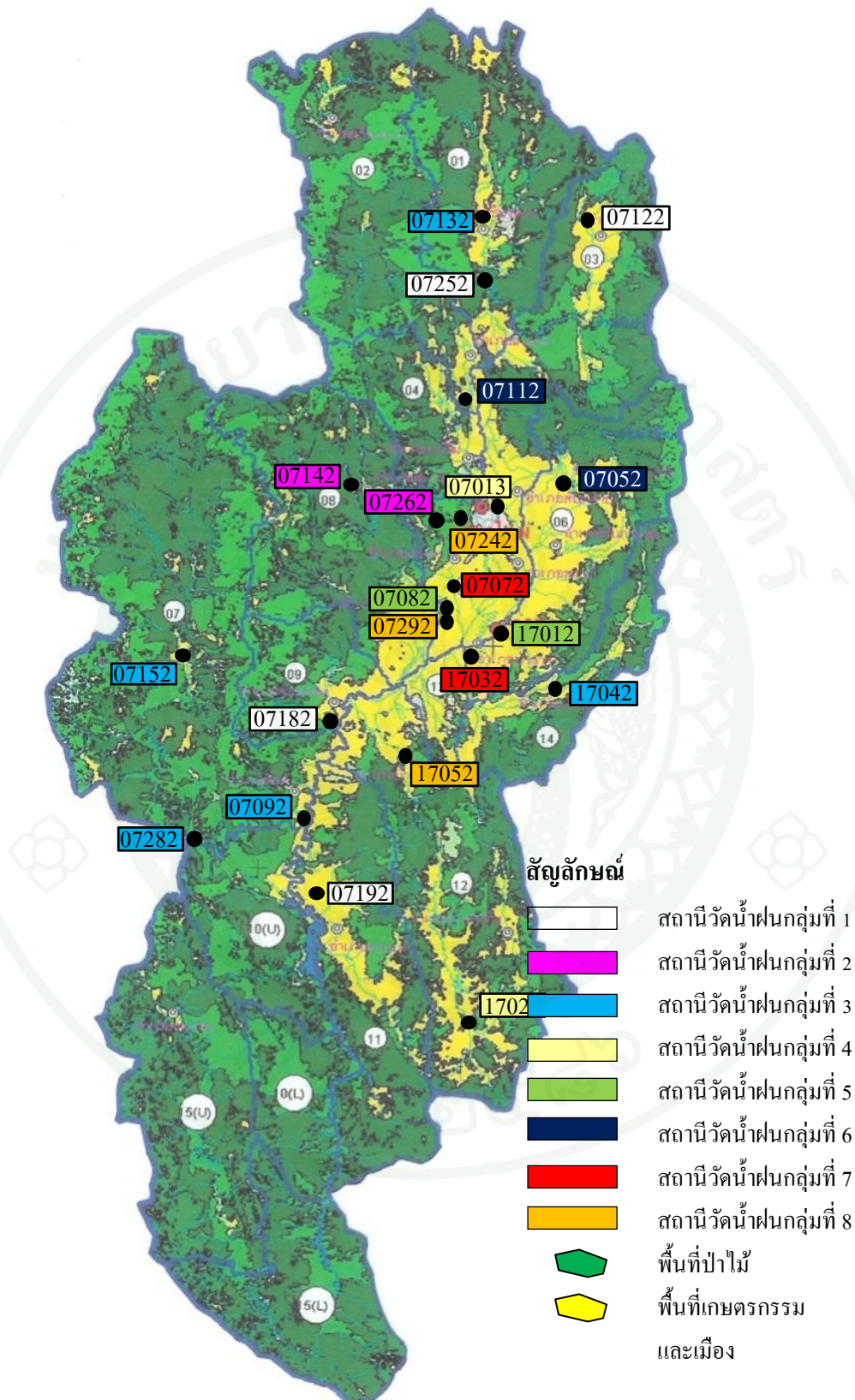
กลุ่มที่	สถานีวัด น้ำฝน	ตัวแปร								
		R_{i-1}	<i>air30</i>	<i>omega700</i>	<i>omega500</i>	<i>rhum500</i>	<i>uwnd850</i>	<i>uwnd700</i>	<i>prat</i>	<i>tcdc</i>
1	07122	2			1			3		
	07182	6			1		5			
	07192	1			2		4			
	07252	2			1		3			
2	07142	1			2		6			
	07262	2			1		3			
3	07092	3		2			1			
	07132	2		1			5			
	07152	1		2			3			
	07282	3		2			1			
	17042	2		1						
4	07013	4					2		1	
	17022	3					1		2	

ตารางที่ 18 (ต่อ)

กลุ่มที่	สถานีวัด น้ำฝน	ตัวแปร								
		R_{i-1}	<i>air30</i>	<i>omega700</i>	<i>omega500</i>	<i>rhum500</i>	<i>uwnd850</i>	<i>uwnd700</i>	<i>prat</i>	<i>tcdc</i>
5	07082		3				1		2	
	17012		3				2		1	
6	07112				1		3			2
	07052				1		4			3
7	17032			1			2			3
	07072			1			2			3
8	07242			1		2	3			
	07292			1		3	2			
	17052			1		4	2			

ตารางที่ 19 เปอร์เซ็นต์การเลือกใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกและความลึกฝนของวันก่อนหน้า (R_{i-1})
เพื่อประเมินการเกิดฝน

ตัวแปรภูมิอากาศโลก	เปอร์เซ็นต์ของการเลือกใช้
<i>uwnd850</i>	81.82
R_{i-1}	59.09
<i>omega700</i>	45.45
<i>omega500</i>	36.36
<i>uwnd700</i>	18.18
<i>prat</i>	18.18
<i>tcdc</i>	18.18
<i>rhum500</i>	13.64
<i>air30</i>	9.09



ภาพที่ 17 การจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนตามตัวแปรภูมิอากาศโลกที่คัดเลือกเพื่อประเมินปริมาณฝน

ตารางที่ 20 สมการประเมินปริมาณฝนสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา

กลุ่มที่	สถานี วัดน้ำฝน	สมการประเมินการเกิดฝน
1	07122	$R_i = EXP(2.279 + 0.168\omega_{500} + 0.008R_{i-1} - 0.109u_{wnd700})$
	07182	$R_i = EXP(2.464 + 0.165\omega_{500} + 0.007R_{i-1} - 0.147u_{wnd700})$
	07192	$R_i = EXP(2.160 + 0.151\omega_{500} + 0.009R_{i-1} - 0.114u_{wnd700})$
	07252	$R_i = EXP(2.358 + 0.207\omega_{500} + 0.008R_{i-1} - 0.111u_{wnd700})$
2	07142	$R_i = EXP(2.423 + 0.163\omega_{500} + 0.008R_{i-1} - 0.057u_{wnd850})$
	07262	$R_i = EXP(2.577 + 0.174\omega_{500} + 0.006R_{i-1} - 0.151u_{wnd850})$
3	07092	$R_i = EXP(2.219 - 0.233u_{wnd850} + 0.167\omega_{700} + 0.007R_{i-1})$
	07132	$R_i = EXP(2.645 - 0.075u_{wnd850} + 0.163\omega_{700} + 0.004R_{i-1})$
	07152	$R_i = EXP(2.211 - 0.181u_{wnd850} + 0.128\omega_{700} + 0.013R_{i-1})$
	07282	$R_i = EXP(2.121 - 0.217u_{wnd850} + 0.229\omega_{700} + 0.009R_{i-1})$
4	17042	$R_i = EXP(2.663 - 0.051u_{wnd850} + 0.110\omega_{700} + 0.004R_{i-1})$
	07013	$R_i = EXP(2.153 + 0.262pr_{at} + 0.004R_{i-1} - 0.133u_{wnd850})$
5	17022	$R_i = EXP(2.150 + 0.187pr_{at} + 0.005R_{i-1} - 0.209u_{wnd850})$
	07082	$R_i = EXP(2.757 + 0.138pr_{at} - 0.097u_{wnd850} + 0.001air_{30})$
6	17012	$R_i = EXP(2.523 + 0.196pr_{at} - 0.115u_{wnd850} + 0.053air_{30})$
	07112	$R_i = EXP(1.963 + 0.194\omega_{500} + 0.482tc_{dc} - 0.105u_{wnd850})$
7	07052	$R_i = EXP(2.019 + 0.213\omega_{500} + 0.420tc_{dc} - 0.113u_{wnd850})$
	17032	$R_i = EXP(2.303 + 0.120\omega_{700} + 0.274tc_{dc} - 0.125u_{wnd850})$
8	07072	$R_i = EXP(2.284 + 0.117\omega_{500} + 0.404tc_{dc} - 0.222u_{wnd850})$
	07242	$R_i = EXP(2.217 + 0.232\omega_{700} + 0.305rhum_{500} - 0.163u_{wnd850})$
	07292	$R_i = EXP(2.302 + 0.123\omega_{700} + 0.199rhum_{500} - 0.134u_{wnd850})$
	17052	$R_i = EXP(2.274 + 0.163\omega_{700} + 0.105rhum_{500} - 0.194u_{wnd850})$

สำหรับผลการสอบเทียบสมการการถดถอยเพื่อประเมินปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติมีค่าดังนี้ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.998 ค่าดัชนีประสิทธิภาพ (EI) เท่ากับ 96.74% และค่ารากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองสัมพัทธ์ ($Rel.RMSE$) เท่ากับ 13.87% สำหรับในส่วนของผลการตรวจพิสูจน์พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติมีค่าดังนี้คือ r เท่ากับ 0.981, EI เท่ากับ 86.83% และ $Rel.RMSE$ เท่ากับ 26.96%

สำหรับผลการสอบเทียบสมการการถดถอยเพื่อประเมินจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติมีค่าดังนี้คือ r เท่ากับ 0.983, EI เท่ากับ 53.39% และ $Rel.RMSE$ เท่ากับ 37.55% สำหรับในส่วนของผลการตรวจพิสูจน์พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติมีค่าดังนี้คือ r เท่ากับ 0.972, EI เท่ากับ 48.86% และ $Rel.RMSE$ เท่ากับ 54.47%

สำหรับผลการสอบเทียบสมการการถดถอยเพื่อประเมินจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติมีค่าดังนี้คือ r เท่ากับ 0.995, EI เท่ากับ 55.56% และ $Rel.RMSE$ เท่ากับ 51.98% สำหรับในส่วนของผลการตรวจพิสูจน์พบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติมีค่าดังนี้คือ r เท่ากับ 0.972, EI เท่ากับ 48.86% และ $Rel.RMSE$ เท่ากับ 54.47%

สำหรับรายละเอียดของค่าตัวแปรทางสถิติในช่วงของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์สมการการถดถอยสำหรับสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 22 สถานี เพื่อประเมินจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน และ จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน แสดงดังในตารางที่ 21 ถึงตารางที่ 24 ตามลำดับ

ตารางที่ 21 ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละสถานีวิัดน้ำฝนที่ศึกษา

ลำดับ ที่	สถานี	ช่วงของการสอบเทียบ			ช่วงของการตรวจพิสูจน์		
		<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)	<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)
1	07013	0.999	98.030	10.883	0.994	97.264	12.873
2	07052	0.998	97.312	12.758	0.980	60.394	54.940
3	07072	0.997	96.807	14.089	0.989	96.309	14.765
4	07082	0.994	93.610	20.795	0.973	88.415	27.646
5	07092	0.999	97.801	11.115	0.988	95.815	15.686
6	07112	0.999	97.098	14.020	0.984	93.445	21.938
7	07122	0.998	96.661	14.780	0.981	93.503	20.458
8	07132	0.998	96.966	14.367	0.986	88.046	27.294
9	07142	0.997	96.295	15.564	0.977	92.013	23.482
10	07152	1.000	97.811	13.716	0.985	93.220	27.116
11	07182	0.997	94.313	17.908	0.983	72.465	39.028
12	07192	0.999	96.475	14.074	0.960	78.727	38.806
13	07242	0.999	99.050	7.595	0.994	96.936	14.238
14	07252	1.000	98.583	9.966	0.997	95.626	16.739
15	07262	0.999	98.465	9.826	0.991	95.318	17.513
16	07282	1.000	97.618	12.084	0.985	91.161	23.247
17	07292	0.998	95.672	15.921	0.978	85.377	29.419
18	17012	0.995	95.080	17.110	0.974	91.496	23.390
19	17022	0.999	97.780	10.742	0.969	43.833	60.520
20	17032	0.998	94.846	16.813	0.964	88.361	26.736
21	17042	0.999	95.958	15.882	0.970	82.851	32.470
22	17052	0.998	96.095	15.131	0.970	89.595	24.740
	เฉลี่ย	0.998	96.742	13.870	0.981	86.826	26.957

ตารางที่ 22 ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละ
สถานีวิัดน้ำฝนที่ศึกษา

ลำดับ ที่	สถานี	ช่วงของการสอบเทียบ			ช่วงของการตรวจพิสูจน์		
		<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)	<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)
1	07013	1.000	99.987	0.953	0.980	93.701	19.733
2	07052	1.000	99.985	1.048	0.989	92.414	23.920
3	07072	1.000	99.993	0.687	0.982	90.439	24.430
4	07082	1.000	99.967	1.527	0.962	80.093	36.040
5	07092	1.000	99.976	1.210	0.977	90.967	23.863
6	07112	1.000	99.985	1.064	0.973	94.098	20.766
7	07122	1.000	99.993	0.705	0.980	95.017	18.174
8	07132	1.000	99.972	1.417	0.977	91.068	23.060
9	07142	1.000	99.985	1.016	0.970	93.435	23.030
10	07152	1.000	99.988	0.956	0.976	84.577	40.527
11	07182	1.000	99.982	1.048	0.984	96.827	14.280
12	07192	1.000	99.990	0.808	0.892	52.354	62.891
13	07242	1.000	99.952	1.799	0.985	96.053	16.083
14	07252	1.000	99.984	1.124	0.986	96.919	14.456
15	07262	1.000	99.994	0.665	0.981	96.059	16.466
16	07282	1.000	99.994	0.660	0.979	93.265	21.543
17	07292	1.000	99.971	1.369	0.975	94.963	18.146
18	17012	1.000	99.990	0.811	0.989	92.089	23.398
19	17022	1.000	99.995	0.530	0.960	82.600	36.501
20	17032	1.000	99.984	0.976	0.972	93.450	22.621
21	17042	1.000	99.969	1.408	0.981	94.721	19.068
22	17052	1.000	99.985	1.001	0.959	91.934	23.881
	เฉลี่ย	1.000	99.983	1.036	0.973	90.320	24.676

ตารางที่ 23 ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการคำนวณสเกลข้อมูลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละสถานีวิัดน้ำฝนที่ศึกษา

ลำดับที่	สถานี	ช่วงของการสอบเทียบ			ช่วงของการตรวจพิสูจน์		
		<i>r</i>	<i>Rel.</i>		<i>r</i>	<i>Rel.</i>	
			<i>EI</i> (%)	<i>RMSE</i> (%)		<i>EI</i> (%)	<i>RMSE</i> (%)
1	07013	0.978	62.332	30.310	0.931	59.585	29.603
2	07052	0.974	55.596	32.532	0.931	71.413	27.815
3	07072	0.970	59.108	30.180	0.907	57.461	33.225
4	07082	0.981	55.408	39.835	0.925	52.783	33.280
5	07092	0.985	59.738	32.007	0.938	53.496	33.307
6	07112	0.989	51.024	38.499	0.950	73.738	27.883
7	07122	0.989	48.558	36.771	0.944	49.220	33.866
8	07132	0.977	45.375	47.510	0.944	31.544	38.897
9	07142	0.991	48.032	39.590	0.938	31.496	51.729
10	07152	0.985	26.378	75.273	0.971	71.560	48.381
11	07182	0.979	54.388	32.740	0.945	9.681	39.988
12	07192	0.986	44.217	37.101	0.917	56.564	37.916
13	07242	0.991	68.147	35.728	0.950	51.288	43.768
14	07252	0.980	58.036	43.483	0.960	48.443	35.199
15	07262	0.978	57.600	39.239	0.930	48.112	43.579
16	07282	0.982	46.057	41.965	0.957	11.760	55.056
17	07292	0.983	52.935	33.261	0.945	27.637	40.158
18	17012	0.981	56.209	34.157	0.945	57.682	34.030
19	17022	0.985	60.933	29.780	0.945	69.891	33.963
20	17032	0.980	49.973	32.959	0.934	39.028	35.489
21	17042	0.994	59.030	30.828	0.912	26.586	40.842
22	17052	0.993	55.409	32.237	0.881	25.628	39.749
	เฉลี่ย	0.983	53.386	37.545	0.936	46.573	38.078

ตารางที่ 24 ค่าของตัวแปรทางสถิติที่เป็นผลจากการคำนวณสเกลข้อมูลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่อง
เฉลี่ยรายเดือนในแต่ละสถานีวิัดน้ำฝนที่ศึกษา

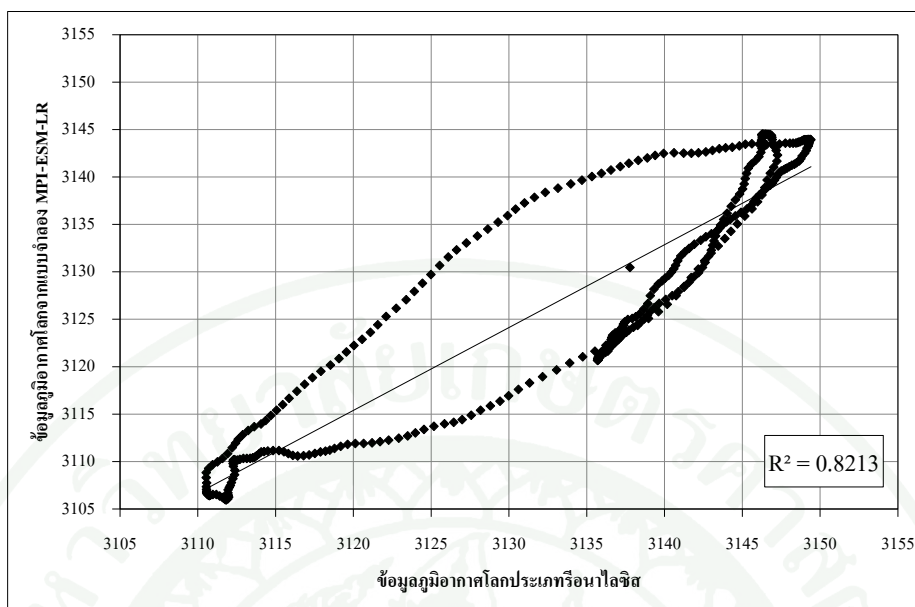
ลำดับ ที่	สถานี	ช่วงของการสอบเทียบ			ช่วงของการตรวจพิสูจน์		
		<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)	<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)
1	07013	0.997	62.149	52.496	0.983	59.455	54.409
2	07052	0.995	57.879	50.876	0.983	16.227	64.867
3	07072	0.994	64.140	46.356	0.970	52.671	54.260
4	07082	0.994	55.290	41.840	0.971	59.910	40.141
5	07092	0.998	59.512	53.063	0.953	26.747	56.752
6	07112	0.998	53.178	53.402	0.995	43.686	57.902
7	07122	0.995	60.679	49.631	0.973	56.150	54.672
8	07132	0.995	38.777	60.658	0.983	69.479	45.477
9	07142	0.995	51.438	55.237	0.977	54.738	54.242
10	07152	0.998	54.747	50.904	0.982	32.704	60.579
11	07182	0.995	49.913	49.000	0.973	70.423	39.909
12	07192	0.996	51.906	56.181	0.937	9.917	67.478
13	07242	0.998	59.761	56.069	0.967	53.753	60.101
14	07252	0.997	59.546	53.390	0.994	64.787	50.154
15	07262	0.996	53.107	59.514	0.980	56.812	57.453
16	07282	0.994	45.853	60.106	0.971	45.840	61.869
17	07292	0.995	54.929	49.427	0.982	62.527	47.679
18	17012	0.992	54.744	47.294	0.972	48.555	51.919
19	17022	0.999	65.236	52.580	0.934	15.061	70.952
20	17032	0.992	55.334	47.607	0.983	48.031	50.930
21	17042	0.993	57.855	47.216	0.965	69.665	45.449
22	17052	0.994	56.330	50.600	0.958	57.781	51.117
	เฉลี่ย	0.995	55.559	51.975	0.972	48.860	54.469

3. การปรับชุดข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ให้เข้ากับข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีนาไลซิส

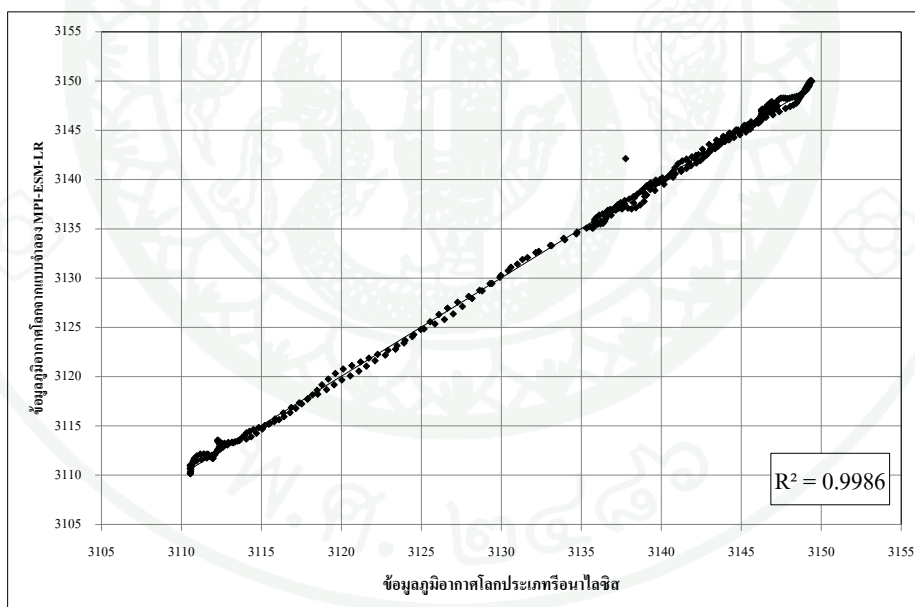
การศึกษานี้ได้ดำเนินการปรับชุดข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ให้เข้ากับข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีนาไลซิส โดยใช้วิธี NBC ซึ่งดำเนินการทั้งข้อมูลในอดีต (ค.ศ. 1960-2005) และข้อมูลในอนาคต (ค.ศ. 2006-2100) ในที่นี้ขอยกตัวอย่างการปรับชุดข้อมูลศักยภาพความสูงทางภูมิศาสตร์ที่ระดับความดันบรรยากาศ 700 มิลลิบาร์ ซึ่งตัวแปรจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ใช้สัญลักษณ์ *zg70000* และตัวแปรประเภทรีนาไลซิสใช้สัญลักษณ์ *hgt700* โดยความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเฉลี่ยรายวันในรอบ 365 วัน ก่อนการปรับแก้และภายหลังการปรับแก้แสดงในภาพที่ 18 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ภายหลังการปรับแก้แล้วข้อมูลทั้งสองประเภทมีความสอดคล้องกันมาก

4. ผลการดาวน์โหลดตัวแปรภูมิอากาศโลกในอดีตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR เพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝน

ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอดีตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ระหว่างปี ค.ศ.1960-2005 ที่ผ่านการปรับชุดข้อมูลและการนอร์มัลไลซ์แล้ว ได้ถูกนำมาประยุกต์กับสมการการถดถอยที่สร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีนาไลซิสเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนสำหรับเหตุการณ์ในอดีต จากนั้นจึงนำผลการดาวน์โหลดจากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศในอดีตทั้งสองประเภทมาเปรียบเทียบความสอดคล้องกัน โดยการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงในภาคผนวกที่ 3 และสำหรับค่าตัวแปรทางสถิติเพื่อประเมินผลการเปรียบเทียบการดาวน์โหลดตัวแปรทั้งสองประเภทในแต่ละสถานีวัดน้ำฝนแสดงดังในตารางที่ 25 (สำหรับจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนและปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน) และตารางที่ 26 (สำหรับจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน) จากตารางทั้ง 2 ตาราง ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ผลการดาวน์โหลดทั้งในกรณีของจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน และ จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน นั้น นับว่ามีความสอดคล้องกันมาก โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเข้าใกล้ 1 ค่าดัชนีประสิทธิภาพ (EF) มีค่าเข้าใกล้ 100% และค่ารากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองสัมพัทธ์ ($Rel.RMSE$) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น แพคเคจการปรับแก้ข้อมูลในอดีตสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการปรับแก้ตัวแปรภูมิอากาศสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตได้



ก. ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเฉลี่ยรายวันในรอบ 365 วัน ก่อนการปรับแก้



ข. ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเฉลี่ยรายวันในรอบ 365 วัน ภายหลังการปรับแก้

ภาพที่ 18 ผลการปรับแก้ข้อมูลศักระยะความสูงทางภูมิศาสตร์ที่ระดับความดันบรรยากาศ 700 มิลลิบาร์ของตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลองภูมิอากาศ MPI-ESM-LR ให้เข้ากับตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิส

ตารางที่ 25 ค่าของตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนและปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนโดยข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR และข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีรีนาไลซิสในแต่ละสถานีวิัดน้ำฝนที่ศึกษา

ลำดับ ที่	สถานี	จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน			ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน		
		<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i>	<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i>
				<i>RMSE</i> (%)			<i>RMSE</i> (%)
1	07013	1.000	99.981	0.923	1.000	99.963	1.633
2	07052	0.999	99.822	2.781	0.999	99.610	5.436
3	07072	1.000	99.924	1.835	1.000	99.916	2.407
4	07082	0.998	99.450	4.649	0.998	99.513	5.891
5	07092	1.000	99.934	1.641	1.000	99.865	2.871
6	07112	1.000	99.963	1.311	1.000	99.958	1.806
7	07122	1.000	99.968	1.190	1.000	99.979	1.206
8	07132	1.000	99.925	1.884	1.000	99.938	2.121
9	07142	1.000	99.938	1.666	1.000	99.975	1.318
10	07152	1.000	99.957	1.668	0.999	99.813	3.848
11	07182	1.000	99.938	1.450	0.999	99.858	3.023
12	07192	1.000	99.977	0.946	1.000	99.962	1.571
13	07242	1.000	99.982	0.954	1.000	99.946	1.934
14	07252	1.000	99.955	1.549	1.000	99.826	3.670
15	07262	1.000	99.970	1.224	1.000	99.921	2.367
16	07282	1.000	99.901	2.093	1.000	99.800	3.756
17	07292	1.000	99.950	1.373	1.000	99.953	1.753
18	17012	1.000	99.945	1.430	1.000	99.939	2.027
19	17022	1.000	99.985	0.768	1.000	99.966	1.458
20	17032	1.000	99.953	1.263	1.000	99.951	1.741
21	17042	1.000	99.954	1.366	1.000	99.925	2.185
22	17052	1.000	99.964	1.182	1.000	99.919	2.303
	เฉลี่ย	1.000	99.924	1.598	1.000	99.886	2.560

ตารางที่ 26 ค่าของตัวแปรทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตก ต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน โดยข้อมูลภูมิอากาศ โลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR และข้อมูลภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสในแต่ละ สถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา

ลำดับ ที่	สถานี	จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน			จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน		
		<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)	<i>r</i>	<i>EI</i> (%)	<i>Rel.</i> <i>RMSE</i> (%)
1	07013	1.000	99.889	1.129	1.000	99.861	2.798
2	07052	0.999	99.566	1.853	0.999	99.804	3.000
3	07072	0.999	99.817	1.078	0.999	99.892	2.176
4	07082	0.995	99.057	2.147	0.998	99.535	3.753
5	07092	1.000	99.842	1.106	1.000	99.974	1.171
6	07112	0.999	99.854	1.169	0.999	99.858	2.640
7	07122	1.000	99.812	1.285	1.000	99.836	3.029
8	07132	1.000	99.912	0.865	1.000	99.964	1.314
9	07142	0.999	99.675	1.713	1.000	99.950	1.698
10	07152	0.999	99.723	2.217	0.999	99.831	3.068
11	07182	0.999	99.715	1.082	0.999	99.812	2.588
12	07192	0.999	99.873	0.959	0.999	99.813	3.043
13	07242	1.000	99.936	1.200	1.000	99.870	2.885
14	07252	1.000	99.917	1.129	1.000	99.898	2.456
15	07262	1.000	99.946	0.897	0.999	99.877	2.707
16	07282	0.999	99.747	1.540	0.999	99.791	3.219
17	07292	0.999	99.781	1.083	0.999	99.861	2.475
18	17012	0.999	99.719	1.097	1.000	99.910	1.760
19	17022	1.000	99.855	1.133	1.000	99.930	2.047
20	17032	1.000	99.910	0.628	1.000	99.908	1.897
21	17042	1.000	99.871	0.871	1.000	99.946	1.550
22	17052	0.999	99.842	1.022	1.000	99.927	1.859
	เฉลี่ย	0.999	99.785	1.236	0.999	99.866	2.415

5. ผลการดาวนัสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเพื่อประเมินการเกิดฝนในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ

ผลการดาวนัสเกลตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ในอนาคต (ค.ศ.2006-2100) สำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 เพื่อประเมินจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน และ จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน แสดงในตารางที่ 27 ถึง ตารางที่ 30 ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดของผลการดาวนัสเกลแสดงในภาคผนวกที่ 4 จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวนัสเกลสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตเทียบกับผลการดาวนัสเกลในอดีต โดยรายละเอียดการเปรียบเทียบของผลการดาวนัสเกลในแต่ละส่วนสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

1. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต จำนวน 6 สถานี คือ สถานีวัดน้ำฝน 07082, 07132, 17012, 07262, 07242 และ 07052 โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การลดลงในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายนถึงเมษายน) คิดเป็น 11.84%, 13.82% และ 20.44% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝน(พฤษภาคมถึงตุลาคม) คิดเป็น 2.84%, 3.53% และ 5.32% ตามลำดับ และการลดลงรายปีคิดเป็น 4.43%, 5.35% และ 7.99% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการดาวนัสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 6 สถานี แสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 27 ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน โดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ

หน่วย: วัน

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07013	20.2	20.2	20.7	21.5	86.8	87.4	88	88.8	107	107.5	108.7	110.4
2	07052	16.9	15.5	15.4	14.8	73.4	72.2	72	71.3	90.3	87.6	87.4	86.1
3	07072	14.4	14.8	15.2	15.5	62.3	61.8	61.6	61.1	76.7	76.6	76.8	76.7
4	07082	10.5	7.9	7.2	5.5	40	36.5	35.3	32.3	50.5	44.4	42.5	37.8
5	07092	18.7	16.9	16.8	15.9	78	75.5	75.5	75.2	96.7	92.3	92.3	91.1
6	07112	17	16.6	16.9	17.6	76.8	76.6	77.4	78	93.8	93.2	94.3	95.6
7	07122	17.4	17.7	18	17.8	77.2	79.4	79.9	80	94.6	97.1	97.9	97.8
8	07132	16.3	11.4	10.6	8.5	71.2	64.9	63.6	59.9	87.4	76.3	74.2	68.4
9	07142	16.9	17.1	18	18.3	76.8	81	81.7	82.3	93.7	98.2	99.7	100.5
10	07152	12.5	11.9	12.4	13.3	84.2	84.6	85.4	86.5	96.7	96.6	97.8	99.8
11	07182	14.1	12	11.8	10.8	47.7	45.7	45.7	44.9	61.9	57.7	57.5	55.7
12	07192	20	18.7	18.7	18.5	78.5	77.9	78	78.2	98.6	96.6	96.8	96.8
13	07242	22.3	18.9	18.1	16	107.7	103.4	102.1	99.3	130	122.3	120.2	115.3

ตารางที่ 27 (ต่อ)

หน่วย: วัน

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
14	07252	17.5	17.1	17.1	18.3	92.7	90.9	91.7	92.3	110.2	108	108.8	110.7
15	07262	19.7	16	15.2	12.9	94.9	89.7	88.3	85.1	114.6	105.6	103.5	98
16	07282	18.8	17	17.2	17.4	85.4	81.3	81.8	82.1	104.3	98.3	99	99.5
17	07292	16.4	15.4	15.4	14.4	62.3	62.4	62.4	61.9	78.7	77.9	77.7	76.4
18	17012	13.2	9.9	9.3	7.3	50.6	46.8	45.8	42.9	63.8	56.8	55.1	50.2
19	17022	21.4	21	21.1	20.8	85.6	87.4	87.6	87.5	107	108.4	108.7	108.3
20	17032	16	15	15.3	14.6	56.2	56.1	56.2	56.2	72.3	71.2	71.5	70.8
21	17042	14.1	13.3	13.1	12.5	58.8	60.3	60.3	60.1	72.9	73.6	73.4	72.6
22	17052	17.3	16.7	16.7	16.6	66.6	67.5	67.6	67.7	83.8	84.2	84.2	84.2

ตารางที่ 28 ผลการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ

หน่วย: มิลลิเมตร

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07013	141.8	137.5	148.6	151.8	1044.8	1039.9	1062.6	1118.5	1186.7	1177.4	1211.3	1270.3
2	07052	136.8	121.7	121.0	115.0	1012.2	965.2	968.9	960.6	1149.0	1086.9	1089.9	1075.6
3	07072	133.0	132.5	135.0	137.1	967.5	959.4	959.9	960.1	1100.5	1091.9	1094.9	1097.1
4	07082	110.2	83.2	78.3	60.4	795.2	710.0	692.4	643.5	905.4	793.2	770.7	703.8
5	07092	155.5	134.6	133.9	126.4	867.4	798.5	806.0	787.7	1022.9	933.2	939.9	914.0
6	07112	109.1	99.2	103.3	102.5	1017.9	953.1	961.9	976.8	1127.0	1052.3	1065.2	1079.3
7	07122	134.9	138.3	137.7	135.9	1001.0	1014.5	1029.2	1040.2	1135.8	1152.8	1166.9	1176.1
8	07132	149.0	102.9	95.4	79.1	1181.0	1064.0	1040.3	991.8	1329.9	1166.9	1135.7	1070.9
9	07142	129.8	131.8	135.7	136.5	1128.7	1159.2	1175.9	1184.6	1258.5	1290.9	1311.6	1321.1
10	07152	84.8	78.5	80.1	84.5	941.1	901.6	913.6	903.4	1025.9	980.1	993.7	987.9
11	07182	138.9	116.7	115.2	105.5	763.0	726.9	731.4	717.6	901.9	843.6	846.6	823.1
12	07192	143.7	133.5	133.3	131.1	885.0	873.7	882.1	885.2	1028.6	1007.2	1015.3	1016.3
13	07242	187.9	151.9	144.6	131.4	1466.3	1359.1	1368.4	1366.6	1654.2	1511.1	1513.0	1497.9

ตารางที่ 28 (ต่อ)

หน่วย: มิลลิเมตร

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
14	07252	137.8	132.6	135.5	137.9	1349.5	1293.5	1324.8	1354.0	1487.3	1426.0	1460.3	1491.9
15	07262	188.8	150.0	142.0	122.6	1566.6	1403.0	1381.6	1316.6	1755.4	1553.0	1523.6	1439.2
16	07282	121.1	102.9	103.7	102.1	912.8	832.0	854.8	842.1	1033.8	934.8	958.5	944.3
17	07292	128.3	117.9	117.0	112.0	865.6	844.3	848.8	849.8	993.9	962.2	965.8	961.8
18	17012	118.6	85.7	79.6	63.7	863.3	752.0	735.6	687.6	981.9	837.7	815.2	751.4
19	17022	156.2	154.3	159.0	154.0	945.1	960.3	956.7	957.6	1101.3	1114.6	1115.6	1111.6
20	17032	133.2	123.0	123.9	116.6	835.5	802.8	808.0	800.3	968.7	925.8	931.8	916.9
21	17042	135.1	129.3	126.3	122.3	1019.6	1025.7	1034.2	1027.5	1154.8	1155.0	1160.5	1149.8
22	17052	145.6	139.4	138.0	137.5	829.4	844.3	849.7	859.1	974.9	983.6	987.7	996.7

ตารางที่ 29 ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ

หน่วย: วัน

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07013	1.1	1.1	1.1	1.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.6
2	07052	1.0	1.0	1.0	0.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.3
3	07072	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3
4	07082	0.9	0.7	0.7	0.6	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9
5	07092	1.0	1.0	1.0	1.0	1.8	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.4	1.4
6	07112	1.0	1.0	1.0	1.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.4	1.4	1.4	1.4
7	07122	1.0	1.0	1.0	1.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.4	1.4	1.4	1.4
8	07132	1.0	0.9	0.8	0.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.4	1.2	1.2	1.1
9	07142	1.0	1.0	1.0	1.0	1.8	1.8	1.9	1.9	1.4	1.4	1.4	1.5
10	07152	0.9	0.9	0.9	0.9	2.0	2.1	2.1	2.1	1.5	1.5	1.5	1.5
11	07182	1.0	0.9	0.9	0.8	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1
12	07192	1.1	1.1	1.1	1.1	1.8	1.8	1.8	1.8	1.4	1.4	1.4	1.4
13	07242	1.1	1.0	1.0	1.0	2.6	2.5	2.4	2.4	1.9	1.8	1.7	1.7

ตารางที่ 29 (ต่อ)

หน่วย: วัน

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
14	07252	1.0	1.0	1.0	1.1	2.2	2.1	2.1	2.1	1.6	1.6	1.6	1.6
15	07262	1.1	1.0	1.0	0.8	2.2	2.1	2.0	2.0	1.6	1.5	1.5	1.4
16	07282	1.1	1.0	1.0	1.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.5	1.4	1.5	1.5
17	07292	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.6	1.6	1.6	1.3	1.3	1.3	1.3
18	17012	1.0	0.8	0.8	0.7	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0
19	17022	1.1	1.1	1.1	1.1	1.9	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
20	17032	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	1.2
21	17042	1.0	0.9	0.9	0.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	1.2
22	17052	1.0	1.0	1.0	1.0	1.6	1.6	1.6	1.6	1.3	1.3	1.3	1.3

ตารางที่ 30 ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่าง ๆ

หน่วย: วัน

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07013	10.2	10.1	9.9	9.5	2.2	2.2	2.2	2.2	6.2	6.2	6.1	5.9
2	07052	11.6	12.4	12.5	13.2	2.8	2.8	2.9	2.9	7.2	7.6	7.7	8.1
3	07072	12.5	12.1	11.8	11.8	3.1	3.1	3.1	3.2	7.8	7.6	7.5	7.5
4	07082	15.0	17.7	18.4	20.9	4.8	5.3	5.5	6.1	9.9	11.5	11.9	13.5
5	07092	10.8	11.5	11.5	12.2	2.4	2.5	2.5	2.5	6.6	7.0	7.0	7.3
6	07112	11.2	11.2	11.0	10.6	2.6	2.6	2.5	2.5	6.9	6.9	6.8	6.6
7	07122	11.6	11.5	11.3	11.4	2.5	2.4	2.4	2.4	7.0	6.9	6.8	6.9
8	07132	12.0	14.8	15.6	18.1	2.8	3.1	3.2	3.4	7.4	8.9	9.4	10.7
9	07142	11.9	11.8	11.2	11.0	2.5	2.4	2.3	2.3	7.2	7.1	6.8	6.7
10	07152	13.8	14.1	13.7	13.1	2.5	2.5	2.5	2.4	8.2	8.3	8.1	7.7
11	07182	12.7	14.1	14.2	15.3	4.0	4.1	4.1	4.2	8.3	9.1	9.2	9.7
12	07192	10.0	10.4	10.3	10.5	2.4	2.4	2.4	2.4	6.2	6.4	6.4	6.4
13	07242	9.6	11.1	11.4	13.1	1.8	1.9	1.9	2.0	5.7	6.5	6.7	7.5

ตารางที่ 30 (ต่อ)

หน่วย: วัน

ลำดับ ที่	สถานี	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี					
		MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	MPI- ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
14	07252	11.3	11.2	11.2	10.5	2.1	2.1	2.1	2.1	6.7	6.7	6.7	6.3
15	07262	10.6	12.6	13.2	15.4	2.1	2.2	2.2	2.4	6.3	7.4	7.7	8.9
16	07282	10.4	10.8	10.8	10.6	2.3	2.4	2.3	2.3	6.3	6.6	6.6	6.5
17	07292	11.6	12.2	12.2	13.0	3.0	3.0	3.0	3.1	7.3	7.6	7.6	8.0
18	17012	12.9	15.4	16.2	18.7	3.8	4.1	4.1	4.5	8.3	9.7	10.2	11.6
19	17022	10.0	10.1	10.0	10.2	2.2	2.1	2.1	2.1	6.1	6.1	6.1	6.2
20	17032	11.6	12.2	12.1	12.5	3.4	3.4	3.4	3.4	7.5	7.8	7.7	7.9
21	17042	12.8	13.4	13.6	14.2	3.2	3.1	3.1	3.1	8.0	8.3	8.4	8.7
22	17052	11.3	11.5	11.5	11.6	2.9	2.9	2.8	2.8	7.1	7.2	7.2	7.2

ตารางที่ 31 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้
ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 6 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานี วัด น้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07082	-25.07	-31.11	-47.36	-8.75	-11.87	-19.43	-12.14	-15.87	-25.23
2	07132	-29.95	-34.85	-47.88	-8.76	-10.67	-15.8	-12.71	-15.17	-21.77
3	17012	-24.41	-29.47	-44.66	-7.56	-9.62	-15.26	-11.03	-13.71	-21.32
4	07262	-18.77	-22.8	-34.46	-5.5	-6.93	-10.31	-7.78	-9.65	-14.45
5	07242	-15.04	-18.55	-28.26	-4	-5.21	-7.78	-5.89	-7.5	-11.29
6	07052	-8.59	-9.1	-12.61	-1.67	-1.85	-2.87	-2.97	-3.21	-4.69
	เฉลี่ย	-11.81	-13.82	-20.44	-2.84	-3.53	-5.32	-4.43	-5.35	-7.99

2. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต จำนวน 3 สถานี คือ สถานีวัดน้ำฝน 07142, 07122 และ 07013 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 1.16%, 3.94% และ 5.65% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 3.01%, 3.75% และ 4.38% ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นรายปีคิดเป็น 2.64%, 3.79% และ 4.62% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 3 สถานี แสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้
ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 3 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานี วัด น้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07082	0.28	2.21	6.59	0.69	1.43	2.38	0.51	1.58	3.18
2	07132	1.75	3.38	2.31	2.86	3.44	3.64	2.66	3.43	3.39
3	17012	1.44	6.23	8.03	5.49	6.39	7.12	4.76	6.36	7.28
	เฉลี่ย	1.16	3.94	5.65	3.01	3.75	4.38	2.64	3.79	4.62

3. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอน โดยไม่เป็นไปตามลำดับของสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ มีจำนวนทั้งสิ้น 13 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07182, 07092, 07072, 07112, 07152, 07192, 07252, 07282, 07292, 17022, 17032, 17042 และ 17052 อย่างไรก็ตาม จากผลการดาวน์โหลดสเกลสำหรับเหตุการณ์ในอนาคต พบว่า จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนในอนาคตโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในอดีต โดยมีการลดลงในช่วงฤดูแล้งโดยเฉลี่ยทั้ง 13 สถานี คิดเป็น 5.43%, 4.80% และ 5.42% ตามลำดับ ฤดูฝนลดลงเฉลี่ย 0.74%, 0.45% และ 0.47% ตามลำดับ และรายปีลดลงเฉลี่ย 1.67%, 1.34% และ 1.55% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 13 สถานี แสดงดังในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 13 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานี วัด น้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07182	-14.89	-16.24	-23.68	-4.30	-4.22	-5.86	-6.72	-6.97	-9.93
2	07092	-9.78	-10.28	-14.89	-3.21	-3.17	-3.52	-4.48	-4.55	-5.72
3	07072	2.77	5.74	7.95	-0.71	-1.13	-1.83	-0.05	0.16	0.01
4	07112	-2.47	-0.47	3.73	-0.20	0.81	1.56	-0.62	0.58	1.95
5	07152	-4.67	-0.97	5.99	0.49	1.44	2.78	-0.18	1.13	3.19
6	07192	-6.90	-6.62	-7.66	-0.79	-0.60	-0.34	-2.03	-1.82	-1.83
7	07252	-2.01	-1.92	4.99	-1.98	-1.13	-0.42	-1.98	-1.25	0.44
8	07282	-9.46	-8.54	-7.52	-4.85	-4.25	-3.97	-5.68	-5.02	-4.61
9	07292	-5.92	-6.46	-11.98	0.21	0.10	-0.58	-1.07	-1.27	-2.96
10	17022	-1.87	-1.32	-2.90	2.09	2.27	2.21	1.30	1.55	1.19
11	17032	-6.25	-4.94	-9.14	-0.24	-0.02	0.00	-1.57	-1.11	-2.03
12	17042	-6.00	-7.03	-11.37	2.58	2.58	2.26	0.92	0.72	-0.38
13	17052	-3.10	-3.37	-4.03	1.31	1.49	1.65	0.41	0.49	0.48
	เฉลี่ย	-5.43	-4.80	-5.42	-0.74	-0.45	-0.47	-1.67	-1.34	-1.55

5.2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน

1. สถานีวัดน้ำฝนที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต จำนวน 5 สถานี คือ สถานีวัดน้ำฝน 17012, 07082, 07132, 07262 และ 07052 โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การลดลงในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 22.96%, 26.83% และ 37.88% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 9.72%, 11.14% และ 15.30% ตามลำดับ และการลดลงรายปีคิดเป็น 11.26%, 12.96% และ 17.93% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 5 สถานี แสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 5 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานีวัดน้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	17012	-27.75	-32.85	-46.26	-12.90	-14.80	-20.35	-14.69	-16.98	-23.48
2	07082	-24.56	-29.00	-45.24	-10.71	-12.92	-19.08	-12.40	-14.88	-22.26
3	07132	-30.89	-35.93	-46.91	-9.91	-11.92	-16.02	-12.26	-14.60	-19.48
4	07262	-20.55	-24.81	-35.06	-10.45	-11.81	-15.96	-11.53	-13.21	-18.01
5	07052	-11.05	-11.54	-15.93	-4.65	-4.28	-5.10	-5.41	-5.14	-6.39
	เฉลี่ย	-22.96	-26.83	-37.88	-9.72	-11.14	-15.30	-11.26	-12.96	-17.93

2. สถานีวัดน้ำฝนที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต คือ สถานีวัดน้ำฝน 07142 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 1.52%, 4.58% และ 5.20% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 2.70%, 4.18% และ 4.95% ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นรายปีคิดเป็น 2.58%, 4.22% และ 4.98%

3. สถานีวัดน้ำฝนที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนโดยไม่เป็นไปตามลำดับของสถานการณการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ มีจำนวนทั้งสิ้น 16 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07013, 07072, 07092, 07112, 07122, 07152, 07182, 07192, 07242, 07252, 07282, 07292, 17022, 17032, 17042 และ 17052 อย่างไรก็ตาม จากผลการดาวนัสเกลสำหรับเหตุการณ์ในอนาคต พบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคตโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในอดีต โดยมีการลดลงในช่วงฤดูแล้งโดยเฉลี่ยทั้ง 16 สถานี คิดเป็น 7.33%, 6.59% และ 8.39% ตามลำดับ ฤดูฝนลดลงเฉลี่ย 2.95%, 1.95% และ 1.72% ตามลำดับ และรายปีลดลงเฉลี่ย 3.52%, 2.56% และ 2.62% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการดาวนัสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 16 สถานี แสดงดังในตารางที่ 35

5.3 จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

1. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต จำนวน 7 สถานี คือ สถานีวัดน้ำฝน 07082, 07132, 17012, 07262, 07242, 07092 และ 07052 โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยสำหรับสถานการณ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การลดลงในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 8.56%, 11.02% และ 20.40% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 3.76%, 4.65% และ 6.55% ตามลำดับ และการลดลงรายปีคิดเป็น 5.62%, 7.12% และ 11.81% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการดาวนัสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 7 สถานี แสดงในตารางที่ 36

2. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต คือ สถานีวัดน้ำฝน 07142 โดยมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับสถานการณ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 0.18%, 2.16% และ 2.40% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 3.78%, 4.54% และ 5.29% ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นรายปีคิดเป็น 2.48%, 3.68% และ 4.25% ตามลำดับ

ตารางที่ 35 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปร
ภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 16 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานี วัด น้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07013	-3.05	4.79	7.01	-0.48	1.7	7.05	-0.78	2.07	7.05
2	07072	-0.4	1.51	3.05	-0.84	-0.79	-0.77	-0.79	-0.51	-0.31
3	07092	-13.38	-13.89	-18.7	-7.94	-7.08	-9.19	-8.77	-8.11	-10.64
4	07112	-9.11	-5.34	-6.07	-6.36	-5.5	-4.04	-6.63	-5.49	-4.24
5	07122	2.58	2.12	0.74	1.35	2.82	3.92	1.5	2.74	3.55
6	07152	-7.37	-5.47	-0.31	-4.19	-2.92	-4.01	-4.46	-3.13	-3.7
7	07182	-15.98	-17.08	-24.02	-4.74	-4.14	-5.95	-6.47	-6.14	-8.74
8	07192	-7.07	-7.24	-8.78	-1.27	-0.33	0.03	-2.08	-1.29	-1.2
9	07242	-19.12	-23.02	-30.08	-7.31	-6.68	-6.81	-8.65	-8.54	-9.45
10	07252	-3.78	-1.63	0.1	-4.15	-1.83	0.33	-4.12	-1.81	0.31
11	07282	-15.04	-14.32	-15.63	-8.85	-6.35	-7.74	-9.58	-7.28	-8.66
12	07292	-8.14	-8.83	-12.72	-2.46	-1.94	-1.83	-3.19	-2.83	-3.23
13	17022	-1.21	1.78	-1.41	1.61	1.22	1.32	1.21	1.3	0.94
14	17032	-7.65	-6.98	-12.45	-3.92	-3.3	-4.22	-4.43	-3.81	-5.35
15	17042	-4.32	-6.56	-9.47	0.59	1.43	0.77	0.02	0.49	-0.43
16	17052	-4.25	-5.21	-5.5	1.8	2.45	3.59	0.89	1.31	2.23
	เฉลี่ย	-7.33	-6.59	-8.39	-2.95	-1.95	-1.72	-3.52	-2.56	-2.62

ตารางที่ 36 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 7 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานีวัดน้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07082	-14.00	-18.43	-34.75	-2.37	-3.32	-5.29	-7.01	-9.36	-17.05
2	07132	-14.03	-17.85	-30.80	-5.22	-6.32	-8.82	-8.49	-10.60	-16.97
3	17012	-11.17	-15.14	-28.63	-2.79	-3.54	-5.49	-6.17	-8.22	-14.82
4	07262	-8.12	-10.87	-20.88	-5.56	-7.12	-9.95	-6.40	-8.35	-13.53
5	07242	-5.04	-6.54	-13.26	-6.30	-7.86	-11.03	-5.93	-7.47	-11.69
6	07092	-3.84	-3.93	-6.69	-2.78	-3.00	-3.33	-3.17	-3.34	-4.57
7	07052	-3.75	-4.41	-7.80	-1.31	-1.40	-1.91	-2.20	-2.50	-4.05
	เฉลี่ย	-8.56	-11.02	-20.40	-3.76	-4.65	-6.55	-5.62	-7.12	-11.81

3. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือนเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนโดยไม่เป็นไปตามลำดับของสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ มีจำนวนทั้งสิ้น 14 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07013, 07072, 07112, 07122, 07152, 07182, 07192, 07252, 07282, 07292, 17022, 17032, 17042 และ 17052 อย่างไรก็ตาม จากผลการคำนวณสเกลสำหรับเหตุการณ์ในอนาคต พบว่า จำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคตโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในอดีต โดยมีการลดลงในช่วงฤดูแล้งโดยเฉลี่ยทั้ง 14 สถานี คิดเป็น 1.49%, 1.28% และ 1.59% ตามลำดับ ฤดูฝนลดลง 0.09% เพิ่มขึ้น 0.27% และ 0.52% ตามลำดับ และรายปีลดลงเฉลี่ย 0.63%, 0.32% และ 0.31% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 14 สถานี แสดงในตารางที่ 37

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน
ที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 14 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานี วัด น้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07013	-0.79	-0.22	1.36	0.40	1.58	2.67	-0.02	0.95	2.21
2	07072	1.23	2.73	2.45	-0.37	-0.80	-1.12	0.25	0.55	0.25
3	07112	-1.03	-0.28	1.36	-0.12	0.48	1.06	-0.45	0.20	1.17
4	07122	0.73	1.47	1.10	1.72	2.30	2.58	1.36	2.00	2.04
5	07152	-1.89	-0.41	2.57	2.12	3.06	4.77	0.86	1.97	4.08
6	07182	-6.15	-7.30	-11.94	-1.81	-1.66	-2.28	-3.59	-3.98	-6.26
7	07192	-1.96	-1.79	-2.15	-0.35	-0.16	-0.09	-0.95	-0.77	-0.86
8	07252	-0.03	-0.60	1.95	-2.16	-1.41	-0.58	-1.47	-1.15	0.24
9	07282	-2.85	-2.43	-2.32	-4.80	-4.44	-4.07	-4.11	-3.73	-3.45
10	07292	-1.75	-2.01	-5.05	0.13	0.23	0.14	-0.61	-0.65	-1.91
11	17022	-0.53	-0.17	-0.94	2.32	2.23	2.16	1.29	1.36	1.04
12	17032	-2.30	-1.94	-3.41	-0.30	0.01	-0.29	-1.11	-0.78	-1.55
13	17042	-3.03	-3.96	-6.19	1.29	1.53	1.21	-0.40	-0.62	-1.68
14	17052	-0.55	-0.98	-0.98	0.65	0.87	1.13	0.19	0.16	0.31
	เฉลี่ย	-1.49	-1.28	-1.59	-0.09	0.27	0.52	-0.63	-0.32	-0.31

5.4 จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

1. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต จำนวน 3 สถานี คือ สถานีวัดน้ำฝน 07142, 07013 และ 07112 โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การลดลงในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 0.35%, 3.17% และ 6.28% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 2.64%, 3.42% และ 4.15% ตามลำดับ และการลดลงรายปีคิดเป็น 0.75%, 3.21% และ 5.89% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 3 สถานี แสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 เปร้ชี้้นค้ความแตกต่างระหว่างผลการควาน้สเกลจ้ำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนที่ไ้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคดเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 3 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานีวัดน้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07082	-0.76	-5.34	-7.18	-6.13	-6.91	-7.54	-1.70	-5.61	-7.25
2	07132	-0.20	-2.25	-6.33	-1.11	-1.43	-2.27	-0.37	-2.10	-5.59
3	17012	-0.07	-1.90	-5.32	-0.68	-1.92	-2.64	-0.19	-1.91	-4.82
	เฉลี่ย	-0.35	-3.17	-6.28	-2.64	-3.42	-4.15	-0.75	-3.21	-5.89

2. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจ้ำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคดมีค่าเพิ่มข้้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต จ้ำนวน 6 สถานี ค้ือ สถานีวัดน้ำฝน 07132, 07262, 17012, 07082, 07242 และ 07052 โดยมีค่าเพิ่มข้้นสำหรับสถานการณ้ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ค้ิงน้ีค้ือ การเพิ่มข้้นในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 17.15%, 21.80% และ 38.65% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 6.80%, 9.02% และ 15.75 ตามลำดับ และการเพิ่มข้้นรายปีคิดเป็น 15.15%, 19.35% และ 34.30% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการควาน้สเกลจ้ำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนท้ัง 6 สถานี แสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการดาวนัสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 6 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานีวัดน้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07132	23.57	30.67	51.15	9.78	12.59	21.55	20.95	27.24	45.52
2	07262	19.40	24.90	45.68	7.02	8.85	13.88	17.38	22.28	40.49
3	17012	19.53	25.28	44.79	8.06	10.54	18.92	16.95	21.96	38.97
4	07082	17.84	22.65	39.83	9.71	13.99	26.11	15.86	20.55	36.50
5	07242	15.51	19.31	36.55	4.03	5.40	8.88	13.67	17.08	32.12
6	07052	7.03	8.00	13.92	2.20	2.77	5.18	6.09	6.99	12.22
	เฉลี่ย	17.15	21.80	38.65	6.80	9.02	15.75	15.15	19.35	34.30

3. สถานีวัดน้ำฝนที่มีจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนโดยไม่เป็นไปตามลำดับของสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ มีจำนวนทั้งสิ้น 13 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำฝน 07072, 07092, 07122, 07152, 07182, 07192, 07252, 07282, 07292, 17022, 17032, 17042 และ 17052 อย่างไรก็ตาม จากผลการดาวนัสเกลสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตพบว่า จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนในอนาคตโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับในอดีต โดยมีการเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งโดยเฉลี่ยทั้ง 13 สถานี คิดเป็น 3.03%, 2.62% และ 4.24% ตามลำดับ ฤดูฝนเพิ่มขึ้น 0.32% ไม่เปลี่ยนแปลง และเพิ่มขึ้น 0.04% ตามลำดับ และรายปีเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.47%, 2.07% และ 3.33% ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดผลการดาวนัสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 13 สถานี แสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนที่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตเปรียบเทียบกับในอดีตสำหรับ 13 สถานีวัดน้ำฝน

ลำดับ	สถานีวัดน้ำฝน	ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)			รายปี		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1	07072	-2.78	-5.14	-5.65	0.45	0.58	1.04	-2.14	-3.99	-4.31
2	07092	6.41	7.10	12.92	3.03	2.57	3.01	5.79	6.27	11.09
3	07122	-0.78	-2.52	-1.16	-3.67	-4.11	-4.15	-1.29	-2.80	-1.69
4	07152	1.69	-1.03	-5.62	0.41	-0.90	-1.90	1.49	-1.01	-5.06
5	07182	10.74	11.86	20.28	4.42	3.91	5.82	9.24	9.97	16.85
6	07192	3.95	3.58	4.99	0.61	0.45	0.17	3.30	2.97	4.04
7	07252	-1.33	-1.21	-7.26	1.09	0.07	-0.59	-0.95	-1.01	-6.21
8	07282	4.55	3.90	2.21	4.49	3.98	3.55	4.53	3.91	2.45
9	07292	4.76	5.13	11.54	-0.69	-0.22	0.51	3.62	4.02	9.25
10	17022	0.39	-0.27	1.66	-2.28	-2.60	-2.68	-0.08	-0.69	0.88
11	17032	5.03	3.98	7.43	0.37	0.08	-0.15	3.98	3.11	5.72
12	17042	5.29	6.77	11.13	-2.77	-2.43	-2.35	3.67	4.92	8.43
13	17052	1.46	1.91	2.68	-1.27	-1.44	-1.77	0.90	1.23	1.78
	เฉลี่ย	3.03	2.62	4.24	0.32	0.00	0.04	2.47	2.07	3.33

ผลการดาวนัสเกล จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน และจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนของสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี ได้ถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 22 สถานี ดังแสดงในตารางที่ 41 ถึงตารางที่ 44 ตามลำดับ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้แสดงเป็นกราฟการเปรียบเทียบระหว่างผลการดาวนัสเกลในอนาคตสำหรับสถานการณ์ต่างๆ เปรียบเทียบกับผลการดาวนัสเกลข้อมูลภูมิอากาศโลกในอดีต ดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแต่ละส่วนได้ดังนี้

1. จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การลดลงในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 8.61%, 8.93% และ 12.22% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 1.67%, 1.85% และ 2.93% ตามลำดับ และการลดลงรายปีคิดเป็น 3.02%, 3.23% และ 4.78% ตามลำดับ

2. ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอนโดยไม่เป็นไปตามลำดับของสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม จากผลการดาวนัสเกลสำหรับเหตุการณ์ในอนาคต พบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคตโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในอดีต โดยมีการลดลงในช่วงฤดูแล้งโดยเฉลี่ย คิดเป็น 10.48%, 10.68% และ 14.47% ตามลำดับ ฤดูฝนลดลงเฉลี่ย 4.23%, 3.76% และ 4.50% ตามลำดับ และรายปีลดลงเฉลี่ย 5.00%, 4.62% และ 5.75% ตามลำดับ

3. จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การลดลงในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 3.67%, 4.22% และ 7.39% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 1.08%, 1.10% และ 1.51% ตามลำดับ และการลดลงรายปีคิดเป็น 2.08%, 2.30% และ 3.76% ตามลำดับ

4. จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนสำหรับเหตุการณ์ในอนาคตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต โดยมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับสถานการณ์ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ดังนี้คือ การเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 6.42%, 7.06% และ 12.19% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนคิดเป็น 1.68%, 1.99% และ 3.75% ตามลำดับ และการเพิ่มขึ้นรายปีคิดเป็น 5.49%, 6.06% และ 10.52% ตามลำดับ

ตารางที่ 41 ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ

เดือน	จำนวนวันฝนตกเฉลี่ย			
	MPI-ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
ม.ค.	1.89	1.60	1.57	1.47
ก.พ.	1.60	1.50	1.51	1.40
มี.ค.	2.23	2.11	2.10	2.02
เม.ย.	4.71	4.41	4.39	4.26
พ.ค.	11.02	10.51	10.54	10.41
มิ.ย.	12.19	12.05	11.98	11.90
ก.ค.	12.62	12.41	12.37	12.24
ส.ค.	14.54	14.19	14.18	14.02
ก.ย.	13.36	13.22	13.18	13.08
ต.ค.	9.67	9.79	9.78	9.64
พ.ย.	4.30	3.91	3.91	3.80
ธ.ค.	2.19	1.94	1.90	1.83
ฤดูแล้ง	16.92	15.47	15.38	14.79
ฤดูฝน	73.40	72.17	72.04	71.29
รายปี	90.31	87.64	87.41	86.08

ตารางที่ 42 ผลการคำนวณสเกลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนโดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ

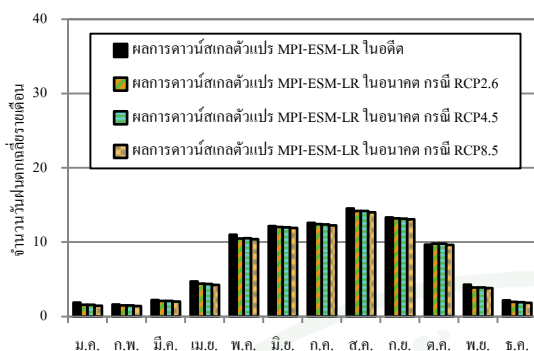
เดือน	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มิลลิเมตร)			
	MPI-ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
ม.ค.	9.16	7.60	7.40	6.72
ก.พ.	3.23	2.94	2.89	2.59
มี.ค.	12.88	11.86	11.86	11.14
เม.ย.	51.68	46.59	46.34	44.92
พ.ค.	162.38	152.05	156.74	152.60
มิ.ย.	129.95	127.70	127.23	128.03
ก.ค.	157.43	144.51	144.78	143.17
ส.ค.	209.48	195.75	193.31	192.18
ก.ย.	218.72	209.62	211.99	213.25
ต.ค.	134.26	135.55	134.89	131.36
พ.ย.	43.67	39.12	38.88	36.94
ธ.ค.	16.16	13.55	13.62	12.68
ฤดูแล้ง	136.78	121.67	121.00	114.99
ฤดูฝน	1,012.21	965.19	968.94	960.59
รายปี	1,148.99	1,086.86	1,089.94	1,075.58

ตารางที่ 43 ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนโดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ

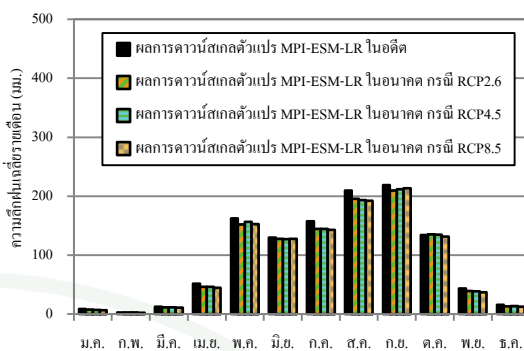
เดือน	จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน			
	MPI-ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
ม.ค.	0.91	0.84	0.83	0.77
ก.พ.	0.85	0.81	0.82	0.77
มี.ค.	0.96	0.94	0.94	0.91
เม.ย.	1.21	1.18	1.18	1.16
พ.ค.	1.64	1.59	1.59	1.58
มิ.ย.	1.78	1.76	1.76	1.75
ก.ค.	1.80	1.79	1.78	1.77
ส.ค.	2.02	1.97	1.97	1.96
ก.ย.	1.89	1.86	1.86	1.85
ต.ค.	1.52	1.54	1.54	1.53
พ.ย.	1.20	1.17	1.17	1.15
ธ.ค.	0.96	0.91	0.89	0.85

ตารางที่ 44 ผลการคำนวณสเกลจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝน 22 สถานี จากการใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบต่างๆ

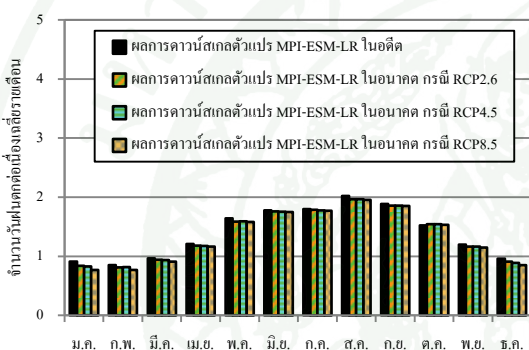
เดือน	จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน			
	MPI-ESM-LR	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
ม.ค.	14.48	15.89	16.09	17.14
ก.พ.	14.44	15.07	15.02	15.85
มี.ค.	12.86	13.36	13.41	13.97
เม.ย.	6.77	7.31	7.37	7.82
พ.ค.	3.06	3.22	3.22	3.30
มิ.ย.	2.71	2.74	2.77	2.81
ก.ค.	2.72	2.80	2.82	2.87
ส.ค.	2.30	2.37	2.38	2.43
ก.ย.	2.39	2.42	2.44	2.48
ต.ค.	3.51	3.51	3.53	3.65
พ.ย.	7.66	8.34	8.39	8.86
ธ.ค.	13.20	14.31	14.67	15.42



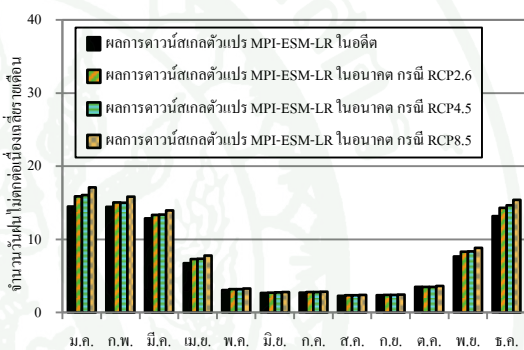
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

ภาพที่ 19 ผลการคำนวณสเกลการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคตโดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 22 สถานี สำหรับแต่ละสถานการณ์เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยผลการคำนวณสเกลในอดีต

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

1) การดาวน์โหลดสเกลทางสถิติเพื่อประเมินการเกิดฝนและปริมาณฝนสามารถประเมินจำนวนวันฝนตกและปริมาณฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสรุปได้จากค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีมากในช่วงของการสอบเทียบ (ค.ศ. 1960-1989) และช่วงการตรวจพิสูจน์ (ค.ศ. 1990-2007) มีค่าตัวแปรทางสถิติโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก กล่าวคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.988 ค่าดัชนีประสิทธิภาพ (EI) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.47% และค่ารากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองสัมพัทธ์ ($Rel.RMSE$) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.64% อย่างไรก็ตามผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนจัดว่าไม่ดีเท่าที่ควร กล่าวคือ r มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.972 EI มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.10% และ $Rel.RMSE$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.52% ทั้งนี้จากการตรวจเอกสารรายงานที่เกี่ยวข้อง พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่จะพบปัญหาในการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน ดังนั้นการนำผลการศึกษาไปใช้งานจำเป็นต้องคำนึงถึงความไม่สมบูรณ์ของผลการดาวน์โหลดในส่วนนี้

2) ผลการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินการเกิดฝนที่สถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษาจำนวน 22 สถานี ซึ่งสามารถจัดออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่	สถานีวัดน้ำฝน	ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่คัดเลือก
1	07052, 07072, 07082, 07132, 07242, 07262 และ 17012	O_{i-1} , $hgt700$, $omega250$, $uwnd850$ และ $vwnd700$
2	07092, 07122, 07142, 07182, 07192, 07292, 17022, 17032, 17042 และ 17052	O_{i-1} , $air10$, $omega250$, $uwnd150$ และ $vwnd700$
3	07013, 07112, 07152, 07252 และ 07282	O_{i-1} , $air100$, $omega500$, $uwnd1000$ และ $vwnd850$

จากผลการจัดกลุ่มพบว่า มีตัวแปรความเร็วลมในแนวตั้งที่ระดับความดันบรรยากาศ 700 มิลลิบาร์ ($vwnd700$) และตัวแปร vertical velocity ที่ระดับความดันบรรยากาศ 250 มิลลิบาร์ ($omega250$) มีอิทธิพลต่อการเกิดฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยทั้งสองตัวแปรมีการเลือกใช้จำนวน 15 สถานี คิดเป็น 77.72% สำหรับสถานีวัดน้ำฝนอื่นๆ จำนวน 5 สถานี ที่ไม่ได้เลือกใช้ตัวแปรดังกล่าวก็ได้เลือกใช้ตัวแปร $vwnd850$ และ $omega500$ ทดแทน

สำหรับผลการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินปริมาณฝนพบว่าตัวแปรภูมิความเร็วลมในแนวราบที่ระดับความดันบรรยากาศ 850 มิลลิบาร์ ($uwnd850$) มีอิทธิพลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยมีการเลือกใช้ที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 18 สถานี คิดเป็น 81.82% สำหรับสถานีวัดน้ำฝนอื่นๆ จำนวน 4 สถานี ที่ไม่ได้เลือกใช้ตัวแปรดังกล่าวก็ได้เลือกใช้ตัวแปร $uwnd150$ ทดแทน สำหรับตัวแปรปริมาณฝนที่ตกในวันก่อนหน้า R_i จากผลการคัดเลือกตัวแปรพบว่าสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำ ได้แก่ 07052, 07282, 07132, 07262 และ 17012 ไม่ได้คัดเลือกตัวแปรดังกล่าว ซึ่งพื้นที่ตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำมีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบกว้างใหญ่

3) Nested Bias correction (NBC) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการปรับชุดข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ให้เข้ากันได้กับชุดตัวแปรภูมิอากาศโลกประเภทรีโอนาไลซิส โดยพิจารณาได้จากความสามารถในการนำตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR ที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธี NBC แล้ว ไปใช้ในการดาวน์โหลดเพื่อประเมินจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน และจำนวนวันฝนตกไม่ต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน โดยผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการดาวน์โหลดด้วยตัวแปรภูมิอากาศโลกแบบรีโอนาไลซิส โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรทางสถิติเฉลี่ยที่มีค่าสูงมาก กล่าวคือ r มีค่าใกล้เคียง 1, EI มีค่าใกล้เคียง 100% และ $Rel.RMSE$ มีค่าใกล้เคียง 0%

3) จากผลการดาวน์โหลดตัวแปรภูมิอากาศโลกในอนาคตกายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ พบว่า สถานีวัดน้ำฝน 07052, 07282, 07132, 07262 และ 17012 มีผลการดาวน์โหลดจำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน จำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน ลดลงตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และมีจำนวนวันฝนไม่ตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือนเพิ่มขึ้นตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเลือกตัวแปรสัณฐานสูงทางภูมิศาสตร์ที่ระดับความดันบรรยากาศ 700 มิลลิบาร์ ในการประเมินการเกิดฝน ดังนั้นตัวแปรดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการลดลงของปริมาณฝนที่สถานีวัดน้ำฝนดังกล่าว

5) จากผลการศึกษาโดยภาพรวมทั้ง 22 สถานีวัดน้ำฝน พบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 ทำให้ปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงลดลงเมื่อเทียบกับผลการดาวนัสเกลข้อมูลภูมิอากาศโลกในอดีตจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR โดยในฤดูแล้งลดลงคิดเป็น 10.48%, 10.68% และ 14.47% ตามลำดับ ฤดูฝนลดลงคิดเป็น 4.23%, 3.76% และ 4.50% ตามลำดับ และรายปีลดลงคิดเป็น 5.00%, 4.62% และ 5.75% ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าไหลลงเขื่อนภูมิพลลดลง ซึ่งส่งผลต่อการบริหารจัดการเขื่อนภูมิพลต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1) การดาวนัสเกลทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย สามารถนำไปใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้อย่างเหมาะสม แต่อย่างไรก็ดีก่อนนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเนื่องจากผลลัพธ์จะมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการในการดาวนัสเกล แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่เลือกใช้ สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เทคนิคในการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลก รวมทั้งวิธีการในการปรับแก้ตัวแปรภูมิอากาศโลก (bias correction)

2) การดาวนัสเกลทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยจัดเป็นแบบจำลองประเภทสโตคาสติก มีตัวเลขสุ่มเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการคำนวณ เป็นผลให้เหตุการณ์ฝนที่สร้างขึ้นจะแตกต่างกันไป ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการกำหนดตัวเลขสุ่มหลายค่า อาทิเช่น 50, 70, 100 ครั้ง เป็นต้น เพื่อให้ได้เหตุการณ์ฝนเฉลี่ย ทั้งนี้เนื่องจากผลการประเมินไม่สามารถเจาะจงไปได้ว่าเหตุการณ์ใดจะเกิดขึ้น จำเป็นต้องลองหลายเหตุการณ์เพื่อเป็นตัวแทนความเป็นไปได้ทั้งหมดที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้น

3) ผลการดาวนัสเกลการเกิดฝนและปริมาณฝนสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณาในอนาคตตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่างๆ ซึ่งจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการด้านทรัพยากรน้ำในอนาคตที่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กันทรีย์ บุญประกอบ. 2548. การศึกษาวิจัยผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความหลากหลายทางชีวภาพ. รายงานฉบับสมบูรณ์, สถาบันวิจัยสังคม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, กฤษณ์ สุธกิตย์, สรรสฤษฎ์ เขียวโพธิ์ภักย์, เทวิน พริกมาก, บัณฑิตเจนคุณวัฒน์ และอาชีส ชาร์มา. 2555. การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนภูมิพล. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เทวิน พริกมาก. 2553. การคาดการณ์อุณหภูมิและปริมาณฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Dimitri Parishkura. 2008. **Evaluation and application of dynamical and statistical downscaling tools for reconstruction of the variability and extremes of current climate regime and future scenario projections.** Pacific Climate Impact Consortium, University of Victoria, Canada.

Fowler, H.J., M. Ekstrom, C.G. Kilsby and P.D. Jones. 2005a. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. First Assessment of control climate. **Journal of Hydrology** 300: 212-233.

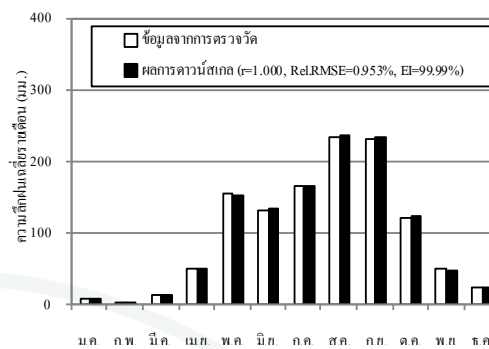
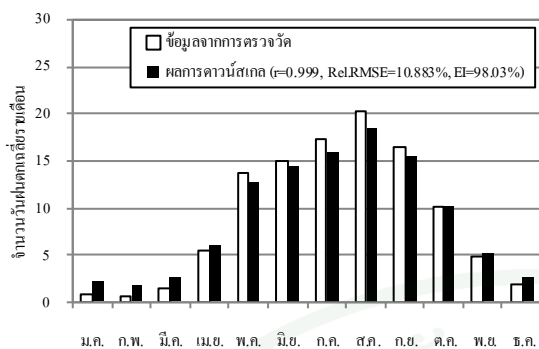
Hewitson, B.C. and R.G. Crane. 1996. Climate downscaling: techniques and application. **Climate Research** 7: 85-95.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **Climate Change 2007: Climate change Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Working Group II Contribution to Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.
- Robert, L., R.L. Wilby and C.W. Dawson. 2007. **SDSM 4.2 - A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts "User Manual"**. Department of Geography, Lancaster University, Science Department, Environment Agency of England and Wales, Department of Computer Science, Loughborough University, UK.
- Salath'e, E.P. 2003. Comparison of various precipitation downscaling methods for the simulation of streamflow in a rainshadow river basin. **International Journal of Climatology** 23: 887-901.
- Sriwongsiatnon, N. and W. Taesombut. 2011. Effects of Land Cover on Runoff Coefficient. **Journal of Hydrology** 410: 226-238.
- Taylor, K.E., R.J. Stouffer and G.A. Meehl. 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. **American Meteorological Society**. 485-498.
- Trenberth, K. E. and A. Clarke. 1997. **A research programme on climate variability and predictability for the 21st century**. Intl. CLIVAR Proj. Office Rep. 101, WCRP/TD No. 853. 48 pp.
- Wilby, R.L., L.E. Hayc and G.H. Leavesley. 1999. A comparison of downscaled and raw GCM output: implications for climate change scenarios in the San Juan River basin, Colorado. **Journal of Hydrology** 225: 67-91.
- Wilby, R.L., S.P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton and L.O. Mearns. 2004. **Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods**. Published on-line, supporting material to the IPCC, 27pp.

- Wilby, R.L. and T.M.L. Wigley. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. **Progress in Physical Geography** 21: 530-548.
- Woodroffe, C.D., R.J. Nicholls, Y. Saito, Z. Chen and S.L. Goodbred. 2006. Landscape variability and the response of Asian megadeltas to environmental change. **Global Change and Integrated Coastal Management: The Asia-Pacific Region**. edited by N. Harvey, Springer. 277-314.
- Xu, C.Y. 1999. From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. **Progress in Physical Geography** 23(2): 229-249.
- Zorita, E. and H. von Storch. 1999. The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods. **Journal of Climate** 12: 2474-2489.

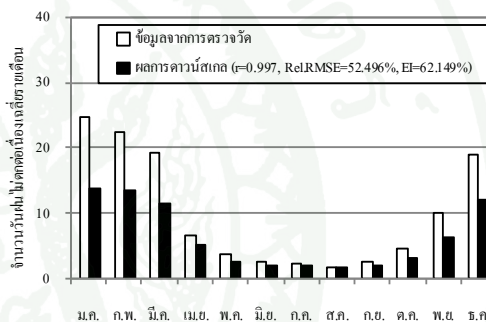
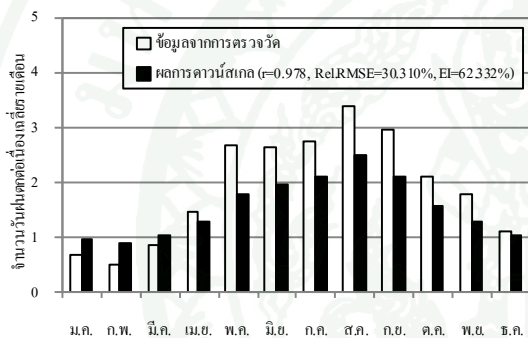


ภาคผนวก



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

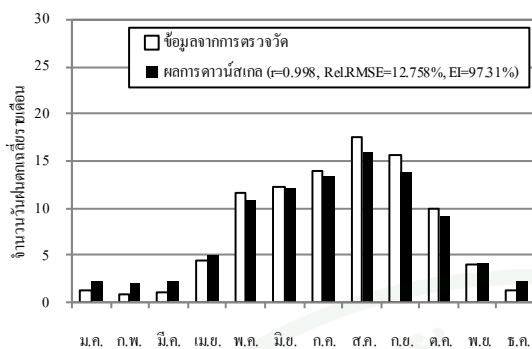


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

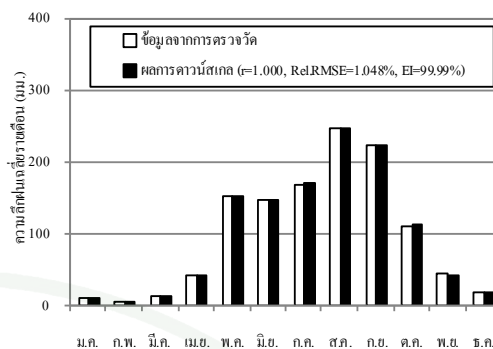
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07013

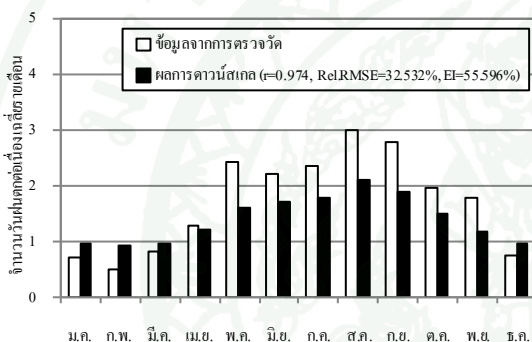
ภาพผนวกที่ 1 ผลการคำนวณสเกลทางสถิติการเกิดฝนและความถี่ฝน เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดที่สถานี 07013-17052 ในช่วงการสอบเทียบระหว่างปี ค.ศ.1960-1989



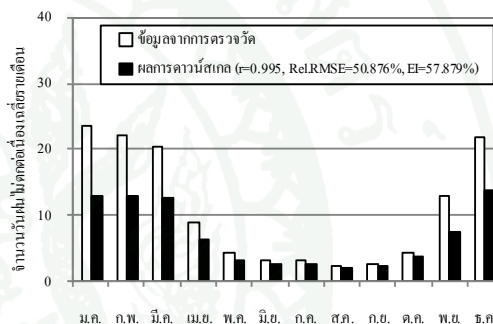
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



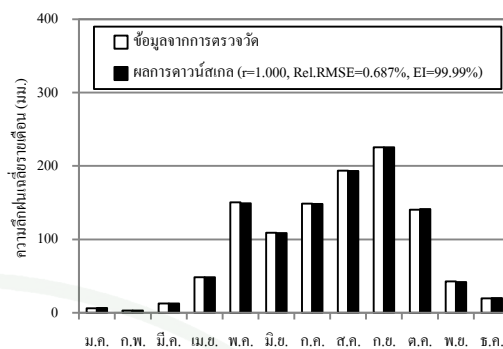
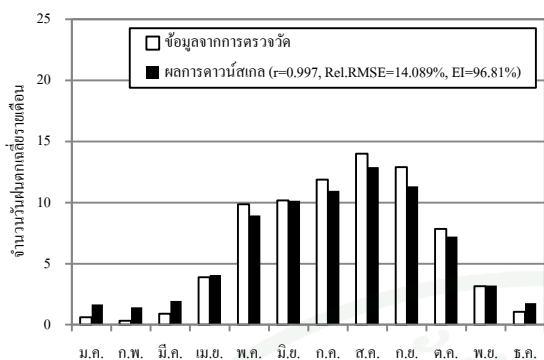
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

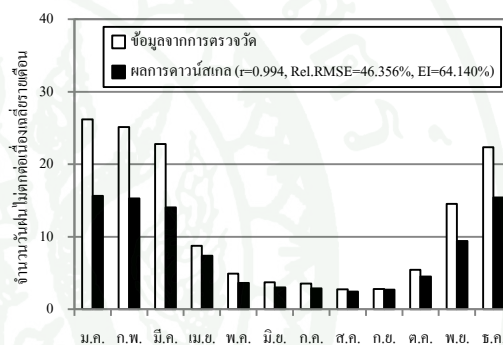
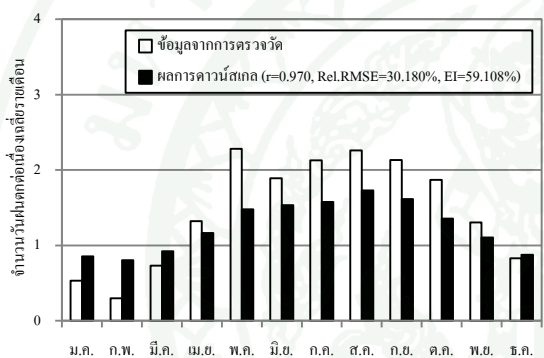
สถานีวัดน้ำฝน 07052

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

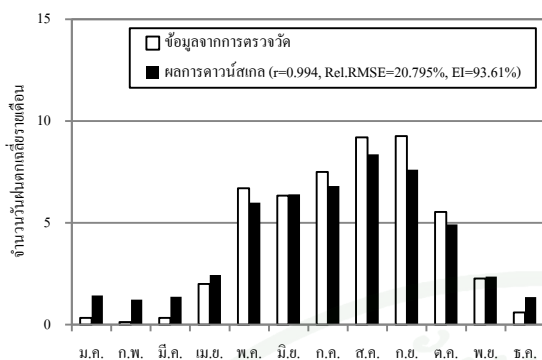


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

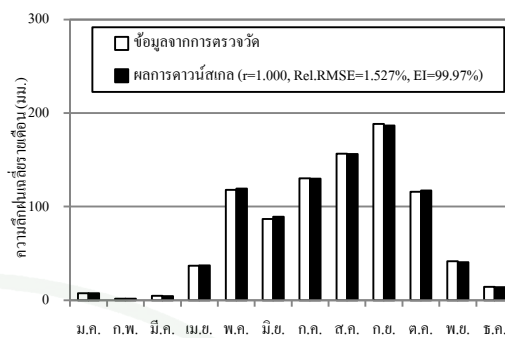
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07072

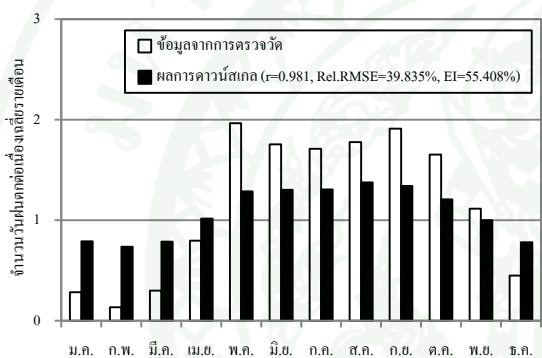
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



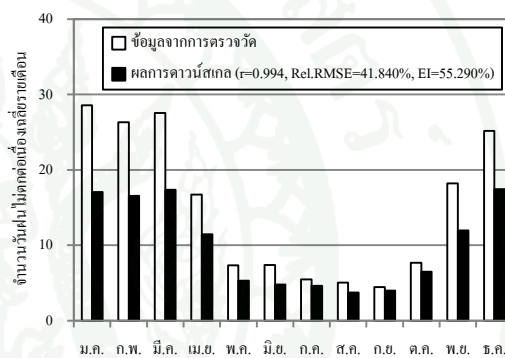
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความถี่ฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



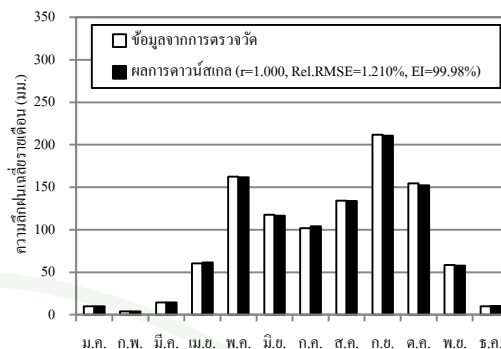
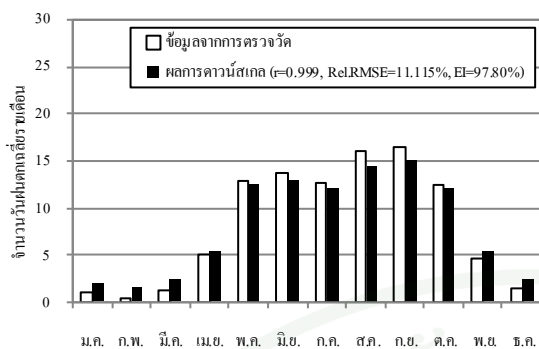
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

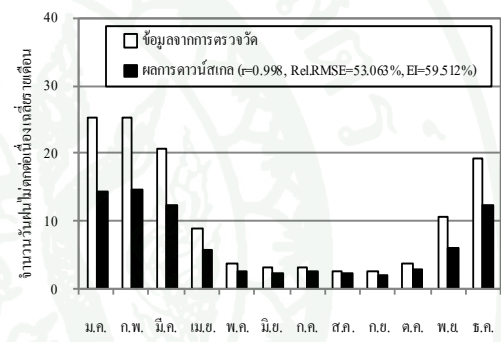
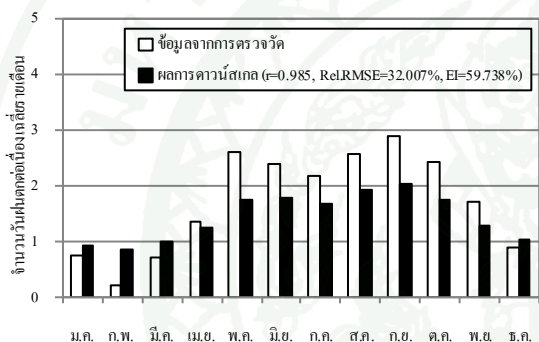
สถานีวัดน้ำฝน 07082

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

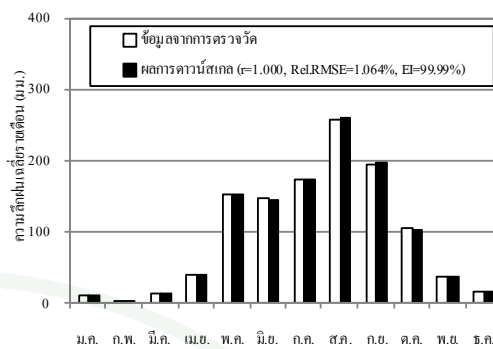
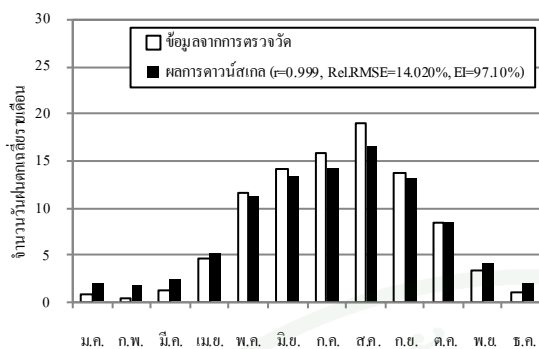


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

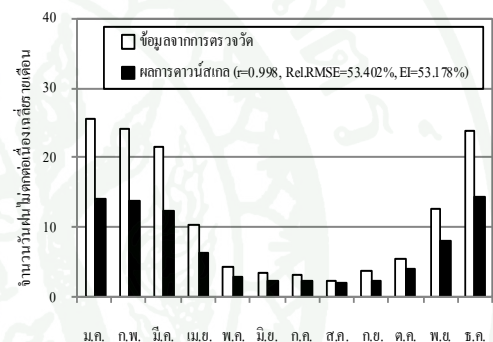
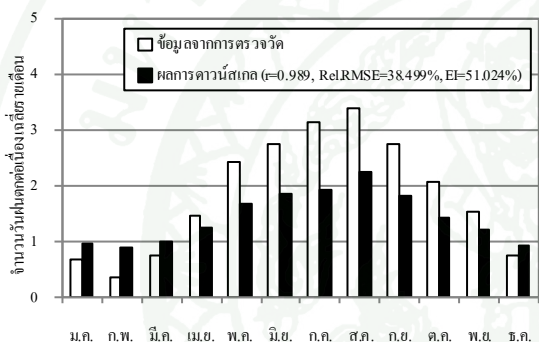
สถานีวัดน้ำฝน 07092

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

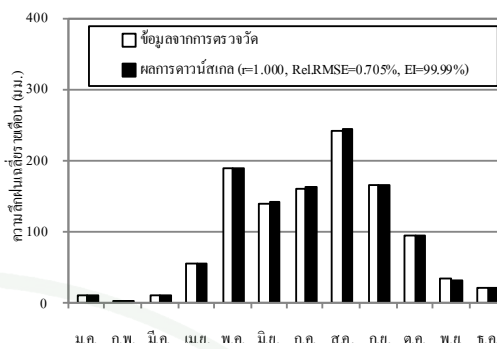
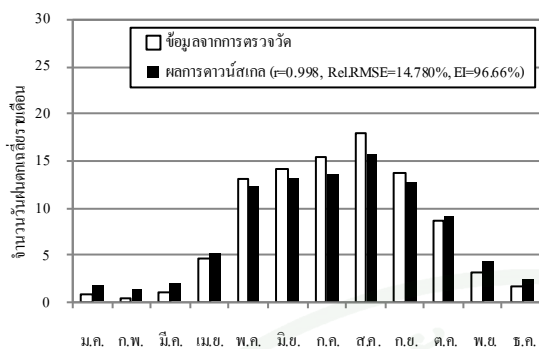


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

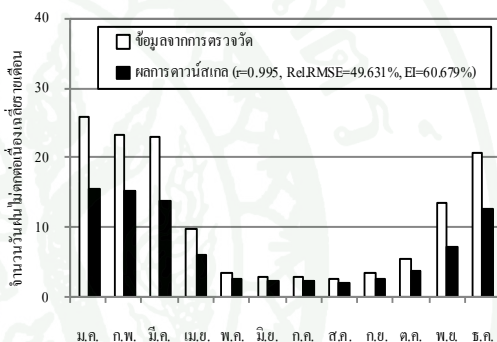
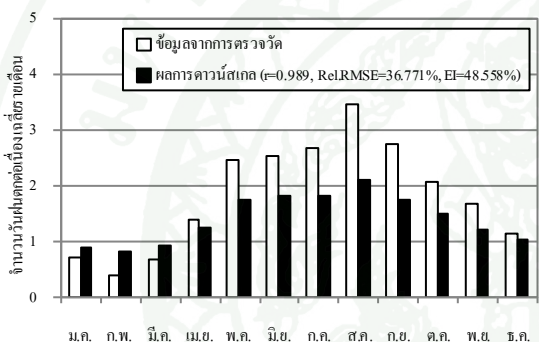
สถานีวัดน้ำฝน 07112

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

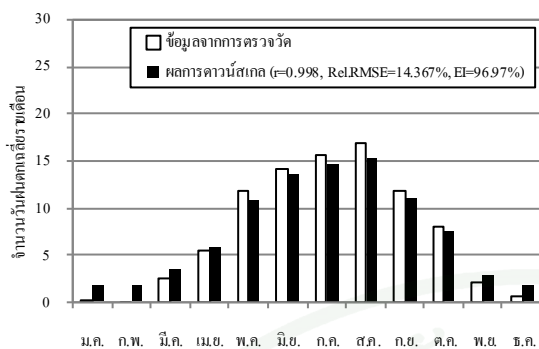


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

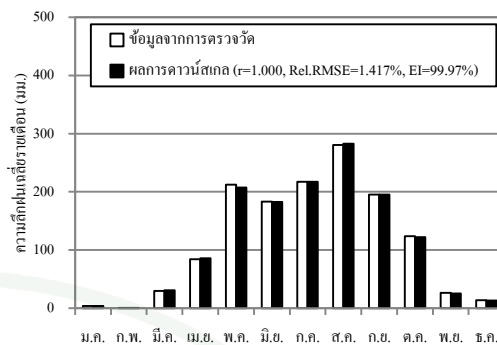
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07122

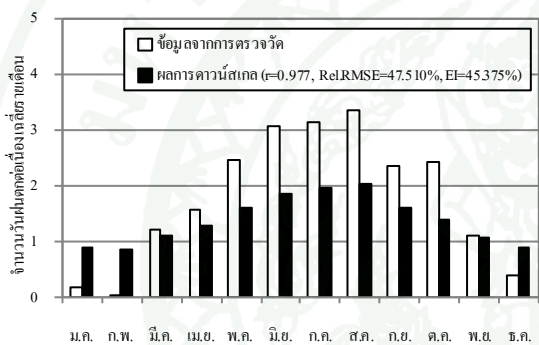
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



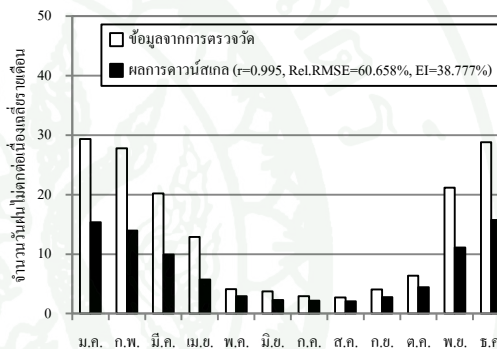
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



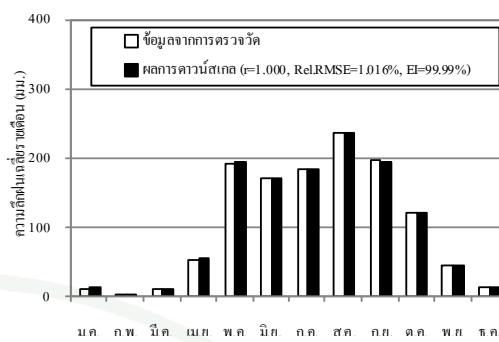
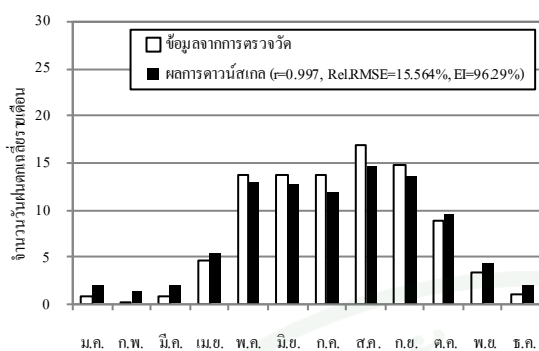
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

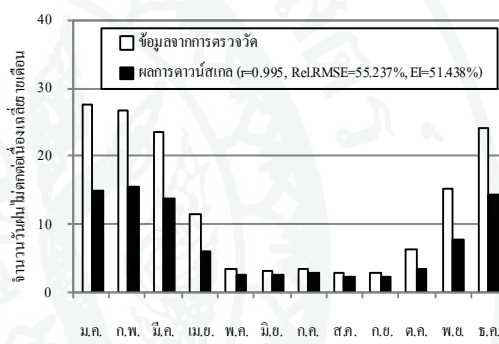
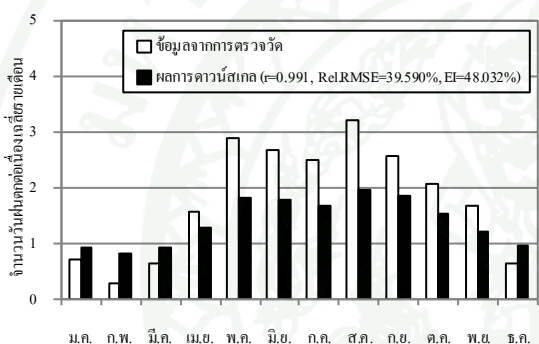
สถานีวัดน้ำฝน 07132

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

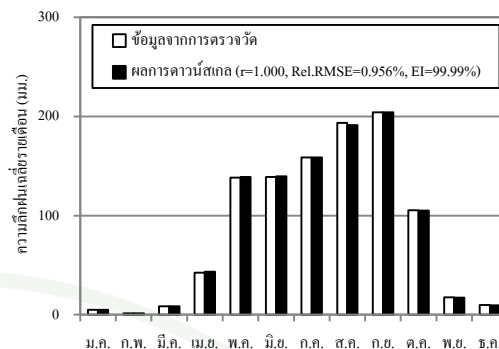
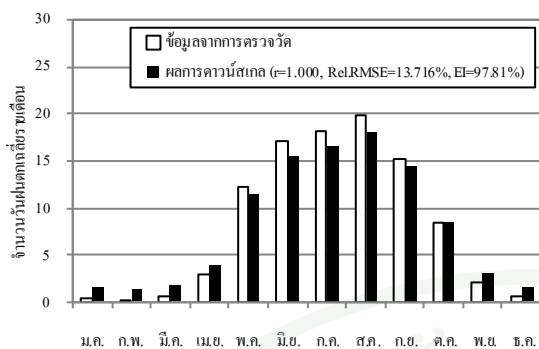


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

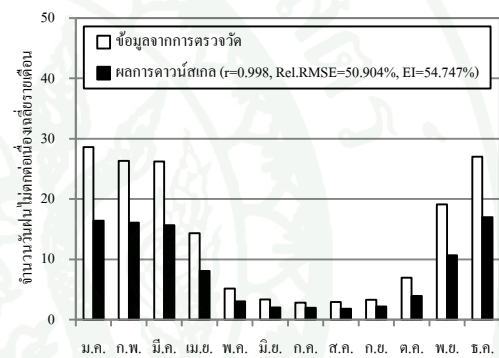
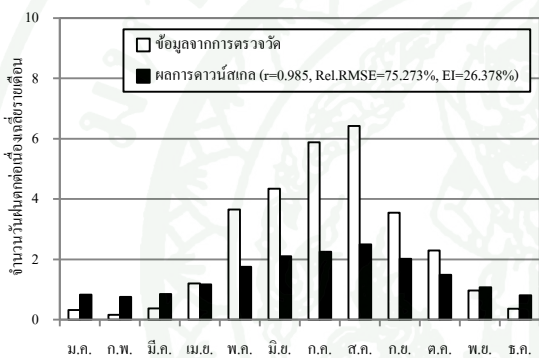
สถานีวัดน้ำฝน 07142

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

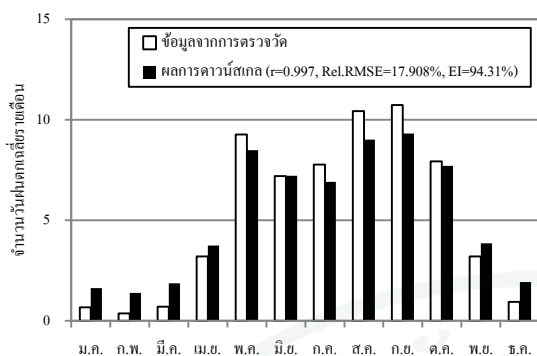


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

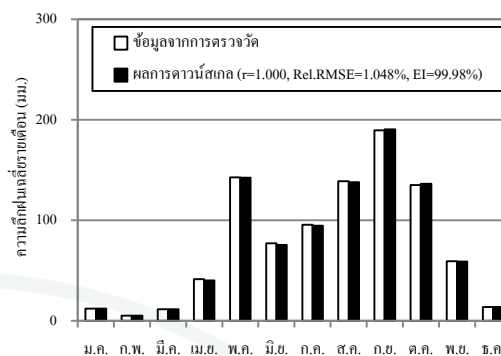
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07152

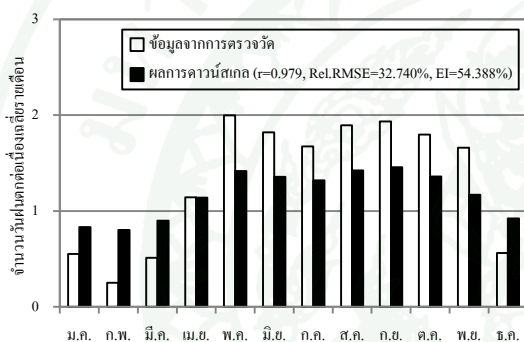
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



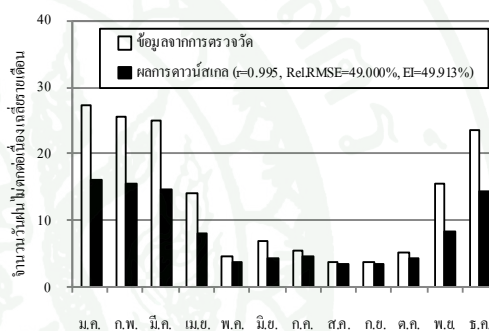
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



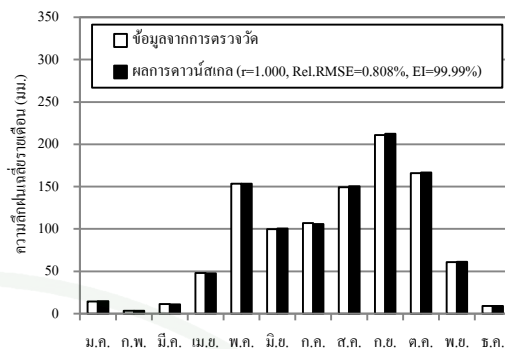
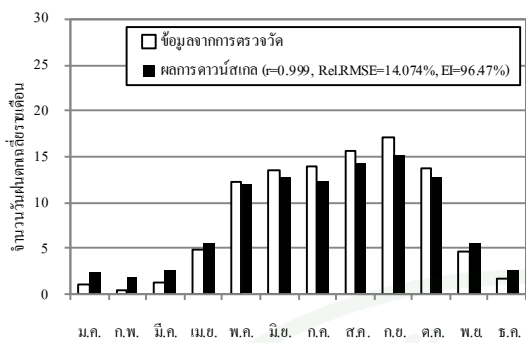
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องรายเดือน

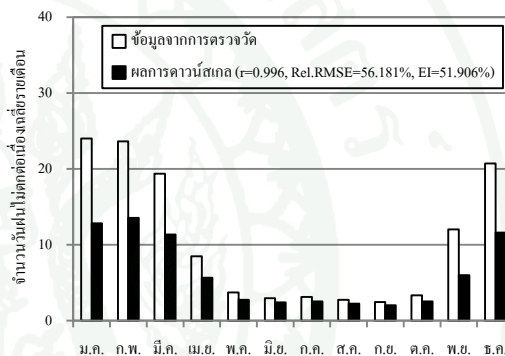
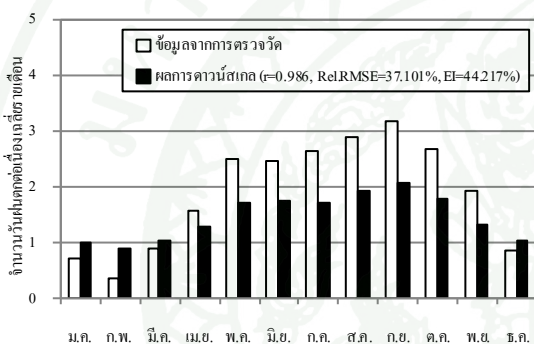
สถานีวัดน้ำฝน 07182

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

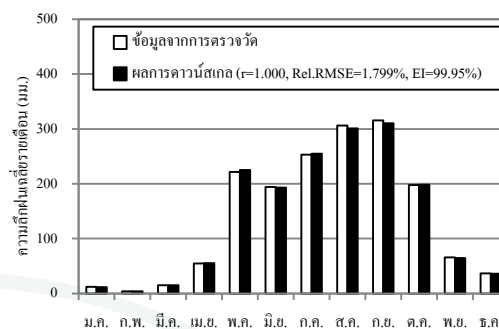
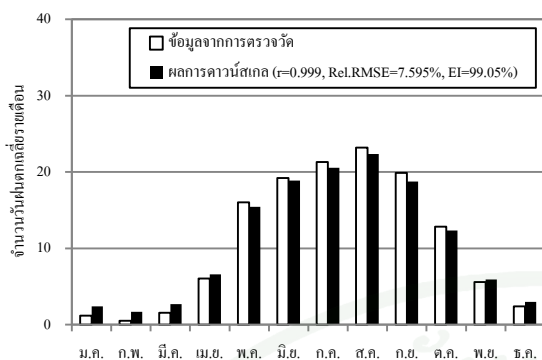


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

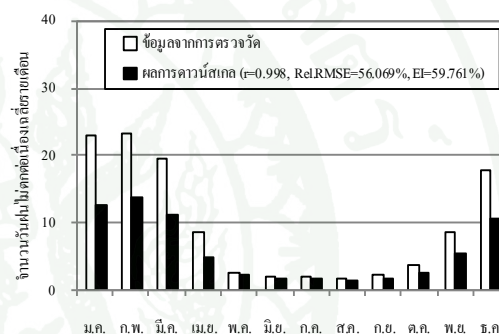
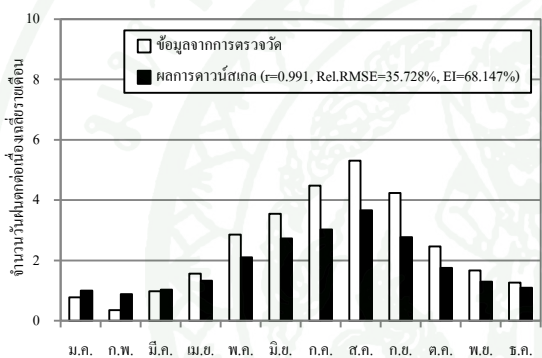
สถานีวัดน้ำฝน 07192

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

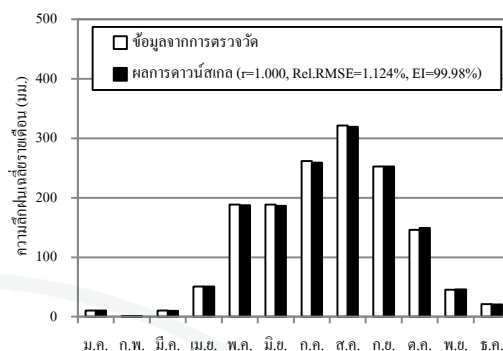
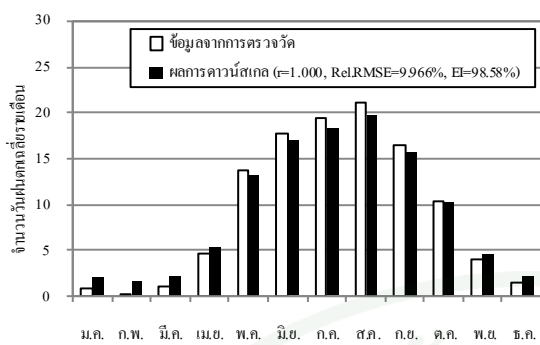


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

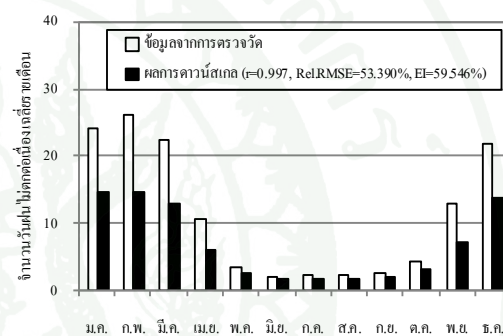
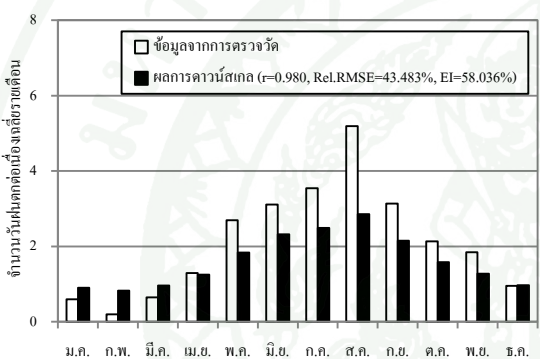
สถานีวัดน้ำฝน 07242

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

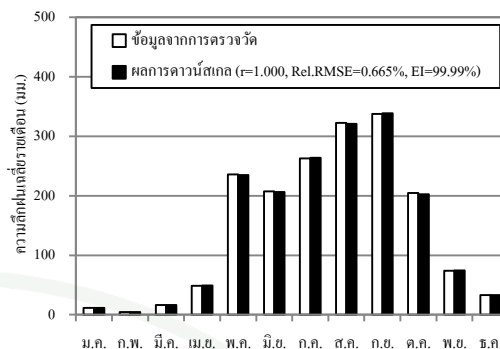
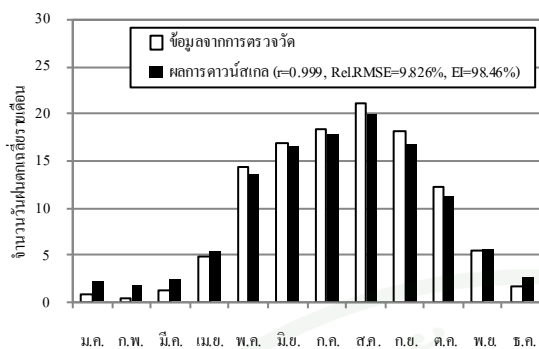


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

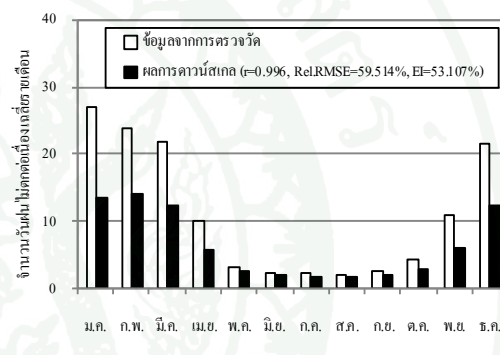
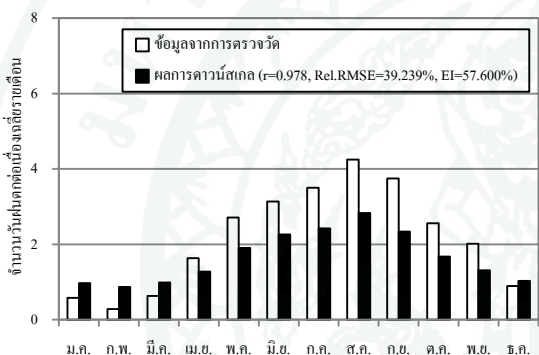
สถานีวัดน้ำฝน 07252

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

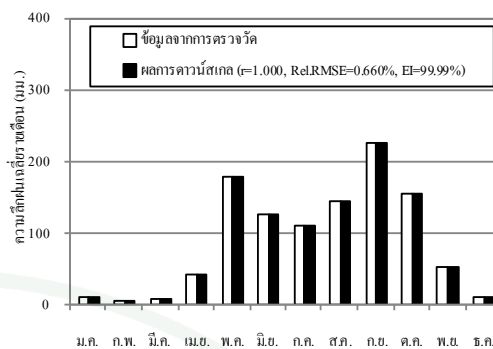
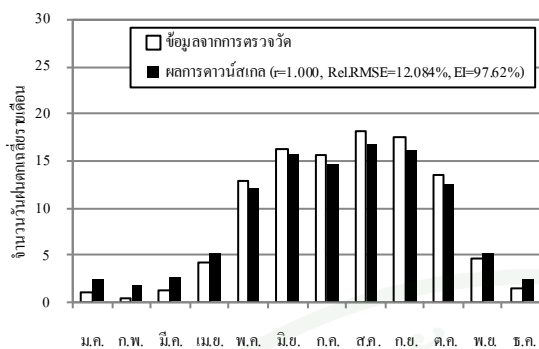


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

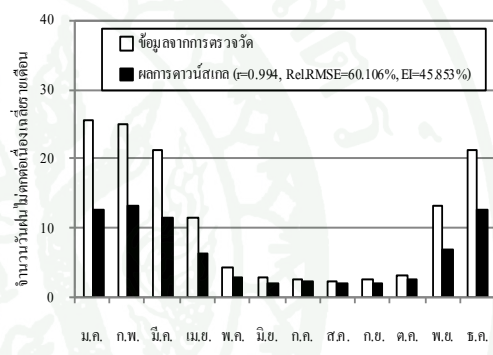
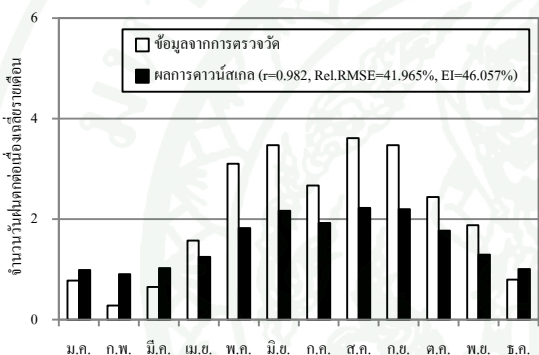
สถานีวัดน้ำฝน 07262

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

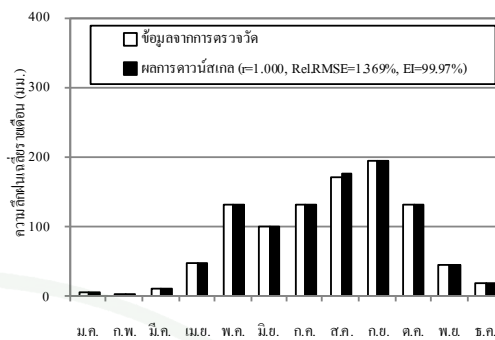
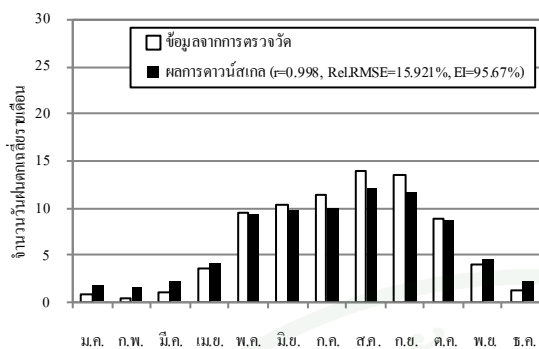


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

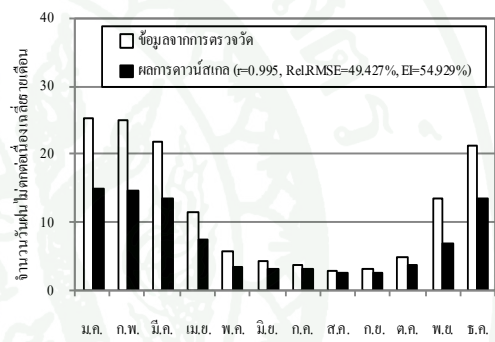
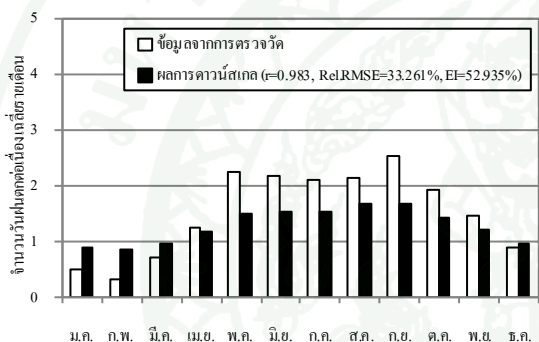
สถานีวัดน้ำฝน 07282

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

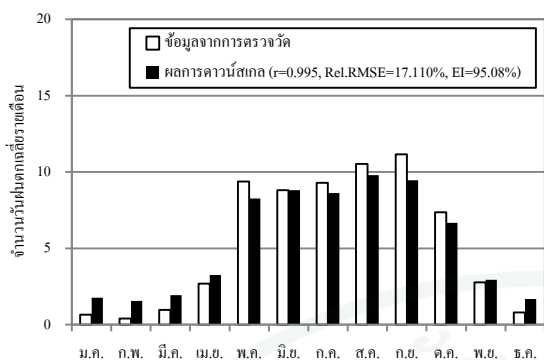


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

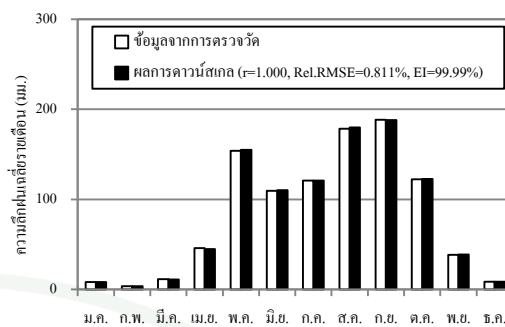
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07292

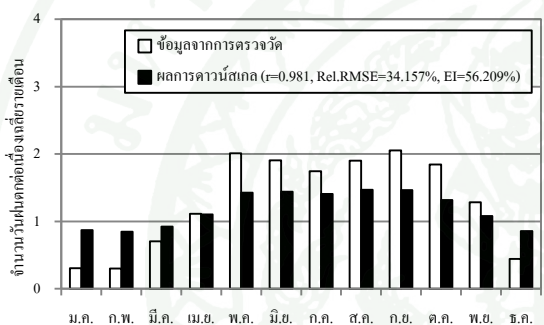
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



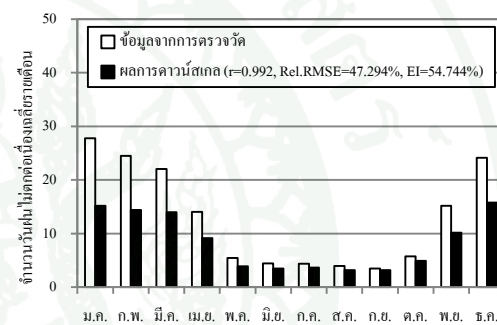
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



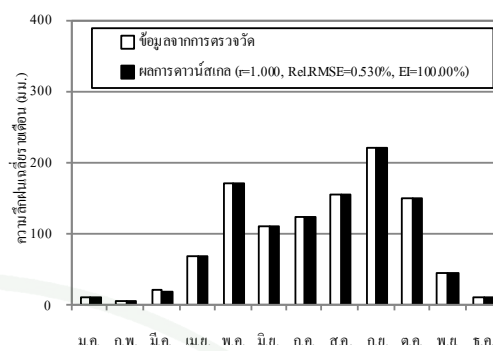
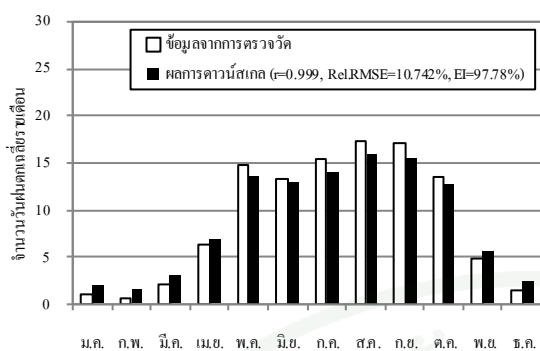
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

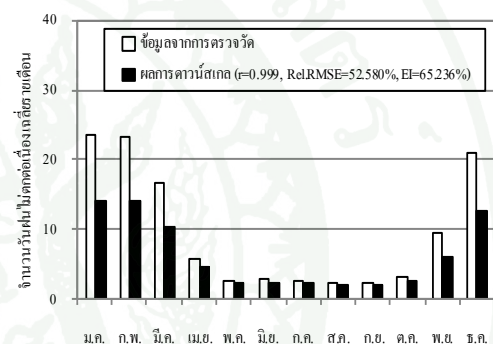
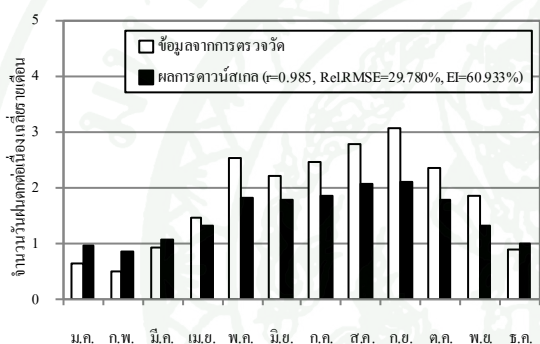
สถานีวัดน้ำฝน 17012

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

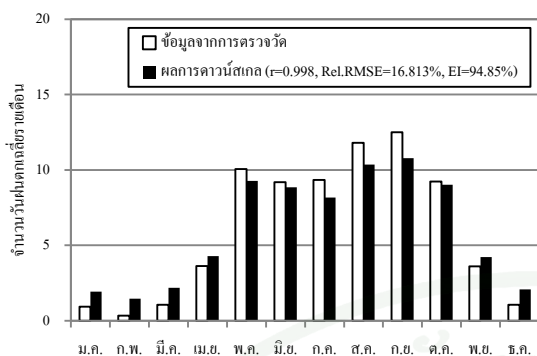


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

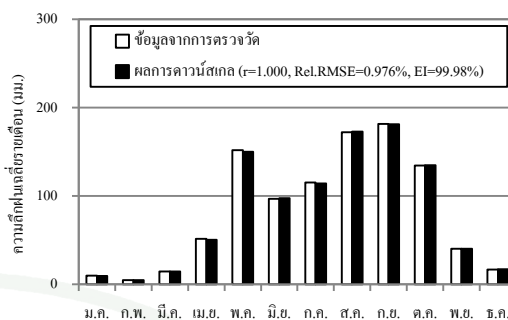
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 17022

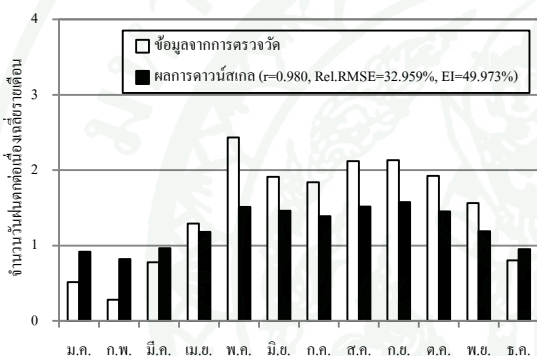
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



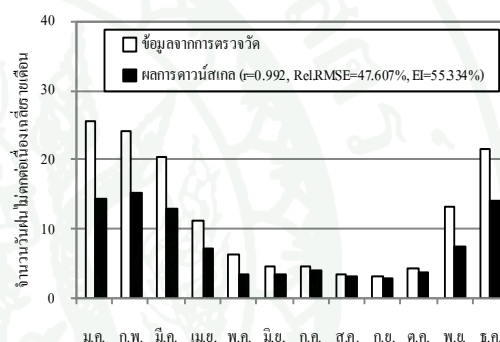
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน



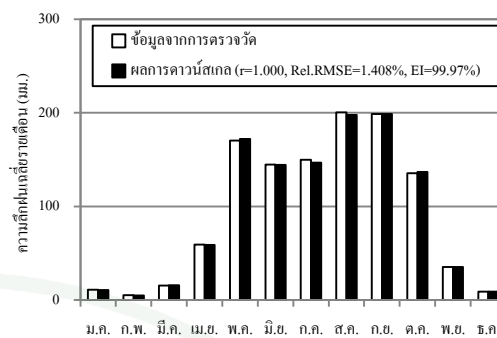
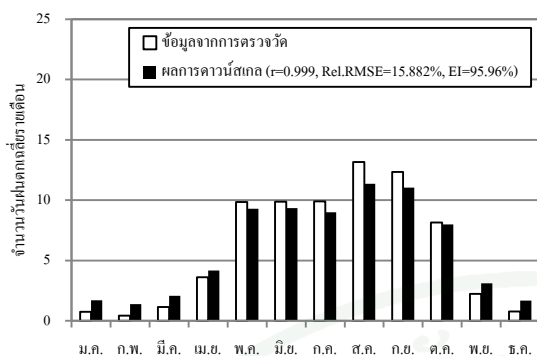
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

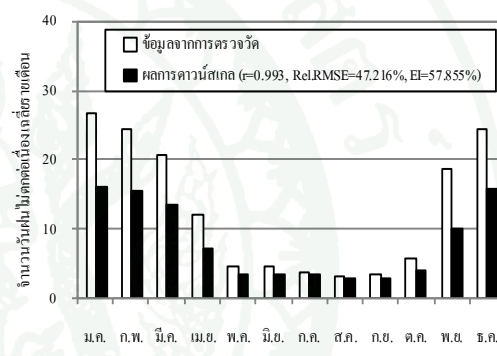
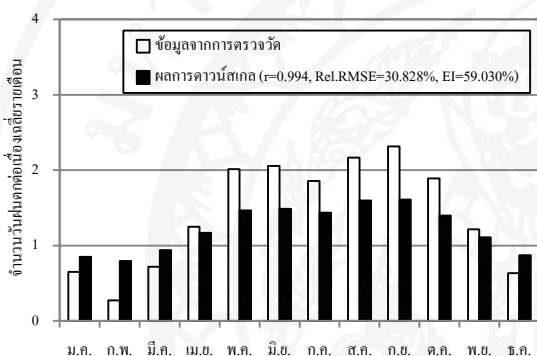
สถานีวัดน้ำฝน 17032

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

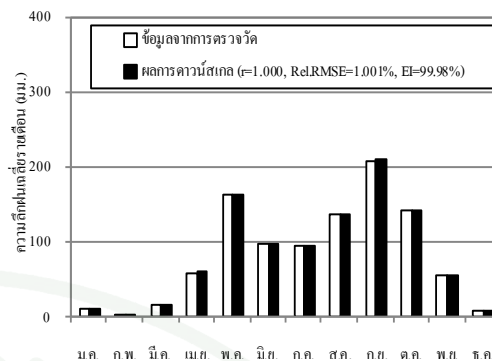
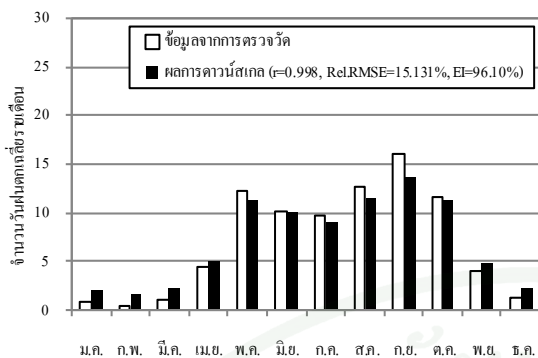


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

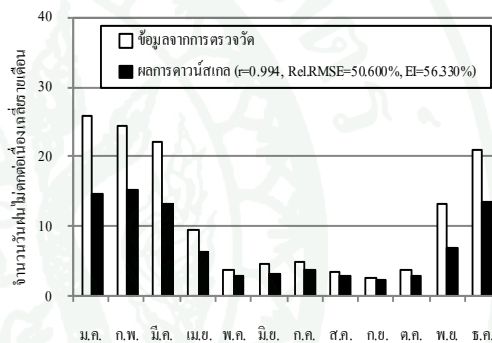
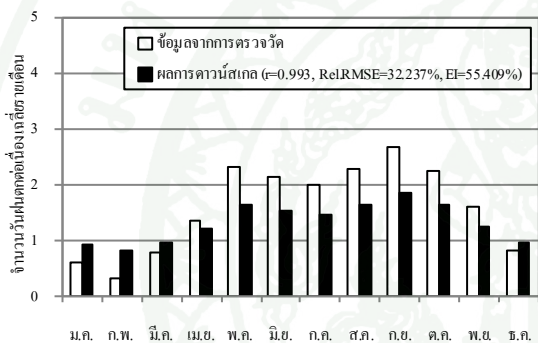
สถานีวัดน้ำฝน 17042

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

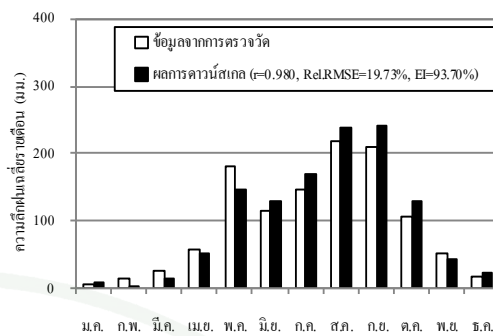
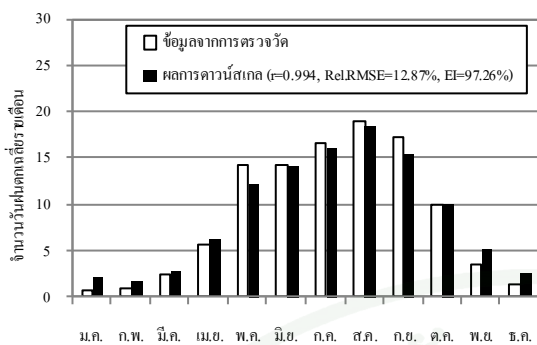


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

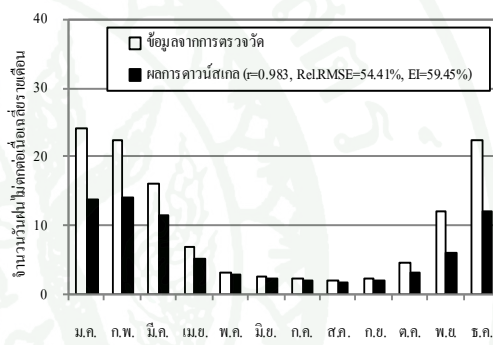
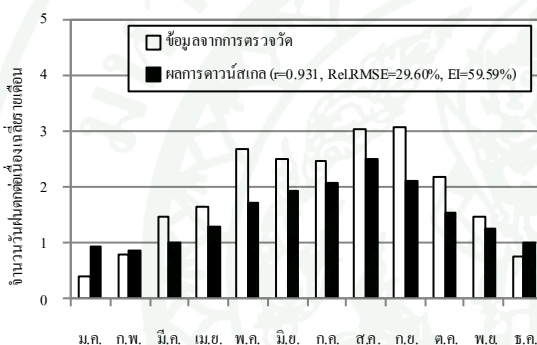
สถานีวัดน้ำฝน 17052

ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

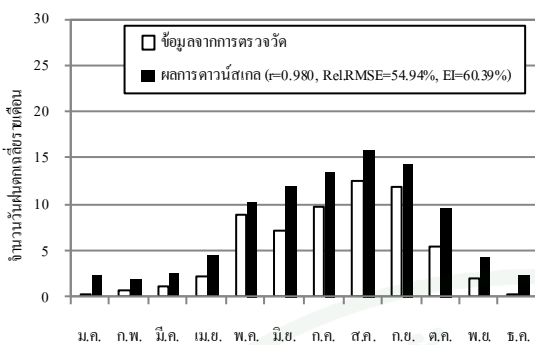


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

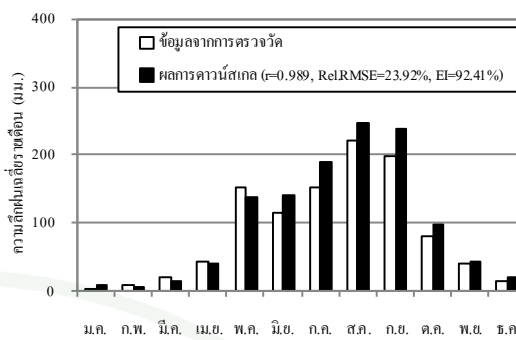
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07013

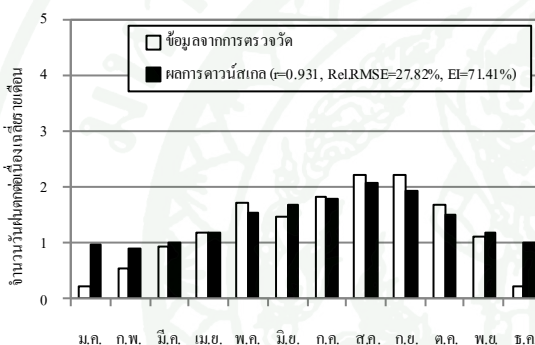
ภาพผนวกที่ 2 ผลการคำนวณสเกลทางสถิติการเกิดฝนและความถี่ฝน เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดที่สถานี 07013-17052 ในช่วงการตรวจพิสูจน์ระหว่างปี ค.ศ.1990-2007



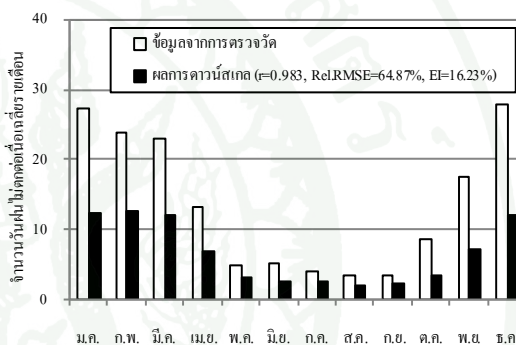
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน



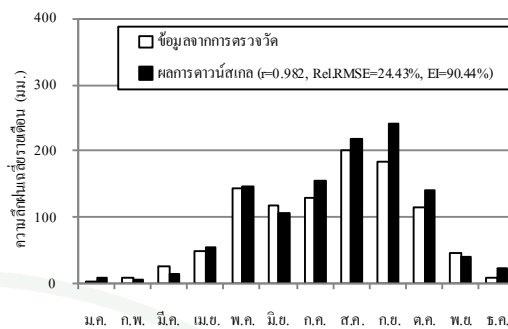
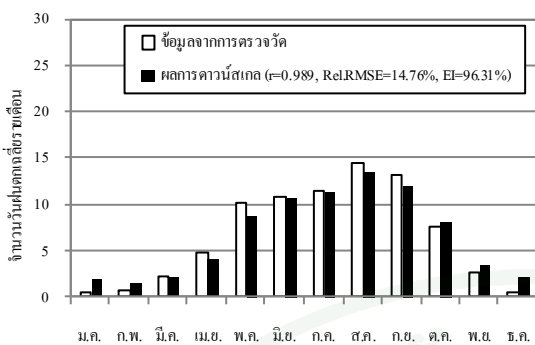
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องรายเดือน

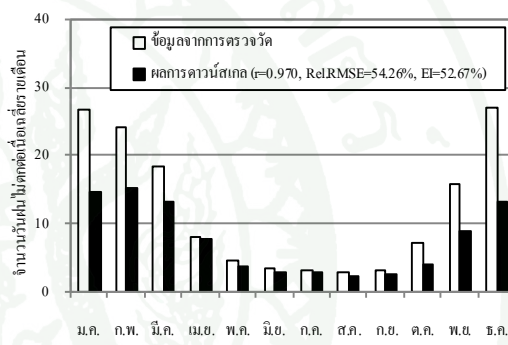
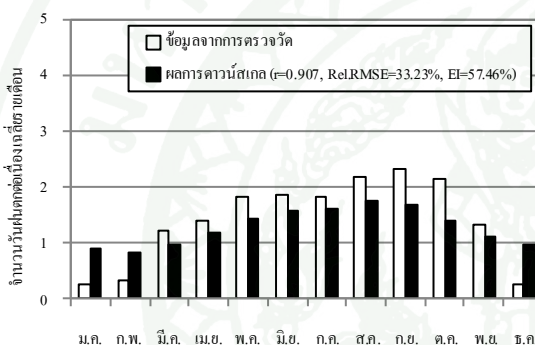
สถานีวัดน้ำฝน 07052

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

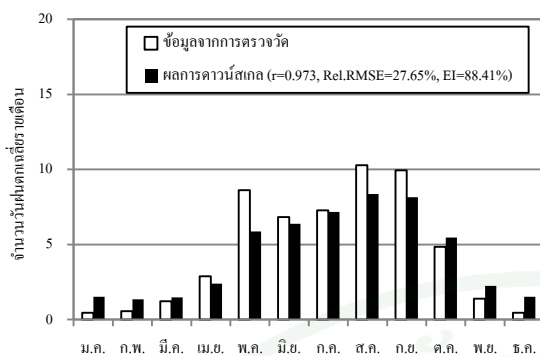


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

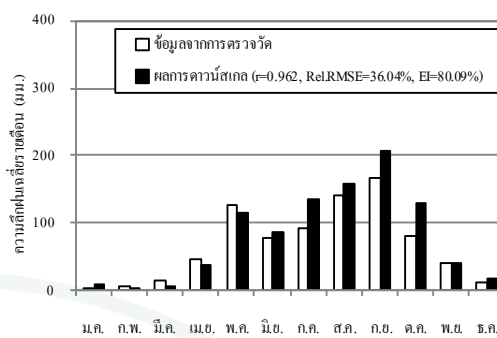
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07072

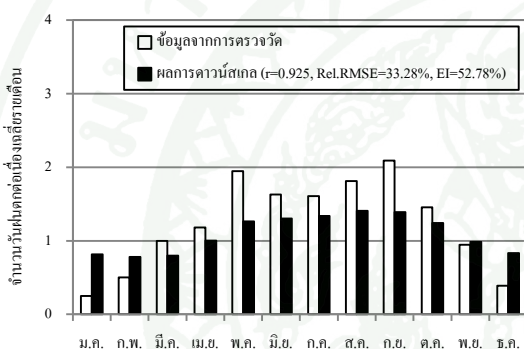
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



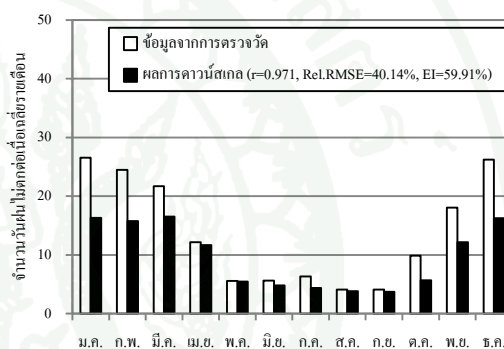
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



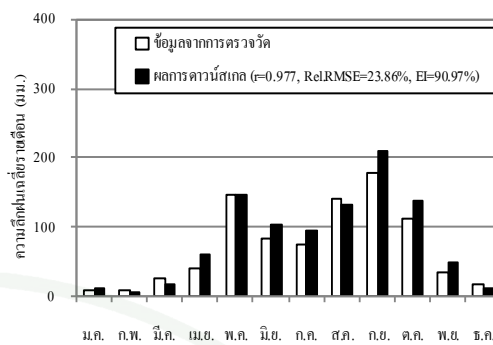
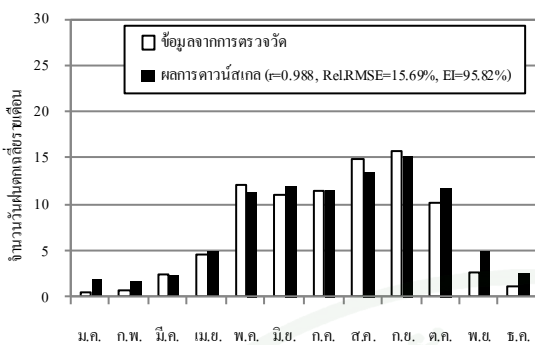
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

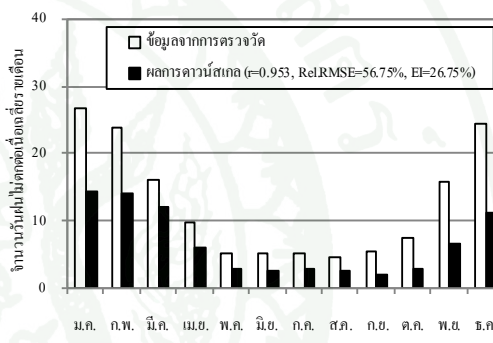
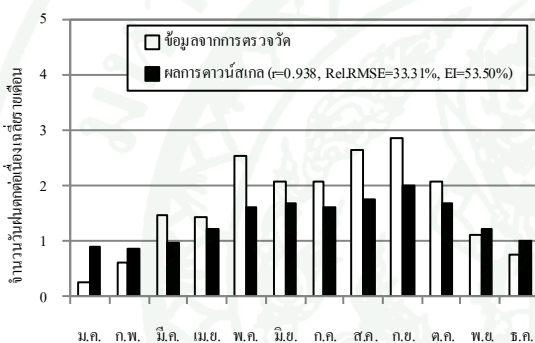
สถานีวัดน้ำฝน 07082

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

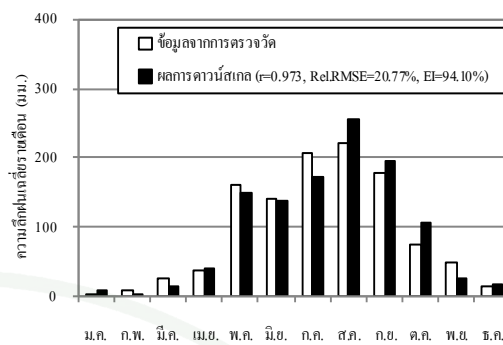
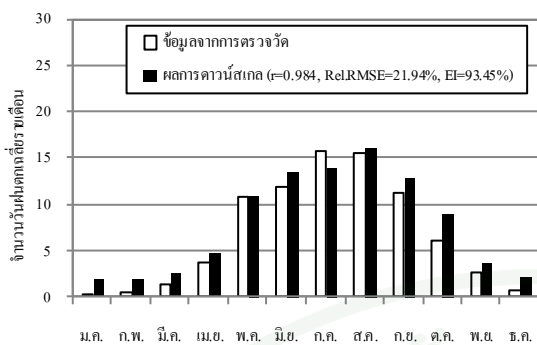


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

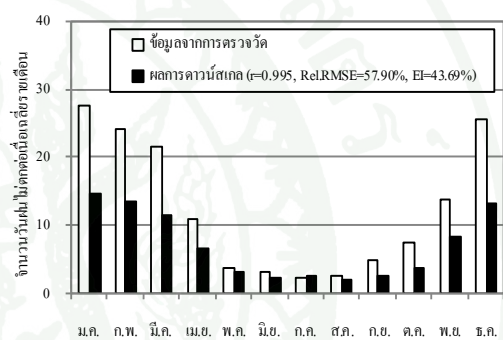
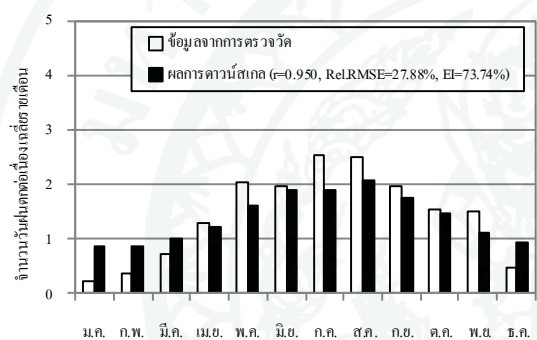
สถานีวัดน้ำฝน 07092

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

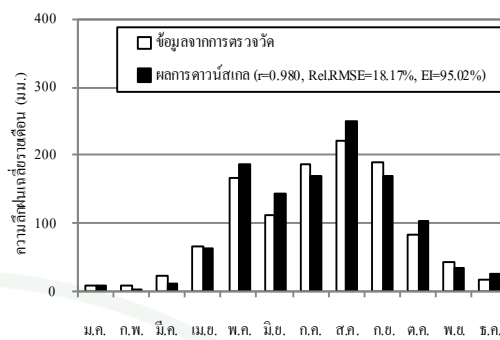
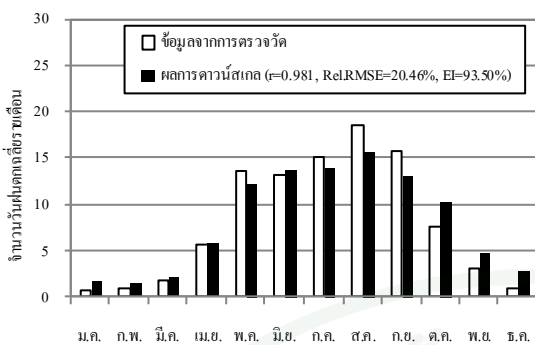


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

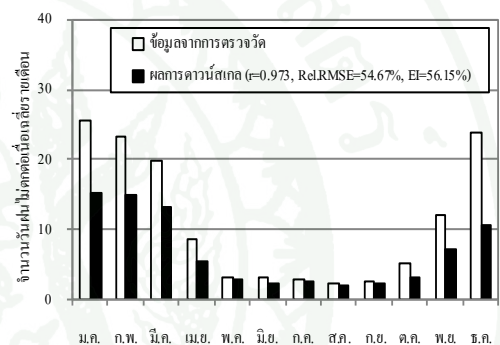
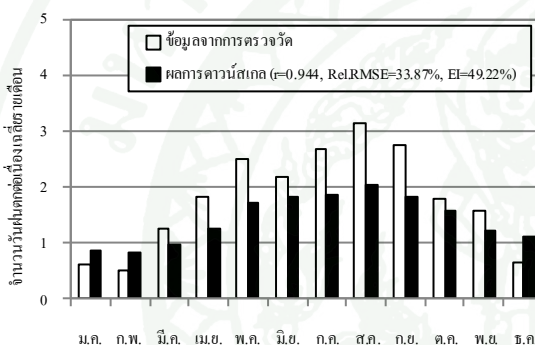
สถานีวัดน้ำฝน 07112

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

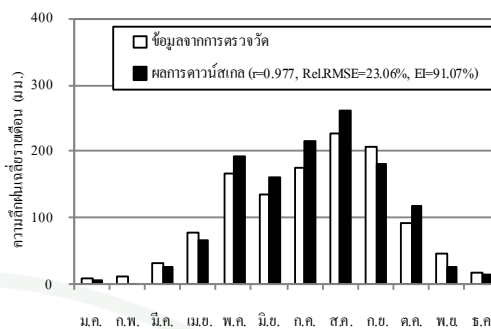
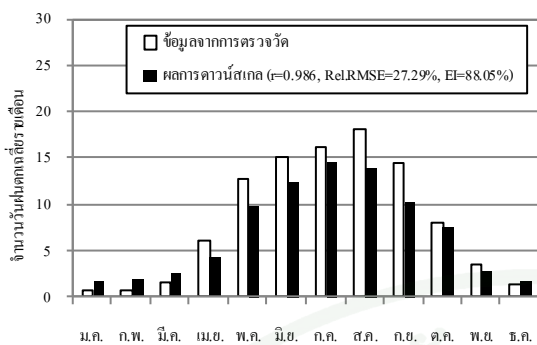


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

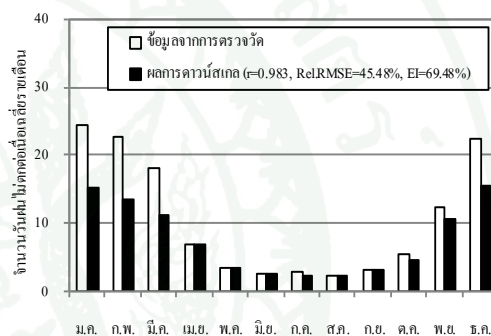
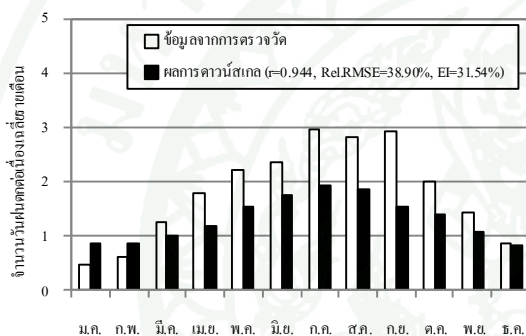
สถานีวัดน้ำฝน 07122

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

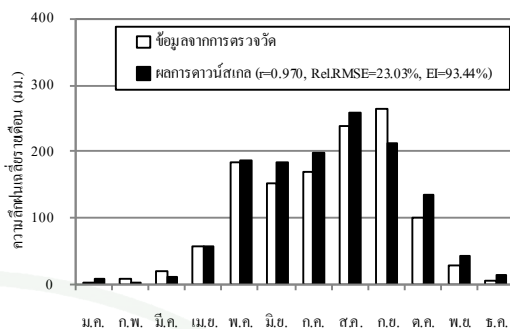
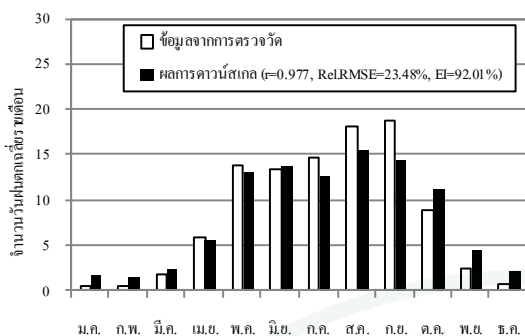


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

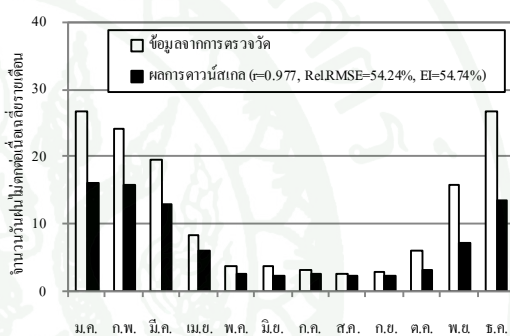
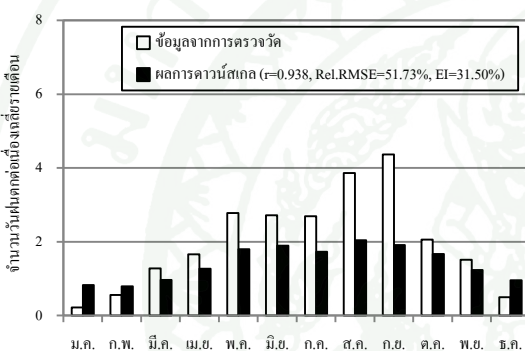
สถานีวัดน้ำฝน 07132

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

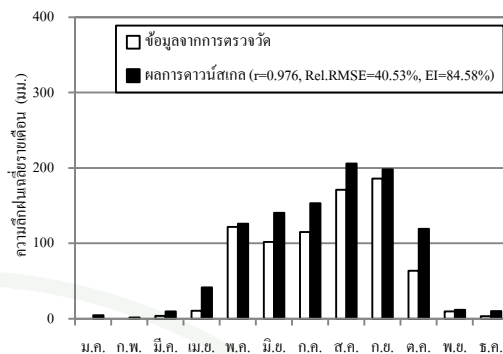
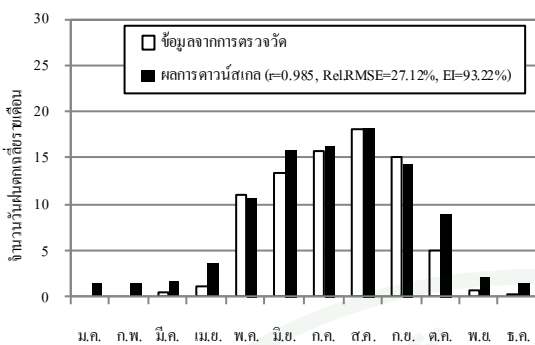


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน

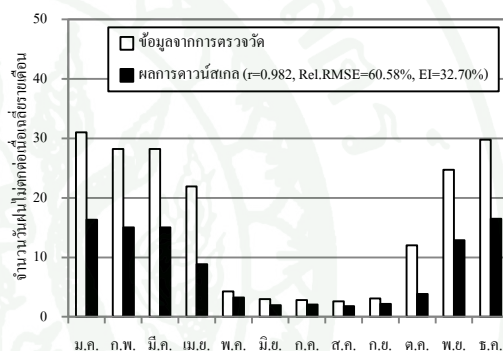
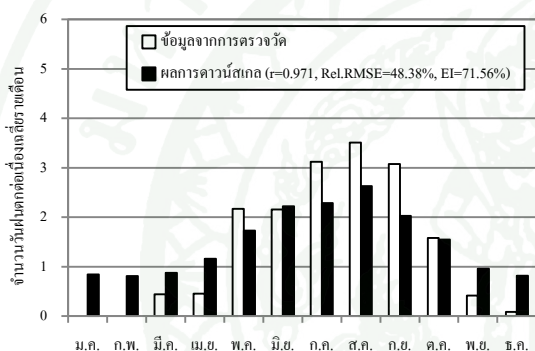
สถานีวัดน้ำฝน 07142

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

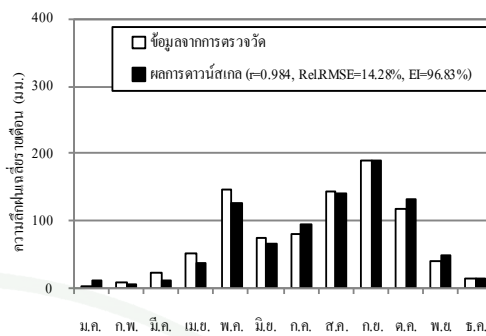
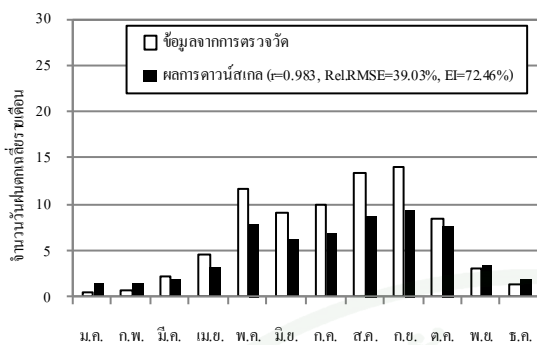


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

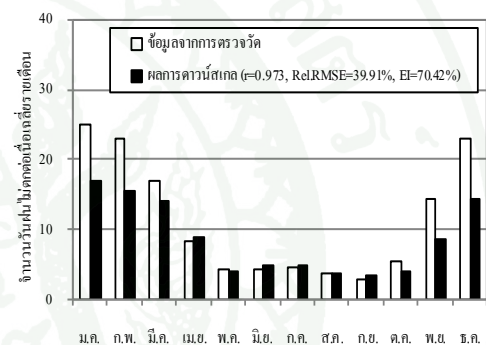
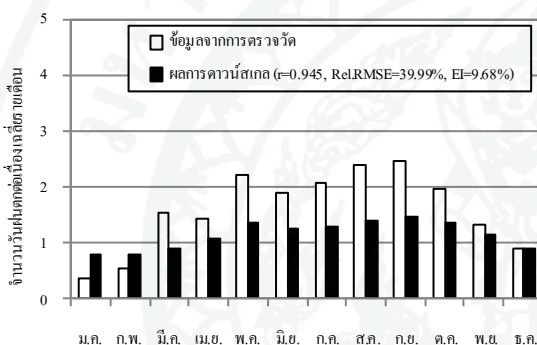
สถานีวัดน้ำฝน 07152

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

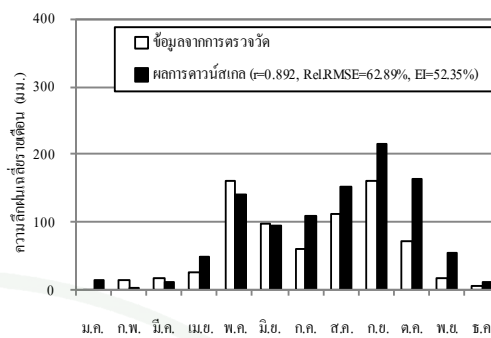
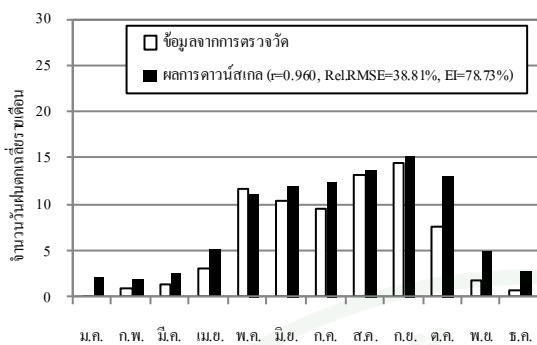


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

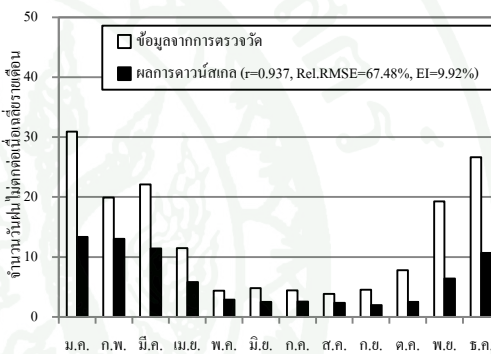
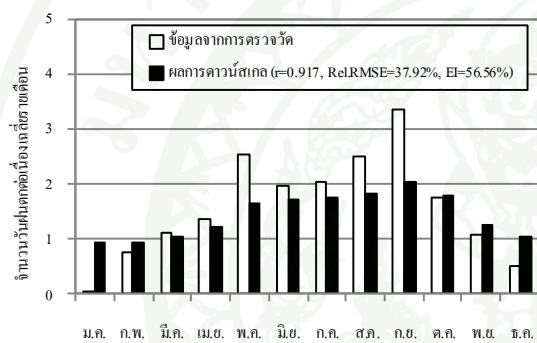
สถานีวัดน้ำฝน 07182

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

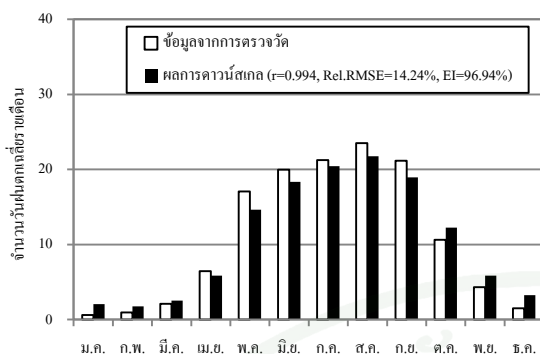


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

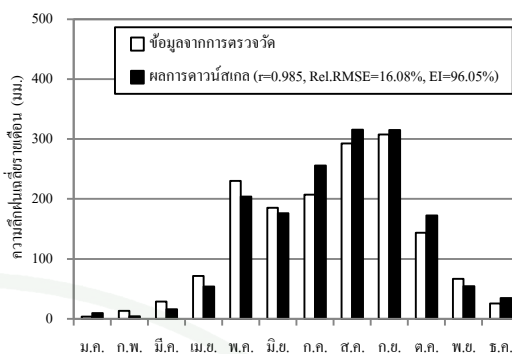
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

07192

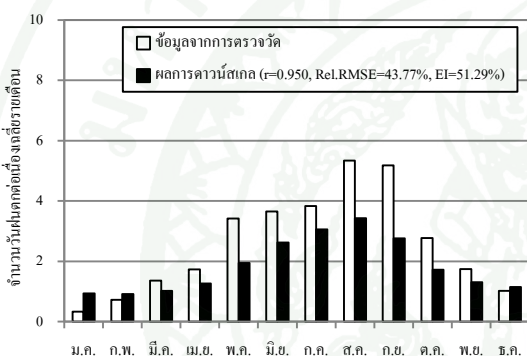
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



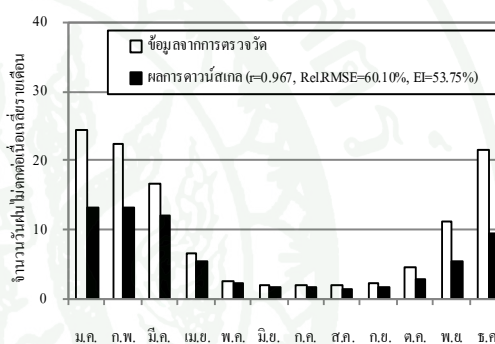
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



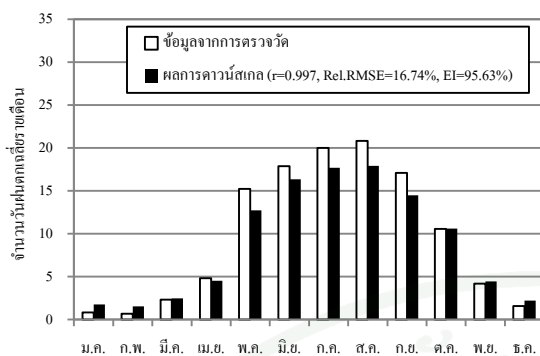
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



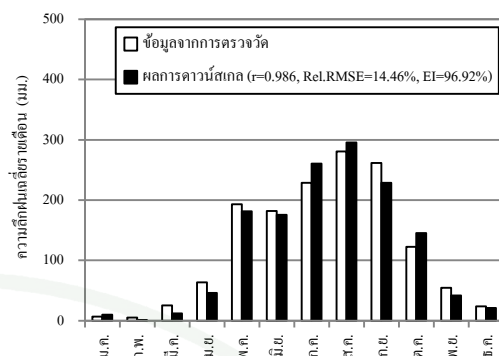
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07242

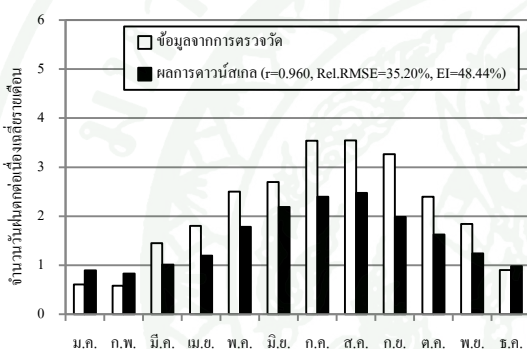
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



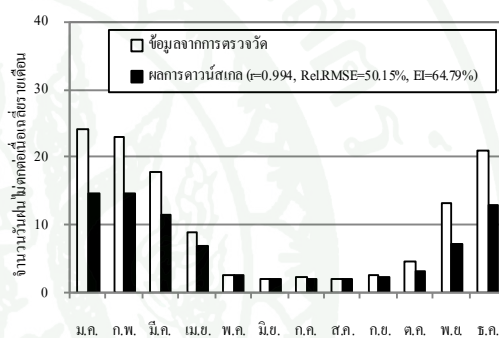
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



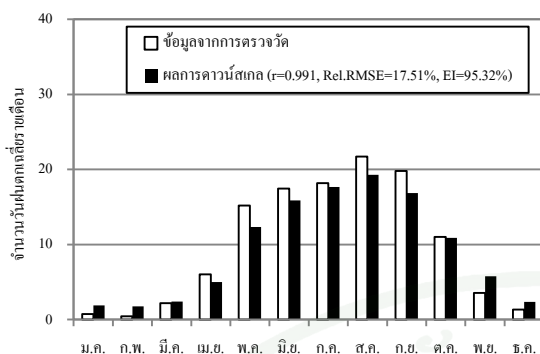
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



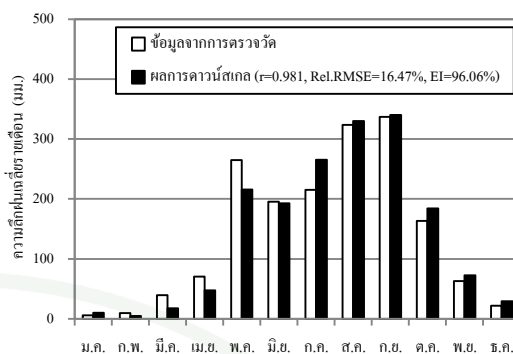
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07252

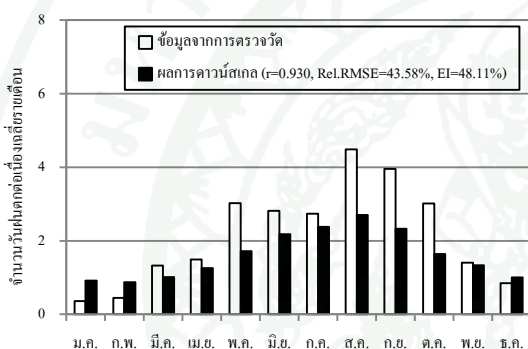
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



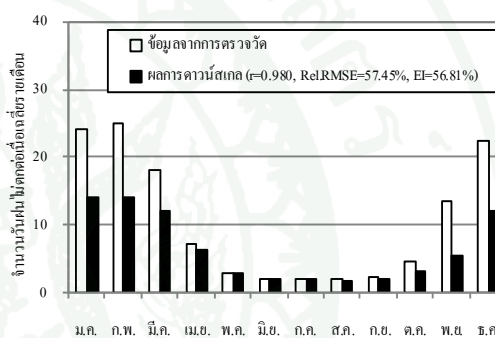
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน



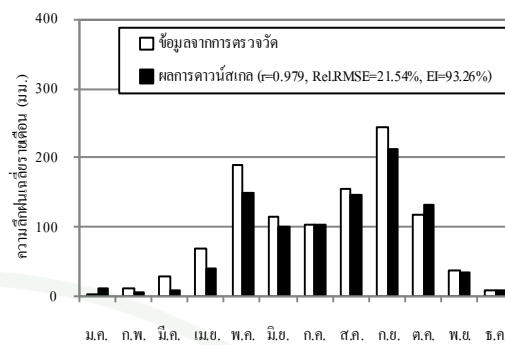
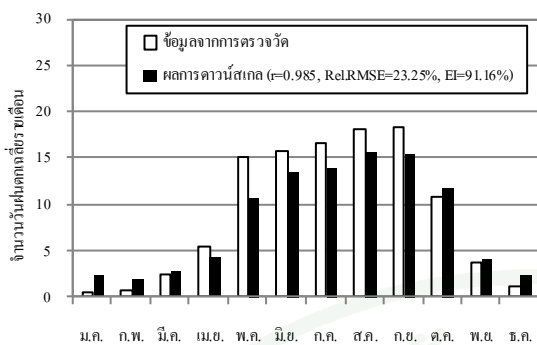
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

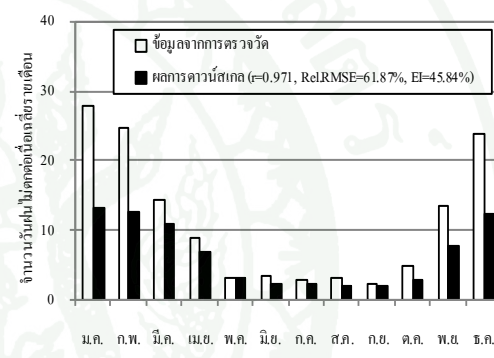
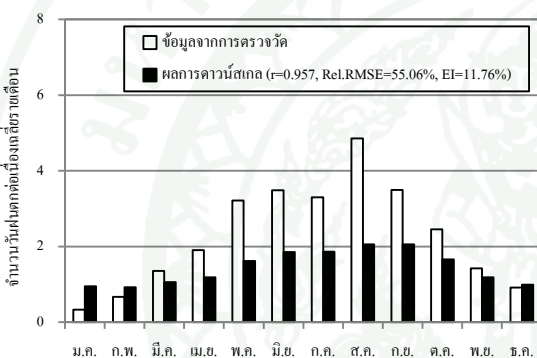
สถานีวัดน้ำฝน 07262

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

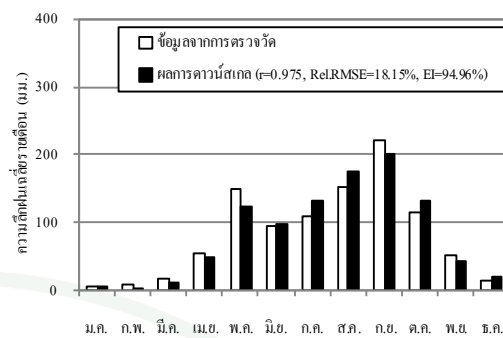
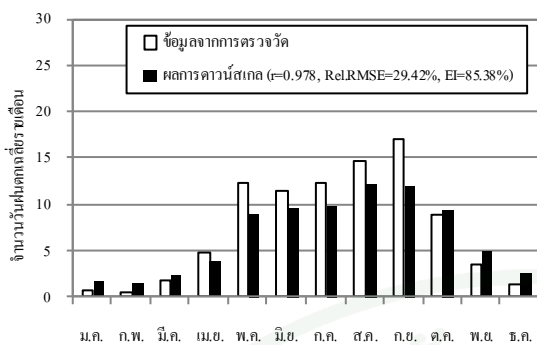


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

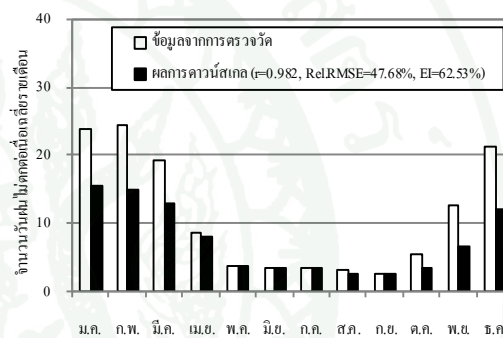
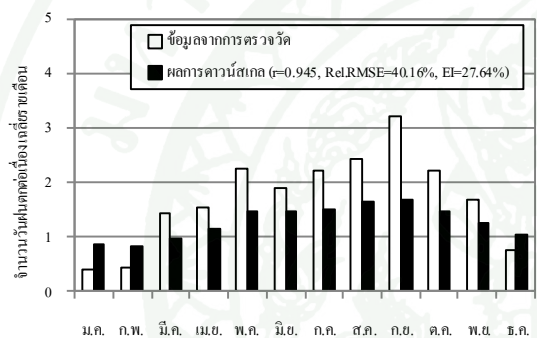
สถานีวัดน้ำฝน 07282

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

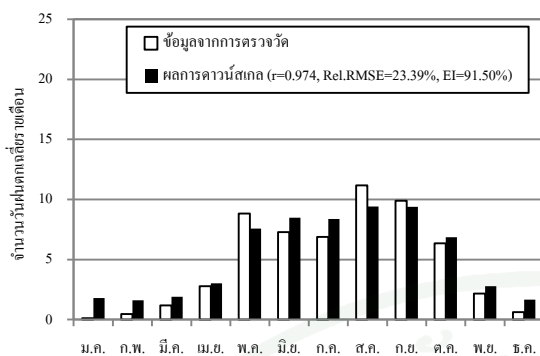


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

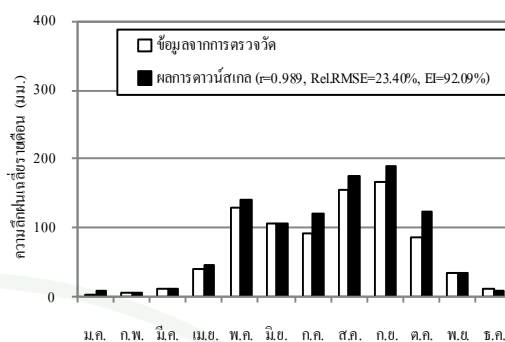
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07292

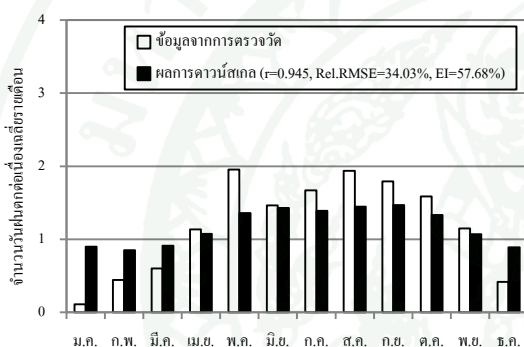
ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



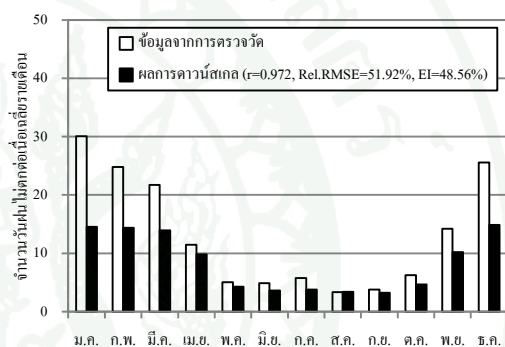
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



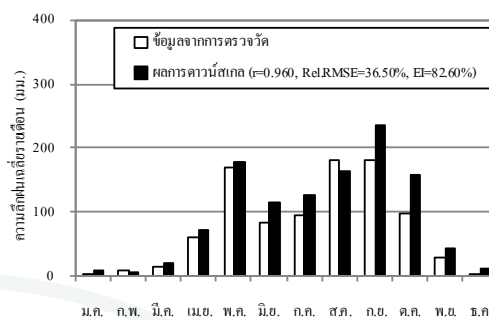
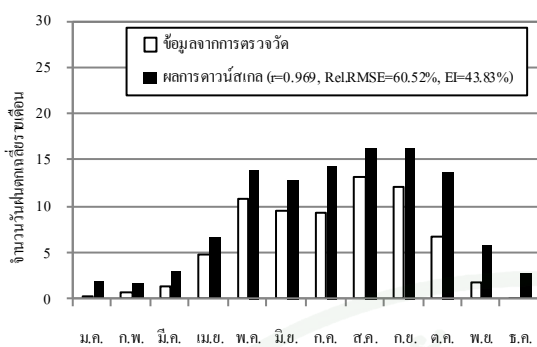
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

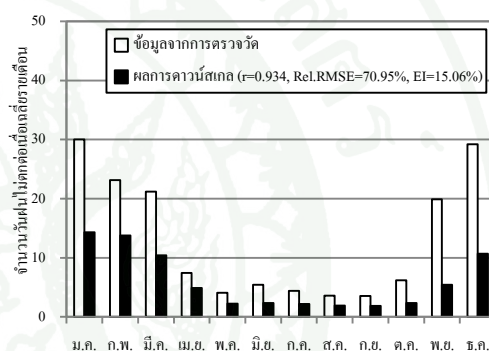
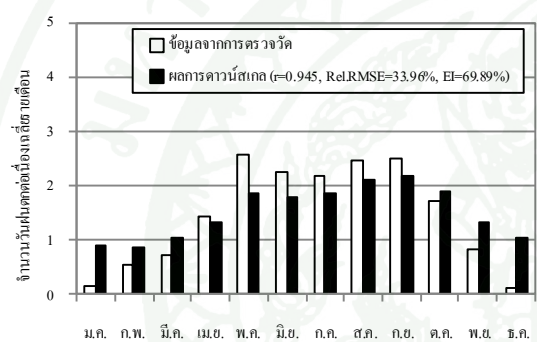
สถานีวัดน้ำฝน 17012

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

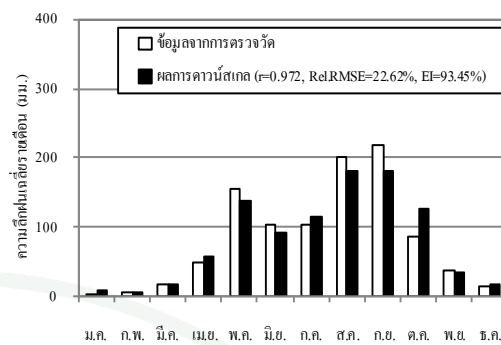
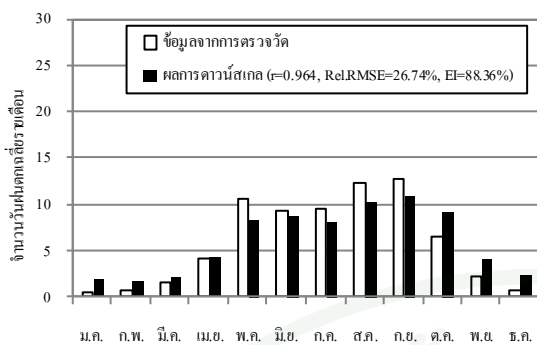


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

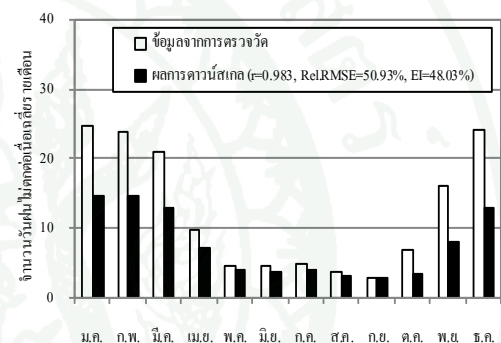
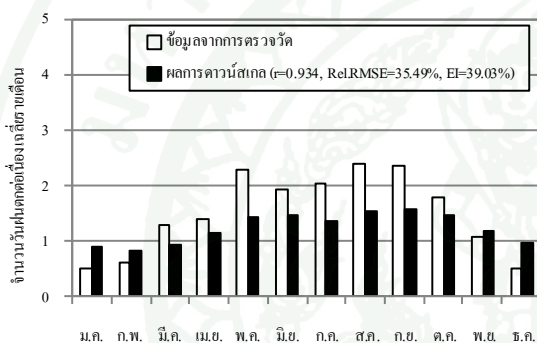
สถานีวัดน้ำฝน 17022

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

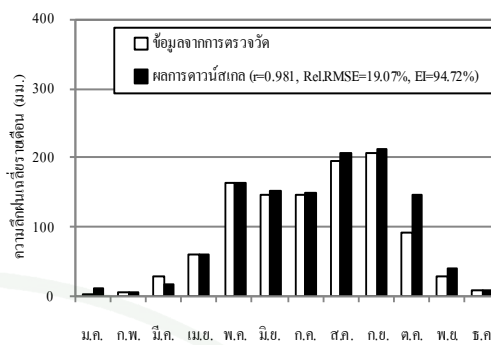
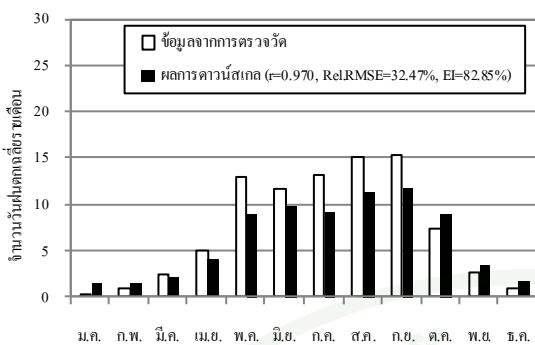


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

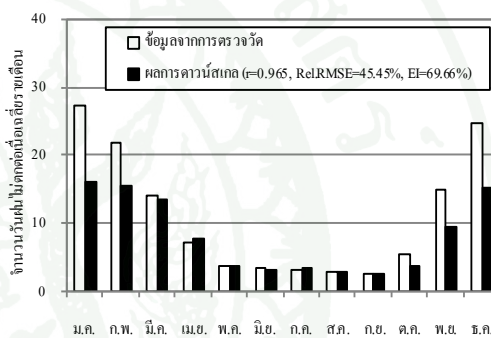
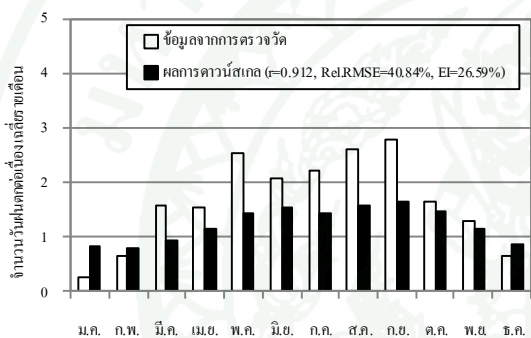
สถานีวัดน้ำฝน 17032

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

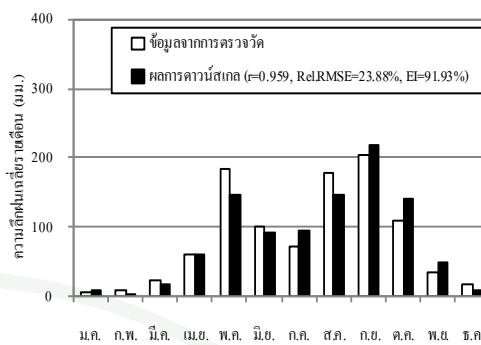
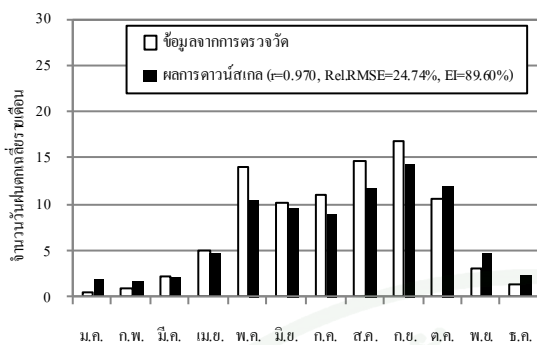


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

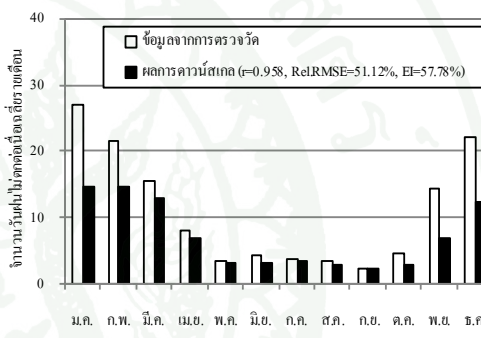
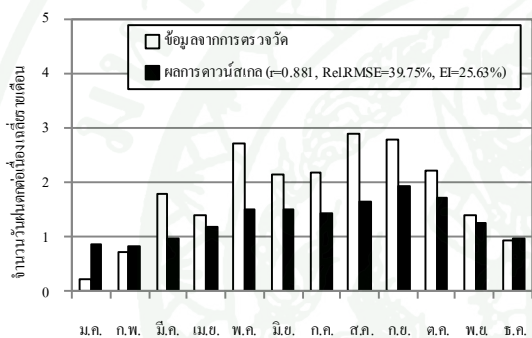
สถานีวัดน้ำฝน 17042

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

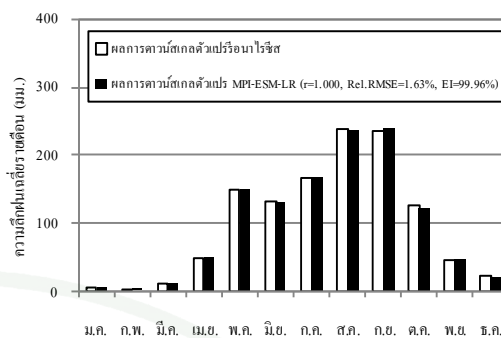
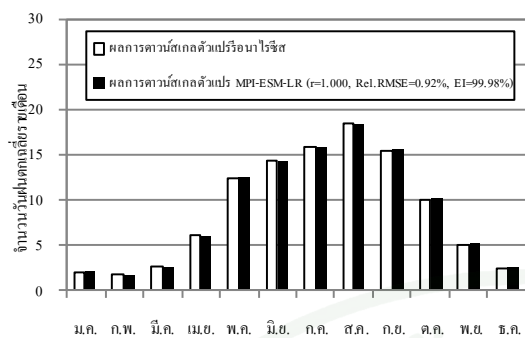


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

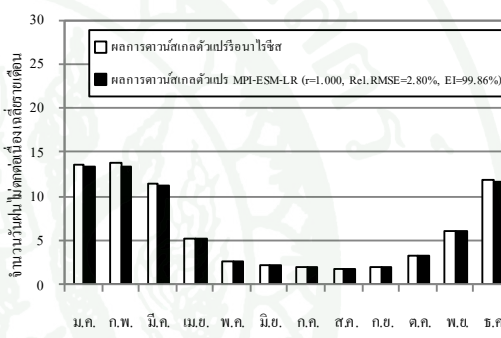
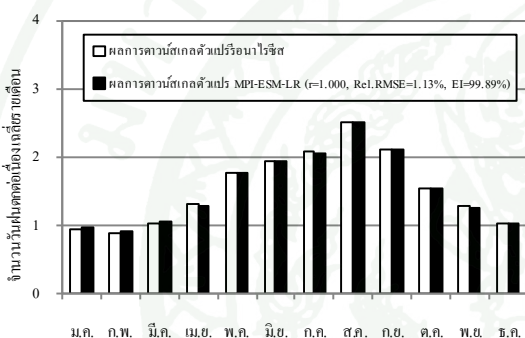
สถานีวัดน้ำฝน 17052

ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

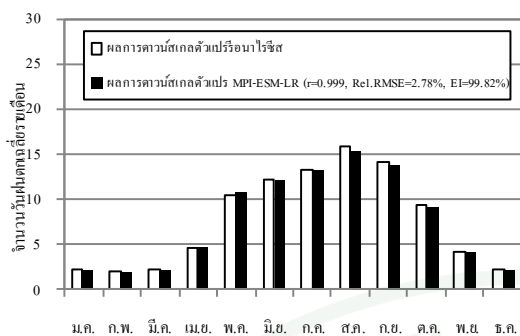


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน

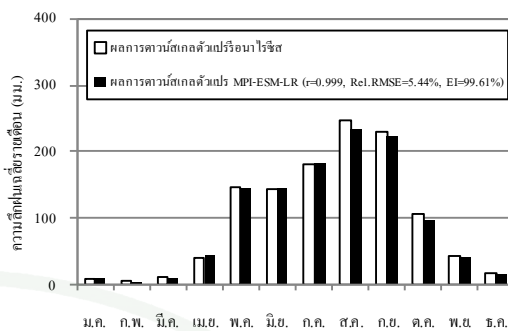
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07013

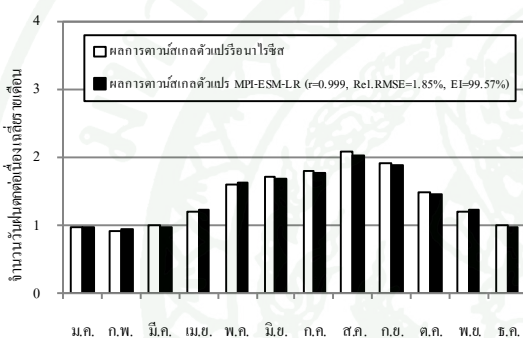
ภาพผนวกที่ 3 ผลการคำนวณสเกลการเกิดฝนและความลึกฝนโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MPI-ESM-LR เปรียบเทียบกับผลที่ได้โดยภูมิอากาศโลกประเภทรีอนาไลซิสสำหรับสถานี 07013-17052 ระหว่างปี ค.ศ.1960-2005



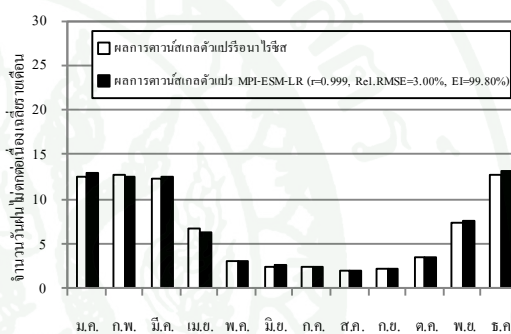
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



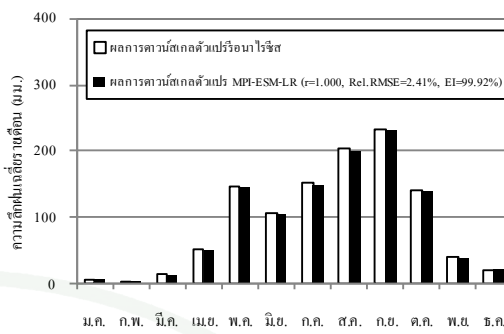
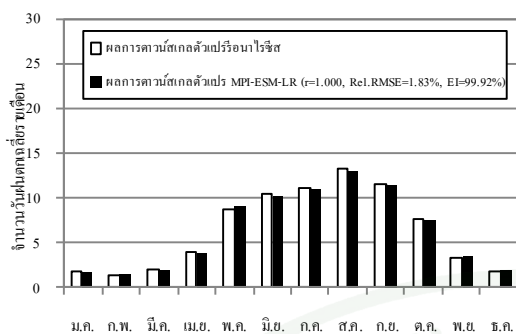
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

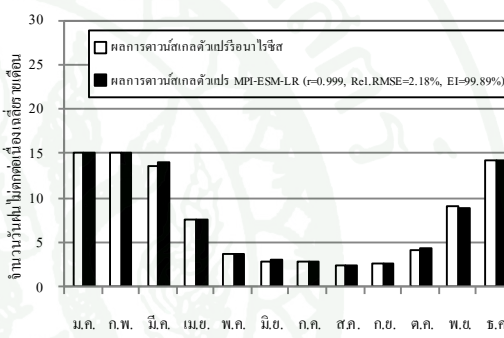
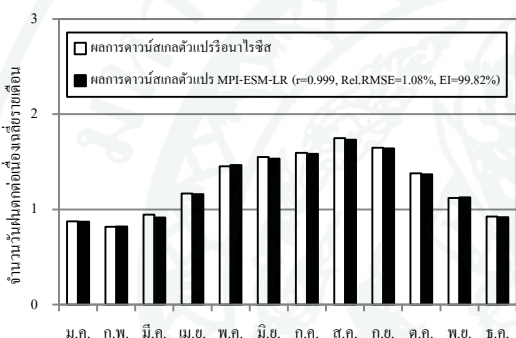
สถานีวัดน้ำฝน 07052

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเพิ่มขึ้นรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเพิ่มขึ้นรายเดือน

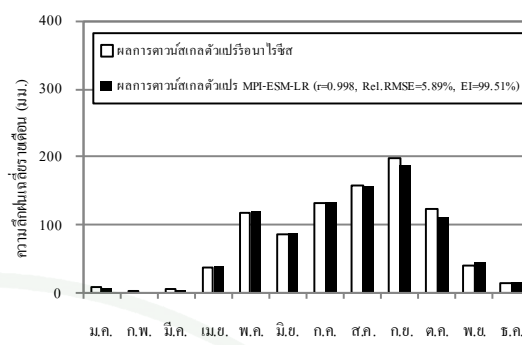
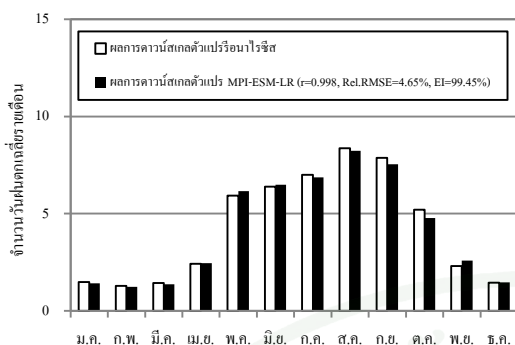


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องรายเดือน

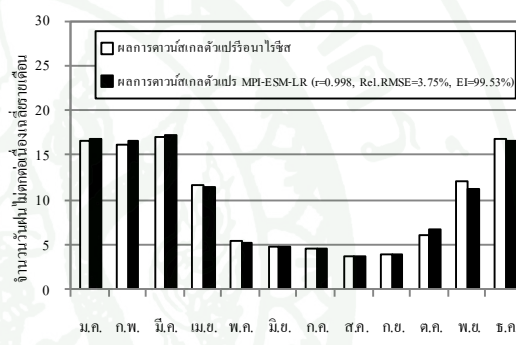
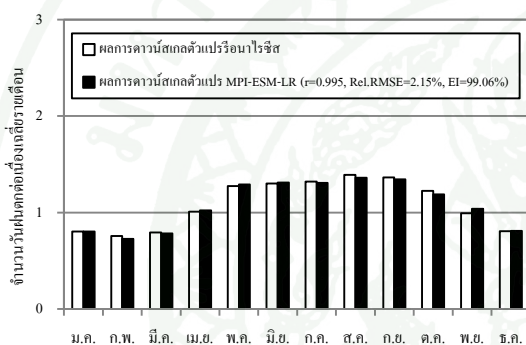
สถานีวัดน้ำฝน 07072

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

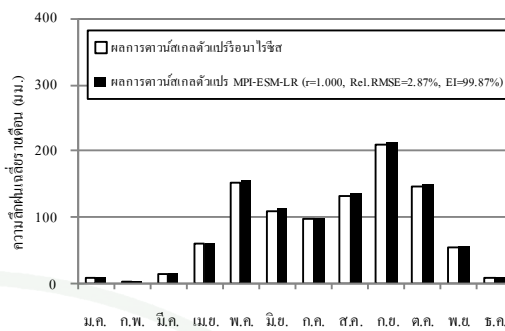
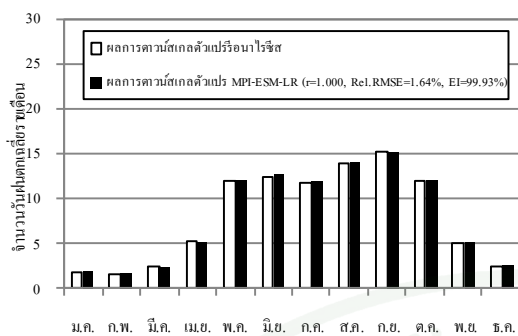


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

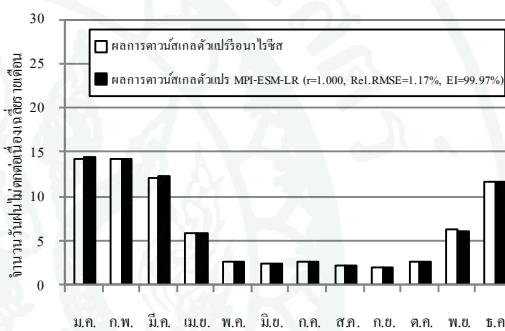
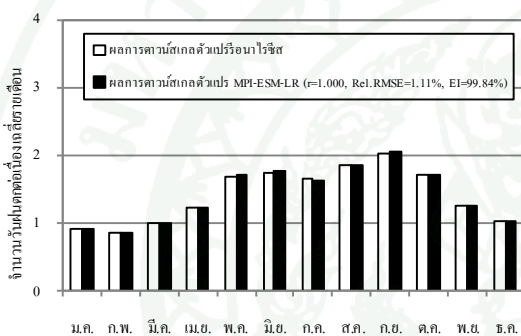
สถานีวัดน้ำฝน 07082

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

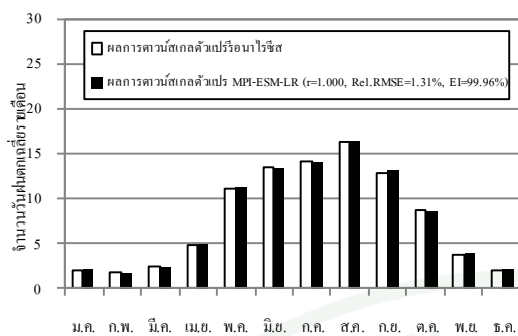


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน

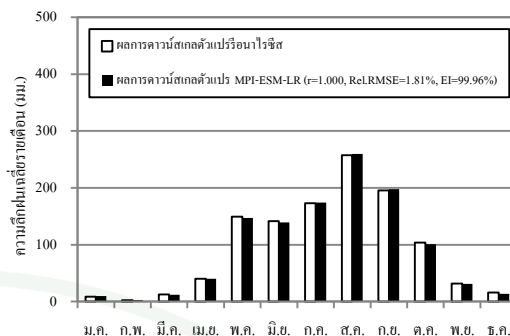
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07092

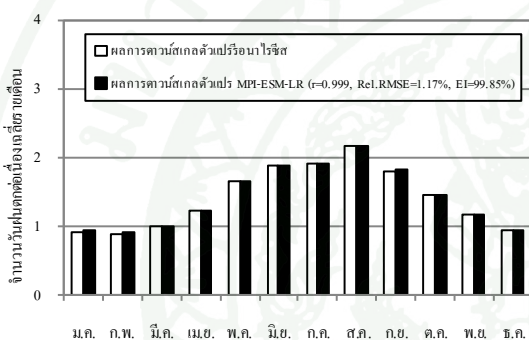
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



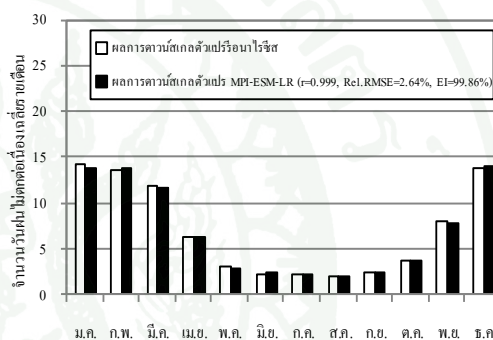
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน



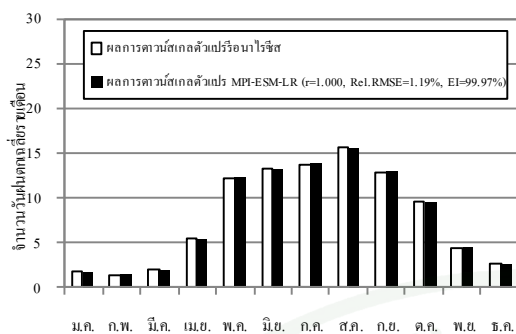
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



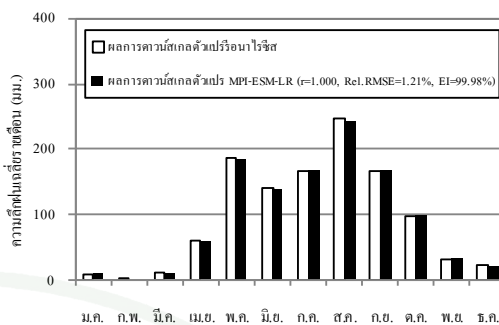
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07112

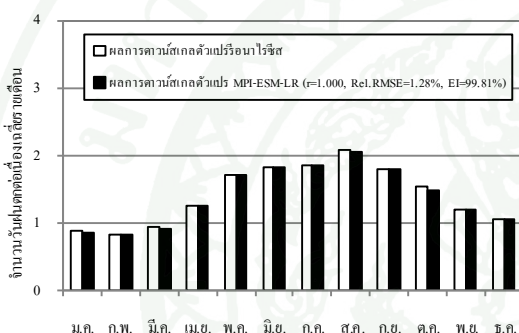
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



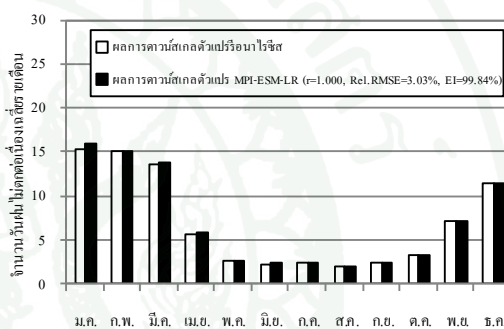
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



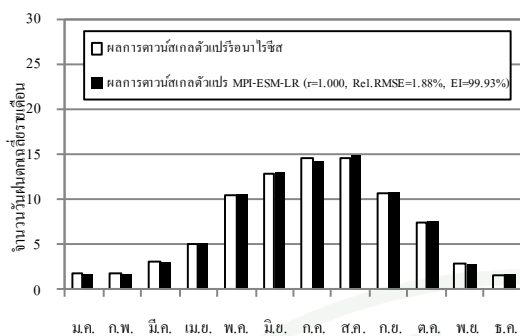
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



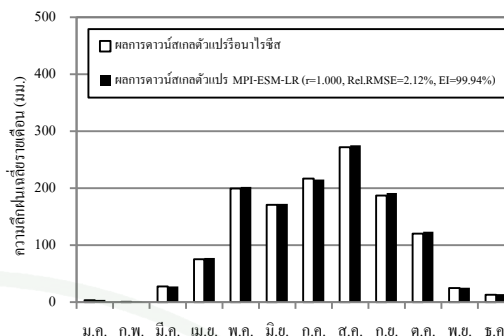
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07122

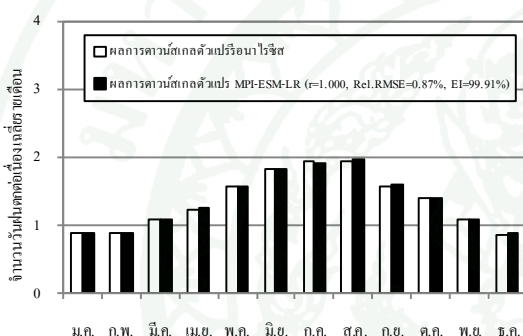
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



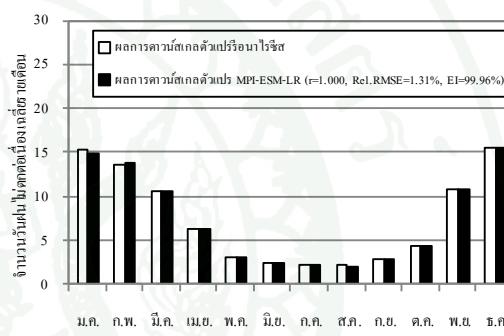
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



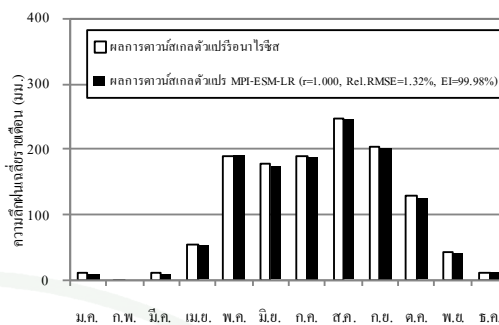
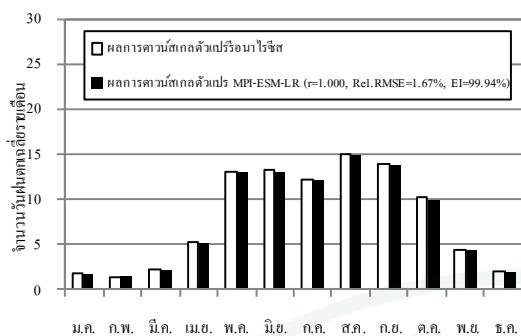
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

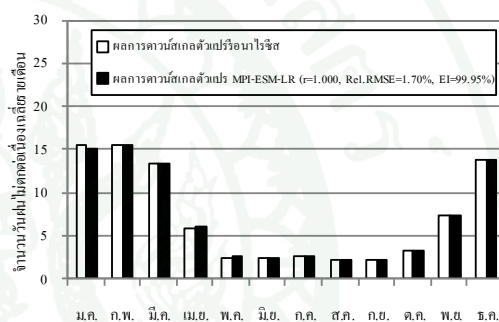
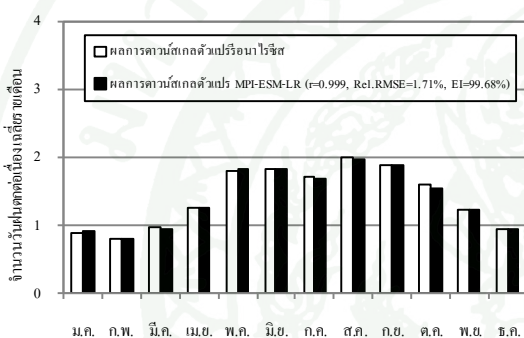
สถานีวัดน้ำฝน 07132

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

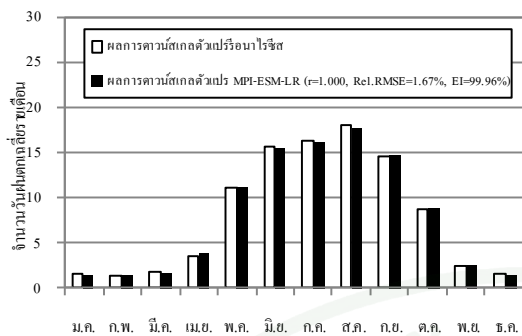


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

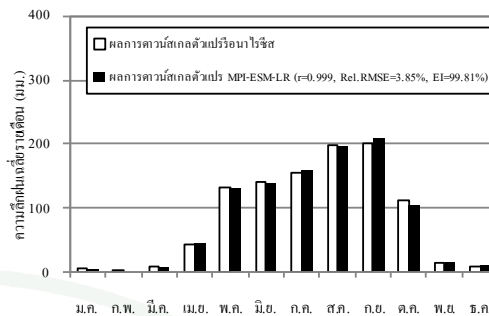
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07142

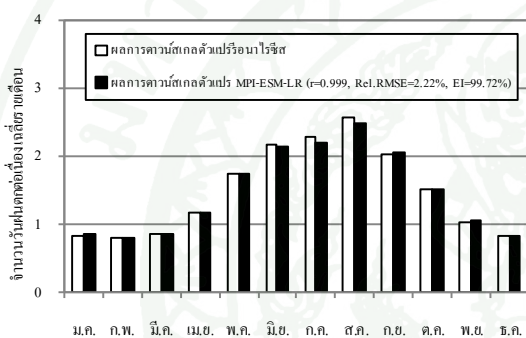
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



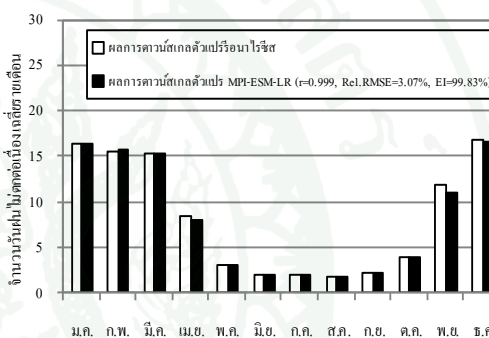
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



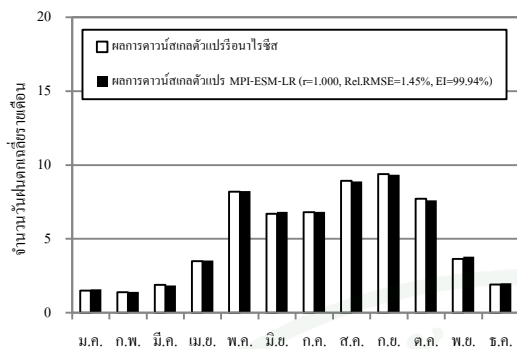
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



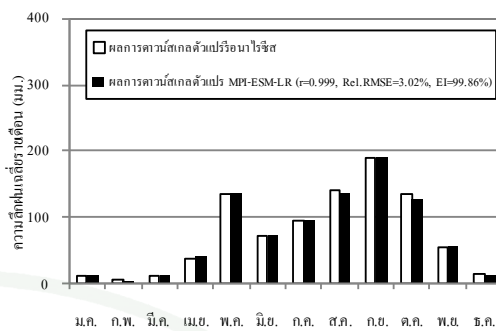
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07152

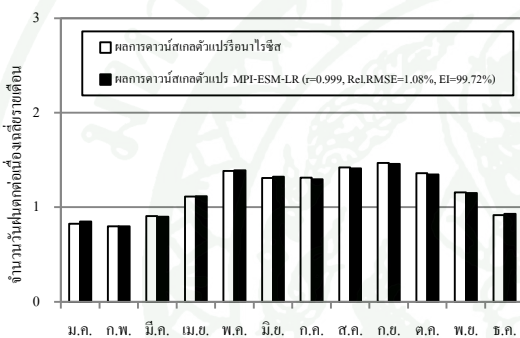
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



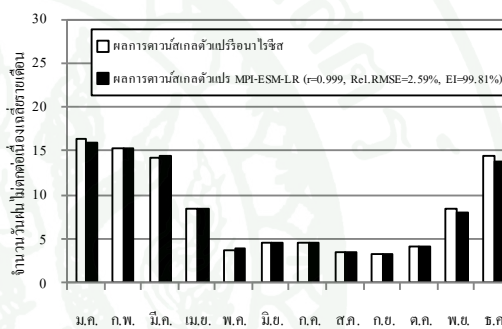
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



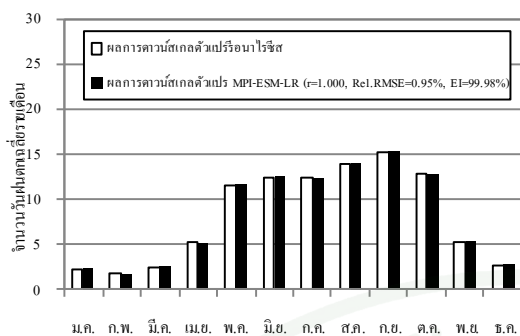
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



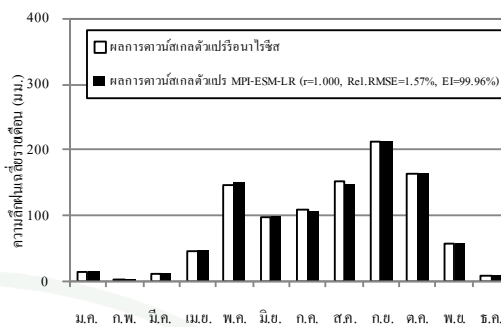
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07182

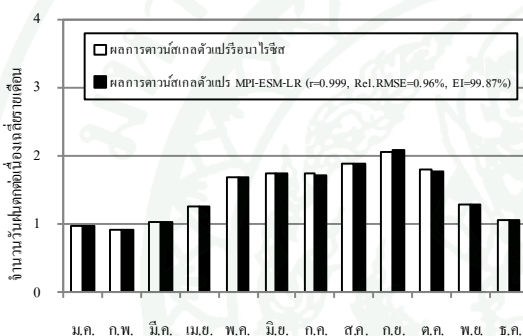
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



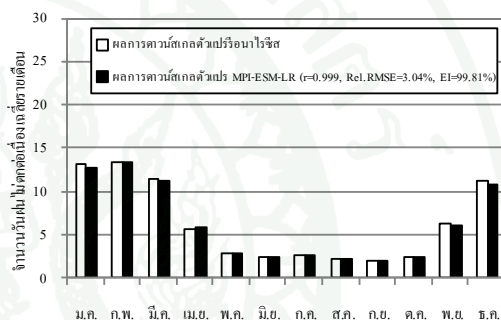
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



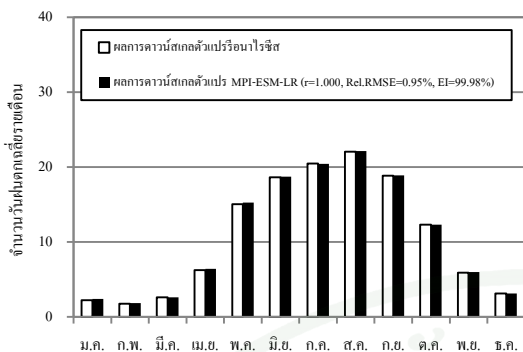
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



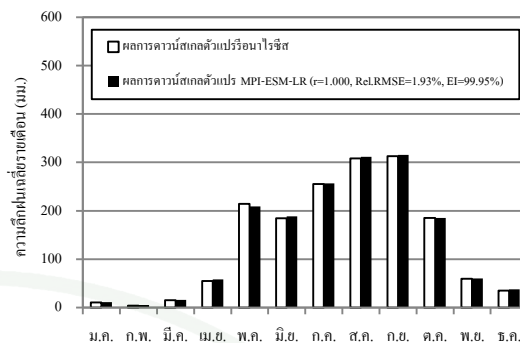
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07192

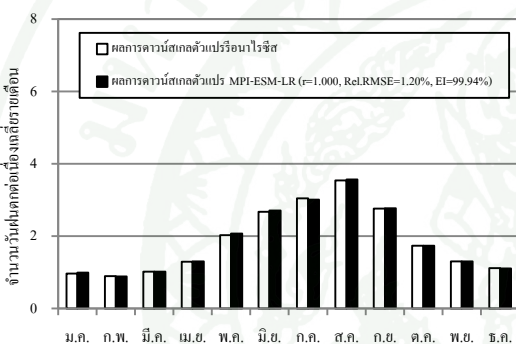
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



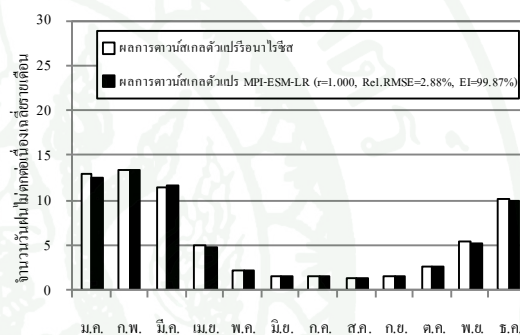
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



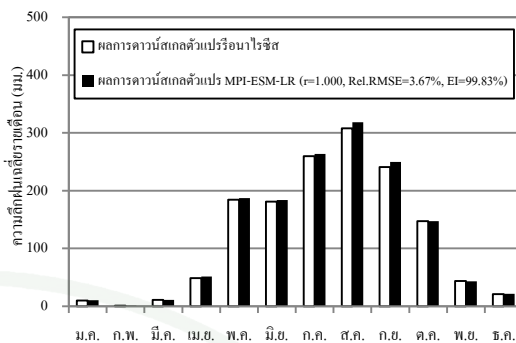
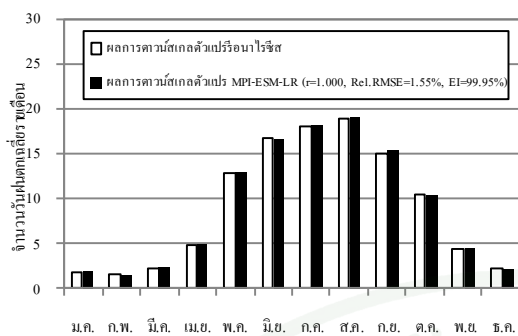
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

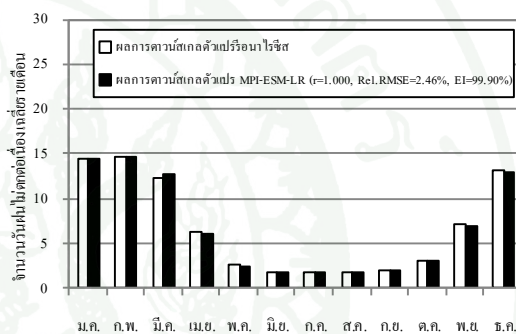
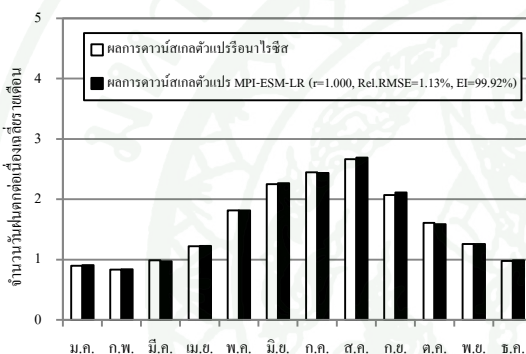
สถานีวัดน้ำฝน 07242

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

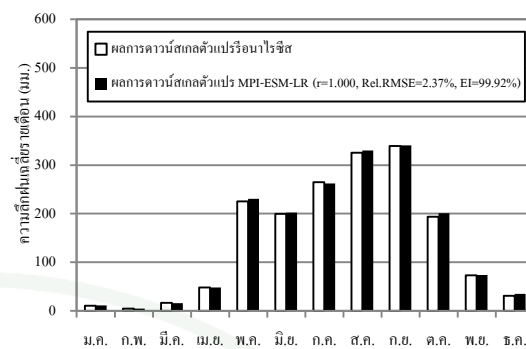
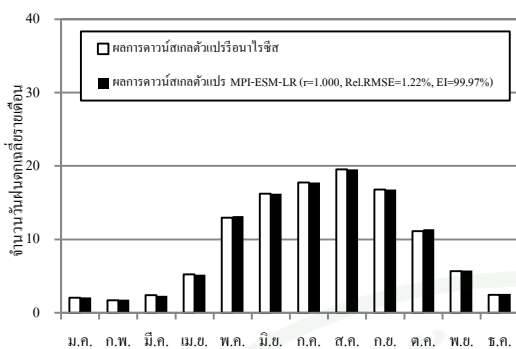


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

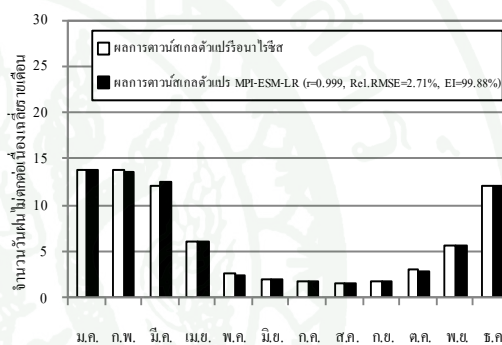
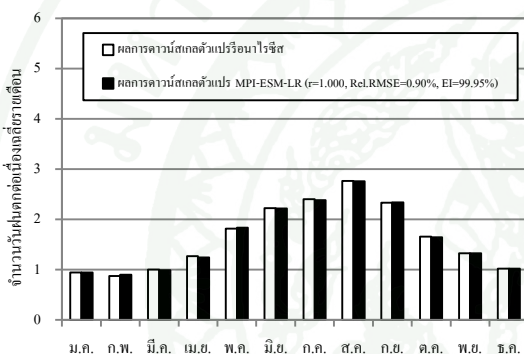
สถานีวัดน้ำฝน 07252

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

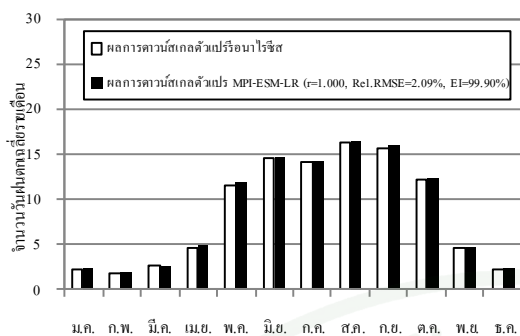


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

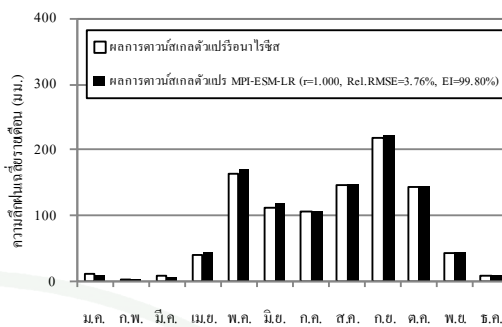
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07262

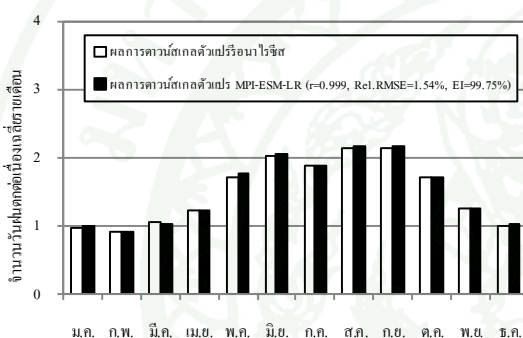
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



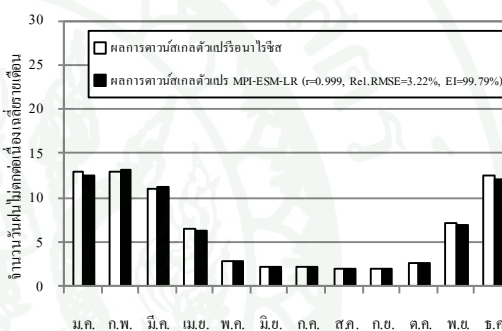
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



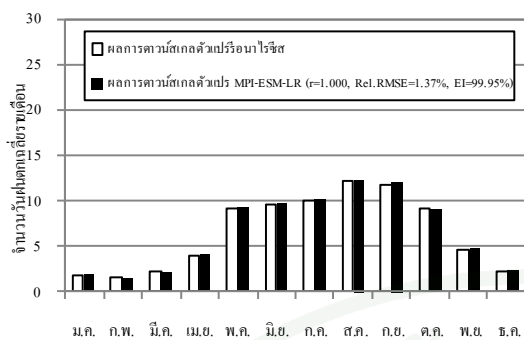
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



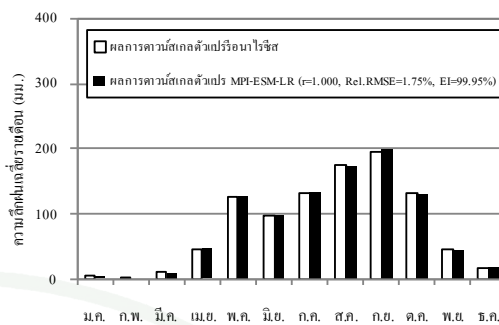
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07282

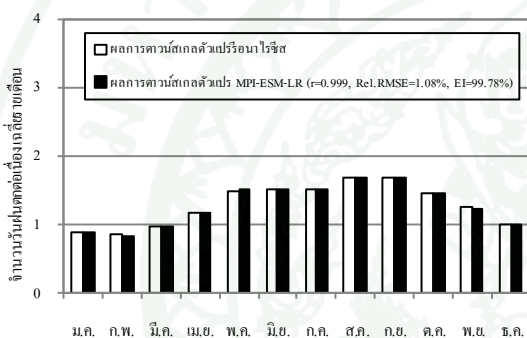
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



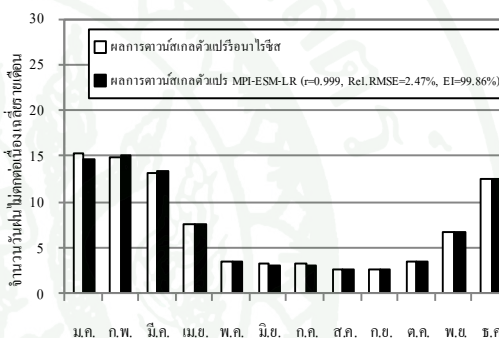
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน



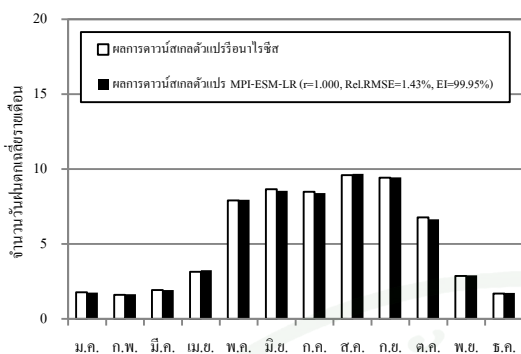
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



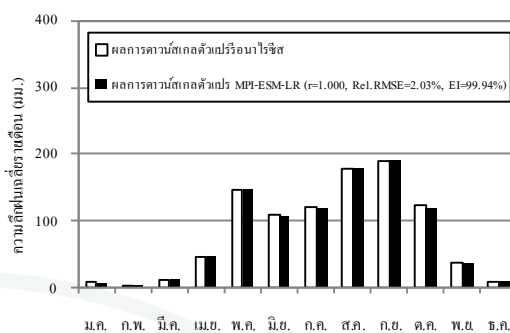
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07292

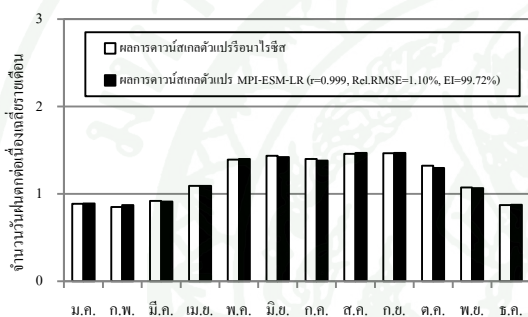
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



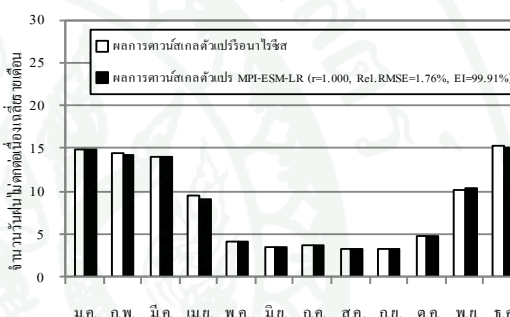
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



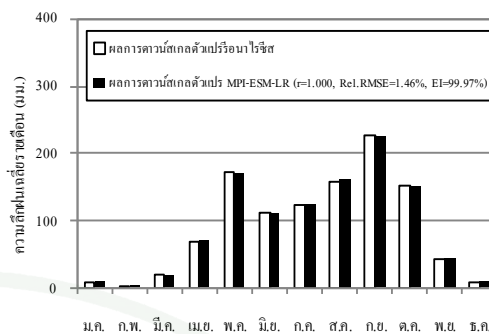
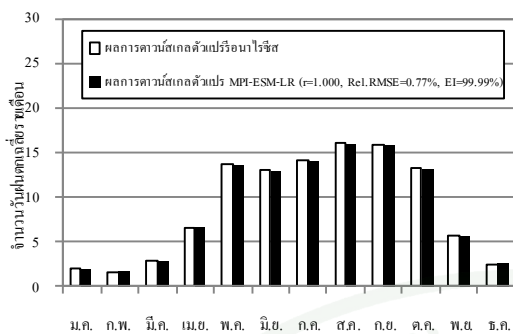
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

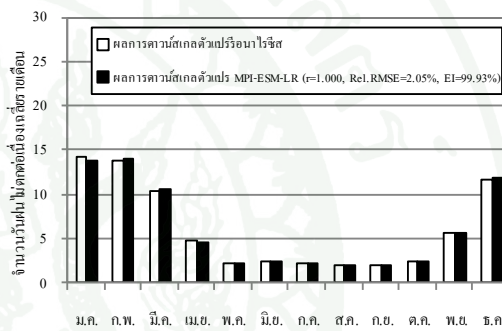
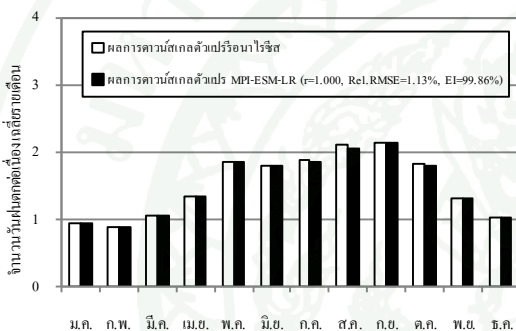
สถานีวัดน้ำฝน 17012

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

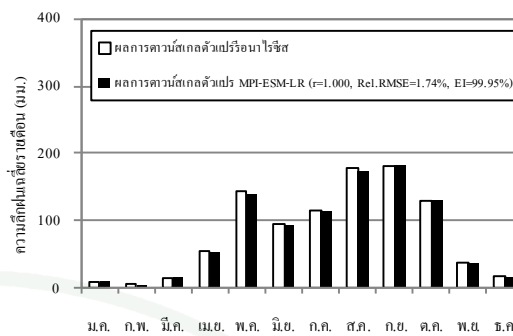
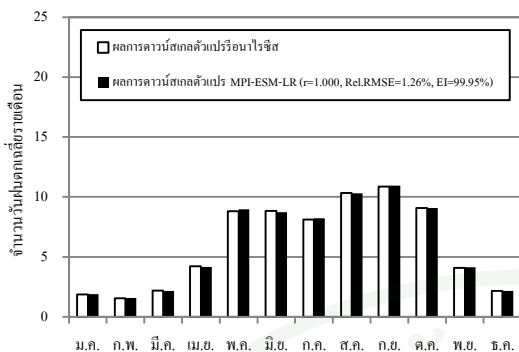


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

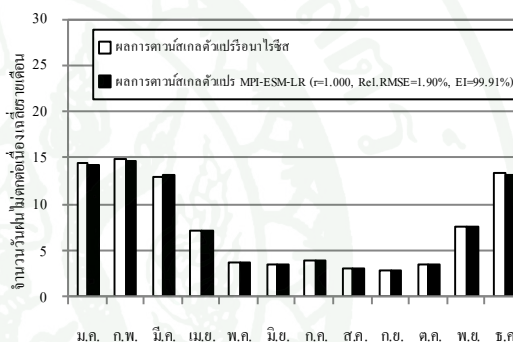
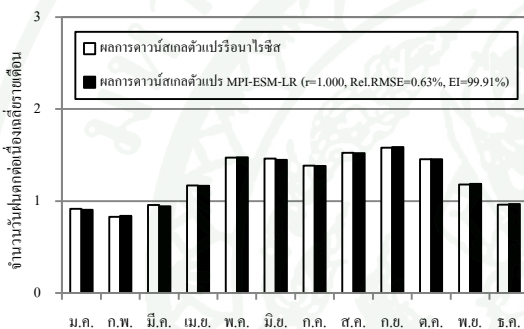
สถานีวัดน้ำฝน 17022

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

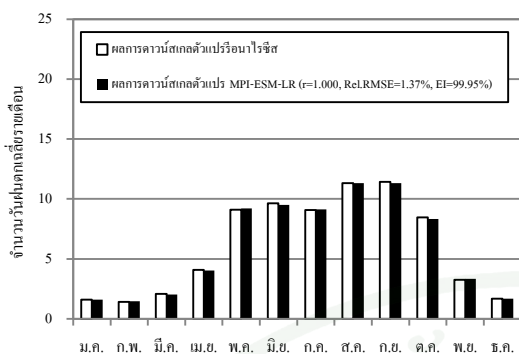


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

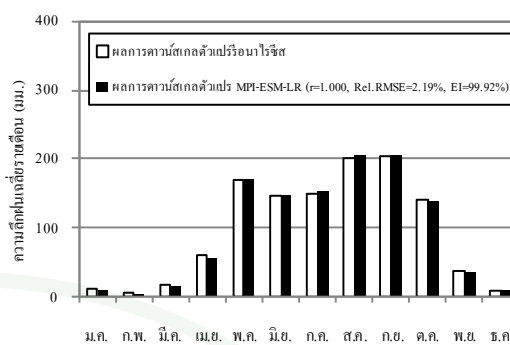
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 17032

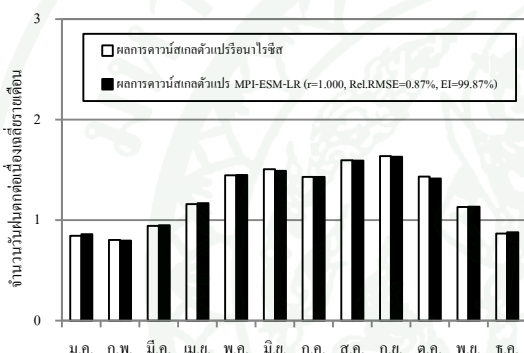
ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



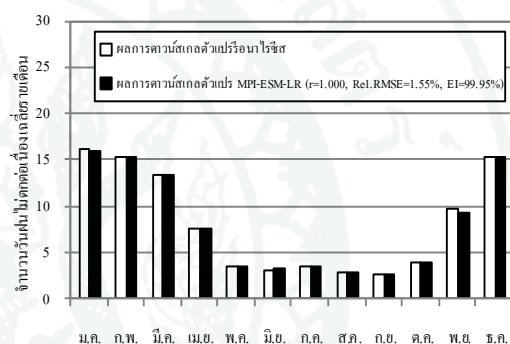
(ก) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องรายเดือน



(ข) ความถี่ฝนตกต่อเนื่องรายเดือน



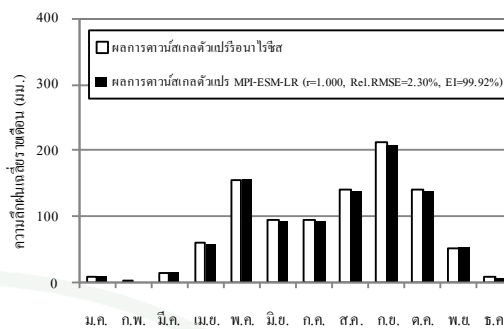
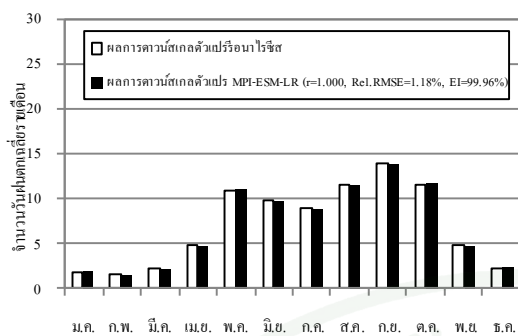
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

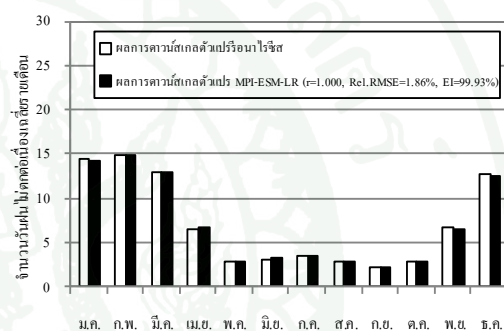
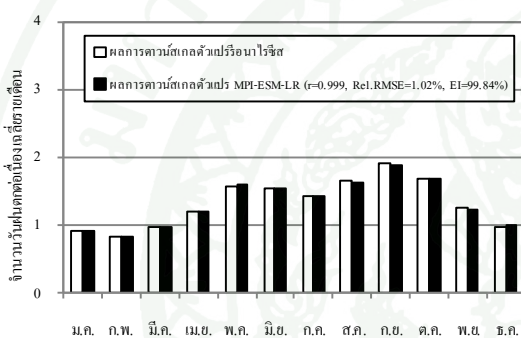
สถานีวัดน้ำฝน 17042

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันปลอดเงืงน้ำแข็งรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเงืงน้ำแข็งรายเดือน

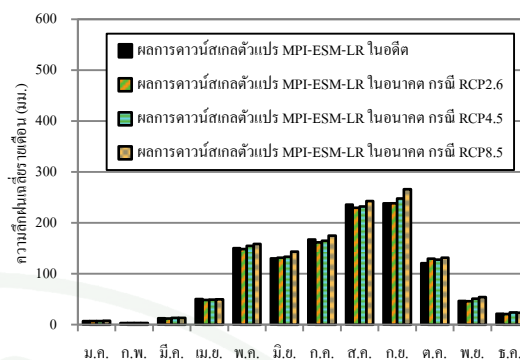
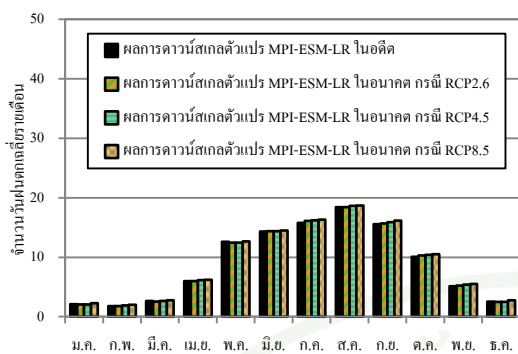


(ค) จำนวนวันฝนตกต่องเงืงน้ำแข็งรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่องเงืงน้ำแข็งรายเดือน

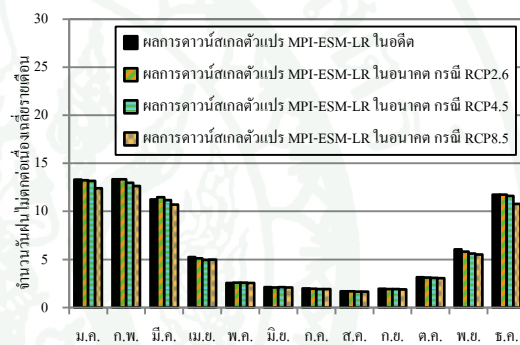
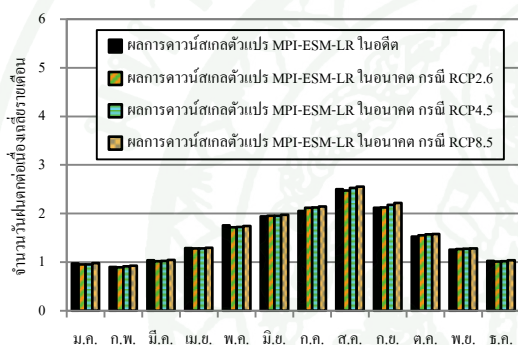
สถานีวัดน้ำฝน 17052

ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

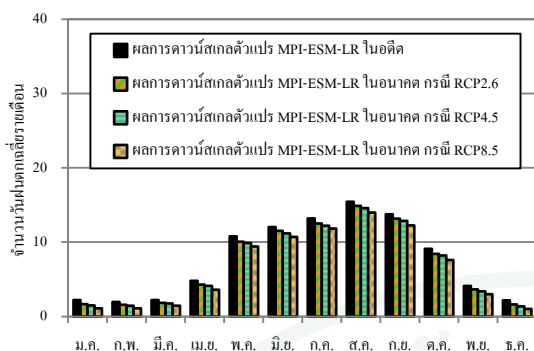


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

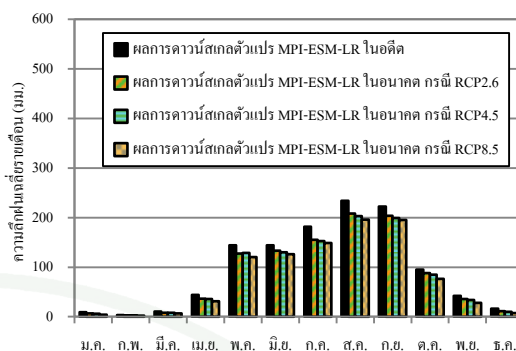
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07013

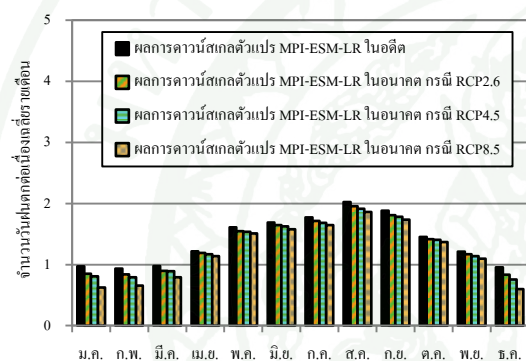
ภาพผนวกที่ 4 ผลการคำนวณสเกลการเกิดฝนและปริมาณฝนในอนาคตที่สถานีวัดน้ำฝน 07013-17052 สำหรับแต่ละสถานการณ์เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยผลการคำนวณสเกลในอดีต



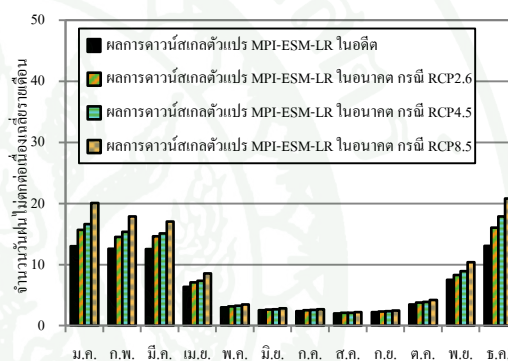
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



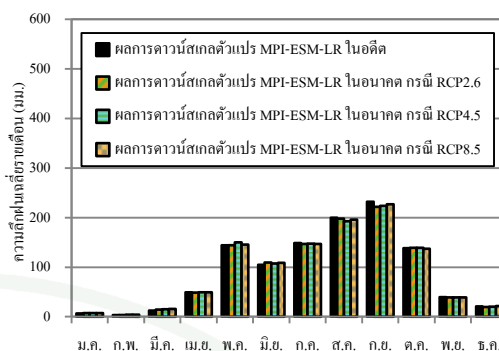
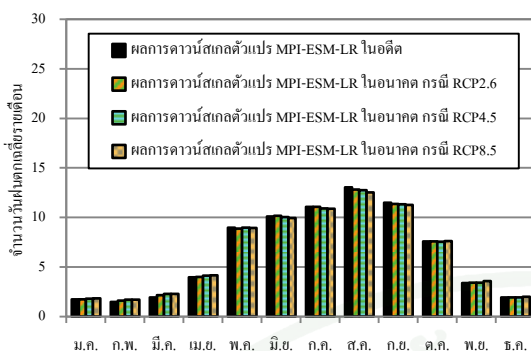
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

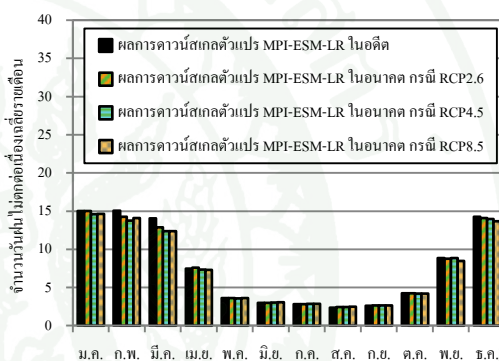
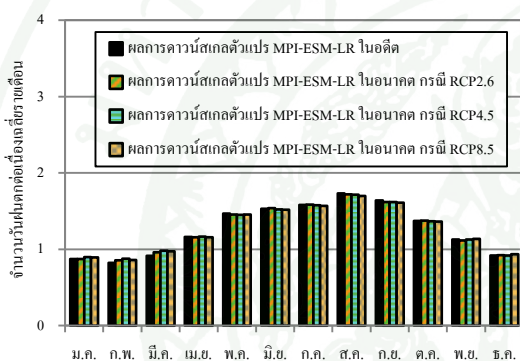
สถานีวัดน้ำฝน 07052

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

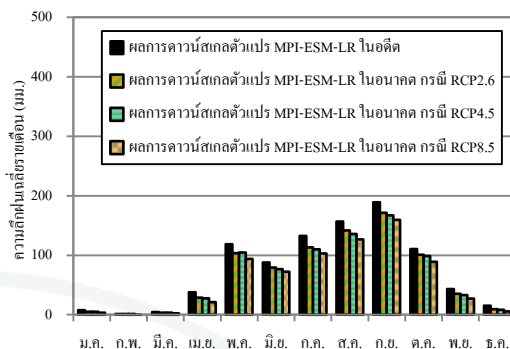
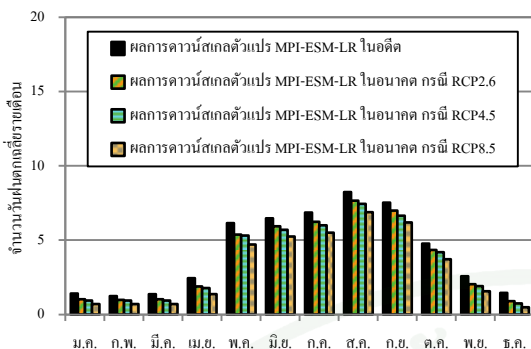


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

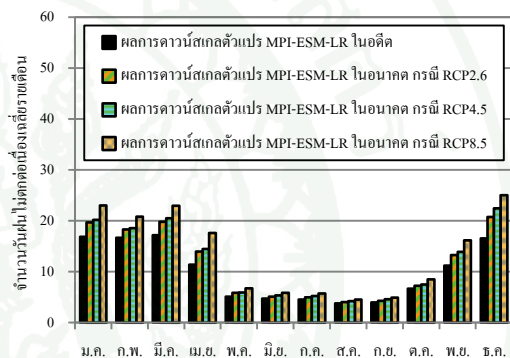
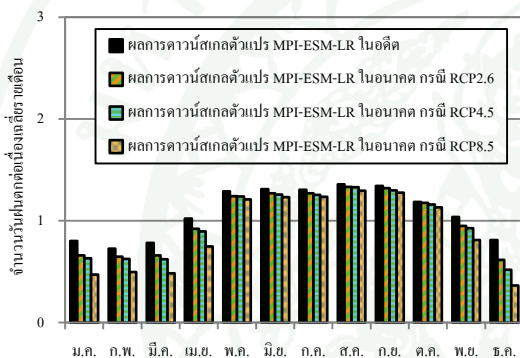
สถานีวัดน้ำฝน 07072

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

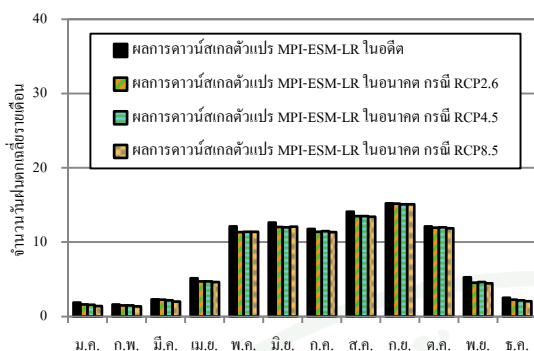


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

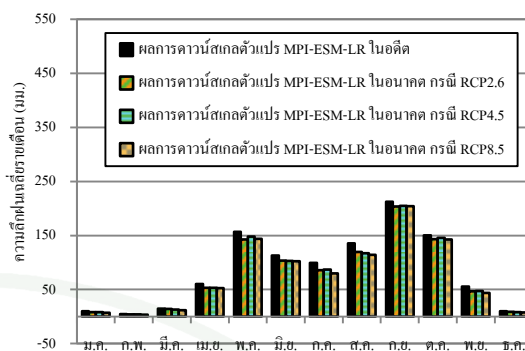
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07082

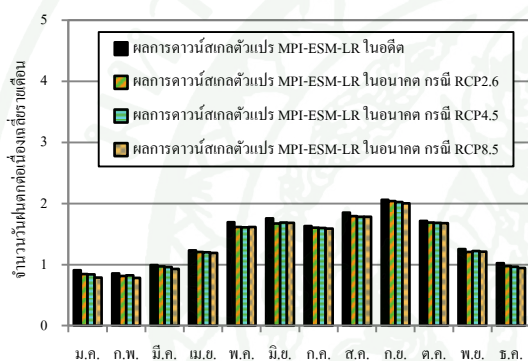
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



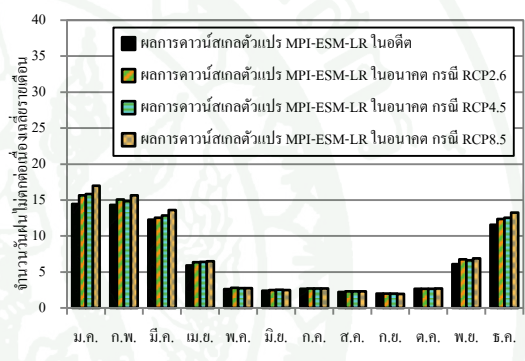
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



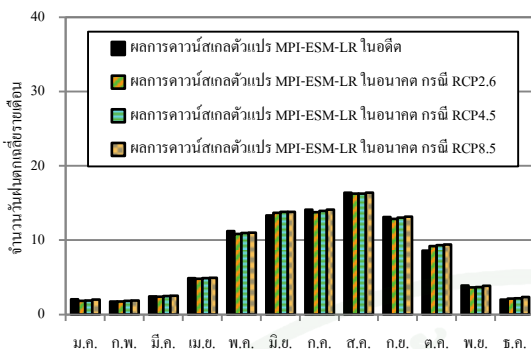
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



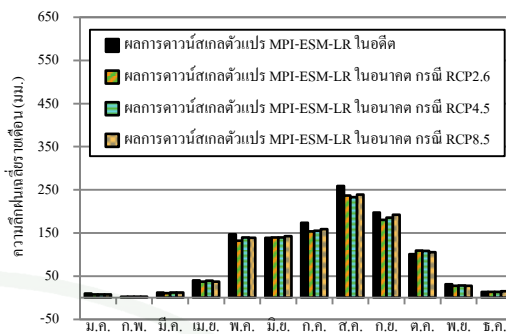
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07092

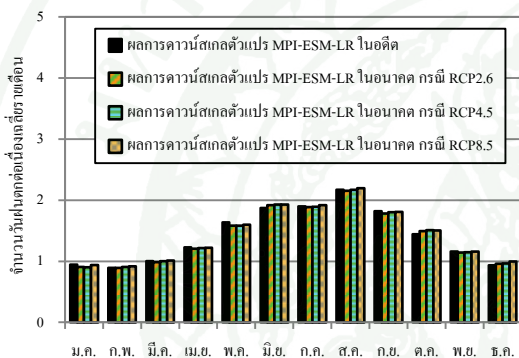
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



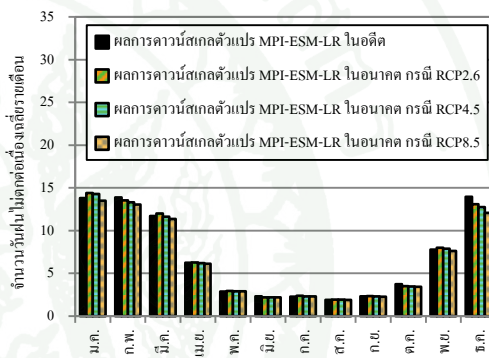
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



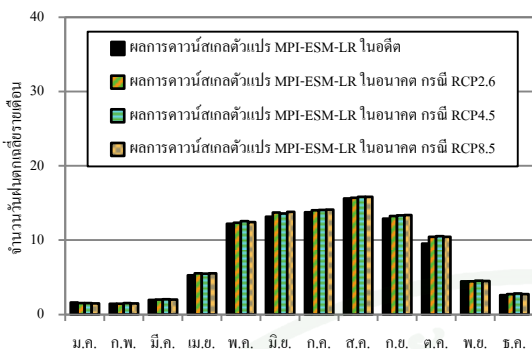
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



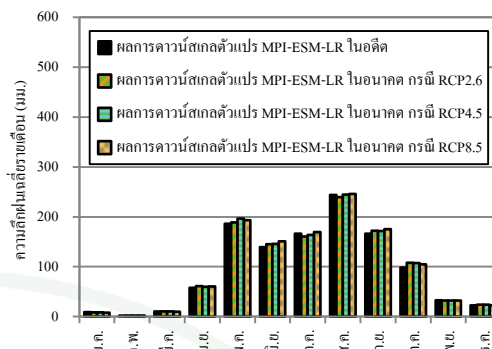
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07112

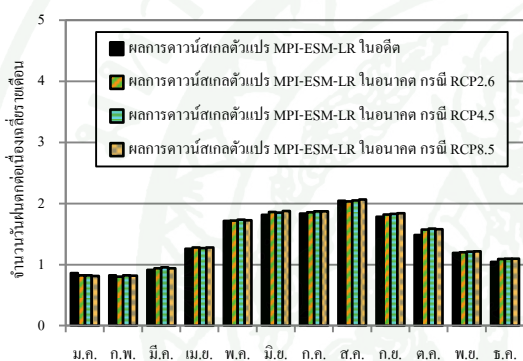
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



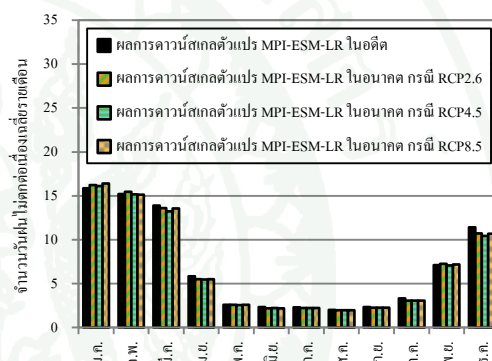
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



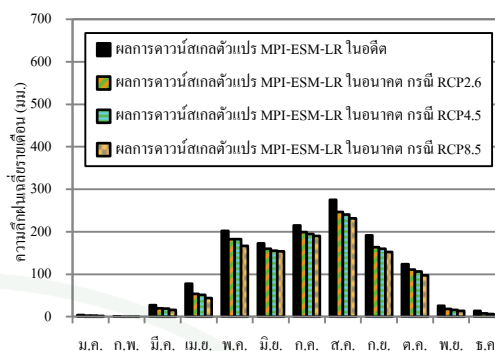
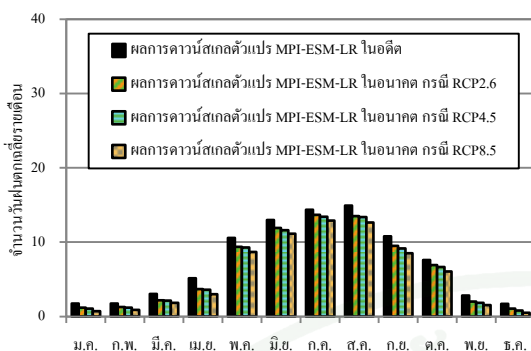
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

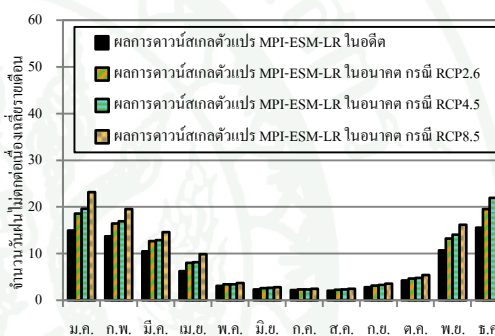
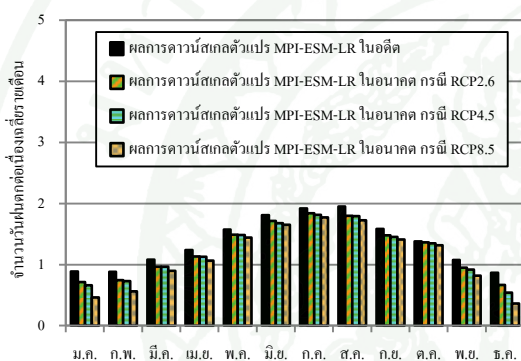
สถานีวัดน้ำฝน 07122

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

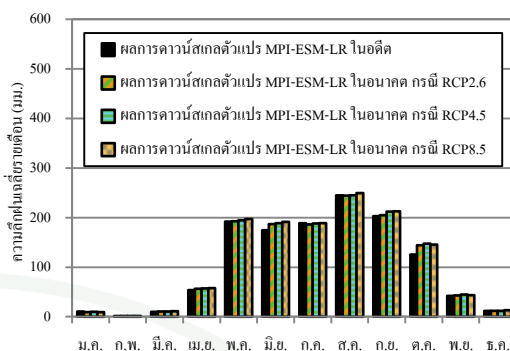
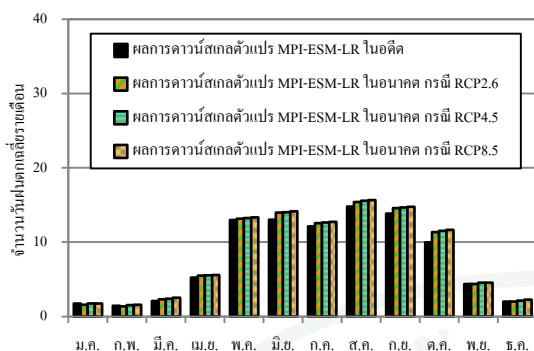


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

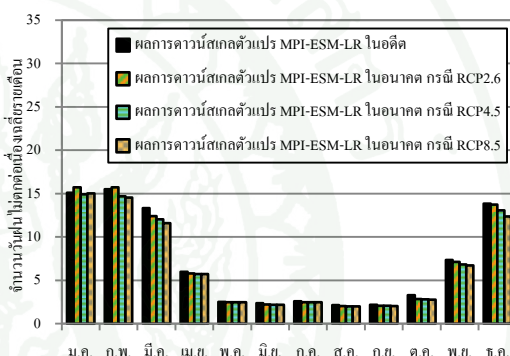
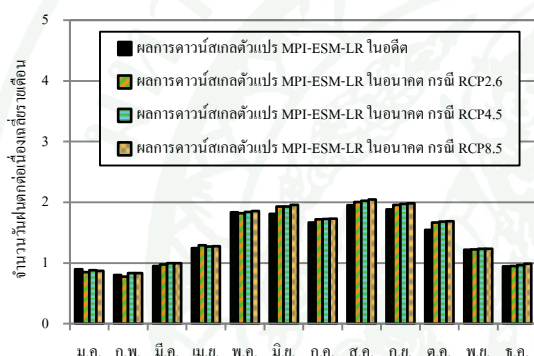
สถานีวัดน้ำฝน 07132

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

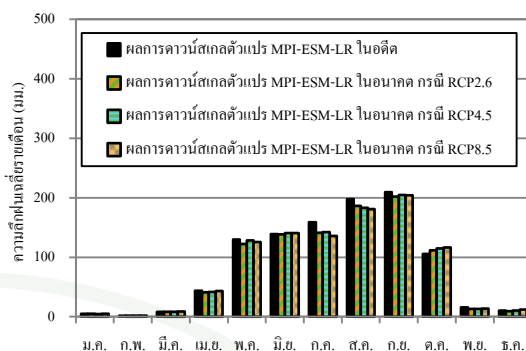
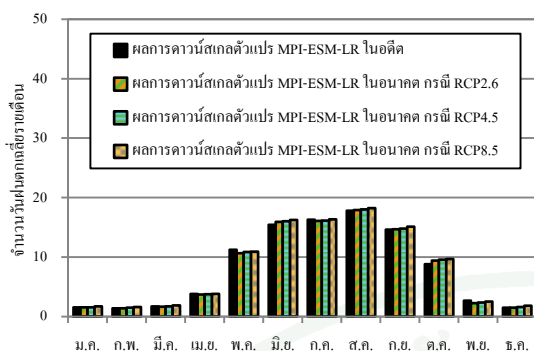


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

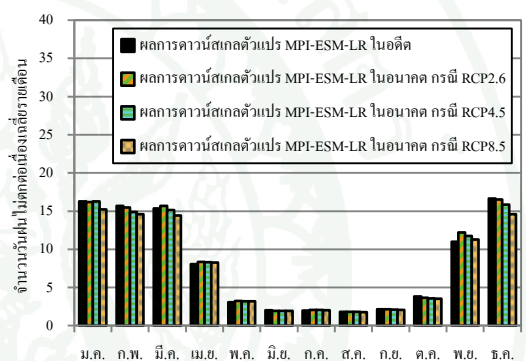
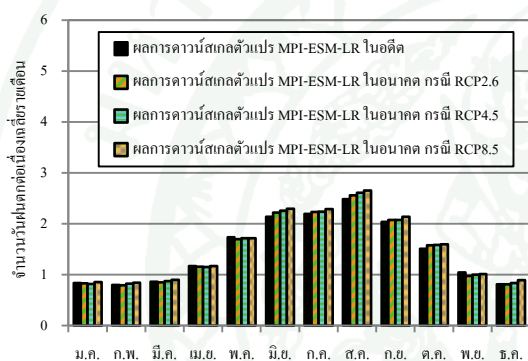
สถานีวัดน้ำฝน 07142

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความถี่ฝนเฉลี่ยรายเดือน

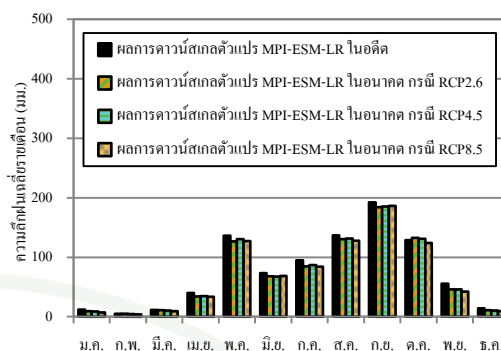
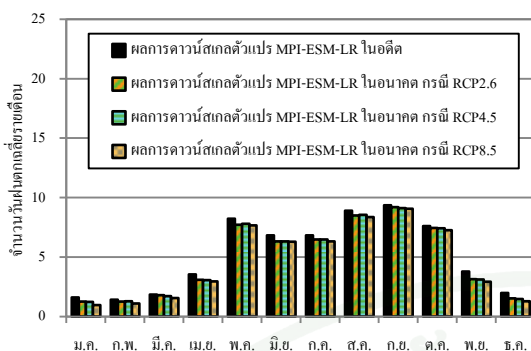


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

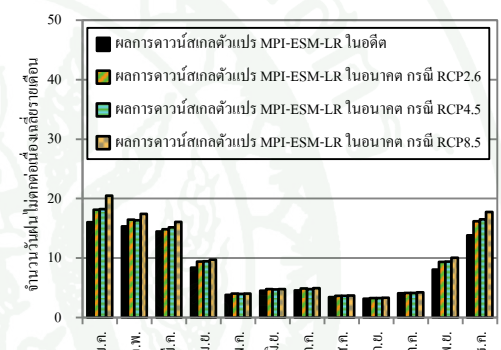
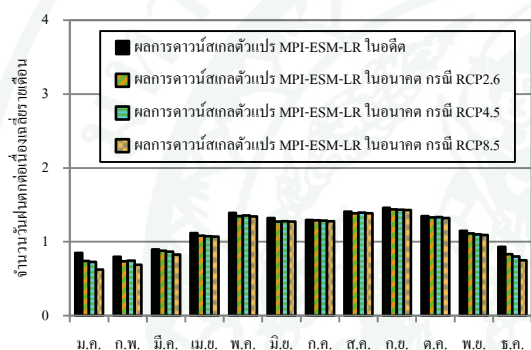
สถานีวัดน้ำฝน 07152

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

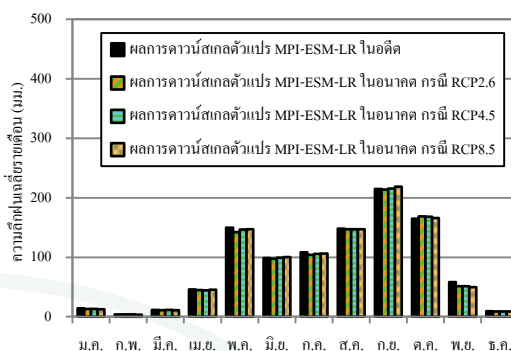
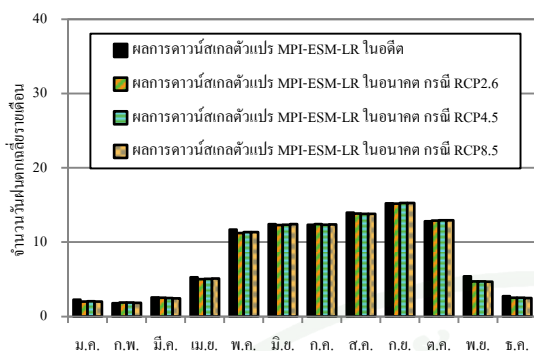


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

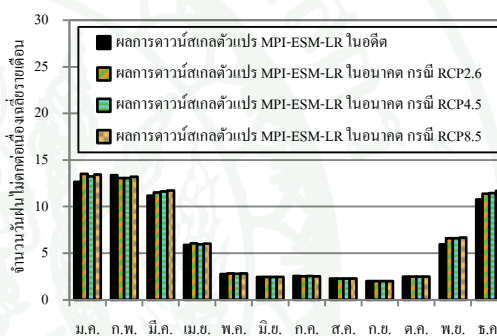
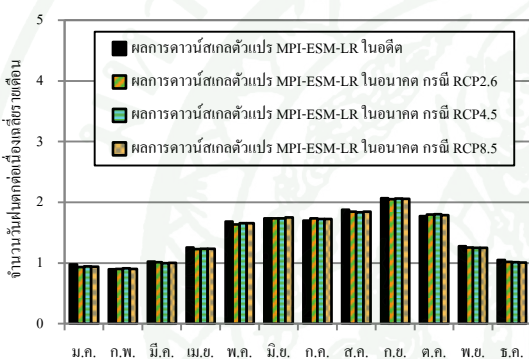
สถานีวัดน้ำฝน 07182

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

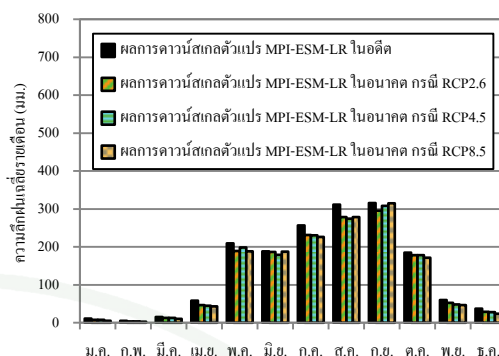
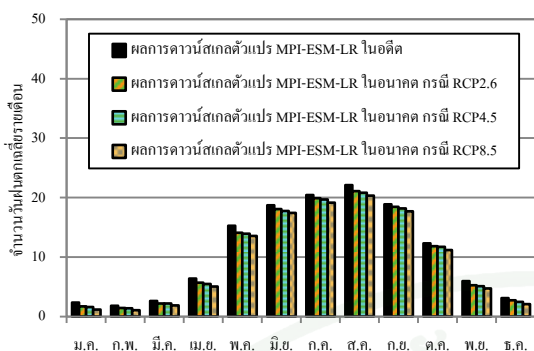


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

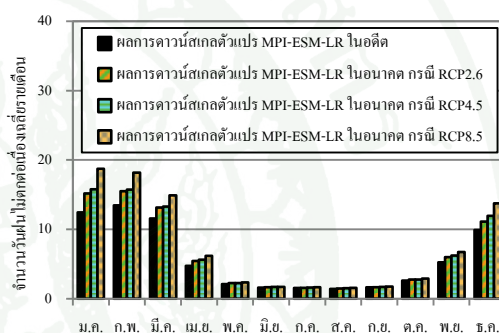
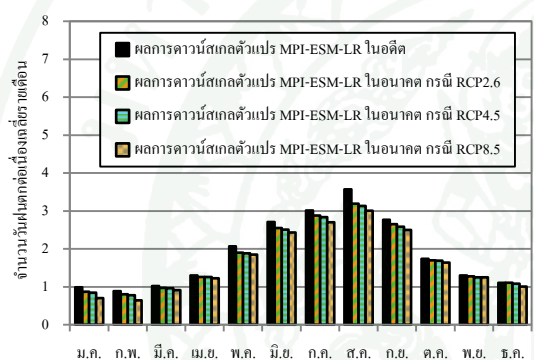
สถานีวัดน้ำฝน 07192

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(จ) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

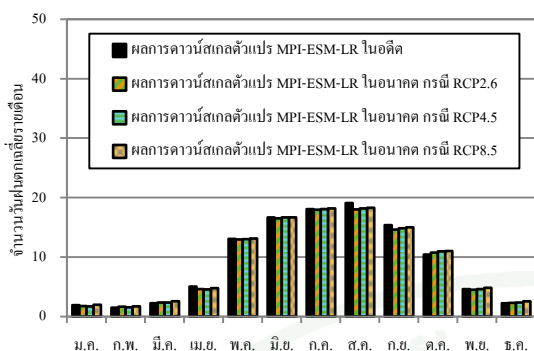


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเกิน 1 มม. รายเดือน

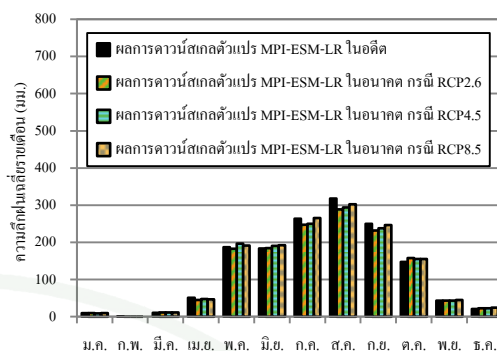
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเดือนเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07242

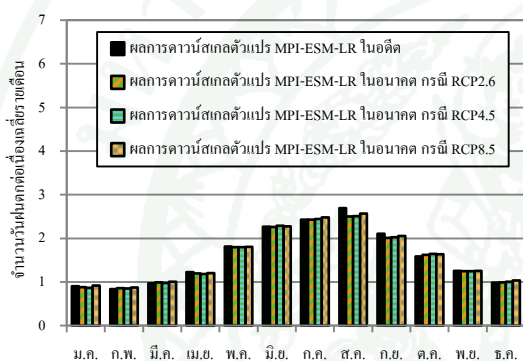
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



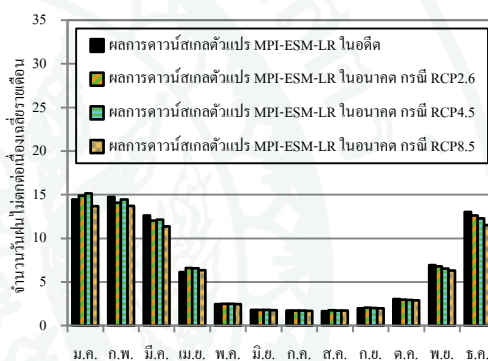
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



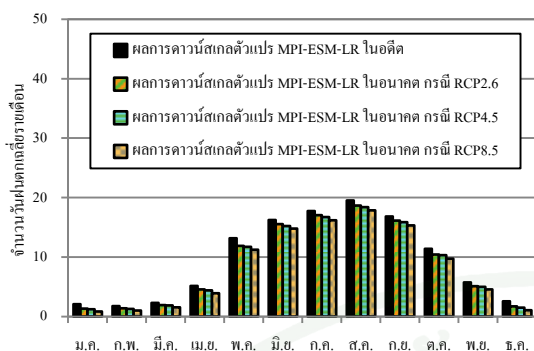
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



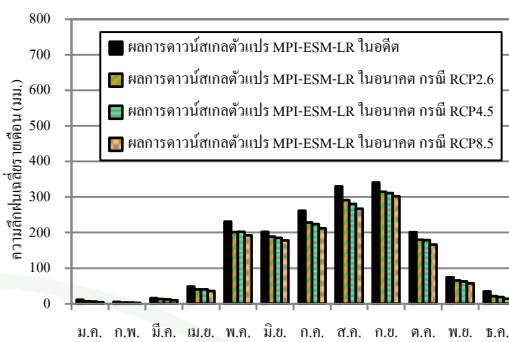
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 07252

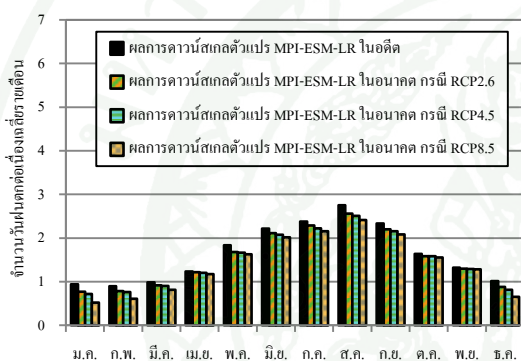
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



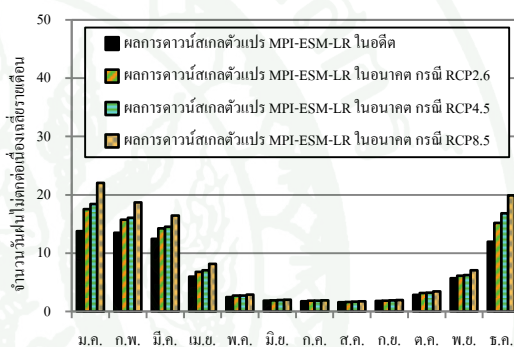
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



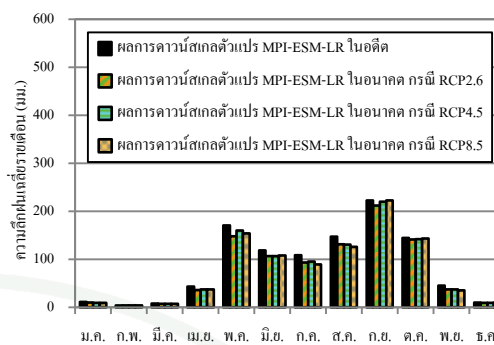
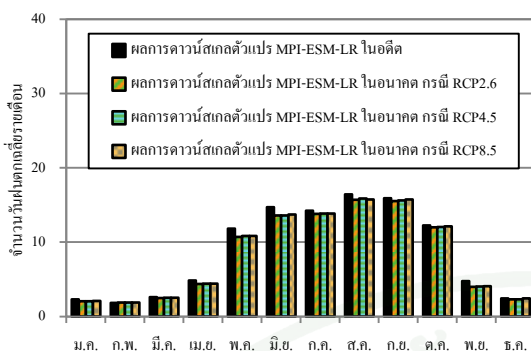
(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

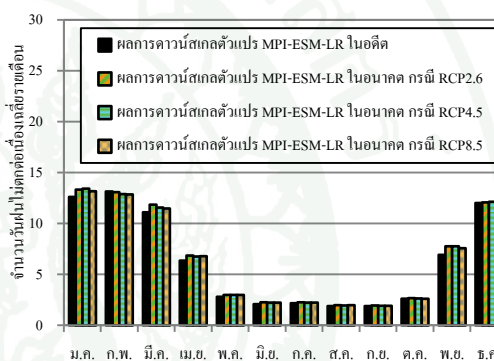
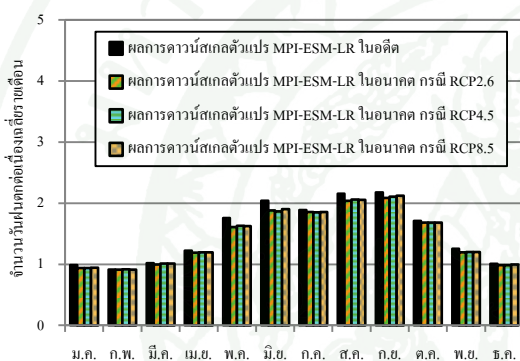
สถานีวัดน้ำฝน 07262

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

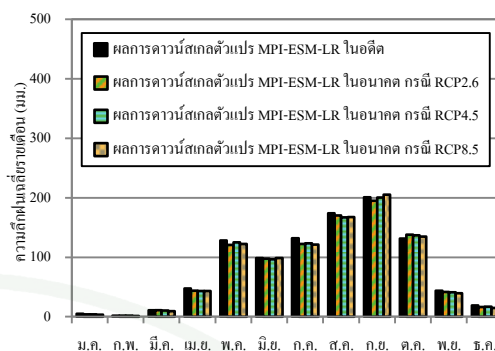
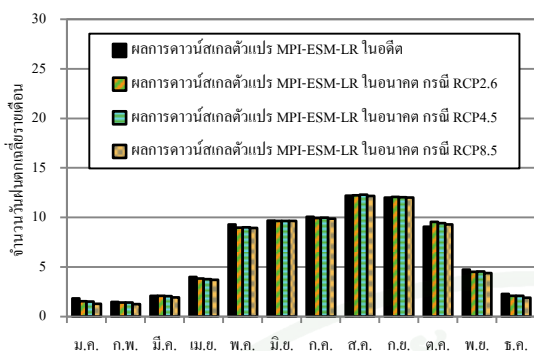


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

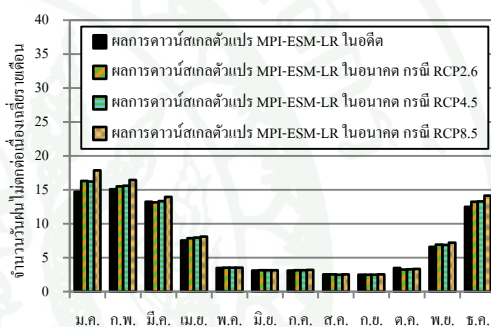
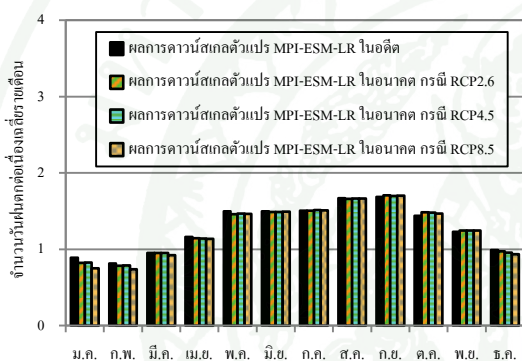
สถานีวัดน้ำฝน 07282

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

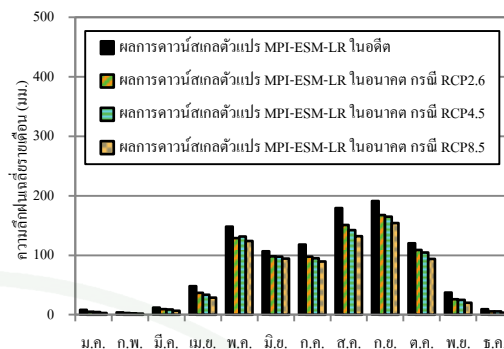
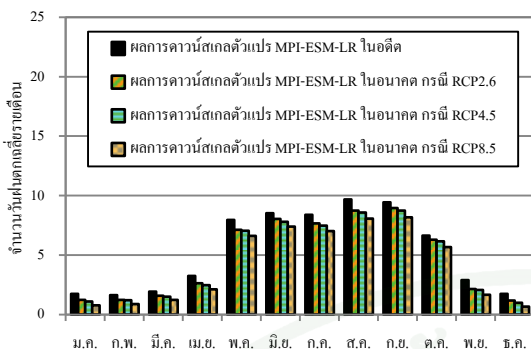


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

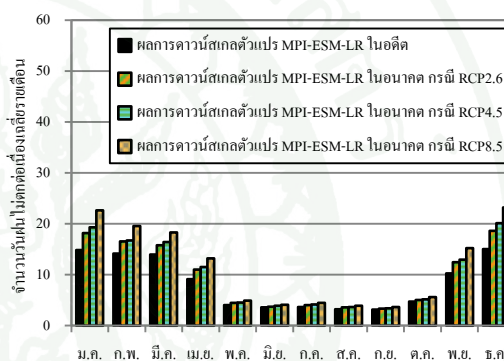
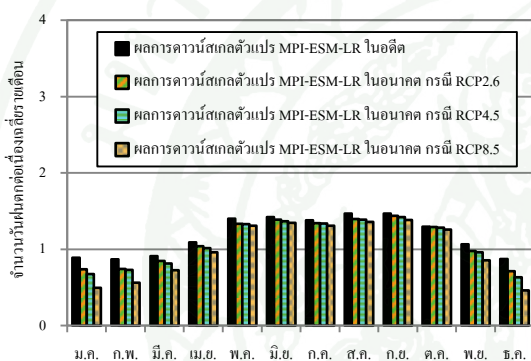
สถานีวัดน้ำฝน 07292

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

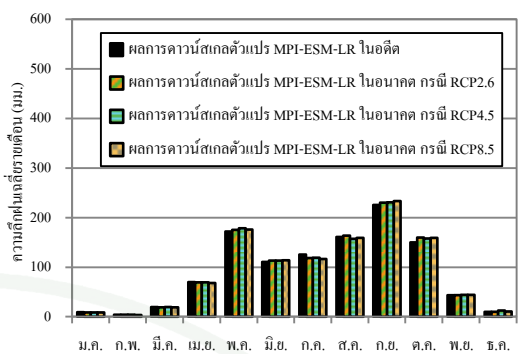
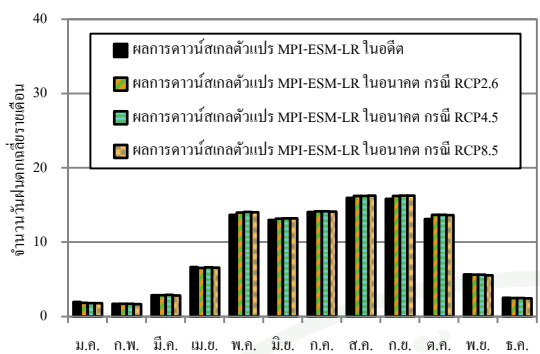


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

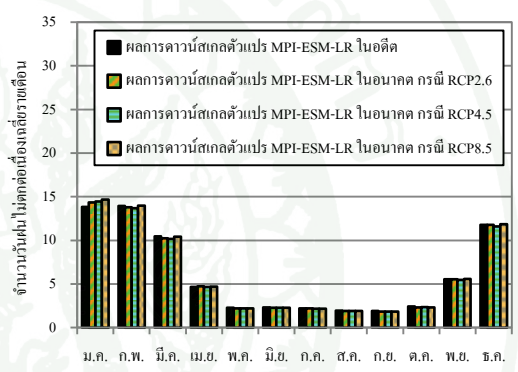
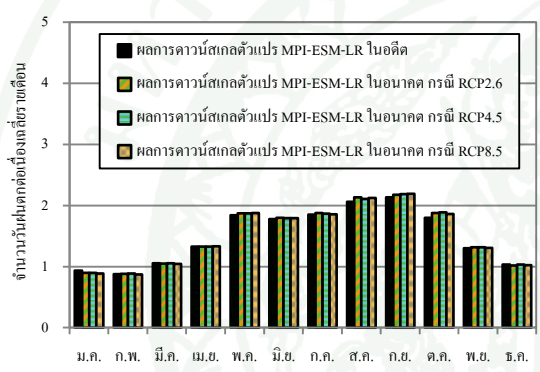
สถานีวัดน้ำฝน 17012

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

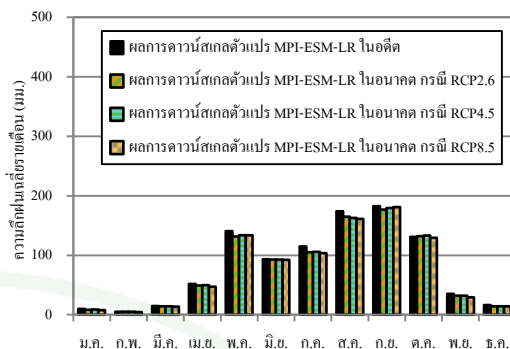
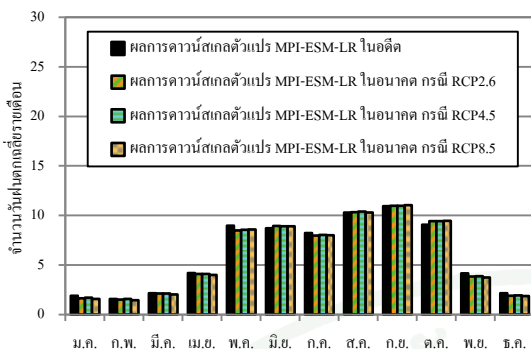


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

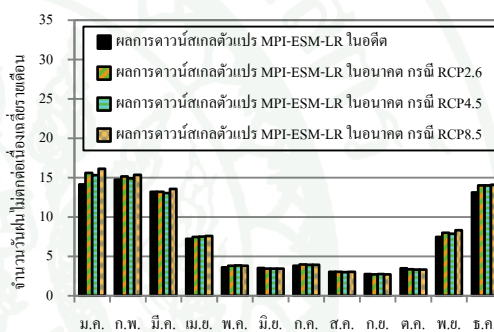
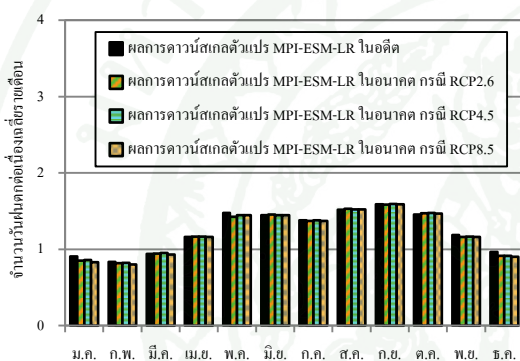
สถานีวัดน้ำฝน 17022

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

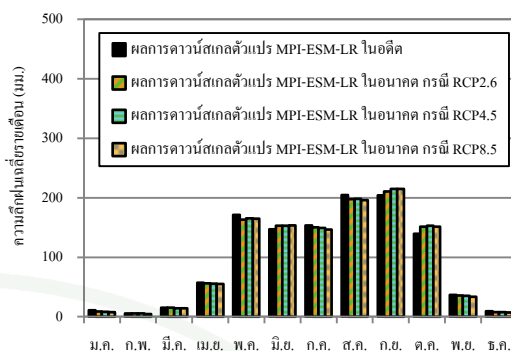
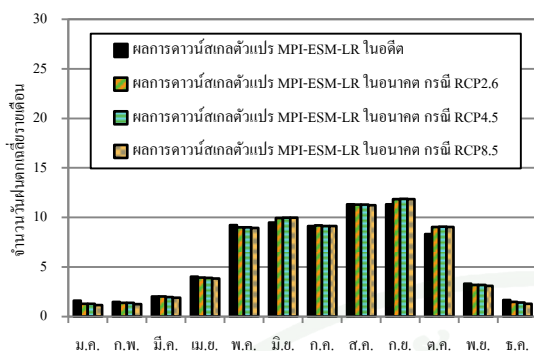


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

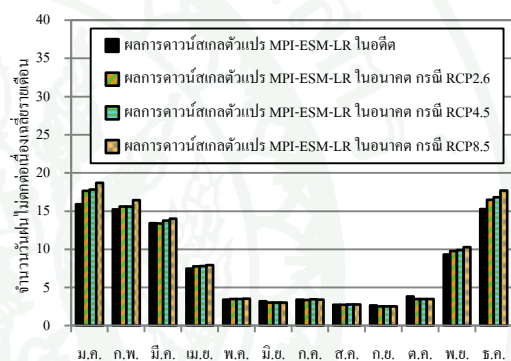
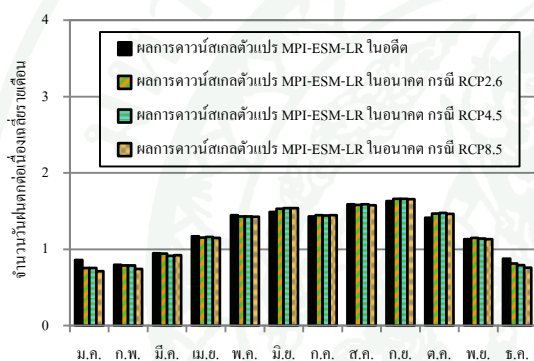
สถานีวัดน้ำฝน 17032

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน

(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน

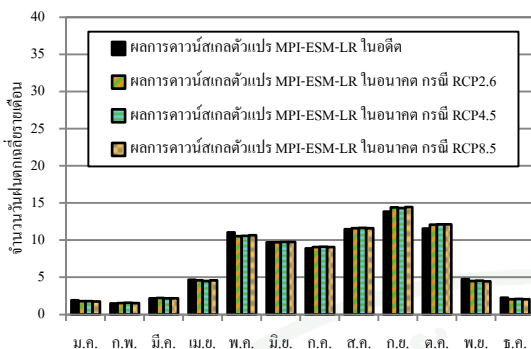


(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

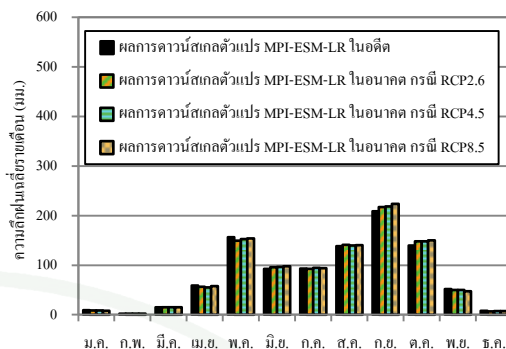
(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 17042

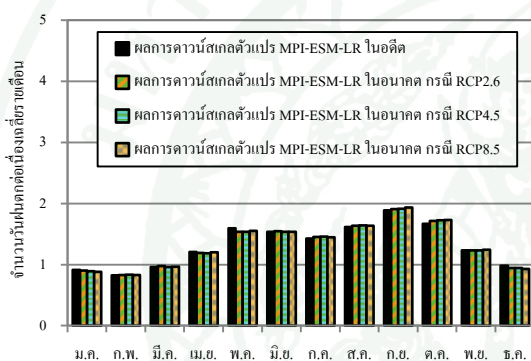
ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)



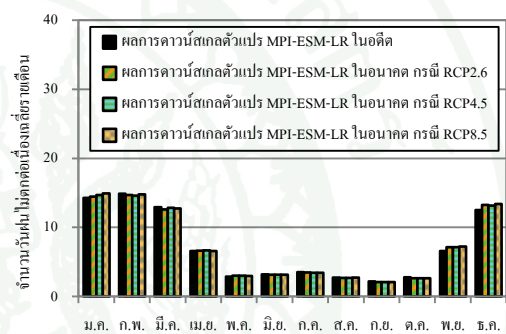
(ก) จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือน



(ข) ความลึกฝนเฉลี่ยรายเดือน



(ค) จำนวนวันฝนตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน



(ง) จำนวนวันฝนไม่ตกต่อเนื่องเฉลี่ยรายเดือน

สถานีวัดน้ำฝน 17052

ภาพผนวกที่ 4 (ต่อ)

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายเผ่าเทพ ปานขาว

เกิดวันที่ 2 กันยายน 2514

สถานที่เกิด เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา วศ.บ. (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกรชลประทาน

สถานที่ทำงานปัจจุบัน บริษัทฟรอนเทียร์ เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแทนท์ส จำกัด

