



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR)

Inflow Prediction for The Upper Ping River Basin using Phase Space Reconstruction

นามผู้วิจัย นางสาวกীরติการ นาคีสินธุ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณพิมพ์ พุทธรักษา มะเปี่ยม, วศ.ด.

หัวหน้าภาควิชา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์จระวัฒน์ กณะสุต, D.Eng.

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

รองศาสตราจารย์สมหวัง ชันตยานุวงศ์, Ph.D.

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยวิธีการ Phase Space Reconstruction
(PSR)

Inflow Prediction for The Upper Ping River Basin using Phase Space Reconstruction (PSR)

โดย

นางสาวกীরติการ นาคีสินธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2561

กิตติการ นาคีสินธ์ 2561: การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยวิธีการ
Phase Space Reconstruction (PSR) ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 163 หน้า

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าอย่างถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงเป็นสิ่งก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อการบริหารจัดการน้ำเพื่อการบรรเทาอุทกภัยและภัยแล้ง ดังนั้น การศึกษานี้จึงได้นำวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) มาใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำท่าทั้งแบบรายเดือนและรายวันที่สถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนที่มีข้อมูลอย่างน้อย 13 ปี จำนวน 19 สถานี รวมทั้งน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่งองอุดมธารา โดยผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 1-12 เดือน สรุปได้ดังนี้ (1) ความถูกต้องของการคาดการณ์ล่วงหน้า 1-12 เดือน ของทุกสถานีและเขื่อนมีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากแม้ว่าช่วงเวลาการคาดการณ์จะเพิ่มขึ้น โดย EI, Rel. RMSE และ r มีค่าระหว่าง 60-63%, 69-73% และ 0.79-0.82 ตามลำดับ และ (2) ความถูกต้องของการคาดการณ์ของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและเขื่อนมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดย EI, Rel. RMSE และ r มีค่าระหว่าง 47-78%, 41-106% และ 0.72-0.89 ตามลำดับ เนื่องจากบางสถานีวัดน้ำท่าหรือเขื่อนอาจได้รับผลกระทบจากการนำน้ำท่าไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ หรือสถิติข้อมูลไม่ยาวนานพอที่จะสร้าง Multi-Dimensional Phase Space เพื่อการคาดการณ์น้ำท่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1-7 วัน สรุปได้ดังนี้ (1) ความถูกต้องของการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้า 1-7 วัน สำหรับทุกสถานีและเขื่อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อช่วงเวลาการคาดการณ์ยาวนานขึ้น โดยการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 วัน มีความถูกต้องสูงสุด (ค่าเฉลี่ย EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 68%, 93% และ 0.82 ตามลำดับ) และความถูกต้องต่ำสุดสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 7 วัน (ค่าเฉลี่ย EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 32%, 136% และ 0.57 ตามลำดับ) เนื่องจากความลึกฝนรายวันเปลี่ยนแปลงมากจึงยากต่อการคาดการณ์ (2) ความถูกต้องของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและเขื่อนแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดย EI, Rel. RMSE และ r มีค่าระหว่าง 17-66%, 56-237% และ 0.41-0.81 ตามลำดับ ทั้งนี้ การคาดการณ์น้ำท่าในลำน้ำสายหลักมีความถูกต้องมากกว่าในลำน้ำสายย่อย เนื่องจากน้ำท่าในลำน้ำสายย่อยขึ้นกับความลึกฝนเท่านั้น ในขณะที่น้ำท่าในลำน้ำสายหลักจะขึ้นกับความลึกฝนและน้ำท่าของหลายลำน้ำสาขา

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Keeratikan Nakeesin 2018: Inflow Prediction for The Upper Ping River Basin using Phase Space Reconstruction (PSR). Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Professor Nuchanat Sriwongsitanon, Ph.D. 163 pages.

Accurate runoff prediction is extremely useful for water resources management to mitigate flood and drought situations. Therefore, Phase Space Reconstruction (PSR) was utilized in this study to predict monthly and daily runoff at 19 stations which have the data collection of at least 13 years, and to predict runoff flowing into Bhumibol Dam, Mae Ngat Somboon Chon Dam and Mae Kuang Udom Thara Dam. Results of runoff prediction for the next 1 to 12 months can be concluded as follows. Firstly, prediction accuracy for the next 1 to 12 months for all stations and dams tend to be not much difference. The values of EI, Rel. RMSE and r varied between 60-63%, 69-73%, and 0.79-0.82, respectively. Secondly, prediction accuracy for all months at each station and dam tend to be difference. The values of EI, Rel. RMSE and r varied between 47-78%, 41-106% and 0.72-0.89, respectively. This is because some of stations and dams could affect by regulated flows or some stations may have too short period of record to be able to generate a suitable range of multi-dimensional phase space to be effectively used for flow prediction. Results of runoff prediction for the next 1 to 7 days can be concluded as in the followings. Firstly, an accuracy of runoff prediction for the next 1 to 7 days for all stations and dams tend to be more accurate for the shorter time prediction compared to the longer time prediction. The average values of EI, Rel. RMSE and r acquired for the next 1 day are 68%, 93% and 0.82, respectively. The lowest accuracy attained for the next 7 days with the average values of 32%, 136% and 0.57, respectively. This is according to basin rainfall depth tends to vary significantly. Secondly, prediction accuracy for all days at each station and dam tend to be significantly difference. The values of EI, Rel. RMSE and r varied between 17-66%, 56-237% and 0.41-0.81, respectively. Runoff prediction for the stations and dams which are located in the main river seem to be more accurate than those of located in tributaries. This is due to the fact that runoff at each tributary causes only by rainfall depth. On the other hand, runoff at the main Ping causes by rainfall as well as runoff in many tributaries.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก คุณเผ่าเทพ ปานขาว และคุณเชียรชาติ สุวงศ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยเพื่อการศึกษา

ขอขอบคุณ กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่อนุเคราะห์ข้อมูลประกอบการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรณิพิมพ์ พุทธรักษา มะเปี่ยม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และคณะกรรมการอันประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิระวัฒน์ กณะสุด ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สนิท วงษา ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนตรวจแก้ไขและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ด้วยคุณความดีและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

กิริติกร นาคีสินธุ์

กรกฎาคม 2561

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	47
อุปกรณ์	47
วิธีการ	47
ผลและวิจารณ์	79
สรุปและเสนอแนะ	125
สรุป	125
ข้อเสนอแนะ	130
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	132
ภาคผนวก	136
ภาคผนวก ก การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน	137
ภาคผนวก ข การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน	150
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	163

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบน	7
2 ตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญที่สถานีตรวจอากาศ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2528 ถึง 2557	9
3 ข้อมูลความลึกฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝน ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2557	11
4 ลักษณะที่สำคัญของเขื่อนภูมิพล	15
5 การระเหยรายเดือนเฉลี่ยของเขื่อนภูมิพล	16
6 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่เขื่อนภูมิพลรายเดือน	18
7 ผลการวิเคราะห์ Correlation Dimension	25
8 ค่าทางสถิติของชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (mm month^{-1}).	31
9 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า โดยวิธีคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรง	36
10 การสร้าง phase space ของข้อมูลอนุกรมน้ำท่าในอดีต โดยใช้ $m = 3$ และ $\tau = 2$	49
11 ผลการคำนวณระยะทางและการคาดการณ์น้ำท่าในเดือนที่ 21 ของอนุกรมน้ำท่าที่ใช้ค่า $m = 2$, $\tau = 1$ และ $k = 3$ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่า 1 เดือน คือในเดือนที่ 21	51
12 รายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน	54
13 ปริมาณน้ำท่ารายเดือน รายฤดูกาลและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่า ที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน	59
14 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลรายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2526 ถึง พ.ศ. 2555	64
15 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชลรายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2557	67
16 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ธารรายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2557	69
17 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่า ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่า ในลุ่มน้ำปิงตอนบน สำหรับประยุกต์ใช้วิธีการ Phase Space Reconstruction	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
18 ค่าของตัวแปรทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน ของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	82
19 ค่าของตัวแปรทางสถิติของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาใน แต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	84
20 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน ในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	88
21 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน ของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	91
22 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ τ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน กรณี high flows ในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	98
23 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ τ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน กรณี high flows ของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	100
24 ค่าของตัวแปรทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน ของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำในกรณีผ่านกระบวนการ mix flows	104
25 ค่าของตัวแปรทางสถิติของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลา ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำในกรณีผ่านกระบวนการ mix flows	106
26 ค่าของตัวแปรทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของ ทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	109
27 ค่าของตัวแปรทางสถิติของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกช่วงเวลา ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	111
28 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายวัน ในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	115
29 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายวัน ของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ	116
30 ปริมาณน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ m , τ และ k	122

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนและการแบ่งลุ่มน้ำย่อย	8
2	ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศ	10
3	การผันแปรของความลึกฝนรายเดือนเฉลี่ยในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน	12
4	ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่า	13
5	autocorrelation function ข้อมูลฝน 30 ปี ของสถานี 05	22
6	ความสัมพันธ์ระหว่าง correlation function $C(r)$ และรัศมี r ของข้อมูลฝน 30 ปี สถานี 05	24
7	ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Exponent และ Embedding dimension ของข้อมูลฝน 30 ปี สถานี 05	24
8	ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Exponent และ Embedding dimension ของข้อมูลฝนที่ช่วงเวลาจัดเก็บข้อมูลแตกต่างกัน สถานี 05	25
9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Coefficient และ Embedding Dimension ของทุกสถานี	29
10	ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Coefficient และ Number of Neighbors ของสถานี 05	29
11	ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Coefficient และ Lead Time ของทุกสถานี	30
12	Phase space diagram ของปริมาณน้ำท่ารายเดือนด้วย delay time (τ) = 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 เดือน	32
13	เปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดและผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 1 เดือน	34
14	เปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดและผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 1 เดือน โดย Scatter Plot สำหรับ embedding dimension, $m = 2, 3, 4, 5, 7$ และ 10	35
15	ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องของการคาดการณ์และ embedding dimension สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 เดือน (a) correlation coefficient; (b) RMSE; and (c) coefficient of efficiency	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
16	เปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดและผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 1 เดือน โดย Scatter Plot สำหรับ $m = 3$ เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า $T = 1, 2, 3, 5, 7$ และ 10 เดือน	39
17	Relationship between prediction accuracy and lead time for $m = 3$: (a) correlation coefficient; (b) RMSE; and (c) coefficient of efficiency	40
18	ระยะทางระหว่างจุดของชุดข้อมูลในเดือนที่ 19 (วงกลมสีแดง) ถึงจุดอื่นใน space ของข้อมูล	52
19	ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน	58
20	ขั้นตอนและกระบวนการประยุกต์ใช้ PSR เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า	76
21	กราฟน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ m	123
22	กราฟน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ T	123
23	กราฟน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ k	124

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน
โดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR)

Inflow Prediction for The Upper Ping River Basin using
Phase Space Reconstruction (PSR)

คำนำ

การจัดการด้านทรัพยากรน้ำของประเทศไทยเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหาหนึ่งของประเทศ ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยได้ประสบกับปัญหาด้านอุทกภัยและภัยแล้งอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านอุทกภัยที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำเจ้าพระยาในปี พ.ศ. 2518 2526 2538 2545 2549 2553 และเหตุการณ์มหาอุทกภัยในปี พ.ศ. 2554 ที่ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งกับพื้นที่เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และพื้นที่ชุมชน รวมพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากกว่า 3 ล้านไร่ ใน 18 จังหวัด และทำให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนและความเสียหายด้านเศรษฐกิจเป็นมูลค่ามหาศาล โดยธนาคารโลกได้ประเมินมูลค่าความเสียหายสูงถึง 1.44 ล้านล้านบาท จากปัญหาดังกล่าว รัฐบาลและหน่วยงานที่รับผิดชอบได้มีความพยายามที่จะหาแนวทางการบรรเทาอุทกภัย ซึ่งส่วนใหญ่จะเน้นด้านการใช้มาตรการใช้สิ่งก่อสร้างเป็นหลัก ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รวมทั้งจะได้รับการต่อต้านจากประชาชนผู้ได้รับผลกระทบทำให้เป็นอุปสรรคต่อความสำเร็จของโครงการที่ได้รับความเห็นชอบจากรัฐบาล

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การพิจารณาแนวทางเลือกอื่นเพื่อแก้ปัญหาด้านอุทกภัยของประเทศไทยที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุดควรได้รับการพิจารณา เพื่อเป็นแนวทางเลือกอื่นที่เหมาะสม จากการพิจารณาถึงปัญหาด้านอุทกภัยที่เกิดขึ้นในในปี พ.ศ. 2554 พบว่า การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นไปอย่างไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ กล่าวคือ ในช่วงก่อนการเกิดเหตุการณ์อุทกภัยในปีดังกล่าว ได้มีการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำทั้งสองไว้ในปริมาณที่มาก ทำให้เมื่อมีพายุใหญ่เข้ามาอย่างต่อเนื่องจึงเป็นผลให้มีความจำเป็นต้องปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำทั้งสองออกมาในปริมาณมาก ประกอบกับมีปริมาณน้ำท่าที่มากในบริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำทั้งสอง รวมทั้งสิ่งก่อสร้างที่ขวางทางการไหลของน้ำ และการบริหารจัดการน้ำเพื่อบรรเทาอุทกภัยที่ไม่เหมาะสม ทำให้ไม่สามารถระบายออกสู่อ่าวไทยได้ทันต่อ

ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้น จึงเป็นผลให้เกิดความเสียหายอย่างมหาศาลตามที่ทราบกันโดยทั่วไป

กระบวนการเกิดน้ำท่าเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนมาก เนื่องจากการเกิดน้ำท่าเป็นกระบวนการทางพลศาสตร์ที่ถูกควบคุมโดยกลไกทางกายภาพมากมาย ไม่ว่าจะเป็นปริมาณฝนที่เป็นตัวแปรอิสระที่มีความไม่แน่นอนทั้งในด้านสถานที่และเวลาซึ่งเป็นผลมาจากสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคทั่วโลก รวมทั้งสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เข้ามามีบทบาทในการเพิ่มความไม่แน่นอนให้กับปริมาณฝนนอกจากนั้นแล้ว กระบวนการน้ำท่ายังขึ้นกับสภาพทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำฝนที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านชนิดและองค์ประกอบของดิน ลักษณะพืชพรรณและการใช้ที่ดิน รวมทั้งสภาพทางธรณีวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้เป็นตัวจักรสำคัญที่สร้างความซับซ้อนต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าให้มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง เพื่อนำไปสู่การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้

จากความซับซ้อนของกระบวนการเกิดน้ำท่าดังกล่าว ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันจึงได้มีการนำวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) ซึ่งดำเนินการโดยการนำอนุกรมน้ำท่าที่เกิดขึ้นตามเวลาที่แตกต่างกัน (Delay Time) มาหาความสัมพันธ์ระหว่างกัน โดยใช้จำนวนของอนุกรมน้ำท่าหรือจำนวนมิติอนุกรมน้ำท่า (Embedding Dimension) ที่หลากหลาย จากนั้นจึงนำอนุกรมน้ำท่าที่มีความสัมพันธ์มาสร้างข้อมูลน้ำท่าในแต่ละอนุกรมน้ำท่าด้วยวิธีการที่เหมาะสมที่เรียกว่า Local Mapping อาทิเช่น วิธีการ Local Polynomials, K Nearest Neighbor (KNN) เป็นต้น

จากในจำนวนงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ทฤษฎี Deterministic Chaos ผ่านทางวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) เพื่อการคาดการณ์อนุกรมน้ำท่านั้น ผลงานศึกษาโดย Sivakumar *et al.* นับว่ามีความโดดเด่น โดยได้มีการนำทฤษฎีดังกล่าวมาสร้างอนุกรมน้ำท่าและอนุกรมน้ำฝนในหลายภูมิภาค อาทิเช่น งานศึกษาต่อไปนี้คือ Sivakumar *et al.* (1999) Sivakumar (2001) Sivakumar *et al.* (2002) Regonda *et al.* (2004) Sivakumar (2005) Sivakumar and Singh (2012) เป็นต้น โดยในภาพรวมของงานศึกษาเหล่านั้นส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบให้เห็นว่า ข้อมูลอนุกรมน้ำท่าและอนุกรมน้ำฝนที่ศึกษาส่วนมีลักษณะเฉพาะเป็น Deterministic Chaos โดยผ่านทางหลักการของ Phase Space Reconstruction (PSR) จากนั้นจึงนำอนุกรมน้ำท่าและอนุกรมน้ำฝนมาหาความสัมพันธ์ของ Local Mapping เพื่อใช้คาดการณ์อนุกรมน้ำท่าและอนุกรมน้ำฝนสำหรับช่วงเวลาด่วงหน้าทั้งแบบรายวันและรายเดือน

ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ในการนำวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) มาใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำท่าทั้งแบบรายเดือนและรายวันสำหรับสถานีวัดน้ำท่าและเขื่อนที่สำคัญที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ประกอบการบริหารจัดการน้ำ และอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งสามารถนำกระบวนการที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำอื่น ๆ ต่อไป



วัตถุประสงค์

1. เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือนล่วงหน้า 1 ถึง 12 เดือน และแบบรายวันล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ที่สถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่มีสถิติข้อมูลยาวนานเพียงพอ รวมทั้งปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และ เขื่อนแม่กวงอุดมธารา โดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR)
2. เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือนล่วงหน้า 1 ถึง 12 เดือน และแบบรายวันล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ที่สถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่มีสถิติข้อมูลยาวนานเพียงพอ รวมทั้งปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และ เขื่อนแม่กวงอุดมธารา
3. เพื่อวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ในวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) เพื่อศึกษาว่า พารามิเตอร์ embedding dimension (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) มีอิทธิพลอย่างไรต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารายเดือน

ขอบเขตของการศึกษา

1. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจะใช้วิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB ภายใต้โครงการวิจัยของนุชนารถและคณะ (2558) โดยสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าได้ทั้งแบบรายเดือนและรายวัน
2. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าแบบรายเดือนจะดำเนินการตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน และแบบรายวันจะดำเนินการตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน
3. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าแบบรายเดือนและรายวันจะดำเนินการสำหรับสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่มีสถิติข้อมูลยาวนานเพียงพอเท่านั้น โดยจะคัดเลือกเฉพาะสถานีที่มีข้อมูลอย่างน้อยที่สุด 13 ปี ซึ่งเป็นผลจากการทดสอบความเพียงพอของข้อมูล ที่สามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าให้มีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ รวมทั้งจะคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า

ล่องหน้าแบบรายเดือนและรายวันที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่งองอุดมธารา

4. ในกระบวนการหาค่าชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง PSR ที่ให้ผลการคาดการณ์น้ำท่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมากที่สุด สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน ล่องหน้า 1 ถึง 12 เดือน นั้น จะพิจารณาจากชุดพารามิเตอร์ทุกชุดที่เกิดขึ้นได้

5. ในกระบวนการหาค่าชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง PSR ที่ให้ผลการคาดการณ์น้ำท่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมากที่สุด สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน ล่องหน้า 1 ถึง 7 วัน นั้น จะใช้กระบวนการการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) โดยใช้โปรแกรม MOSCEM (Vrugt *et al.*, 2003) กล่าวคือ ไม่สามารถพิจารณาจากชุดพารามิเตอร์ทุกชุดที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากข้อมูลแบบรายวันมีปริมาณมากทำให้ต้องใช้เวลาในการดำเนินการแบบจำลองที่ยาวนานมากจนเกินความเหมาะสม

6. ในการวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ embedding dimension (m) delay time (T) และ K-nearest (k) นั้น จะวิเคราะห์ที่สถานีวัดน้ำท่าที่มีข้อมูลสมบูรณ์ต่อเนื่องเพียง 1 สถานี และจะดำเนินการสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าแบบรายเดือนล่องหน้า 1 เดือน เท่านั้น โดยจะวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ จากนั้นจึงเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ทีละ 1 พารามิเตอร์ เพื่อตรวจสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงที่มีต่อรูปร่างและลักษณะเฉพาะของกราฟน้ำท่า

การตรวจเอกสาร

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน เขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่งวงอุดมธารา ซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญในแต่ละพื้นที่ดังนี้

1. พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน

1.1 สภาพทั่วไป

ลุ่มน้ำปิงเป็นลุ่มน้ำสาขาหลักของลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 34,856 ตร.กม. แม่น้ำปิงเป็นลำน้ำสายหลักของลุ่มน้ำปิงมีความยาวประมาณ 740 กม. แม่น้ำปิงมีต้นกำเนิดจากทิวเขาผีปันน้ำในเขตอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และมีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงมาทางทิศใต้ ผ่านจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน และไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพลที่อำเภอคอยเต่า ถัดจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล แม่น้ำปิงจะไหลผ่านที่ราบมาบรรจบกับแม่น้ำวังที่จังหวัดตาก และไหลผ่านที่ราบกว้างใหญ่ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ถัดจากนั้น ไหลมาบรรจบกับแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพจังหวัดนครสวรรค์ แม่น้ำปิงมีลำน้ำสาขาประกอบด้วย น้ำแม่งัดไหลบรรจบแม่น้ำปิงทางฝั่งซ้ายในเขตอำเภอแม่แตง น้ำแม่แตงไหลบรรจบทางฝั่งขวาในเขตอำเภอแม่แตง น้ำแม่กงไหลบรรจบทางฝั่งซ้ายในเขตจังหวัดลำพูน น้ำแม่ลิไหลบรรจบทางฝั่งซ้ายในเขตอำเภอจอมทอง น้ำแม่แจ่มไหลบรรจบทางฝั่งขวาที่อำเภอฮอด เนื่องจากมีเขื่อนภูมิพลกั้นแม่น้ำปิงที่อำเภอสามเงาจังหวัดตาก ดังนั้นลุ่มน้ำปิงจึงถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ลุ่มน้ำปิงตอนบนที่อยู่เหนือเขื่อนภูมิพลและลุ่มน้ำปิงตอนล่างที่อยู่ท้ายเขื่อนภูมิพล

ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่รับน้ำเหนือเขื่อนภูมิพลประมาณ 25,300 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 พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน แสดงในภาพที่ 1 ประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อย คือ แม่น้ำปิงตอนบน น้ำแม่งัด น้ำแม่แตง แม่น้ำปิงส่วนที่ 2 น้ำแม่ริม

น้ำแม่กวัง น้ำแม่งาน น้ำแม่ลี น้ำแม่กลาง แม่น้ำปิงส่วนที่ 3 น้ำแม่แจ่มตอนบน น้ำแม่แจ่มตอนล่าง
น้ำแม่หาด และน้ำแม่ตื่น สำหรับรายละเอียดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับที่	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
1	แม่น้ำปิงตอนบน	1,904.10
2	น้ำแม่จัด	1,279.77
3	น้ำแม่แดง	1,953.90
4	แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	1,527.40
5	น้ำแม่ริม	567.81
6	น้ำแม่กวัง	2,876.70
7	น้ำแม่งาน	1,733.04
8	น้ำแม่ลี	2,079.65
9	น้ำแม่กลาง	614.98
10	แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	3,184.82
11	น้ำแม่แจ่มตอนบน	1,963.38
12	น้ำแม่แจ่มตอนล่าง	1,932.50
13	น้ำแม่หาด	517.25
14	น้ำแม่ตื่น	3,164.43
	ลุ่มน้ำปิงตอนบน	25,299.73

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2554)

1.2 สภาพอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

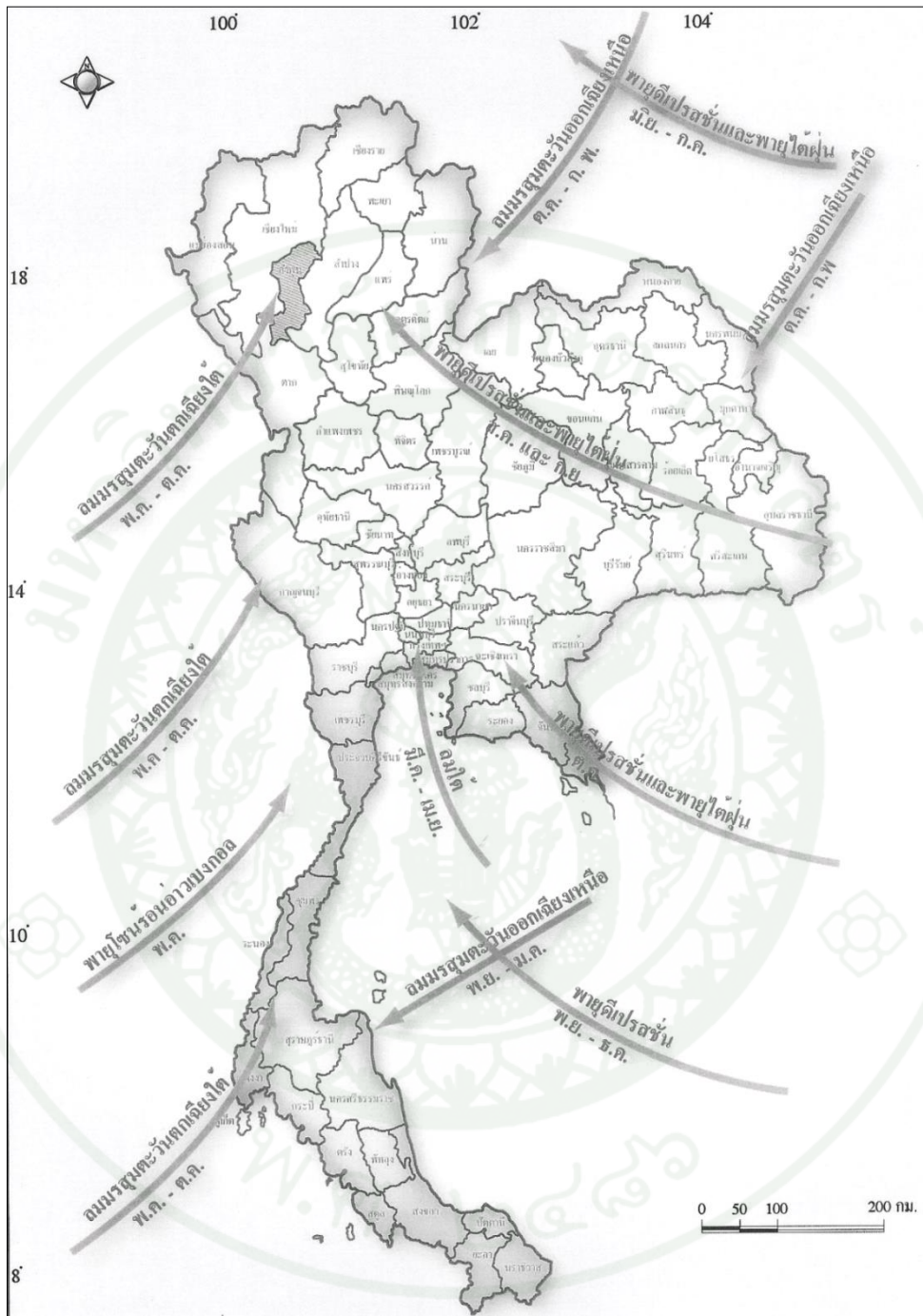
1.2.1 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศ ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง สภาพอากาศทั่วไปอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชันซึ่งมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกชุก ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม แสดงดังภาพที่ 2 และเนื่องจากลุ่มน้ำปิงตอนบนมีพื้นที่ครอบคลุม 2 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน แต่พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ จึงใช้ข้อมูลภูมิอากาศแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สถิติช่วงปี พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2557

ตารางที่ 2 ตัวแปรภูมิอากาศที่สำคัญของสถานีตรวจวัดอากาศเชียงใหม่และลำพูน ระหว่างปี พ.ศ. 2528 ถึง 2557

ตัวแปรภูมิอากาศ	สถานีเชียงใหม่		สถานีลำพูน	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วงพิสัยค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ช่วงพิสัยค่าเฉลี่ย
	รายปี	รายเดือน	รายปี	รายเดือน
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	25.9	21.6-29.2	26.2	21.6-30.0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	71.4	54.0-82.0	72.3	55.0-83.0
ความชื้นของเมฆ(0-10)	4.7	1.5-8.1	4.8	1.4-8.3
ความเร็วลม (น็อต)	2.4	1.4-3.2	1	0.4-1.7
ปริมาณการระเหยจากผิวดิน	1,566.50	94.7-179.6	1,655.20	94.4-205.4
การระเหย (มม.)				

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2557)



ภาพที่ 2 ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของรองความกดอากาศ

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

1.2.2 ข้อมูลฝน

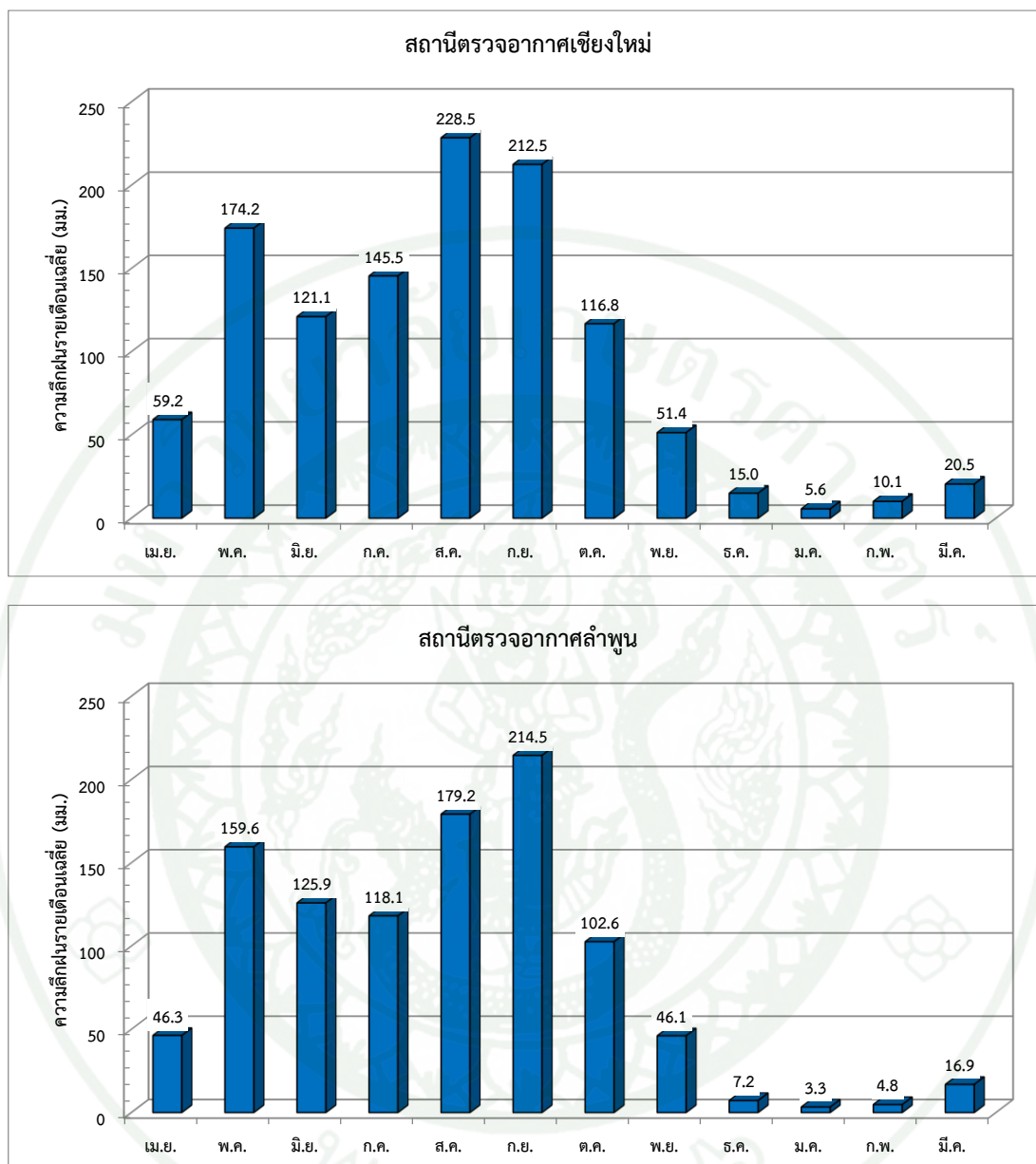
ข้อมูลความลึกฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 และ ภาพที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลความลึกฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2557

(หน่วย : มิลลิเมตร)

จังหวัด	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
เชียงใหม่	59.2	174.2	121.1	145.5	228.5	212.5	116.8	51.4	15.0	5.6	10.1	20.5	1,160.4
ลำพูน	46.3	159.6	125.9	118.1	179.2	214.5	102.6	46.1	7.2	3.3	4.8	16.9	1,024.5

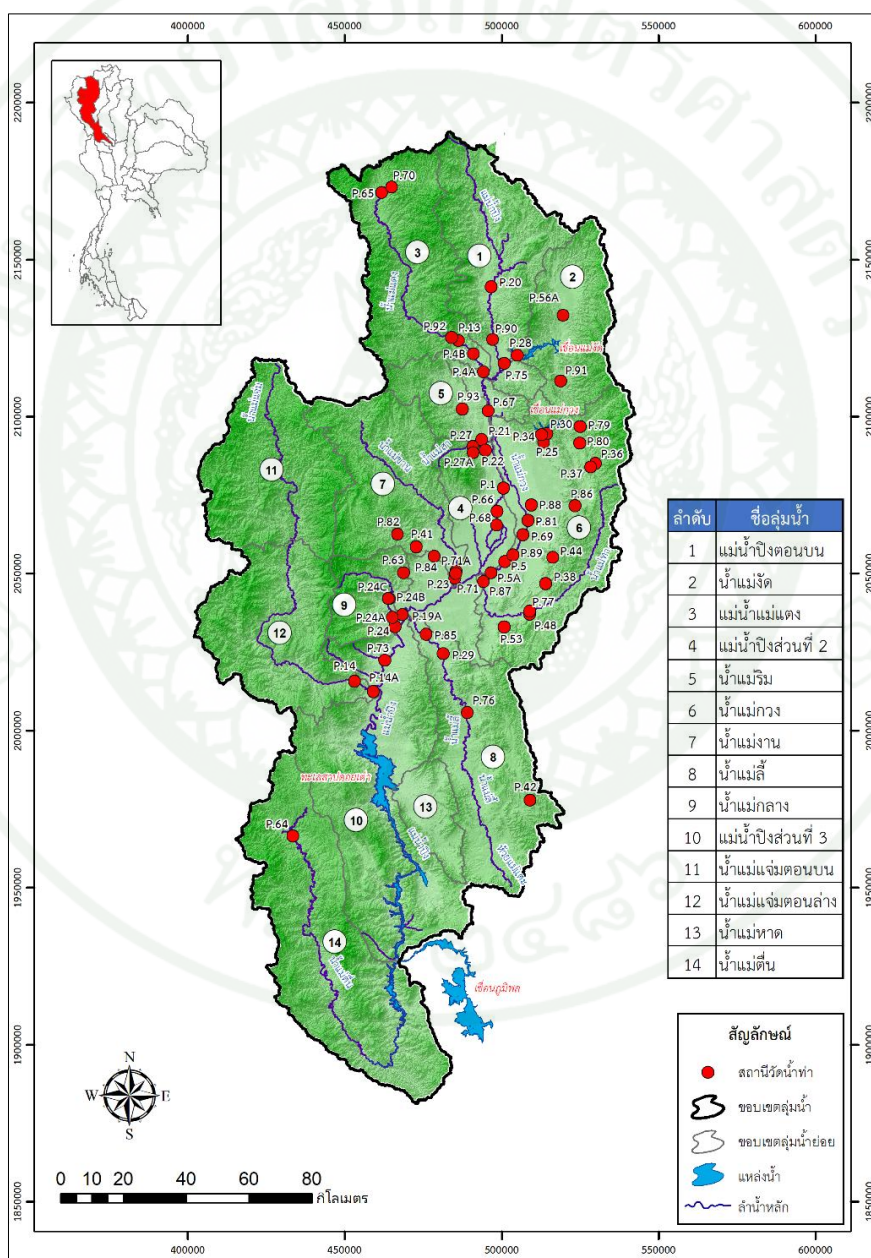
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2557)



ภาพที่ 3 การผันแปรของความถี่ฝนรายเดือนเฉลี่ยในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน

1.2.3 ข้อมูลน้ำท่า

ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในลำน้ำสายหลักและในลำน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน รวบรวมได้จากกรมชลประทาน จำนวน 61 สถานี โดยตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำปิงตอนบนสามารถแสดงได้ในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่า

2. เขื่อนภูมิพล

2.1 สภาพทั่วไป

เขื่อนภูมิพลเป็นเขื่อนเอนกประสงค์ขนาดใหญ่ตั้งอยู่บนลำน้ำแม่ปิงในเขต อำเภอสามเงา จังหวัดตาก โดยลักษณะของเขื่อนเป็นเขื่อนคอนกรีตโค้ง มีความสูง 154 เมตร ยาว 486 เมตร และมีความกว้างของสันเขื่อนที่ระดับ +261.00 ม.รทก. เท่ากับ 6 เมตร ในขณะที่ฐานเขื่อนมีความกว้าง 52 เมตร เขื่อนภูมิพลมีพื้นที่รับน้ำเหนือเขื่อนประมาณ 26,386 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณเก็บกักสูงสุดที่ระดับ +260 ม.รทก. เท่ากับ 13,462 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ผิวน้ำเท่ากับ 316 ตารางกิโลเมตร ซึ่งปริมาณน้ำที่เก็บกักในเขื่อนภูมิพลจะถูกนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ มากมาย เช่น การชลประทาน การอุปโภคบริโภค การรักษาสมดุลทางด้านท้ายน้ำ การผลิตคั้นน้ำเค็ม และการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งโรงไฟฟ้าของเขื่อนภูมิพลมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 8 ชุด โดยมีกำลังการผลิตรวมเท่ากับ 779.2 เมกกะวัตต์ ลักษณะอื่น ๆ ที่สำคัญของเขื่อนภูมิพลสรุปได้ดังตารางที่ 4

2.2 ลักษณะทางอุตุนิยมิวิทยาและอุทกวิทยา

ข้อมูลปริมาณการระเหยรายเดือนเฉลี่ยของเขื่อนภูมิพลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507 ถึง พ.ศ. 2546 แสดงได้ดังตารางที่ 5 โดยพบว่าการระเหยสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนมีนาคมมีค่าเท่ากับ 259 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 67 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากการระเหยของเขื่อนภูมิพลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,697 มิลลิเมตรต่อปี หรือเท่ากับ 386 ล้านลูกบาศก์เมตร

ปริมาณน้ำท่า ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่เขื่อนภูมิพลในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2526 ถึง พ.ศ. 2555 ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าสู่เขื่อนภูมิพลเฉลี่ยเท่ากับ 5,533.26 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยปีที่มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้ามากที่สุดคือ ปี พ.ศ. 2554 มีปริมาณน้ำไหลเข้า 12,918.44 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปีที่มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าน้อยที่สุดคือ ปี พ.ศ. 2541 มีปริมาณน้ำไหลเข้าเพียง 1,317.66 ล้านลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4 ลักษณะที่สำคัญของเขื่อนภูมิพล

ข้อมูล	รายละเอียด
	ตัวเขื่อน (Dam)
ชนิด	คอนกรีตโค้งรัศมี 250 เมตร
ความสูงตัวเขื่อน	154 เมตร
ความยาวสันเขื่อน	486 เมตร
ความกว้างสันเขื่อน	6.0 เมตร
ความกว้างฐานเขื่อน	52.2 เมตร
ระดับสันเขื่อน	+261.00 ม.รทก.
ปริมาตรตัวเขื่อน	970,000 ลูกบาศก์เมตร
	อ่างเก็บน้ำ
พื้นที่รับน้ำ	26,386 ตารางกิโลเมตร
ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเฉลี่ย	5,554 ล้าน ลบ.ม./ปี (ข้อมูลช่วง 2526-2555)
ระดับเก็บกักสูงสุด	+261.00 ม.รทก.
ระดับเก็บกักสูงสุดปกติ	+260.00 ม.รทก.
ความจุเก็บกักสูงสุดปกติ	13,462 ล้าน ลบ.ม.
ระดับเก็บกักต่ำสุด	+213.00 ม.รทก.
ความจุเก็บกักต่ำสุด	3,800 ล้าน ลบ.ม.
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักสูงสุดปกติ	316 ตร.กม.
ความยาวของอ่างเก็บน้ำที่ระดับเก็บกักสูงสุดปกติ	207 กม.
ความกว้างสูงสุดของตัวอ่าง	7.5 กม.

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ข้อมูล	รายละเอียด
	ทางระบายน้ำล้น
ชนิด	อุโมงค์คอนกรีต รูปเกือบม้า 2 ช่อง
ขนาด	11.30 x 500 เมตร
ประตูระบายน้ำ	ประตูเหล็กบานโค้ง
จำนวนและขนาดประตู	4 บาน ขนาด 11.0 x 17.4 เมตร
ระดับสันฝาย	+242.90 ม.รทก.
ความสามารถระบายน้ำสูงสุด	6,000 ลบ.ม./วินาที
	โรงไฟฟ้าและกำลังการผลิต
ชนิดของอาคาร	คอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Indoor
เนื้อที่อาคาร	5,702 ตร.ม.
กำลังการผลิตรวม (8 เครื่อง)	779.2 เมกกะวัตต์
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	1,227.88 ล้านกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

ตารางที่ 5 การกระจายรายเดือนเฉลี่ยของเขื่อนภูมิพล

ตัวแปร	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวม
ความลึก (มม.)	250	206	137	92	89	82	86	86	86	134	190	259	1,697
ปริมาตร (ล้านลบ.ม.)	65	42	25	16	16	17	19	20	21	32	46	67	386

2.3 ความต้องการใช้น้ำ

ความต้องการใช้น้ำชลประทาน ปริมาณน้ำในเขื่อนภูมิพลจะนำไปใช้ในพื้นที่ชลประทานใน 2 พื้นที่หลัก ๆ คือ (1) พื้นที่ชลประทานในเขตลุ่มน้ำปิงตอนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่เพาะปลูกที่อาศัยน้ำจาก side flow ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนล่าง และปริมาณน้ำบางส่วนที่ปล่อยมาจากเขื่อนภูมิพล และ (2) โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ ซึ่งเป็นโครงการชลประทานที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศ ครอบคลุมพื้นที่การเพาะปลูกริมฝั่งแม่น้ำแม่เจ้าพระยาตั้งแต่ ตั้งแต่จังหวัดชัยนาทจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 7.5 ล้านไร่

ความต้องการใช้น้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จะกำหนดไว้ที่กำลังการผลิตต่ำสุด ทั้งนี้ เพื่อให้การผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นผลพลอยได้หรือสำรองจากการใช้น้ำในด้านอื่น ๆ

ความต้องการน้ำขั้นต่ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคและผลักดันน้ำเค็ม ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องระบายท้ายเขื่อนเจ้าพระยาสำหรับการอุปโภค-บริโภคและการผลักดันน้ำเค็ม มีค่าเฉลี่ยประมาณ 80 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามในกรณีที่เกิดสภาวะวิกฤตหรือปริมาณน้ำในเขื่อนภูมิพลมีน้อย จะยอมให้ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคและการผลักดันน้ำเค็มลดลงเหลือเพียง 70 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่เขื่อนภูมิพลรายเดือน

หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2526	0	35.98	67.7	37.43	401.81	1,138.88	1,484.75	1,407.10	370.21	150.41	75.16	9.45	5,178.88
2527	18.35	52.85	303.97	189.2	514.05	939.51	1,311.32	398.03	190.8	69.97	33.53	12.59	4,034.20
2528	23.8	111.9	271.66	413.71	523	1,240.59	1,156.19	1,467.39	423.73	192.87	127.17	73.05	6,025.05
2529	80.03	296.98	225.44	329.05	679.32	938.37	615.23	286.48	182.93	103.53	30.39	12.23	3,779.97
2530	46.05	42.51	224.3	19.04	893.47	1,246.47	978.67	793.29	268.26	110.34	39.65	1.19	4,663.23
2531	7.65	340.27	769.07	532.82	752.49	848.2	1,813.43	713.64	326.01	165.23	66.51	9.08	6,344.40
2532	0	139.64	367.72	351.02	513.83	664.47	1,457.60	448.24	216.21	77.81	23.14	2.64	4,262.33
2533	12.41	266.97	292.27	205.33	440.02	1,013.70	942.65	464.9	182.4	49.76	9.44	0	3,879.84
2534	0	41.04	247.48	181.78	923.82	1,227.09	862.78	504.93	167.62	102.32	24.94	5.01	4,288.80
2535	0	1	30.76	143.16	610.63	1,305.41	1,207.59	353.33	350.92	151.47	31.79	30.7	4,216.74
2536	0.24	48.48	67.84	73.43	174.33	925.36	611.77	163.81	102.33	32.25	11.67	61.87	2,273.38
2537	84.28	253.19	509.69	717.79	1,997.10	2,380.57	988.13	440.86	333.81	168.16	87.61	90.82	8,052.01
2538	46.18	234.12	170.23	337.13	1,452.71	2,191.15	1,118.20	467.59	242.8	172.77	243.74	125.93	6,802.55
2539	117.17	221.23	443.78	392.27	1,003.24	2,101.46	1,226.81	734.42	246.69	165.76	93.02	104.89	6,850.74

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หน่วย : ล้านบาทต่อปี

พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2540	119.21	39.72	32.77	296.37	915.94	1,002.79	1,164.23	333.8	145.72	76.32	50.98	27.24	4,205.09
2541	1.72	12.72	4.15	98.54	261.94	690.36	137.32	68.84	35.76	4.33	0	1.97	1,317.66
2542	5.1	485.83	369.55	147.57	871.47	1,167.81	1,232.08	1,271.38	251.17	109.5	94.73	46.18	6,052.37
2543	176.79	696.25	645.14	483.56	623.29	1,095.66	948.84	518.4	195.34	98.98	29.39	134.48	5,646.11
2544	0	233.98	149.99	408.85	1,406.04	758.64	745.77	529.48	195.41	126.44	584.06	12.27	5,150.93
2545	16.14	379.35	251.18	326.3	945.49	2,990.21	1,111.80	1,286.91	589.41	384.34	205.31	149.18	8,635.62
2546	65.93	133.65	126.17	354.03	444.41	1,134.90	423.52	152.78	7.67	24.49	0	11.51	2,879.06
2547	0	350.05	663.06	467.9	795.64	1,454.55	597.61	198.91	107.95	25.94	17.69	23.72	4,703.02
2548	71.17	70.07	240.33	466.14	952.94	2,658.83	1,231.25	848.3	307.91	143.48	58.59	40.43	7,089.44
2549	150.07	642.96	515.04	705.26	1,274.30	2,762.64	1,633.63	440.31	253.99	163.77	101.85	19.4	8,663.22
2550	0.8	993.88	447.08	320.9	651.49	1,346.53	1,834.44	481.74	221.18	75.21	35.5	0	6,408.75
2551	10.31	560.04	288.99	248.62	709.19	1,111.78	1,588.56	1,064.17	218.4	43.69	0	23.57	5,867.32
2552	28.62	390.19	688.14	579.75	663.72	1,452.15	1,969.50	376.12	89.13	30	0	0	6,267.32
2553	0	0	21.47	150.39	1,123.57	1,508.90	2,067.17	427.1	120.82	11.57	4.21	157.12	5,592.32

ตารางที่ 6 (ต่อ)

หน่วย : ล้านบาท/ปี

พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2554	244.03	1,017.84	928.92	961.02	2,646.13	2,877.21	2,812.78	670.11	395.47	284.96	75.1	4.87	12,918.44
2555	54.23	345.42	298.3	336.06	674.28	1,518.24	764.31	331.26	119.31	28.21	38.39	56.67	4,564.68
เฉลี่ย	46.01	281.27	322.07	342.48	861.32	1456.41	1201.26	588.12	228.65	111.46	73.12	41.6	5,553.78
สูงสุด	244.03	1,017.84	928.92	961.02	2,646.13	2,990.21	2,812.78	1,467.39	589.41	384.34	584.06	157.12	12,918.44
ต่ำสุด	0	0	4.15	19.04	174.33	664.47	137.32	68.84	7.67	4.33	0	0	1,317.66

3. เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล

เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล เป็นเขื่อนที่สร้างขึ้นตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 เดิมชื่อว่า เขื่อนแม่จัด ตั้งอยู่บนลำน้ำแม่จัด สาขาแม่น้ำปิง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และยังตั้งอยู่ในอุทยานแห่งชาติศรีลานนา สำหรับทางเข้าเขื่อนอยู่ประมาณหลักกิโลเมตรที่ 41 บนทางหลวงหมายเลข 107 (สายเชียงใหม่-ฝาง) เขื่อนแม่จัดเริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2520 โดยกรมชลประทาน การก่อสร้างตัวเขื่อนแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2527 ต่อมาการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้เข้ามาดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำในปี พ.ศ. 2528 แล้วเสร็จในปีเดียวกัน เขื่อนแม่จัดตั้งอยู่บน ลำน้ำแม่จัดในเขต อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ โดยลักษณะของเขื่อนเป็นเขื่อนดิน มีความสูง 59 เมตร ยาว 1,590 เมตร เขื่อนแม่จัดมีพื้นที่รับน้ำเหนือเขื่อนประมาณ 16 ตารางกิโลเมตร มีปริมาตรเก็บกักสูงสุดเท่ากับ 26.5 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำที่เก็บกักในเขื่อนแม่จัดจะถูกนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ มากมาย เช่น การชลประทาน การอุปโภคบริโภค และการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งโรงไฟฟ้าของเขื่อนแม่จัดมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 2 ชุด โดยมีกำลังการผลิตรวมเท่ากับ 9,000 กิโลวัตต์

4. เขื่อนแม่กวงอุดมธารา

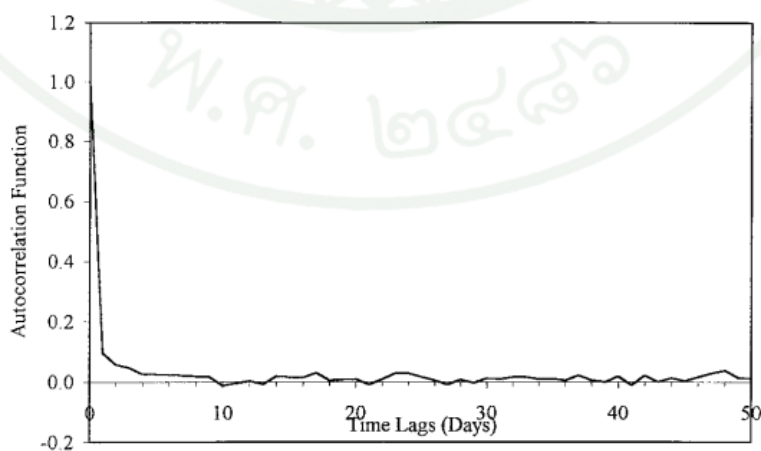
เขื่อนแม่กวงอุดมธารา เป็นโครงการตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 เมื่อปี พ.ศ.2508 ตั้งอยู่บนลำน้ำแม่กวง สาขาแม่น้ำปิง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เขื่อนแม่กวงก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2536 เขื่อนแม่กวงลักษณะของเขื่อนเป็นเขื่อนดิน มีความสูง 68 เมตร ยาว 610 เมตร มีปริมาตรเก็บกักสูงสุดเท่ากับ 263 ล้านลูกบาศก์เมตร มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเฉลี่ยปีละ 186 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก 13 ตำบล ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูนประมาณ 175,000 ไร่ ปริมาณน้ำที่เก็บกักในเขื่อนแม่จัดจะถูกนำไปใช้ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ มากมาย เช่น การชลประทาน และการอุปโภคบริโภค

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พฤติกรรม Chaotic ของข้อมูลฝนที่สิงคโปร์

Sivakumar *et al.* (1999) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการคาดการณ์ล่วงหน้าปริมาณฝนรายวันในช่วงสั้นๆ ของสถานีวัดน้ำฝน 6 สถานี ได้แก่ 05, 07, 22, 23, 31 และ 43 ประเทศสิงคโปร์ ซึ่งการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ตรวจสอบการมีอยู่ของ chaotic ของชุดข้อมูลฝนรายวันของประเทศสิงคโปร์ (2) ระบุจำนวนตัวแปรน้อยที่สุดที่จำเป็นและจำนวนตัวแปรที่เพียงพอในการจำลองแบบพลศาสตร์ของขบวนการฝนรายวัน (3) เพื่อสังเกตค่าความแปรปรวนในลักษณะของขบวนการฝนสำหรับช่วงเวลาข้อมูลที่แตกต่างกัน และ (4) เพื่อกำหนดผลกระทบของระยะเวลาข้อมูลและ delay time

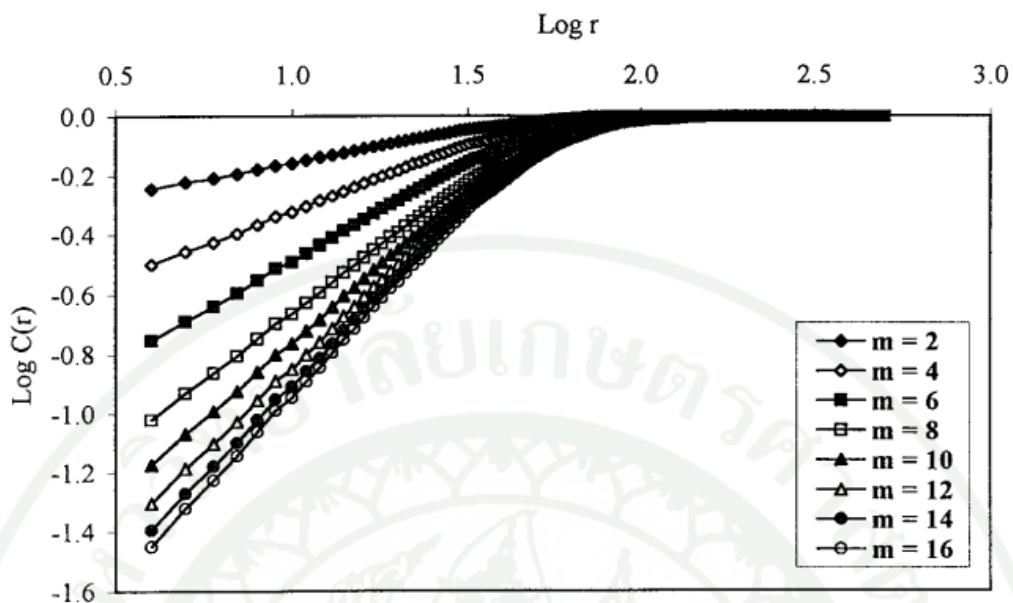
เพื่อตรวจสอบการมีอยู่ของพฤติกรรม chaotic ในข้อมูลฝนและเพื่อกำหนดความผันแปรในพฤติกรรมของกระบวนการเกิดฝนของช่วงเวลาการบันทึกข้อมูลที่แตกต่างกัน ข้อมูลฝนรายวันจำนวนข้อมูล 30, 20, 10, 5, 4, 3, 2 และ 1 ปีจากแต่ละสถานีของทั้ง 6 สถานีถูกนำมาพิจารณา ค่า delay time คำนวณจาก autocorrelation function และจะถูกใช้เป็น lag time เมื่อ autocorrelation function ตัดเส้นศูนย์ครั้งแรก ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างของการผันแปรของ autocorrelation function ต่อ lag time สำหรับสถานี 05 ที่ช่วงเวลาการบันทึกข้อมูล 30 ปี โดยค่าศูนย์ครั้งแรกของ autocorrelation function เกิดเมื่อ lag time เท่ากับ 10 วัน



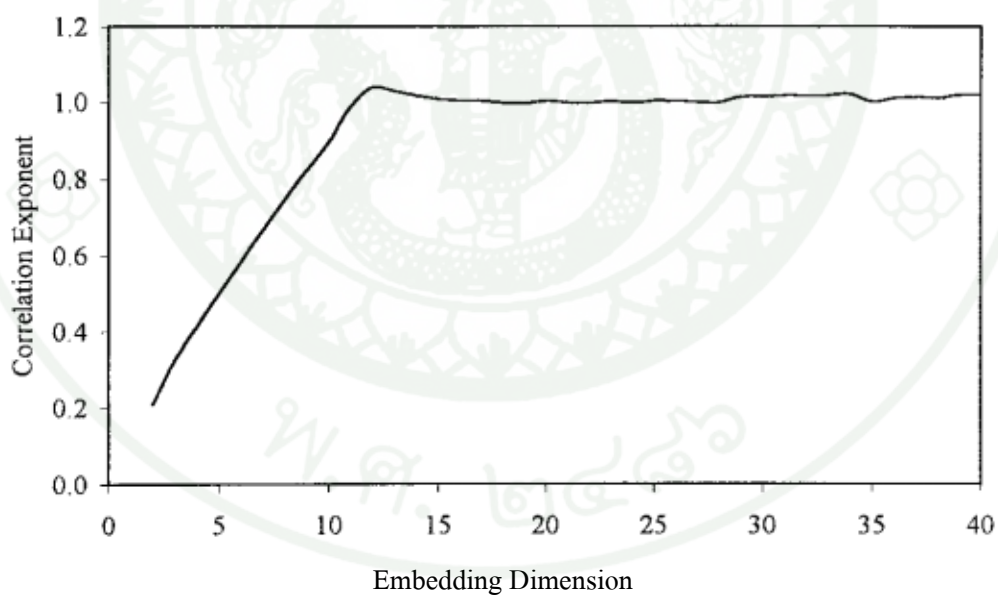
ภาพที่ 5 autocorrelation function ข้อมูลฝน 30 ปี ของสถานี 05

correlation integral, $C(r)$ และ correlation exponent, V คำนวณสำหรับแต่ละชุดข้อมูลโดยใช้กระบวนการ Grassberger-Procaccia ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง correlation integral $C(r)$ และ r สำหรับค่าที่แตกต่างกันของ embedding dimension m สำหรับข้อมูล 30 ปีของสถานี 05 ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง correlation exponent และ embedding dimension ของชุดข้อมูล 30 ปี สถานี 05 โดย correlation exponent มีเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของ embedding dimension จนถึงจุดคงที่จุดหนึ่ง ค่าที่คงที่ของ correlation exponent (เรียกว่า correlation dimension) เท่ากับ 1.01 เป็นการบ่งบอกการมีอยู่ของ low-dimensional attractor และ embedding dimension ที่จุดเกิดค่าคงที่เท่ากับ 12 ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง correlation exponent และ embedding dimension สำหรับชุดข้อมูลที่แตกต่างกันของสถานี 05 ซึ่งสามารถเห็นค่าคงที่ของ correlation exponents จากทุกชุดข้อมูล ทำการวิเคราะห์ซ้ำกับชุดข้อมูลจาก 5 สถานีที่เหลือ ตารางที่ 7 สรุปผลการวิเคราะห์ correlation dimension ของทุกชุดข้อมูลจากทั้ง 6 สถานี ค่า correlation dimension มีช่วงจาก 0.79 ถึง 1.07 ค่าคงที่ของ correlation exponents เกิดขึ้นที่ embedding dimensions ในช่วง 11 ถึง 18 ค่าที่ต่ำไม่เป็นเลขจำนวนเต็มของ correlation dimension ที่ได้บอกถึงการมีอยู่ของ low-dimensional chaos ในข้อมูลฝนรายวันของสิงคโปร์

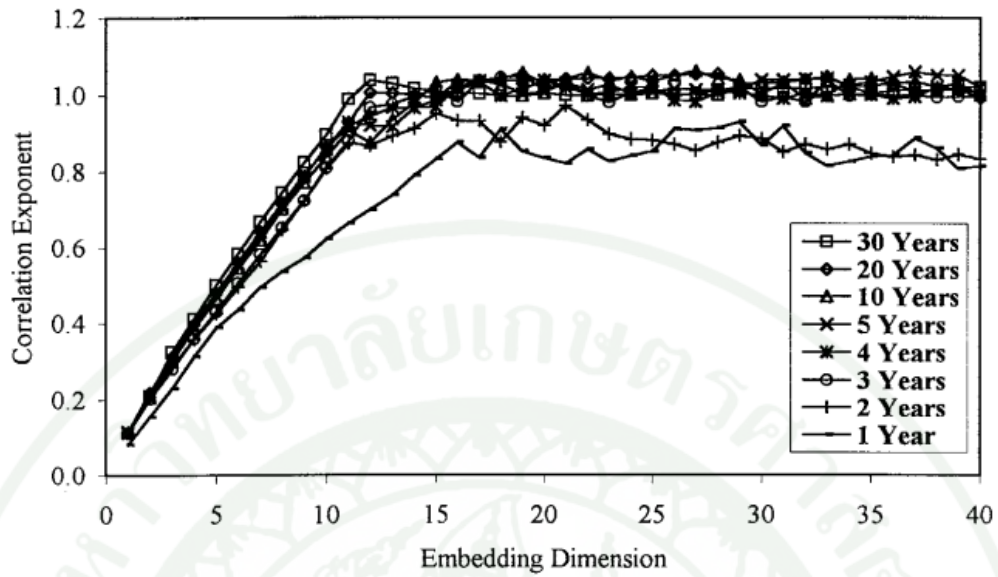
ค่าจำนวนเต็มใกล้เคียงที่สุดมากกว่าค่า correlation dimension มักจะถือว่ามีค่าเท่ากับ dimension น้อยที่สุดของ phase-space ที่จำเป็นต่อ embed attractor ค่าของ embedding dimension ที่จุดเกิดค่าคงที่ของ correlation dimension ถือว่าเป็นขอบเขตบนของ dimension ของ phase-space ที่เพียงพอที่จะอธิบายการเคลื่อนที่ของ attractor นอกจากนี้ dimension ของ embedding phase-space เท่ากับจำนวนของตัวแปรในพัฒนาการของระบบพลศาสตร์ ดังนั้นจากผลการศึกษาแบบจำลองทางพลศาสตร์ของการเกิดฝนจำนวนตัวแปรน้อยที่สุดที่จำเป็นเท่ากับ 1 หรือ 2 และจำนวนตัวแปรที่เพียงพออยู่ในช่วง 11 ถึง 18 อย่างไรก็ตามเพื่อจำลองระบบ chaotic dimension น้อยที่สุดของ phase-space ซึ่งก็คือจำนวนตัวแปรอิสระน้อยที่สุดที่จำเป็น คือ 3 จากผลการศึกษากล่าวได้ว่า ขบวนการฝนในสิงคโปร์เป็น chaotic จำนวนตัวแปรน้อยที่สุดที่จำเป็นเพื่อจำลองพลศาสตร์ของ ขบวนการฝนควรเท่ากับ 3 ดังนั้น attractor ข้อมูลฝนควรจะ embedded น้อยที่สุด three-dimensional phase-space ผลการศึกษาแสดงว่าขอบเขตบนของ dimension phase-space ที่พอเพียงในการอธิบายการเคลื่อนที่ของ attractor และเช่นกันจำนวนตัวแปรที่เพียงพอในการจำลองพลศาสตร์ของ ขบวนการฝนอยู่ในช่วง 11 ถึง 18



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง correlation function $C(r)$ และรัศมี r ของข้อมูลฝน 30 ปี สถานี 05



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Exponent และ Embedding dimension ของข้อมูลฝน 30 ปี สถานี 05



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Exponent และ Embedding dimension ของข้อมูลฝนที่
ช่วงเวลาจัดเก็บข้อมูลแตกต่างกัน สถานี 05

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ Correlation Dimension

Record length (year)	Number of data point	Time delay (day)	Correlation dimension	Minimum dimensions essential	Minimum variables essential	Number of variables sufficient
(a) Station 05						
30	10,958	10	1.01 ± 0.02	3	3	12
20	7,305	10	1.03 ± 0.03	3	3	16
10	3,653	12	1.03 ± 0.03	3	3	15
5	1,826	8	1.03 ± 0.03	3	3	16
4	1,461	8	1.01 ± 0.03	3	3	16
3	1,096	7	1.01 ± 0.04	3	3	15
2	731	8	0.91 ± 0.08	3	3	14
1	365	5	0.87 ± 0.06	3	3	16

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Record length (year)	Number of data point	Time delay (day)	Correlation dimension	Minimum dimensions essential	Minimum variables essential	Number of variables sufficient
(a) Station 07						
30	10,958	20	1.03 ± 0.03	3	3	12
20	7,305	20	1.03 ± 0.03	3	3	13
10	3,653	20	1.02 ± 0.03	3	3	12
5	1,826	6	1.02 ± 0.03	3	3	13
4	1,461	8	1.01 ± 0.03	3	3	14
3	1,096	6	0.97 ± 0.06	3	3	14
2	731	6	0.94 ± 0.06	3	3	13
1	365	6	0.88 ± 0.08	3	3	13
(c) Station 22						
30	10,958	7	1.06 ± 0.03	3	3	15
20	7,305	7	1.05 ± 0.03	3	3	16
10	3,653	7	1.07 ± 0.04	3	3	16
5	1,826	4	1.06 ± 0.05	3	3	18
4	1,461	4	1.07 ± 0.04	3	3	17
3	1,096	4	1.05 ± 0.05	3	3	18
2	731	4	1.02 ± 0.05	3	3	18
1	365	4	0.92 ± 0.06	3	3	18
(d) Station 23						
30	10,958	10	1.03 ± 0.02	3	3	13
20	7,305	13	1.04 ± 0.03	3	3	11
10	3,653	7	1.03 ± 0.03	3	3	13
5	1,826	7	1.03 ± 0.03	3	3	11
4	1,461	8	1.04 ± 0.05	3	3	16
3	1,096	7	1.02 ± 0.05	3	3	16
2	731	7	1.01 ± 0.07	3	3	12
1	365	5	0.95 ± 0.06	3	3	15

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Record length (year)	Number of data point	Time delay (day)	Correlation dimension	Minimum dimensions essential	Minimum variables essential	Number of variables sufficient
(e) Station 31						
30	10,958	7	1.02 ± 0.02	3	3	12
20	7,305	7	1.03 ± 0.03	3	3	14
10	3,653	7	1.03 ± 0.03	3	3	15
5	1,826	7	1.02 ± 0.03	3	3	14
4	1,461	7	0.99 ± 0.04	3	3	13
3	1,096	7	0.94 ± 0.05	3	3	14
2	731	7	0.86 ± 0.05	3	3	12
1	365	2	0.84 ± 0.06	3	3	14
(f) Station 43						
30	10,958	10	1.03 ± 0.02	3	3	12
20	7,305	13	1.05 ± 0.02	3	3	13
10	3,653	13	1.01 ± 0.03	3	3	14
5	1,826	8	1.04 ± 0.03	3	3	13
4	1,461	8	1.03 ± 0.04	3	3	13
3	1,096	8	1.02 ± 0.04	3	3	15
2	731	8	0.99 ± 0.04	3	3	16
1	365	8	0.79 ± 0.08	3	3	14

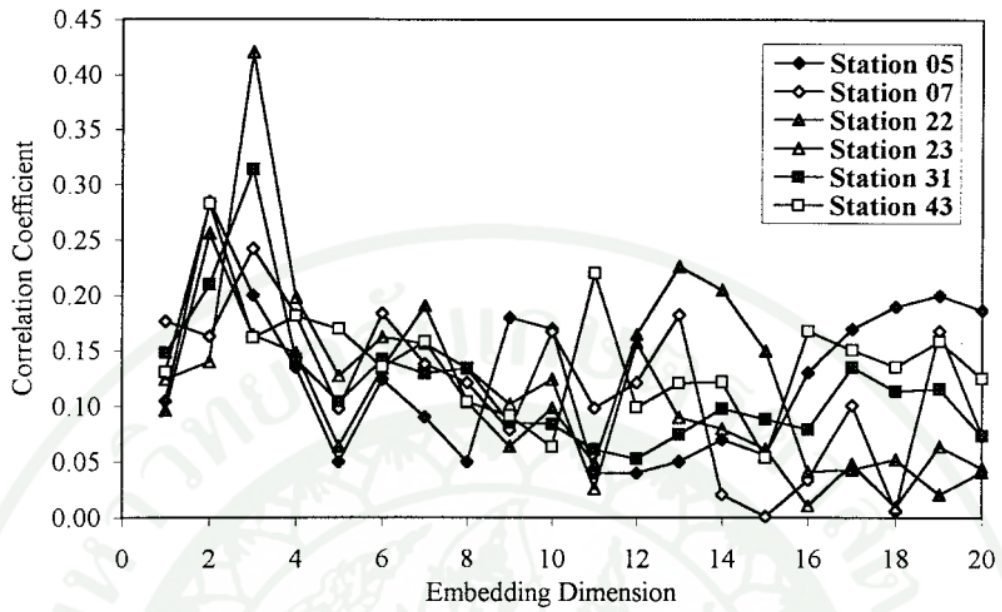
ผลของการวิเคราะห์ correlation dimension ระบุว่าพฤติกรรม chaotic สังเกตได้สำหรับข้อมูลที่มีระยะเวลาการเก็บข้อมูลต่างกัน ความเปลี่ยนแปลงในการประมาณ attractor dimension สังเกตได้ในตารางที่ 7 correlation dimension มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย สำหรับข้อมูลที่มีระยะเวลาการเก็บข้อมูลตั้งแต่ 4 ปีขึ้นไป สำหรับชุดข้อมูลที่มีระยะเวลาการเก็บข้อมูลไม่เกิน 3 ปี correlation dimension ลดลงต่ำกว่า 1

ในการคาดการณ์ปริมาณฝนล่วงหน้า ข้อมูลฝน 3,000 ข้อมูลจากแต่ละ 6 สถานี ถูกนำมาคาดการณ์ล่วงหน้าข้อมูลฝน 100 ค่าถัดไป โดยการใช้เทคนิค local approximation เพื่อเลือกจำนวน

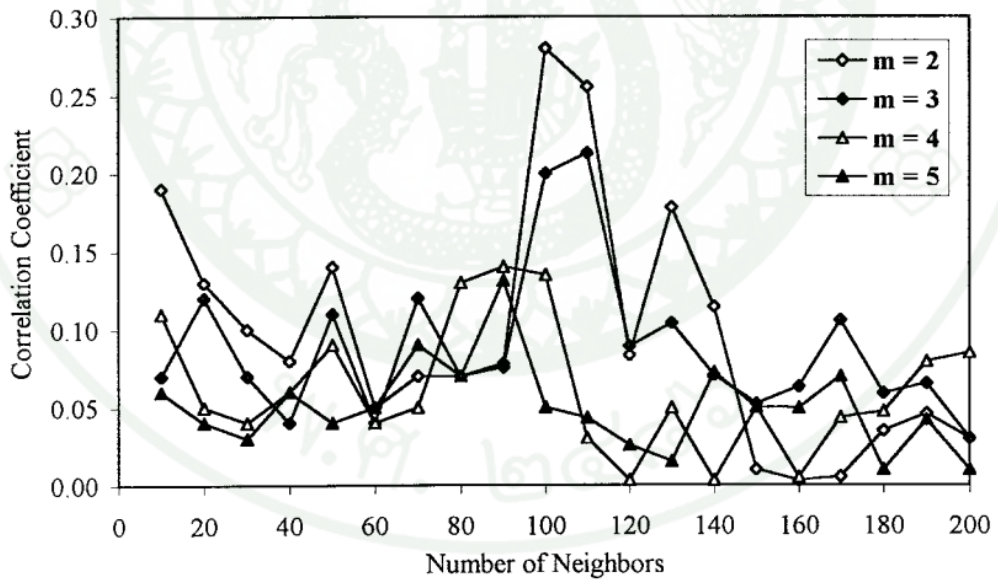
neighbors ที่เหมาะสม ค่าทดลองจำนวน neighbors $k = 10, 20, \dots, 200$ สำหรับ embedding dimensions จาก 1 ถึง 20 และสัมพันธ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าการคาดการณ์และค่าตรวจวัดถูกประเมิน โดยภาพที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมพันธ์สหสัมพันธ์และจำนวนของ neighbors สำหรับ embedding dimensions ที่แตกต่างกันของข้อมูลจากสถานี 05

ภาพที่ 10 แสดงความถูกต้องของการคาดการณ์เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของจำนวน neighbors จนกระทั่งจำนวนที่แน่นอนและจากนั้นลดลงเมื่อจำนวน neighbors เพิ่มขึ้น สามารถกล่าวได้ว่าการคาดการณ์ที่ดีที่สุดไม่ได้มาจากทั้งแบบ deterministic หรือ stochastic แต่มาจากแบบจำลองที่อยู่ระหว่างกลาง (intermediate model) ซึ่งแสดงพฤติกรรม chaotic ของทั้ง low dimension ที่มีจำนวน noise ปานกลางหรือพฤติกรรม chaotic ของ moderate dimension (Casdagli 1991, Muller-Jerking *et al.* 1996)

ภาพที่ 9 แสดงการพล็อตค่าระหว่างสัมพันธ์สหสัมพันธ์และ embedding dimension จากกราฟแสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดเมื่อ embedding dimension ถูกทำให้เพิ่มขึ้นจนถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง (2 หรือ 3 แล้วแต่กรณี) และลดลงเมื่อ embedding dimension มีค่าเพิ่มมากขึ้นไปอีก การมีอยู่ของ embedding dimension ที่เหมาะสม (ซึ่งมีค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์สูงสุด) แสดงถึงการมีอยู่ของพฤติกรรม chaotic ในข้อมูลฝนรายวัน ตามการศึกษา Casdagli (1989) สำหรับชุดข้อมูลอนุกรมเวลาที่มี chaotic ค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์มีค่าใกล้ 1 เมื่อ m ถูกทำให้เพิ่มขึ้นจนถึงค่า embedding dimension ที่เหมาะสมที่สุด m_{opt} และมีค่าคงที่ใกล้เคียง 1 สำหรับค่า m ที่มากกว่า m_{opt} แต่จากที่แสดงในภาพที่ 9 ค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์ไม่ได้ใกล้กับ 1 ที่ m_{opt} ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป อีกจุดสำคัญที่ได้ คือ ค่าสัมพันธ์สหสัมพันธ์ไม่ได้คงที่เมื่อ embedding dimension ถูกทำให้เพิ่มขึ้นเลยจุด embedding dimension ที่เหมาะสมแต่ก่อนข้างจะลดลงเมื่อ embedding dimension ถูกทำให้เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาทำให้ประหลาดใจที่ความแม่นยำของการคาดการณ์ลดลงที่ embedding dimension ที่สูงกว่า ซึ่งข้อมูลที่มากกว่าถูกสรุปในแต่ละ m -dimensional ผลการศึกษาดังกล่าวอาจเกิดจากการเจือปนของ nearby point ใน high-dimensional embedding ด้วยจุดซึ่งเป็นคู่ลำดับแต่แรก (ที่ low embedding dimensions) อยู่ใกล้กันแต่คู่ลำดับล่าสุด (ที่ high embedding dimensions) อยู่ห่างกัน (Sugihara และ May, 1990)

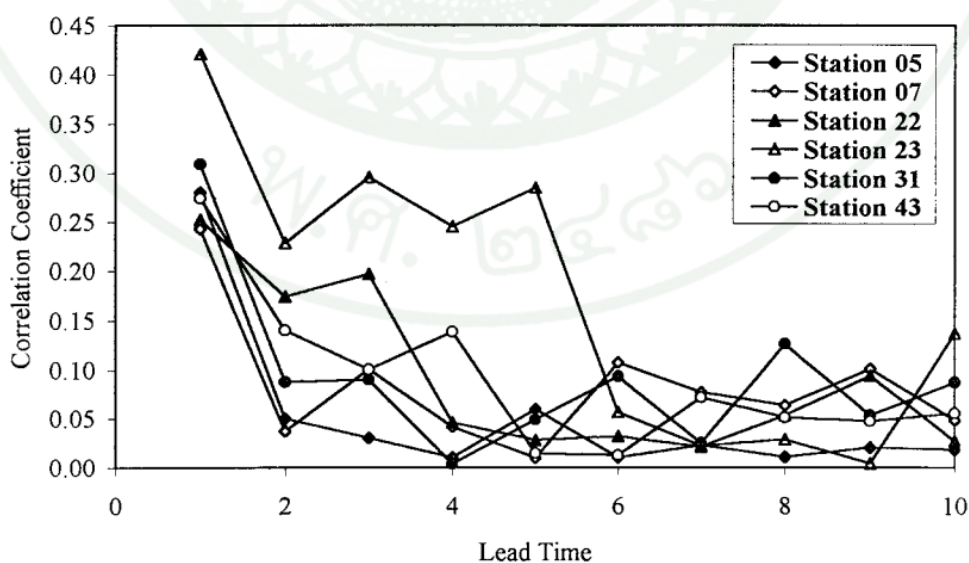


ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Coefficient และ Embedding Dimension ของทุกสถานี



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Coefficient และ Number of Neighbors ของสถานี 05

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำการคาดการณ์กับเวลาการคาดการณ์ล่วงหน้า การคาดการณ์ได้ดำเนินการที่เวลาการคาดการณ์ล่วงหน้าแตกต่างกันระหว่าง 1-10 ด้วย embedding dimensions เท่ากับ m_{opt} ที่ได้มาก่อนหน้านี้ ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการคาดการณ์และค่าตรวจวัดและเวลาการคาดการณ์ล่วงหน้า จะเห็นได้ว่าทั้ง 6 สถานีวัดน้ำฝนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลดลงเมื่อเวลาการคาดการณ์ล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาตามที่กล่าวมาซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญของระบบ chaotic แสดงการมีอยู่ของพฤติกรรม chaotic ในข้อมูลฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนที่ศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าตรวจวัดและค่าการคาดการณ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0.24 และ 0.42 มีค่าที่ต่ำมากสำหรับระบบ chaotic เหตุผลสำคัญน่าจะจากการมี noise ในข้อมูลฝน การคาดการณ์ไม่เป็นเส้นตรง หรือวิธีการอื่นๆ สำหรับการแยกแยะ chaos อยู่บนสมมุติฐานของข้อมูลที่ปราศจาก noise แต่เป็นที่รู้กันดีว่าข้อมูลจากระบบการธรรมชาติและ การทดลองมักมี noise อยู่จำนวนหนึ่ง เช่น ความคลาดเคลื่อนจากการวัด วิธีการที่ศึกษาพัฒนาสำหรับข้อมูลที่ปราศจาก noise เมื่อประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่มี noise เช่น ข้อมูลฝนก็อาจไม่เป็นไปได้ที่จะได้ผลที่แม่นยำมาก วิธีการลด noise เช่น Kostelich และ Yorke (1988) และ Schreiber (1993) ที่พัฒนาสำหรับข้อมูล chaotic สามารถประยุกต์ใช้ได้กับข้อมูลฝน การคาดการณ์สามารถดำเนินการกับข้อมูลที่ลดลง noise แล้ว เหตุผลอื่นอาจเป็นการศึกษานี้ใช้ first-order local approximation ในการสร้างการคาดการณ์ Tsonis (1992) ให้ข้อสังเกตว่า first-order approximation อาจจะไม่ให้ผลที่ดีที่สุดเสมอไป ดังนั้นแนะนำ higher-order approximation



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Correlation Coefficient และ Lead Time ของทุกสถานี

2. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนโดยการใช้ Phase Space Reconstruction

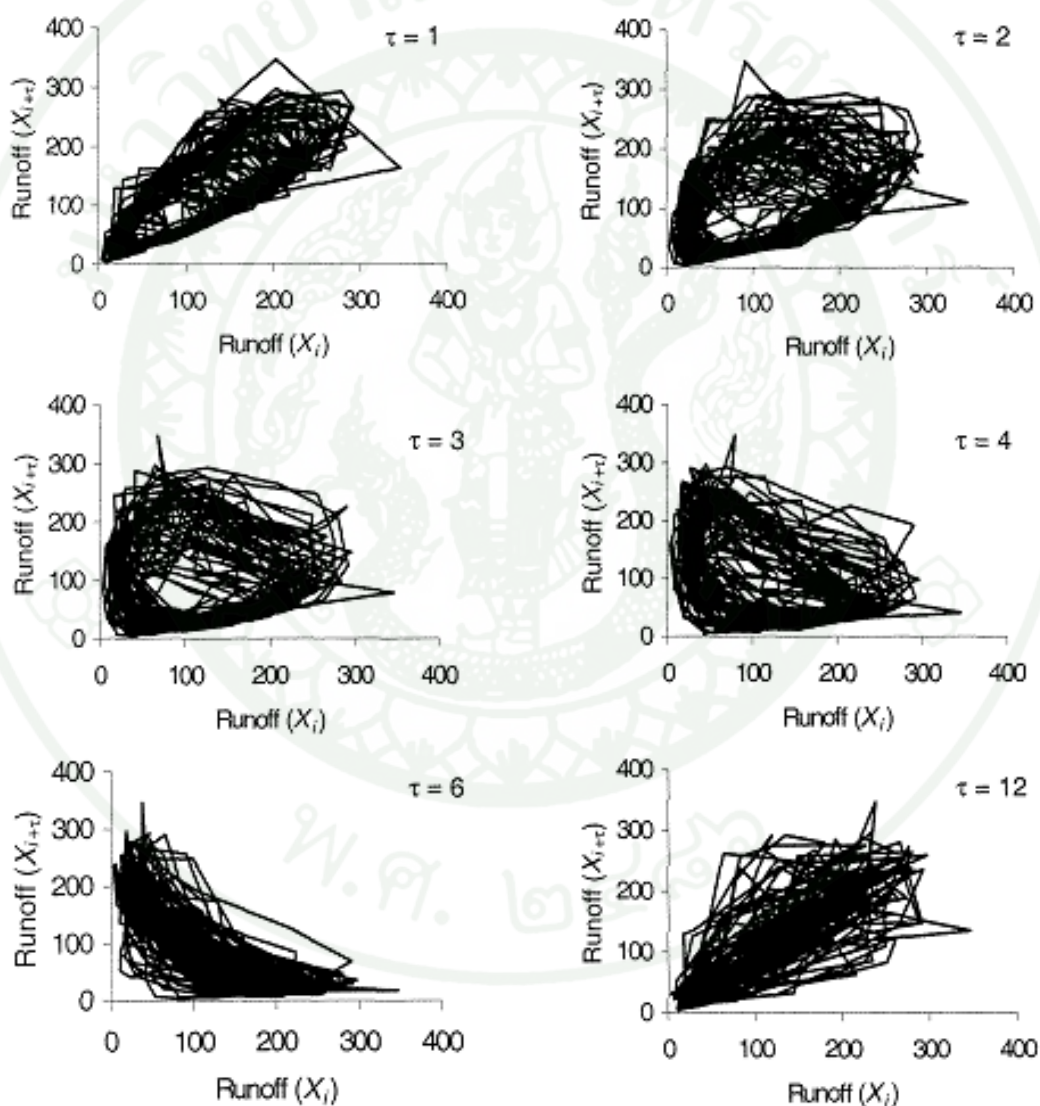
Sivarkuma (2001) ได้ศึกษาการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ลุ่มน้ำ Coaracy Nunes/Araguari ตอนเหนือของประเทศบราซิล วิธีการคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรงซึ่งพัฒนามาจากแนวคิดจาก deterministic chaos theory ถูกใช้เพื่อ (1) ทำนายปริมาณน้ำท่ารายเดือน (2) ตรวจสอบลักษณะที่น่าจะมีอยู่ของ chaos ในพลศาสตร์ของน้ำท่า วิธีการดำเนินการ ขั้นแรกการสร้าง single-dimensional (หรือตัวแปร) ของชุดของข้อมูลน้ำท่าในรูปแบบ multi-dimensional phase space เพื่อเป็นตัวแทนลักษณะทางพลศาสตร์ต่อจากนั้นใช้วิธีการ local polynomial เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนในการศึกษาปริมาณน้ำท่ารายเดือนตรวจวัดที่ลุ่มน้ำ Coaracy Nunes/Araguari ทางตอนเหนือของประเทศบราซิลถูกนำมาศึกษาเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการคาดการณ์ล่วงหน้าช่วงเวลาสั้นที่แม่นยำโดยใช้วิธีการคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรงข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดในช่วงเวลา 48 ปี (ค.ศ.1945-1992) ถูกนำมาวิเคราะห์ ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของชุดข้อมูลน้ำท่าแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าทางสถิติของชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน (mm month^{-1}).

Statistic	Value
Mean	106.8
Standard deviation	75.7
Variance	5715.4
Maximum	346.4
Minimum	3.1

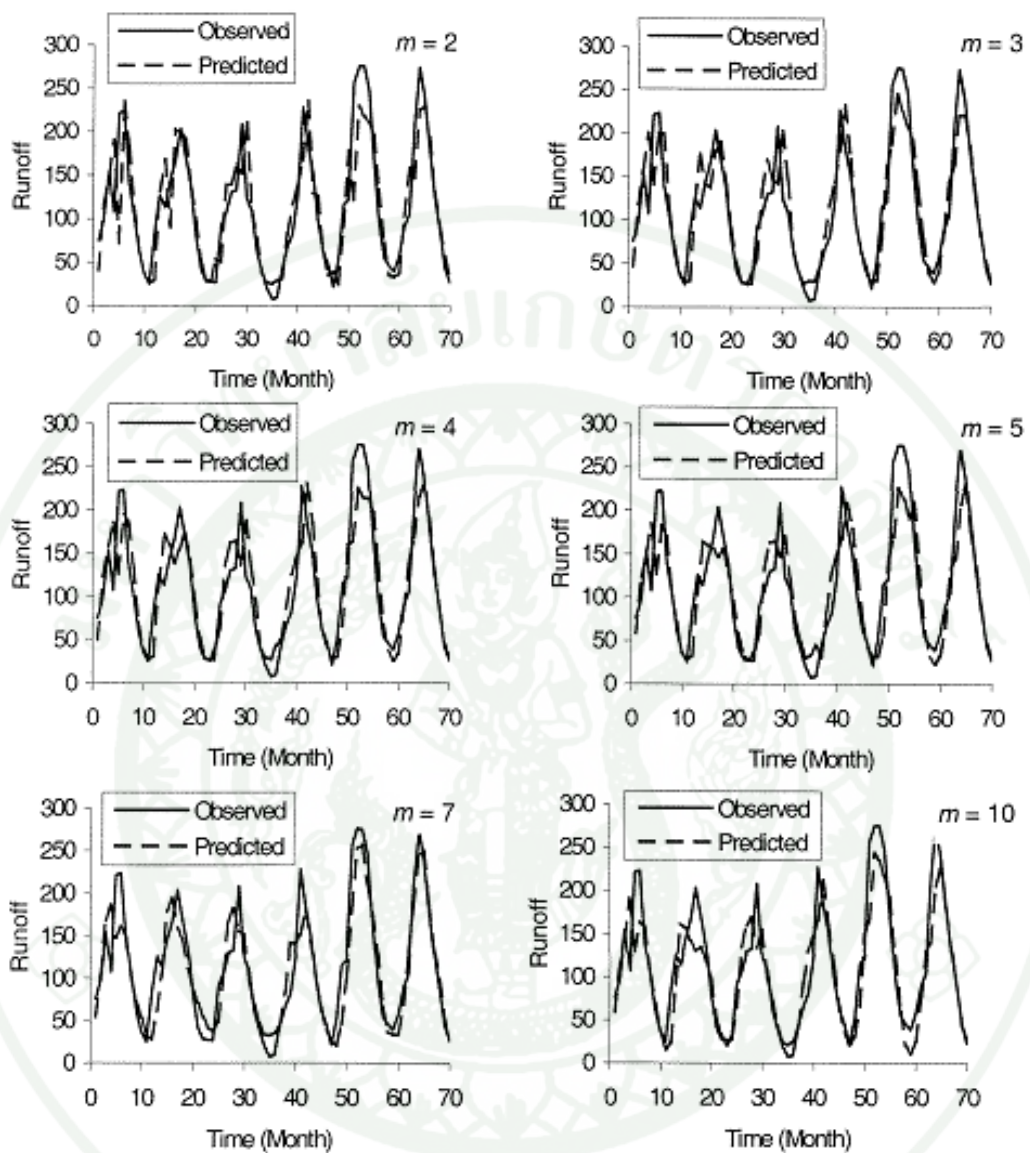
ภาพที่ 12 แสดงการสร้างใหม่ของชุดข้อมูลน้ำท่าใน two-dimensional phase space ($m = 2$) เป็นการพล็อต attractor บนระนาบระหว่าง $[X_t, X_{t+\tau}]$ ด้วย $\tau = 1, 2, 3, 4, 6$ และ 12 เดือน โดย attractor ที่ดีเกิดขึ้นเมื่อ $\tau \leq 3$ ซึ่งจะเกิดขึ้นเป็น lag time เมื่อ autocorrelation function ตัดเส้นศูนย์ครั้งแรก attractor จะไม่ดีเมื่อ τ มีค่าเพิ่มขึ้นและกลับมาดีอีกครั้งเมื่อ τ มีค่าเท่ากับ 12 ซึ่งสนับสนุนผลการตรวจวัดจากการพล็อตชุดข้อมูลตามอนุกรมเวลาซึ่งแสดงรอบรายปีของลักษณะทางพลศาสตร์ของน้ำท่า

วิธีการคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรงด้วยกระบวนการ local polynomial นำมาใช้กับชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนเพื่อทำการคาดการณ์ ชุดข้อมูล 480 ค่าแรกถูกใช้ใน phase space reconstruction (การฝึกฝนหรือการเรียนรู้) เพื่อสร้างการคาดการณ์ใน 70 ค่าที่ตามมา phase space ถูกสร้างใหม่ด้วย embedding dimensions ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 1 ถึง 10 และสร้างการคาดการณ์ในช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 10 เดือน

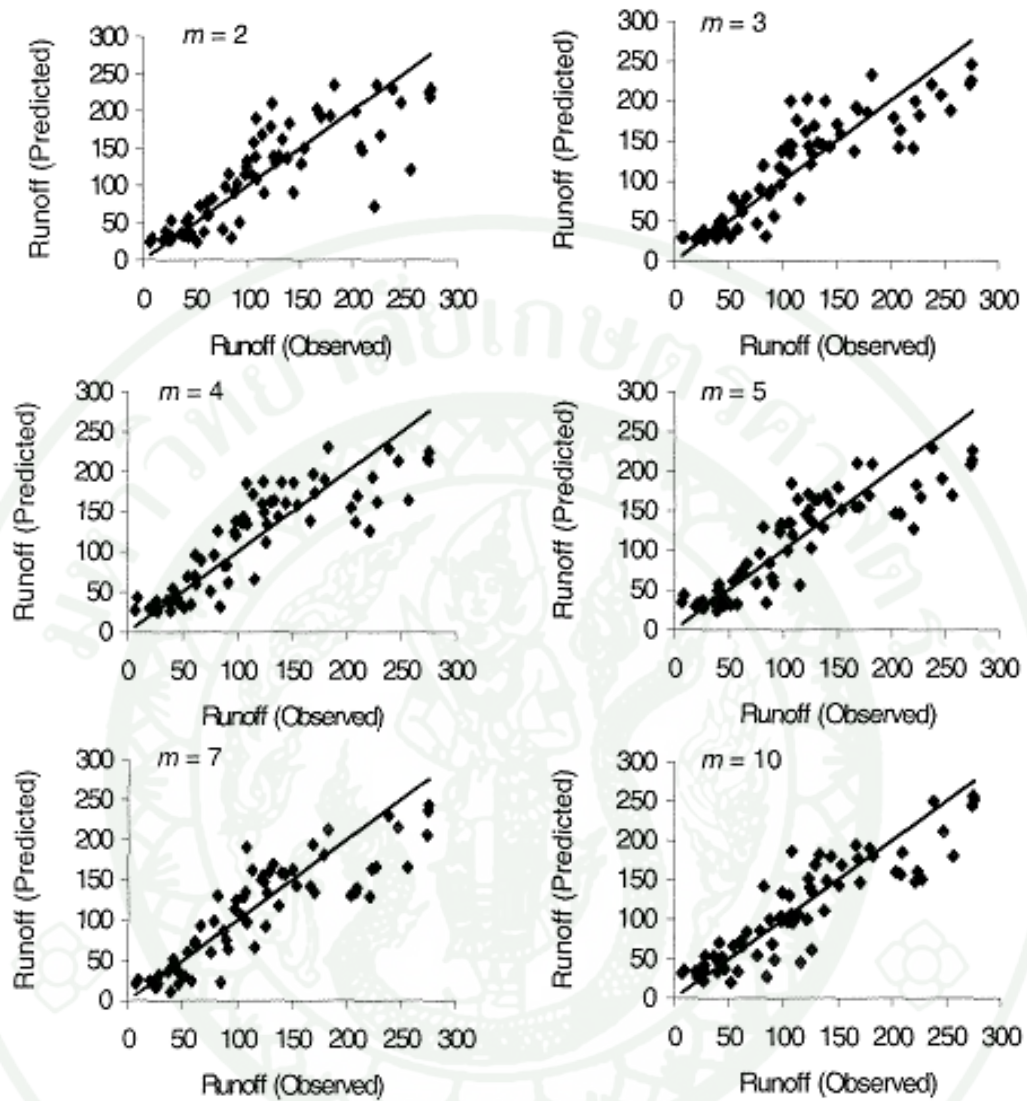


ภาพที่ 12 Phase space diagram ของปริมาณน้ำท่ารายเดือนด้วย delay time (τ) = 1, 2, 3, 4, 6 และ 12 เดือน

ภาพที่ 13 เปรียบเทียบโดยใช้กราฟข้อมูลอนุกรมเวลา การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 2 เดือน กับข้อมูลการตรวจวัดขณะที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตรวจวัดและผลการคาดการณ์แสดงในภาพที่ 14 โดยได้ลากเส้นทาบ 1:1 เพื่อใช้อ้างอิง จากกราฟแสดงผลการคาดการณ์ตาม embedding dimension ที่มีค่าเท่ากับ 2, 3, 4, 5, 7 และ 10 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผลการคาดการณ์มีความสอดคล้องกับค่าตรวจวัดในทุกๆ embedding dimension ผลการคาดการณ์มีความเหมาะสมทั้งเหตุการณ์น้ำท่ามากและเหตุการณ์น้ำท่าน้อย ตลอดจนแนวโน้มของปริมาณน้ำท่าดังกล่าว ผลการคาดการณ์ในแง่ของ CC, RMSE และ E^2 แสดงในตารางที่ 9 ผลการคาดการณ์ที่ดีตามอนุกรมเวลาและค่า E^2 สูง ($E^2 > 0.91$) แสดงว่าวิธีการคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรงมีความเหมาะสมในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า การสร้างใหม่ของชุดตัวแปรเดี่ยว (ข้อมูลน้ำท่า) ใน multi-dimensional phase space สามารถจับลักษณะปรากฏที่สำคัญของลักษณะทางพลศาสตร์ของน้ำท่า และความสามารถของกระบวนการ local approximation ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าตามการจับลักษณะทางพลศาสตร์ใน phase space ที่ละเอียดอย่างเฉพาะที่



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดและผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 1 เดือน สำหรับ embedding dimension, $m = 2, 3, 4, 5, 7$ และ 10



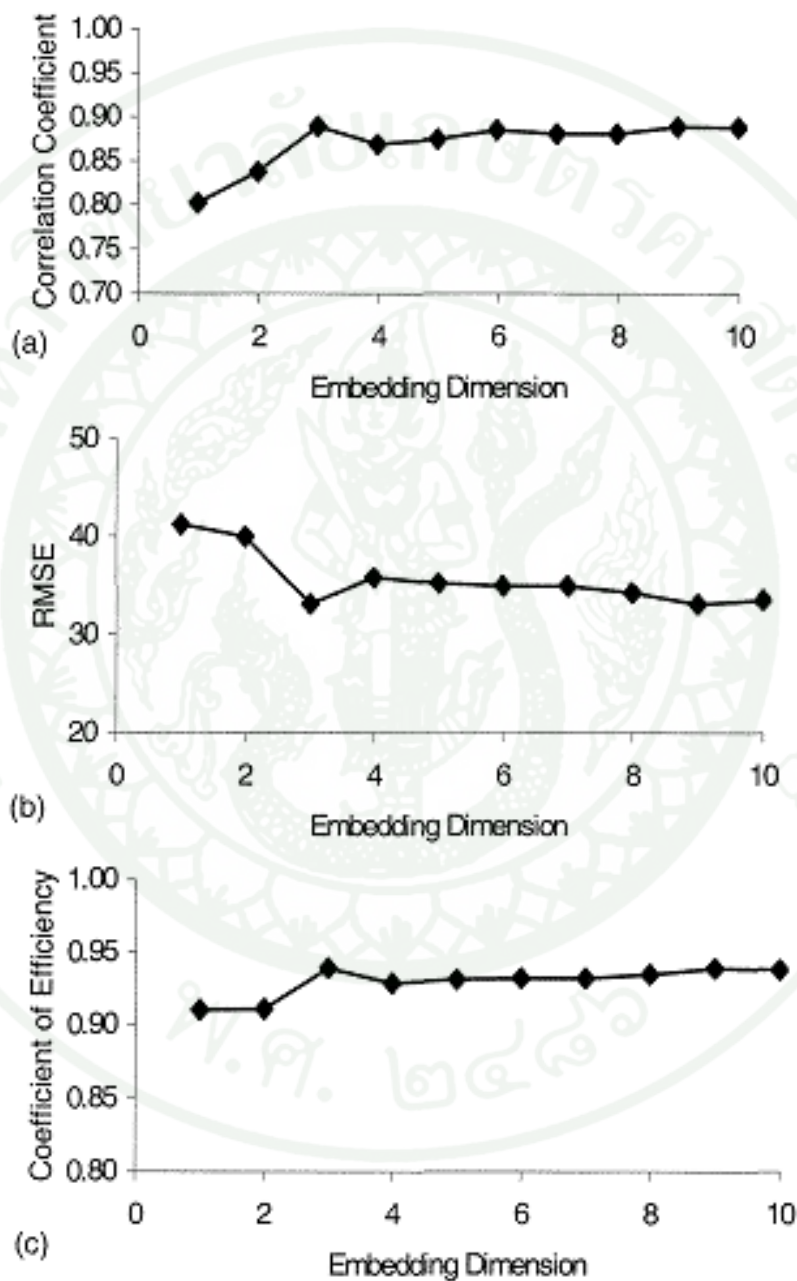
ภาพที่ 14 เปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดและผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 1 เดือน โดย Scatter Plot สำหรับ embedding dimension, $m = 2, 3, 4, 5, 7$ และ 10

ตารางที่ 9 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า โดยวิธีคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรง

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า 1 เดือน				Embedding Dimension, $m = 3$			
m	CC	RMSE (mm)	E^2	T	CC	RMSE (mm)	E^2
1	0.8023	41.216	0.9103	1	0.8895	33.138	0.9388
2	0.8375	39.991	0.9109	2	0.7892	45.011	0.8692
3	0.8895	33.138	0.9388	3	0.7612	47.804	0.8518
4	0.8687	35.805	0.9285	4	0.7447	49.393	0.8318
5	0.8744	35.214	0.9309	5	0.7747	47.566	0.8553
6	0.8845	34.928	0.9320	6	0.7945	45.972	0.8326
7	0.8804	34.935	0.9319	7	0.7979	45.989	0.8335
8	0.8805	34.261	0.9346	8	0.7769	48.645	0.8484
9	0.8889	33.122	0.9380	9	0.7381	52.233	0.8382
10	0.8879	33.523	0.9377	10	0.7234	52.853	0.8435

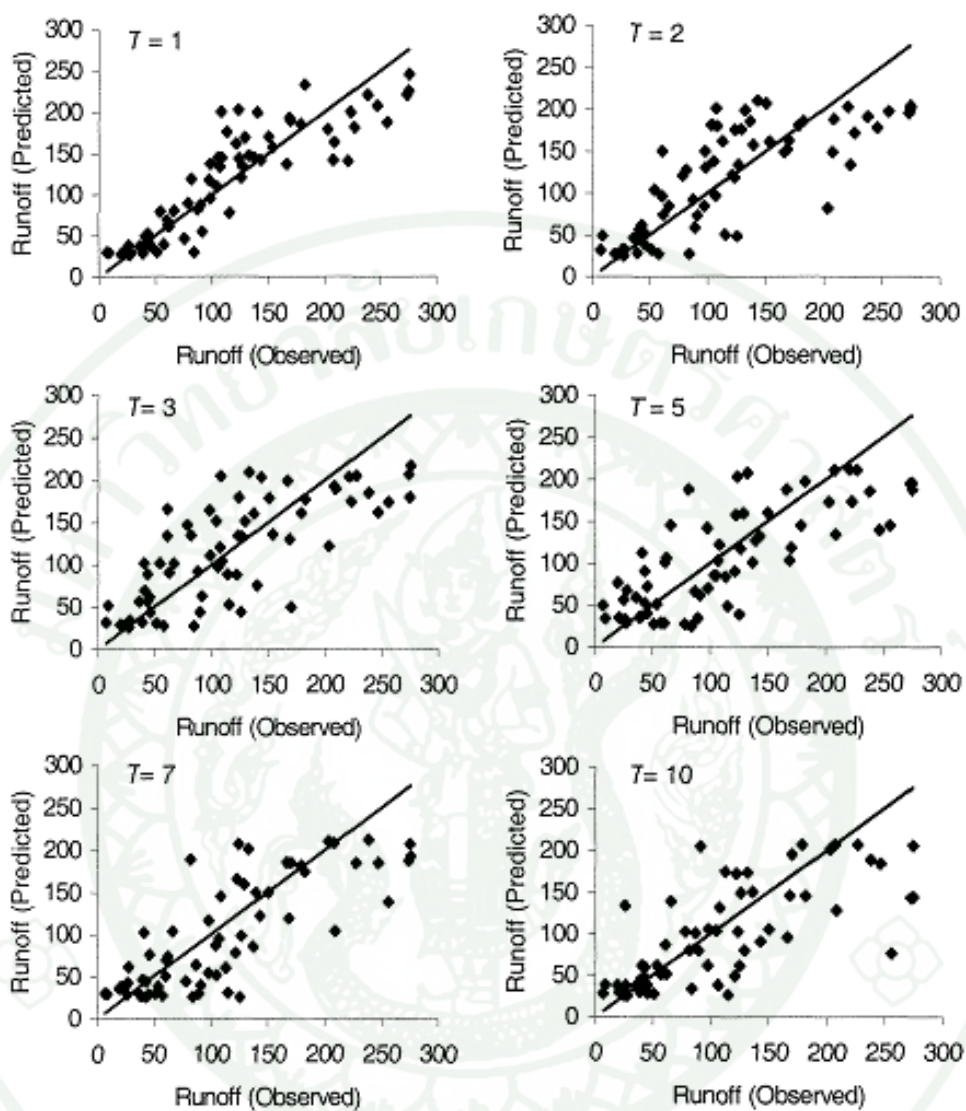
ผลการคาดการณ์ (ภาพที่ 13 และ 14 ตารางที่ 9) แสดงให้เห็นว่าแม้ว่าตัวแปรที่ถูกคาดการณ์มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าตรวจวัดในทุก embedding dimensions โดยผลที่การคาดการณ์ที่ดีที่สุดเกิดขึ้นเฉพาะกรณี $m = 3$ และผลการคาดการณ์เกือบจะคล้ายกันหรือแย่กว่าเล็กน้อยเมื่อ $m > 3$ และแย่กว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อ $m < 3$ การได้ค่า embedding dimension ที่เหมาะสม $m_{opt} = 3$ มีความเป็นไปได้ในการแสดงความไม่เป็นระเบียบที่ low-dimensional ในลักษณะทางพลศาสตร์ของน้ำท่า (Casdagli, 1989) ซึ่งสามารถเห็นได้จากการพล็อตค่าทางสถิติ CC, RMSE และ E^2 กับ embedding dimension ดังแสดงในภาพที่ 15 จะเห็นได้ว่าความแม่นยำของการคาดการณ์จะเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มขึ้นของ embedding dimension จนถึงค่าเท่ากับ 3 และจากนั้นมีค่าคงที่ (หรือลดลงเพียงเล็กน้อย) เมื่อ embedding dimension มีค่ามากขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าอย่างน้อยที่สุด three-dimensional phase space reconstruction ของชุดข้อมูลน้ำท่าต้องการใช้เพื่อจับลักษณะปรากฏที่สำคัญของลักษณะทางพลศาสตร์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งกระบวนการน้ำท่าขึ้นกับตัวแปรหลักสำคัญอย่างน้อย 3 ตัวแปร อย่างไรก็ตามการลดลงเล็กน้อยในความแม่นยำของการคาดการณ์เมื่อ phase space ที่มากขึ้น ($m > 3$) ถูกใช้เพื่อสร้างใหม่อาจเนื่องมาจากการมีความผิดปกติ (ข้อมูลตรวจวัดผิดพลาด) ในชุดข้อมูลน้ำท่า

อิทธิพลของข้อมูลที่ผิดพลาดจะมีมากขึ้นที่ embedding dimension ที่มาก (Sugihara & May, 1990; Sivakumar *et al.*, 1999 a,b)

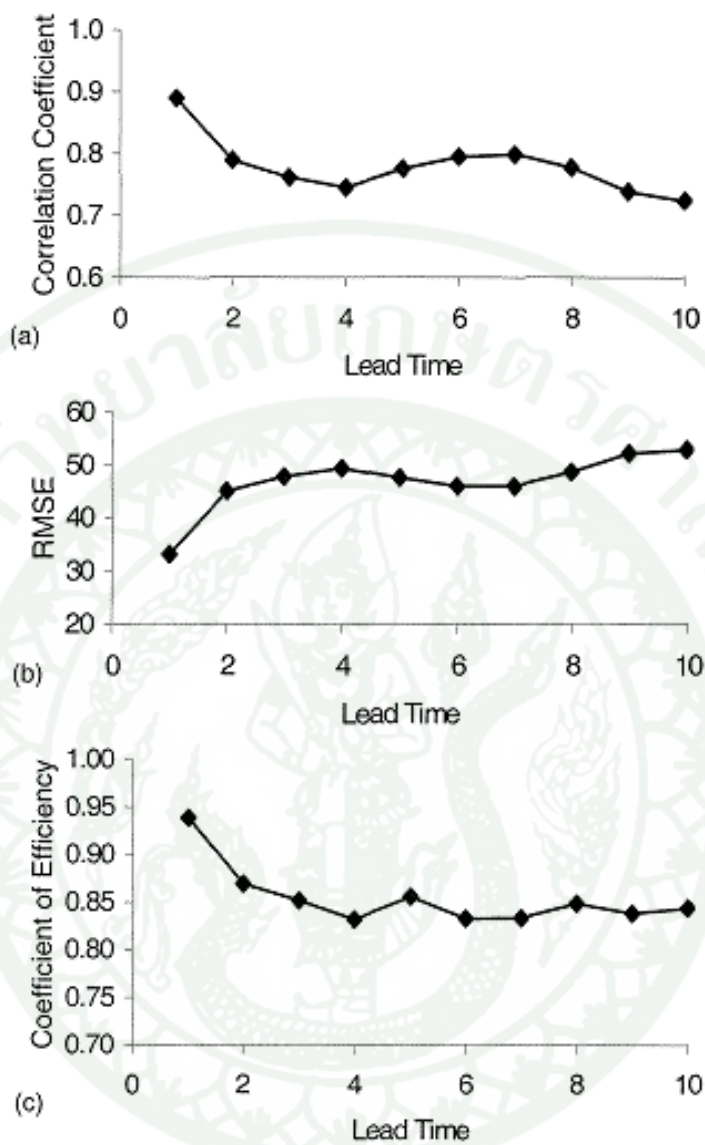


ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างความถูกต้องของการคาดการณ์และ embedding dimension สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 เดือน (a) correlation coefficient; (b) RMSE; and (c) coefficient of efficiency

ด้วยผลการคาดการณ์ที่ช่วงเวลาล่วงหน้า 1 เดือน ความเป็นไปได้ในการคาดการณ์ล่วงหน้าที่ดีในช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้นได้รับการตรวจสอบ ซึ่งได้ดำเนินการคาดการณ์ล่วงหน้าในช่วงเวลาเพิ่มขึ้นจนถึง 10 เดือน เมื่อเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ล่วงหน้าและผลการตรวจวัดดังแสดงในภาพที่ 16 ซึ่งเป็นกราฟพล็อตแสดงผลที่ได้รับจากการคาดการณ์ล่วงหน้าที่เวลา T เท่ากับ 1, 2, 3, 5, 7 และ 10 ด้วย embedding dimensions, $m = 3$ (m_{opt}) ผลการคาดการณ์ในแง่ของ CC, RMSE และ E^2 แสดงในตารางที่ 9 ขณะที่ความเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวตามเวลาการคาดการณ์ล่วงหน้าแสดงในภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าการคาดการณ์ทุกช่วงเวลาการคาดการณ์ล่วงหน้ามีความเหมาะสม ($E^2 > 0.83$) จากผลสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรงมีขีดความสามารถที่ดีในการสร้างการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าที่ช่วงเวลาการคาดการณ์ที่สั้น ในอีกแง่หนึ่งจากที่แสดงในภาพที่ 17 การลดลงอย่างรวดเร็วของความแม่นยำในการคาดการณ์ล่วงหน้าเกิดขึ้นเมื่อระยะเวลาการคาดการณ์ล่วงหน้าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของระบบที่ไม่มีระเบียบ (Sugihara & May, 1990) ซึ่งให้ข้อมูลสนับสนุนเพิ่มเติมจากผลที่ได้ก่อนหน้านี้ (ความแม่นยำของการคาดการณ์ต่อ embedding dimension) ในเรื่องความเป็นไปได้ในการแสดงถึง (low-dimensional) ความไม่เป็นระเบียบในพลศาสตร์ของน้ำท่า



ภาพที่ 16 เปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดและผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า 1 เดือน โดย Scatter Plot สำหรับ $m = 3$ เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า $T = 1, 2, 3, 5, 7$ และ 10 เดือน



ภาพที่ 17 Relationship between prediction accuracy and lead time for $m = 3$:

(a) correlation coefficient; (b) RMSE; and (c) coefficient of efficiency

3. กระบวนการมิติสหสัมพันธ์ตามวิธีการ Grassberger-Procaccia

มีหลายกระบวนการที่สร้างสมการสำหรับการคำนวณมิติสหสัมพันธ์ (correlation dimension) ของชุดข้อมูลอนุกรมเวลา อาทิเช่น Grassberger และ Procaccia (1983), Theiler (1987) ในการศึกษาที่ใช้กระบวนการมิติสหสัมพันธ์ตามวิธีการ Grassberger-Procaccia เพื่อคำนวณมิติสหสัมพันธ์ (correlation dimension) ของชุดข้อมูลน้ำฝน กระบวนการนี้ใช้การสร้าง phase-space ของอนุกรมเวลา โดยข้อมูลเชิงปริมาณตามอนุกรมเวลา X_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ phase-space สามารถสร้างโดยใช้วิธีการ delay ดังสมการที่ 1

$$Y_j = (X_j, X_{j+\tau}, X_{j+2\tau}, \dots, X_{j+(m-1)\tau/\Delta t}) \quad (1)$$

โดยที่ $j = 1, 2, \dots, N - (m - 1)\tau / \Delta t$, m คือ มิติ (dimension) ของเวกเตอร์ Y_j เรียกว่า embedding dimension และ τ หมายถึง delay time ซึ่งเป็นตัวคูณที่เหมาะสมของเวลาที่ใช้ Δt (Packard *et al.*, 1980; Takens, 1981) สำหรับ m -dimensional phase-space ความสัมพันธ์สมบูรณ์ (correlation integral) $C(r)$ คำนวณจากสมการ Theiler (1987) ดังแสดงในสมการที่ 2

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2}{N(N-1)} \sum_{(1 \leq i < j \leq N)} i j H(r - |y_i - y_j|) \quad (2)$$

H คือ Heaviside step function ด้วย $H(u) = 1$ สำหรับ $u > 0$ และ $H(u) = 0$ สำหรับ $u \leq 0$ เมื่อ $u = r - |y_i - y_j|$ โดยที่ r = รัศมีของทรงกลมบน y_i or y_j และ N คือ จำนวนของข้อมูล หากชุดข้อมูลอนุกรมเวลาถูกแสดงลักษณะด้วย attractor สำหรับค่า r ที่เป็นบวก ความสัมพันธ์สมบูรณ์ (correlation integral) มีความสัมพันธ์กับรัศมี r จากสมการที่ 3

$$\frac{C(r)}{\frac{r \rightarrow 0}{N \rightarrow \infty}} \sim \alpha r^v \quad (3)$$

เมื่อ α เท่ากับค่าคงที่ และ v คือ correlation exponent หรือ slope ของ $\text{Log } C(r)$ ต่อ $\text{Log } r$ ดังแสดงในสมการที่ 4

$$v = \lim_{\substack{r \rightarrow 0 \\ N \rightarrow \infty}} \frac{\log C(r)}{\log r} \quad (4)$$

ความลาดชันประมาณโดยกำลังสองน้อยที่สุดของเส้นตรงที่พอดิบในช่วง r เรียกว่า scaling region

เพื่อตรวจสอบ chaos มีอยู่หรือไม่ค่า correlation exponent ถูกพล็อตกับค่า embedding dimension ที่เกี่ยวข้องกัน ถ้าหาก correlation exponent นำไปสู่ค่าจำกัดเมื่อนั้นระบบดังกล่าวมักจะถูกพิจารณาเป็น deterministic dynamics เป็นหลัก ถ้าหาก correlation exponent มีขนาดเล็กเมื่อนั้นระบบถูกพิจารณาเป็น low-dimensional dynamics ซึ่งควบคุมโดยคุณสมบัติของ attractor ค่าความอึดตัวของ correlation exponent ถูกกำหนดเป็นมิติความสัมพันธ์ (correlation dimension) ของ attractor ตามอนุกรมเวลา ในทางตรงกันข้ามสำหรับระบบที่เป็นขบวนการสโตคาสติก correlation exponent จะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยไม่มีขอบเขต

มิติความสัมพันธ์ (correlation dimension) ของ attractor ให้ข้อมูลกับมิติของ phase-space ที่ต้องการ สำหรับ embedding ตัว attractor ในทางกลับกันให้ข้อมูลจำนวนตัวแปรที่แสดงพัฒนาการของระบบพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ตามทฤษฎี embedding ของ Takens (1981) เพื่อแสดงระบบทางพลศาสตร์ด้วยมิติ attractor เท่ากับ d มิติของ phase space ($m=2d+1$) เหมาะสม ขณะที่ Abarbanel *et al.* (1990) แนะนำว่าในทางปฏิบัติ $m > d$ น่าจะเพียงพอ (Fraedrich, 1986) ตัวเลขจำนวนเต็มใกล้เคียงที่มากกว่าค่ามิติความสัมพันธ์ (correlation dimension) ให้มิติน้อยที่สุดของ phase space ในการ embed attractor ขณะที่ค่าของ embedding dimension ซึ่งความอึดตัวของตัวแทนความสัมพันธ์เกิดขึ้นได้ให้ขีดจำกัดบนของมิติ phase-space ที่เพียงพอเพื่อจะอธิบายการเคลื่อนไหวของ attractor

ความน่าเชื่อถือของกระบวนการ Grassberger-Procaccia สำหรับการประเมิน attractor dimension อยู่ในระหว่างการศึกษาวิจัย คำถามที่สำคัญ คือ ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมิติควรจะมีขนาดเท่าไร และอีกคำถาม คือ delay time ที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง phase-space ควรค่าเท่าใด ทั้งสองคำถามดังกล่าวได้รับการศึกษาวิจัยมากมาย Delay Time (τ , lag time) ที่เหมาะสมสำหรับการสร้าง phase-space มีความจำเป็นเนื่องจากการเลือก lag time ที่เหมาะสมทำให้เกิดการแยกส่วนที่ดีที่สุดของ neighboring trajectories ใน embedding space น้อยที่สุด (Frison, 1994) หากว่า

lag time น้อยเกินไปจะทำให้ได้ข้อมูลใหม่ๆ เล็กน้อยในแต่ละข้อมูลที่ตามมา (subsequent datum) ในทางตรงกันข้ามหากเลือก lag time ที่มากเกินไป ลักษณะพลศาสตร์ คือ chaotic ข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับการสร้าง phase-space มีการสูญหายเนื่องจาก neighboring trajectories หนีออก และค่าเฉลี่ยในเวลา และ/หรือ สถานที่ไม่ทำให้เกิดประโยชน์ (Sangoyomi *et al.* 1996) ด้วยเหตุนี้เป้าหมาย คือ การพิจารณาเฉพาะชุดค่าลำดับที่เป็นอิสระดังนั้นแต่ละชุดค่าลำดับที่เพิ่มเข้าไปกับจุดของการสร้าง phase space จะให้ข้อมูลใหม่ Holzfuss และ Mayer-Kress (1986) แนะนำการใช้ค่าของ lag time ที่ทำให้ autocorrelation function ตัดเส้นศูนย์ครั้งแรก วิธีการอื่นๆ พิจารณา lag time ที่ทำให้ autocorrelation function มีค่าที่คงที่ นั่นคือ $1/e$ หรือ 0.5 (Schuster, 1984) สำหรับชุดข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง X_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ สำหรับค่าที่แตกต่างกันของ lag time autocorrelation function $r(\tau)$ ถูกกำหนดตามสมการที่ 5

$$r(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{N-\tau} X_i X_{i+\tau} - \frac{1}{N-\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} X_{i+\tau} \sum_{i=1}^{N-\tau} X_i}{\left[\sum_{i=1}^{N-\tau} X_i^2 - \frac{1}{N-\tau} \left(\sum_{i=1}^{N-\tau} X_i \right)^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{i=1}^{N-\tau} X_{i+\tau}^2 - \frac{1}{N-\tau} \left(\sum_{i=1}^{N-\tau} X_{i+\tau} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (5)$$

4. การคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรง

การคาดการณ์แบบไม่เป็นเส้นตรงที่ใช้ในการศึกษานี้ (1) เพื่อการคาดการณ์ล่วงหน้าช่วงสั้นๆ ของน้ำท่า (2) เพื่อใช้ผลการคาดการณ์ดังกล่าวสำหรับการตรวจสอบลักษณะความมีอยู่ของ chaos พลศาสตร์ของน้ำท่าที่คาดว่าจะมีอยู่ วิธีการที่กล่าวถึงใช้แนวคิดการสร้างใหม่ของชุดตัวแปรเดี่ยว (ใช้ชุดข้อมูลในอดีตและวิธีการ delay) ใน multi-dimensional phase space เพื่อแสดงลักษณะทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้น สำหรับตัวแปรเชิงปริมาณตามอนุกรมเวลา (ตัวอย่างเช่นชุดข้อมูลน้ำท่า) X_i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, N$ โดย Phase Space สามารถสร้างใหม่ได้ดังสมการที่ 6

$$Y_j = (X_j, X_{j+\tau}, X_{j+2\tau}, \dots, X_{j+(m-1)\tau}) \quad (6)$$

เมื่อ $j = 1, 2, \dots, N - (m - 1)\tau$ สำหรับ m คือ dimension ของเวกเตอร์ Y_j ซึ่งถูกเรียกว่า embedding dimension และ τ เรียกว่า delay time (Takens 1981) ความถูกต้องของ phase space reconstruction ใน dimension m ทำให้แปลความหมายลักษณะของพลศาสตร์ในรูปแบบของ m -dimensional map f_τ ดังนั้น

$$Y_{j+T} = f_T(Y_j) \quad (7)$$

เมื่อ Y_j และ Y_{j+T} หมายถึงเวกเตอร์ของ dimension m อธิบายสถานะของระบบที่เวลา j (สถานะปัจจุบัน) และ $j+T$ (สถานะอนาคต) ตามลำดับ จากสมการดังกล่าวค่าที่ต้องการคือ f_T ซึ่งมีหลายวิธีการในการกำหนดค่าดังกล่าว ในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีการ local approximation

ในวิธีการ local approximation ตัวอย่างเช่น (Farmer & Sidorowich, 1987) โดเมน f_T ถูกแบ่งออกเป็นหลาย subset (neighbourhoods) แต่ละ subset หาค่าประมาณ F_T ที่ถูกต้องเฉพาะใน subset ด้วยลักษณะนี้ลักษณะพลศาสตร์ของระบบจะแสดงที่ละชั้นอย่างเฉพาะที่ใน phase space การแยกแยะ set เหล่านี้ ดำเนินการโดยการตรึงเมตริกซ์ $\| \cdot \|$ และให้จุดเริ่มต้น Y_j เริ่มต้นการคาดการณ์โดยแยกแยะ subsets (neighbourhoods) Y_j^p , $p = 1, 2, \dots, k$, ด้วย $j^p < j$, ใกล้เคียง Y_j มากที่สุดซึ่งประกอบเป็น set ที่สอดคล้องกับค่า Y_j ด้วยลักษณะนี้ local function ถูกสร้างโดยแต่ละจุดที่ใกล้เคียงกัน (neighbourhoods) ไปยังแต่ละจุดใกล้เคียงกัน (neighbourhoods) ถัดไป Y_j^p ไปยัง Y_{j+1}^p โคลลแมพ F_T ซึ่งใช้ในการคำนวณสามารถกำหนดโดย least squares fit minimizing ดังสมการที่ 8

$$\sum_{p=1}^k \|Y_{j+1}^p - F_T Y_j^p\|^2 \quad (8)$$

โคลลแมพได้รับการเรียนรู้ในรูปของ local polynomials และการคาดการณ์ดำเนินไปข้างหน้าจากจุดใหม่ Z_0 โดยการใส่ local map เหล่านี้ จากจุดใหม่ Z_0 ทำให้ได้ชุดการเรียนรู้และฝึกฝนด้านข้างใกล้ที่สุด (neighbourhoods) และแสดงเป็น Y_q ดังนั้นจะได้ Z_0 ซึ่งแสดงเป็น Z_1 ดังสมการที่ 9

$$Z_1 = F_q(Z_0) \quad (9)$$

ชุดใกล้เคียง Z_1 หาได้ถัดไปและกระบวนการจะดำเนินซ้ำเพื่อประเมินค่าต่างๆ ในลำดับถัดไป

การวินิจฉัย Chaos สามารถดำเนินการโดยใช้กระบวนการดังต่อไปนี้

1) หากแบบจำลองใกล้ทางด้านการกำหนด deterministic extreme (จำนวน neighbors น้อยกว่า) ให้ความแม่นยำการคาดการณ์ช่วงสั้นมากที่สุดเปรียบเทียบกับทางด้านสโตคาสติก stochastic extreme (จำนวน neighbors มากกว่า) เมื่อนั้นอาจพิจารณาอย่างแน่ใจว่ามี low-dimension chaos ในข้อมูล หากในทางตรงกันข้ามอาจจะถือว่าเป็นพฤติกรรมแบบ สโตคาสติก แต่หากการคาดการณ์ที่ดีมากไม่ได้มากจากแบบจำลองทั้งการกำหนด (deterministic) หรือการสุ่ม (stochastic) แต่เป็นแบบจำลองระหว่างกลาง (intermediate models) (จำนวนระหว่าง neighbors) เจื่อน ไซดังกล่าวสามารถกำหนดได้ว่าเป็น low-dimensional chaos โดยมีจำนวน noise อยู่บ้างในข้อมูล หรือเรียกว่า chaos of moderate dimension (Casdagli 1991; Muller-Jerking et al. 1996)

2) หากชุดข้อมูลอนุกรมเวลาเป็น chaotic คาดได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ความแม่นยำการคาดการณ์) จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่ใกล้ 1 ด้วยการเพิ่ม embedding dimension ขึ้นไปจนถึงค่าที่แน่นอนค่าหนึ่งซึ่งมักจะระบุว่าเป็น embedding dimension ที่เหมาะสมที่สุดและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยังคงมีค่าใกล้เคียง 1 สำหรับ embedding dimension ที่มีค่าสูงกว่าค่าที่เหมาะสมที่สุด ในอีกด้านหนึ่งหากชุดข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นสโตคาสติกความแม่นยำในการคาดการณ์จะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม embedding dimension และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยังคงมีค่าคงที่สำหรับค่า embedding dimension ใดๆ (Casdagli 1989)

3) สำหรับ embedding dimension ที่กำหนดและจำนวนของ neighbors ที่กำหนดการคาดการณ์สำหรับระบบสโตคาสติกให้ความคลาดเคลื่อนที่คงที่ตามระยะเวลาการคาดการณ์ (ไกลหรือใกล้) สำหรับเหตุการณ์หนึ่งในอนาคตที่พยายามคาดการณ์ ขณะที่การคาดการณ์ในระบบ chaotic จะให้ผลแปรลงตามช่วงเวลาการคาดการณ์ที่เพิ่มขึ้น (Sugihara & May, 1990) เนื่องจากความไวต่อเงื่อนไขเริ่มต้นซึ่งเป็นลักษณะของระบบ chaotic

5. การประเมินผลการคาดการณ์ล่วงหน้าโดยตัวแปรทางสถิติ

การประเมินผลการคาดการณ์ล่วงหน้าดำเนินการ โดยการคำนวณตัวแปรทางสถิติเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการคาดการณ์เทียบกับข้อมูลตรวจวัด โดยค่าตัวแปรทางสถิติที่นำมาใช้ในการประเมินผลการคาดการณ์ประกอบด้วย Correlation Coefficient (r), Efficiency Index (EI) และ Relative Root Mean Square Error ($Rel. RMSE$) โดยมีรายละเอียดสมการคำนวณ ดังนี้

$$\text{Correlation Coefficient } (r) = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (10)$$

$$\text{Efficiency Index } (EI) = 1 - \left[\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \right] \quad (11)$$

$$\text{Relative Root Mean Square Error } (Rel. RMSE) = \frac{\sqrt{\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{N}}}{\bar{Y}} \quad (12)$$

โดยที่	X_i	=	ผลการคาดการณ์
	\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ยของผลการคาดการณ์
	Y_i	=	ข้อมูลการตรวจวัดจริง
	\bar{Y}	=	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	N	=	จำนวนข้อมูล

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

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Notebook) พร้อมเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. อุปกรณ์บันทึกข้อมูล
3. อุปกรณ์สำนักงาน
4. โปรแกรม Matlab
5. โปรแกรม Microsoft Office
6. ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนที่ได้จากการตรวจวัด

วิธีการ

การศึกษาเรื่อง การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) มีขั้นตอนการดำเนินงาน 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การศึกษารายละเอียดของทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสำหรับเวลาล่วงหน้าทั้งแบบรายเดือนและรายวัน
2. การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
3. การคัดเลือกสถานีวัดน้ำท่าเพื่อการคาดการณ์น้ำท่าโดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) โดยคัดเลือกสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่มีสถิติข้อมูลยาวนานเพียงพอ
4. การประยุกต์ใช้วิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือนล่วงหน้า 1 ถึง 12 เดือน และแบบรายวันล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ที่สถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนทั้ง 19 สถานี รวมทั้งปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และ เขื่อนแม่กวางอุดมธารา

5. เปรียบเทียบผลจากการคาดการณ์น้ำท่าทั้งแบบรายเดือนและรายวันที่ได้จากกระบวนการ PSR กับข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยใช้ตัวแปรทางสถิติดังนี้ (1) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r) (2) ดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency Index; EI) และ (3) รากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองสัมพัทธ์ (Relative Root Mean Square Error; Rel. RMSE)

6. การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง (Model parameters) ของวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) ซึ่งประกอบด้วย จำนวน embedding dimension (m), delay time (τ) และจำนวน K nearest neighbors (k) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารายเดือน

สำหรับรายละเอียดของการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนข้างต้น แสดงได้ในหัวข้อต่อไปนี้

1. การศึกษารายละเอียดของทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสำหรับเวลาล่วงหน้าทั้งแบบรายเดือนและรายวัน

วิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) ดำเนินการโดยการนำอนุกรมน้ำท่าในอดีต X_i ($i = 1, 2, \dots, N$) มาวางเหลื่อมกัน (delay time; τ) และหาความสัมพันธ์ระหว่างกันโดยใช้จำนวนมิติอนุกรมน้ำท่า (embedding dimension; m) ที่หลากหลาย จะได้เป็น a multi-dimensional phase space ซึ่งสามารถสร้างโดยใช้รูปแบบดังแสดงในสมการที่ (13)

$$Y_j = (X_j, X_{j+\tau}, X_{j+2\tau}, \dots, X_{j+(m-1)\tau}) \quad (13)$$

เมื่อ $j = 1, 2, \dots, N - (m - 1)\tau$ สำหรับ m คือ dimension ของเวกเตอร์ Y_j ซึ่งเรียกว่า embedding dimension และ τ เรียกว่า delay time (Packard *et al.*, 1980; Takens, 1981) ตัวอย่างการสร้าง phase-space โดยกำหนด $m = 3$ และ $\tau = 2$ แสดงดังในตารางที่ 10 โดยหมายถึงการสร้างอนุกรมน้ำท่า $X_j = (X_1, X_2, \dots, X_N)$ แบบ 3 มิติ ซึ่งหมายถึงอนุกรมน้ำท่าจำนวน 3 ชุด มาวางเหลื่อมกัน 2 ช่วงเวลา (time step)

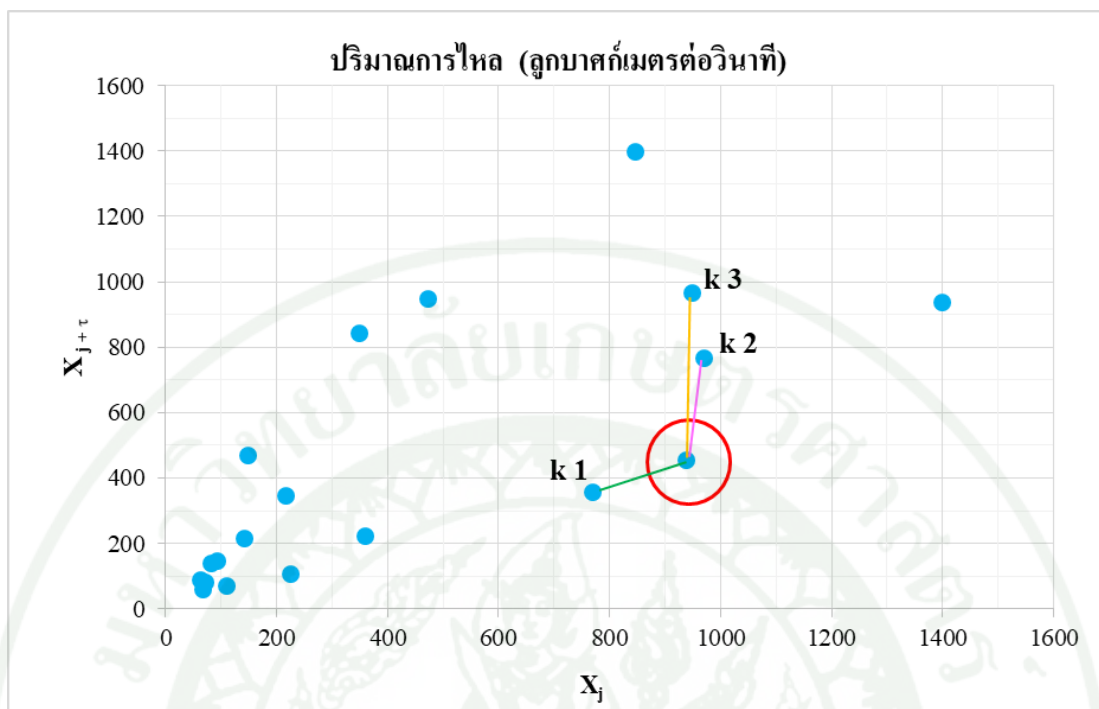
ตารางที่ 10 การสร้าง phase space ของข้อมูลอนุกรมน้ำท่าในอดีต โดยใช้ $m = 3$ และ $\tau = 2$

เดือนที่	ปริมาณการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)		
	X_j	$X_{j+\tau}$	$X_{j+2\tau}$
1	67.4	91.3	472.3
2	62.6	146.9	948.0
3	91.3	472.3	969.0
4	146.9	948.0	768.4
5	472.3	969.0	359.5
6	948.0	768.4	224.8
7	969.0	359.5	109.2
8	768.4	224.8	71.6
9	359.5	109.2	81.2
10	224.8	71.6	142.2
11	109.2	81.2	215.7
12	71.6	142.2	348.6
13	81.2	215.7	845.1
14	142.2	348.6	1398.2
15	215.7	845.1	938.0
16	348.6	1398.2	454.9
17	845.1	938.0	
18	1398.2	454.9	
19	938.0		
20	454.9		

จากนั้นนำชุดของอนุกรมน้ำท่าที่สร้างขึ้นมาจากความสัมพันธ์กันเพื่อใช้คาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าด้วยวิธีการที่เหมาะสมที่เรียกว่า Local Mapping เช่น วิธีการ Local Approximation, Local Polynomials, K Nearest Neighbor (KNN) เป็นต้น โดยในการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการ K Nearest Neighbor (KNN) ซึ่งมีหลักการคือ เมื่อสร้างอนุกรมน้ำท่าด้วย embedding dimension; m และ delay time; τ ได้เป็น a multi-dimensional phase space แล้ว จากนั้นจะสร้างข้อมูลน้ำท่าในอนาคตโดยเริ่มจากข้อมูลน้ำท่า ณ เวลาปัจจุบัน โดยการหาระยะทางระหว่างจุดของชุดข้อมูลน้ำท่าในปัจจุบันถึงจุดของชุดข้อมูลน้ำท่าอื่น ๆ ใน space จากนั้นเลือกจำนวนจุดที่ใกล้ที่สุดซึ่งหมายถึงจำนวน k ของ K Nearest Neighbor เพื่อนำข้อมูลน้ำท่าค่าถัดไปในแต่ละ k มาหาค่าเฉลี่ยตามจำนวน k ที่เลือก เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในที่นี้จึงได้ยกตัวอย่างการสร้าง Phase Space Reconstruction (PSR) สำหรับกรณีที่ $m = 2$, $\tau = 1$ และ $k = 3$ ดังแสดงในตารางที่ 11 จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าข้อมูลน้ำท่ามีถึงเดือนที่ 20 ดังนั้น จะทำการคาดการณ์ข้อมูลน้ำท่าในเดือนที่ 21 ซึ่งดำเนินการได้โดยการนำอนุกรมน้ำท่าที่มี 2 ชุด หรือ 2 มิติ ไปพล็อตลงในภาพที่ 18 ซึ่งสามารถพล็อตจุดของอนุกรมน้ำท่าได้จำนวน 19 จุด จากนั้นหาระยะทางระหว่างจุดสุดท้ายคือจุดของเดือนที่ 19 ซึ่งมีชุดของน้ำท่าคือ (938.0, 454.9) ซึ่งแสดงด้วยวงกลมสีแดงในภาพที่ 18 ถึงจุดของชุดข้อมูลอื่นใน space จำนวน 18 จุด ตัวอย่างเช่น ระยะทางระหว่างจุดของชุดข้อมูล (938.0, 454.9) ถึงจุดของชุดข้อมูล (67.4, 62.6) เท่ากับรากที่สองของ $(938.0-67.4)^2+(454.9-62.6)^2$ ซึ่งเท่ากับ 954.9 ทั้งนี้ ระยะทางสำหรับจุดของชุดข้อมูลอีก 17 จุด แสดงดังในตารางที่ 11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ระยะทางที่ใกล้ที่สุด 3 ค่า ซึ่งหมายถึงจำนวน K Nearest Neighbor เท่ากับ 3 มีค่าเท่ากับ 194.6 315.0 และ 514.2 โดยข้อมูลน้ำท่าลำดับถัดไปของจุดของชุดข้อมูลทั้ง 3 จุด เท่ากับ 224.8, 359.5 และ 768.4 ซึ่งเกิดขึ้นในเดือนที่ 10, 9 และ 8 ตามลำดับ ดังนั้น ข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการคาดการณ์จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของข้อมูลน้ำท่าทั้ง 3 ค่า ดังกล่าว ซึ่งเท่ากับ 450.9 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดในเดือนที่ 21 ซึ่งเท่ากับ 332.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งในกรณีนี้เป็นการคาดการณ์ข้อมูลสำหรับ 1 เดือน ถัดไป ถ้าในกรณีที่ต้องการคาดการณ์สำหรับ 2 เดือน สามารถกระทำได้ในทำนองเดียวกันดังอธิบายข้างต้น แต่จะนำข้อมูลน้ำท่าซึ่งเท่ากับ 450.9 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มาใช้ประกอบการคาดการณ์น้ำท่าร่วมกับข้อมูลดิบ

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณระยะทางและการคาดการณ์น้ำท่าในเดือนที่ 21 ของอนุกรมน้ำท่าที่ใช้ค่า $m = 2$, $\tau = 1$ และ $k = 3$ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่า 1 เดือน คือในเดือนที่ 21

เดือนที่	ปริมาณการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)		ระยะทางจากจุด ของชุดข้อมูลเดือนที่ 19	ลำดับของระยะทางที่ ใกล้กับจุดของชุดข้อมูล เดือนที่ 19
	X_j	$X_{j+\tau}$		
1	67.4	62.6	954.9	18
2	62.6	91.3	947.9	17
3	91.3	146.9	901.0	12
4	146.9	472.3	791.3	9
5	472.3	948.0	678.3	6
6	948.0	969.0	514.2	3
7	969.0	768.4	315.0	2
8	768.4	359.5	194.6	1
9	359.5	224.8	622.6	4
10	224.8	109.2	792.6	10
11	109.2	71.6	913.1	14
12	71.6	81.2	943.6	15
13	81.2	142.2	912.1	13
14	142.2	215.7	831.0	11
15	215.7	348.6	730.1	8
16	348.6	845.1	706.9	7
17	845.1	1398.2	947.9	16
18	1398.2	938.0	667.2	5
19	938.0	454.9		
20	454.9			
21	332.6			



ภาพที่ 18 ระยะทางระหว่างจุดของชุดข้อมูลในเดือนที่ 19 (วงกลมสีแดง) ถึงจุดอื่นใน space ของข้อมูล

2. การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลหลักสำหรับงานวิจัยเรื่อง การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) คือ (1) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน และ (2) ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่กวางอุดมธารา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดหรือประเมินได้จากสมการสมดุลอ่างเก็บน้ำ โดยข้อมูลดังกล่าวถูกเก็บรวบรวมโดยกรมชลประทานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละส่วนแสดงได้ดังนี้

2.1 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

การรวบรวมข้อมูลน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน พบว่ามีจำนวนสถานีวัดน้ำท่าทั้งสิ้น 61 สถานี สำหรับรายละเอียดของตำแหน่งที่ตั้งและสถิติข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าเหล่านี้แสดงดังในตารางที่ 12 โดยตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าเหล่านี้แสดงดังในภาพที่ 19 ซึ่งในรูปดังกล่าวได้แสดงพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำปิงตอนบนซึ่งแบ่งออกเป็น 14 ลุ่มน้ำย่อย

นอกจากนั้นแล้ว ในตารางที่ 13 ได้แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย รายฤดูกาลเฉลี่ย และรายปีเฉลี่ย ในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร รวมทั้งปริมาณการให้น้ำจำเพาะ (Specific yield) โดยในตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่า Specific yield ของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 61 สถานี มีค่าอยู่ระหว่าง 19.10 ถึง 1.34 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร โดยค่าสูงสุดและต่ำสุดเกิดขึ้นที่สถานีวัดน้ำท่า P.27A และ P.53 ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.27 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร

ตารางที่ 12 รายละเอียดของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับ ที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลำน้ำ	อำเภอ	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง		พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
						Lat	Long	
1	P.1	Nawarat Bridge	Mae Nam Ping	Mueang Chiang Mai	Chiang Mai	18.7875	99.0045	6,350
2	P.4A	Ban Mae Taeng	Nam Mae Taeng	Mae Taeng	Chiang Mai	19.1221	98.9444	1,930
3	P.4B	Ban Huai Hia	Mae Taeng	Mae Taeng	Chiang Mai	19.1734	98.9148	1,833
4	P.5	Tha Nang Bridge	Nam Mae Kuang	Mueang Lamphun	Lamphun	18.5768	99.0090	1,569
5	P.5A	Ban Tha Chak	Nam Mae Kuang	Mueang Lamphun	Lamphun	18.5435	98.9682	1,740
6	P.13	Kaeng Kut	Mae Taeng	Mae Taeng	Chiang Mai	19.2117	98.8690	1,765
7	P.14	Kaeng Ob Luang	Nam Mae Chaem	Hot	Chiang Mai	18.2316	98.5566	3,836
8	P.14A	Saphan Tha Kham	Nam Mae Chaem	Chom Thong	Chiang Mai	18.2018	98.6138	3,909
9	P.19A	Ban Tha Sala	Mae Nam Ping	Chom Thong	Chiang Mai	18.4232	98.6999	14,023
10	P.20	Ban Chiang Dao	Mae Nam Ping	Chiang Dao	Chiang Mai	19.3674	98.9687	1,345
11	P.21	Ban Rim Tai	Nam Mae Rim	Mae Rim	Chiang Mai	18.9274	98.9396	452
12	P.22	Ban Mae Sa Noi	Nam Mae Sa	Mae Rim	Chiang Mai	18.8970	98.9501	135
13	P.23	Ban Mae Khan	Nam Mae Khan	San Pa Tong	Chiang Mai	18.5282	98.8585	1,777
14	P.24	Ban Sop Tia	Nam Mae Klang	Chom Thong	Chiang Mai	18.3888	98.6777	616
15	P.24A	Pracha Uthit Bridge	Nam Mae Klang	Chom Thong	Chiang Mai	18.4155	98.6699	452

ตารางที่ 12 (ต่อ)

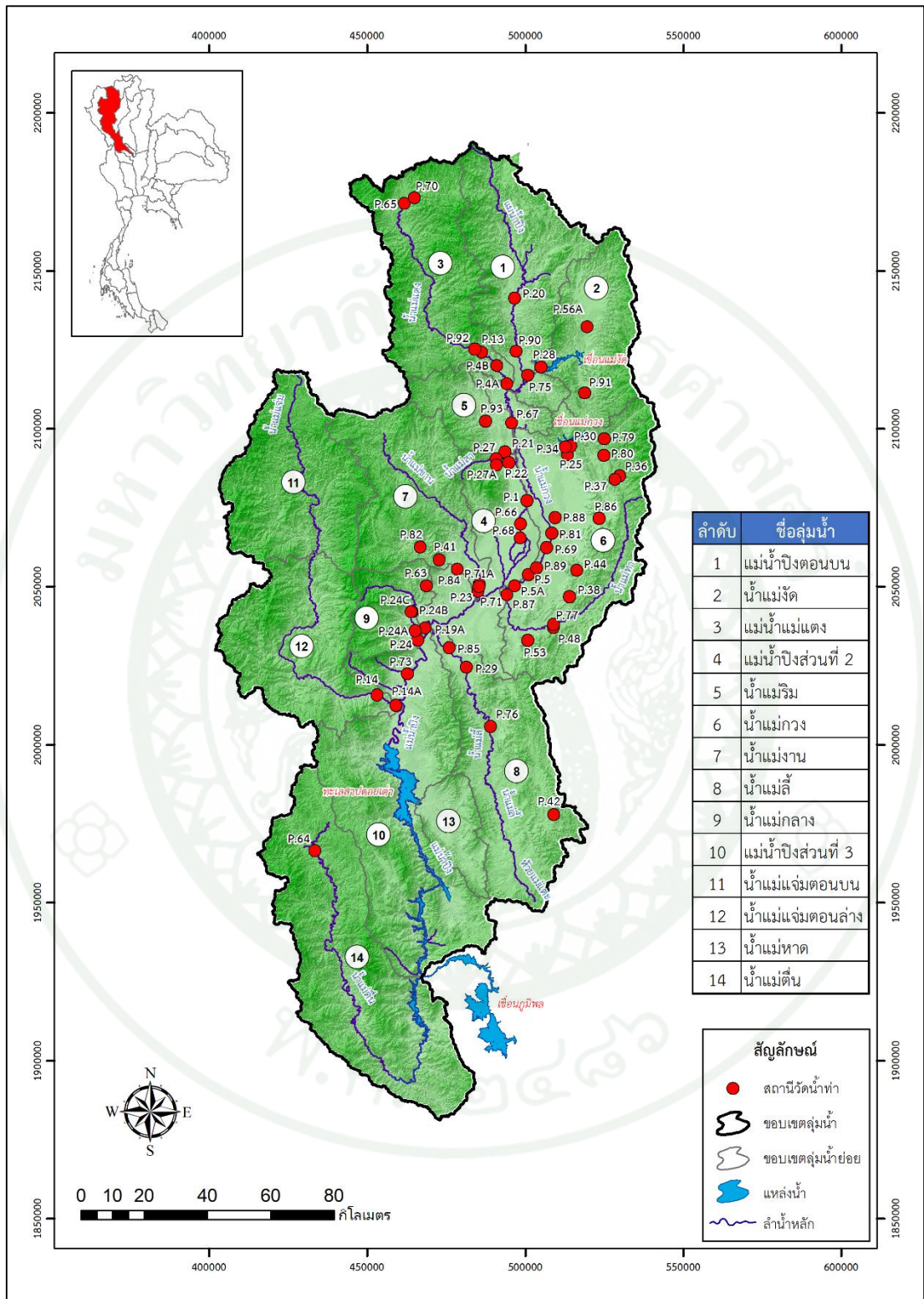
ลำดับ ที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลำน้ำ	อำเภอ	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง		พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
						Lat	Long	
16	P.24B	Ban Mueang Klang	Mueang Mai Canal	Chom Thong	Chiang Mai	18.4693	98.6602	Canal
17	P.24C	Ban Mueang Klang	Muang Luang Canal	Chom Thong	Chiang Mai	18.4688	98.6583	Canal
18	P.25	Ban Pha Taek	Nam Mae Kuang	Doi Saket	Chiang Mai	18.9190	99.1274	572
19	P.27	Ban Pa Muang	Huai Mae Nai	Mae Rim	Chiang Mai	18.9076	98.9132	24
20	P.27A	Ban Mae Nai	Huai Mae Nai	Mae Rim	Chiang Mai	18.8895	98.9134	18
21	P.28	Ban Mai	Nam Mae Ngat	Mae Taeng	Chiang Mai	19.1698	99.0470	1,261
22	P.29	Ban Hong	Nam Mae Li	Ban Hong	Lamphun	18.3110	98.8233	1,970
23	P.30	Ban Kiang Kha	Nam Mae Kuang	Doi Saket	Chiang Mai	18.9443	99.1357	466
24	P.34	Ban Pha Taek	Nam Mae Kuang	Doi Saket	Chiang Mai	18.9406	99.1204	566
25	P.36	Ban Huai Kaeo	Nam Mae Lai	San Kamphaeng	Chiang Mai	18.8584	99.2834	35
26	P.37	Ban Huai Kaeo	Huai Mae Phaem	San Kamphaeng	Chiang Mai	18.8479	99.2696	14
27	P.38	Ban Cham Khi Mot	Nam Mae San	Mueang Lamphun	Lamphun	18.5127	99.1326	34
28	P.41	Ban Pang Toem	Nam Mae Wang	San Pa Tong	Chiang Mai	18.6179	98.7421	426
29	P.42	Ban Mae Bon Mai	Nam Mae Li	Thung Hua Chang	Lamphun	17.8891	99.0857	318
30	P.44	Ban Nong Hoi	Nam Mae Tip	Mueang Lamphun	Lamphun	18.5880	99.1543	35

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลำน้ำ	อำเภอ	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง		พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
						Lat	Long	
31	P.48	Ban Mae Sapuat Nai	Nam Mae Sapuat	Mae Tha	Lamphun	18.4238	99.0843	74
32	P.53	Ban Mae Khanat	Nam Mae Khanat	Mae Tha	Lamphun	18.3877	99.0071	146
33	P.56A	Ban Sahakhon Romklao	Nam Mae Ngat	Phrao	Chiang Mai	19.2841	99.1869	546
34	P.63	Ban Mae Tun	Nam Mae Tun	Chom Thong	Chiang Mai	18.5432	98.7030	45
35	P.64	Ban Luang	Nam Mae Tun	Omkoï	Chiang Mai	17.7849	98.3721	502
36	P.65	Ban Muang Pog	Nam Mae Teang	Wiang Haeng	Chiang Mai	19.6373	98.6355	243
37	P.66	Ban Tha Mai	Mae Nam Ping	Mueang Chiang Mai	Chiang Mai	18.7212	98.9865	6,367
38	P.67	Ban Mae Tae	Mae Nam Ping	San Sai	Chiang Mai	19.0098	98.9598	5,323
39	P.68	Ban Nam Thong	Mae Nam Ping	Hang Dong	Chiang Mai	18.6806	98.9845	6,430
40	P.69	Ban Hong Kok	Nam Mae Kuang	Mueang Lamphun	Lamphun	18.6529	99.0640	1,602
41	P.70	Ban Huai Khrai	Ban Mae Taeng	Wiang Haeng	Chiang Mai	19.6534	98.6663	182
42	P.71	Ban Klang	Nam Mae Khan	San Pa Tong	Chiang Mai	18.5473	98.8622	1,722
43	P.71A	Ban klang	Nam Mae Khan	San Pa Tong	Chiang Mai	18.5412	98.8612	1,726
44	P.73	Ban Sop Soi	Mae Nam Ping	Chom Thong	Chiang Mai	18.2912	98.6477	14,814
45	P.75	Ban cho Lae	Mae Nam Ping	Mae Taeng	Chiang Mai	19.1459	99.0073	3,080

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลำน้ำ	อำเภอ	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง		พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
						Lat	Long	
46	P.76	Ban Mae E-Hai	Nam Mae Li	Li	Lamphun	18.1414	98.8966	1,545
47	P.77	Ban Sop Mae Sapuad	Nam Mae Tha	Mae Tha	Lamphun	18.4333	99.0851	550
48	P.79	Ban Mae Wan	Nam Mae Kuang	Doi Saket	Chiang Mai	18.9642	99.2374	136
49	P.80	Ban Pong Din	Nam Mae Lai	Doi Saket	Chiang Mai	18.9163	99.2359	129
50	P.81	Ban Pong	Nam Mae Khung	San Kamphaeng	Chiang Mai	18.6952	99.0788	1,190
51	P.82	Ban Sop Win	Nam Mae Wang	Mae Wang	Chiang Mai	18.6542	98.6857	389
52	P.84	Ban Phan Ton	Nam Mae Wang	Mae Wang	Chiang Mai	18.5913	98.7967	493
53	P.85	Ban Lai Kaeo	Nam Mae Li	Ban Hong	Lamphun	18.3665	98.7720	2,037
54	P.86	Ban Hong	Nam Mae On	San Kamphaeng	Chiang Mai	18.7369	99.2210	-
55	P.87	Ban Pa Sang	Nam Mae Tha	Pa Sang	Lamphun	18.5178	98.9450	934
56	P.88	Ban Ton Bong	Nam Mae Hom	San Kamphaeng	Chiang Mai	18.7389	99.0892	-
57	P.89	Ban Ring Ha	Nam Mae Kuang	Mueang Lamphun	Lamphun	18.5956	99.0342	1,537
58	P.90	Ban Thap Duea	Mae Nam Ping	Mae Taeng	Chiang Mai	19.2150	98.9722	1,661
59	P.91	Ban San Pu Loei	Nam Mae Khot	Phrao	Chiang Mai	19.0950	99.1789	130
60	P.92	Ban mueang Kuet	Nam Mae Taeng	Mae Taeng	Chiang Mai	19.2208	98.8475	1,653
61	P.93	Ban Sonla Wongnok	Nam Mae Rim	Mae Rim	Chiang Mai	19.0150	98.8806	411



ภาพที่ 19 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ตารางที่ 13 ปริมาณน้ำท่ารายเดือน รายฤดูกาลและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปี สถิติข้อมูล (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)												ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) (ล้าน ลบ.ม.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำท่า รายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	Specific yield (ลิตร/วินาที /ตร.กม.)
				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	P.1	6,350	2495 - 2557	38.90	79.38	110.17	141.70	300.57	411.51	275.73	164.63	112.10	66.69	42.08	37.57	1,319.06	461.97	1,781.03	8.89
2	P.4A	1,930	2521 - 2557	6.47	23.96	32.61	30.28	87.92	113.99	69.09	56.50	34.13	13.14	7.01	5.77	357.86	123.01	480.87	7.90
3	P.4B	1,833	2500 - 2507	14.71	27.86	33.14	49.29	93.71	135.14	120.50	64.88	42.63	30.50	21.13	17.38	459.64	191.21	650.86	11.26
4	P.5	1,569	2521 - 2557	6.55	20.57	22.96	35.71	111.77	167.91	108.98	54.61	14.01	6.50	5.32	3.91	467.89	90.89	558.78	11.29
5	P.5A	1,740	2536 - 2537	7.60	6.43	17.28	12.13	103.51	142.53	39.96	18.65	4.40	2.27	1.93	2.58	321.83	37.42	359.24	6.55
6	P.13	1,765	2495 - 2523	16.57	28.21	39.49	56.51	115.13	144.65	113.02	64.39	42.49	31.90	21.65	18.69	497.01	195.70	692.70	12.45
7	P.14	3,836	2509 - 2550	20.52	45.67	58.77	85.72	178.21	257.96	178.03	103.09	63.66	44.92	28.11	22.00	804.36	282.30	1,086.66	8.98
8	P.14A	3,909	2501 - 2557	24.83	50.04	55.91	92.63	168.41	293.93	269.25	105.43	69.10	50.28	31.49	26.00	930.18	307.13	1,237.31	10.04
9	P.19A	14,023	2501 - 2535	18.25	86.23	142.85	172.49	492.13	811.60	627.62	341.46	166.45	71.14	24.57	17.50	2,332.93	639.38	2,972.31	6.72
10	P.20	1,345	2522 - 2555	10.42	16.67	20.47	34.64	77.82	101.85	62.37	32.55	19.32	13.63	8.70	7.18	313.81	91.79	405.60	9.56
11	P.21	452	2503 - 2555	2.04	7.49	10.13	12.81	26.17	31.67	21.37	13.18	8.27	4.59	2.36	1.83	109.63	32.27	141.90	9.95
12	P.22	135	2497 - 2511	0.97	1.42	1.41	1.83	3.46	6.33	5.42	2.56	1.87	1.10	0.86	0.88	19.87	8.24	28.12	6.60
13	P.23	1,777	2498 - 2530	3.33	17.55	22.23	21.13	53.83	99.61	72.31	48.49	28.42	13.29	5.27	2.64	286.67	101.44	388.12	6.93
14	P.24	616	2498 - 2516	3.66	13.97	16.53	15.19	32.18	63.95	59.01	28.50	19.16	10.24	4.78	4.53	200.84	70.87	271.71	13.99
15	P.24A	452	2516 - 2557	2.27	9.54	8.48	8.21	17.33	35.42	34.26	22.09	9.58	5.32	2.20	1.93	113.24	43.38	156.62	10.99

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปี สถิติข้อมูล (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)												ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) (ล้าน ลบ.ม.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำท่า รายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	Specific yield (ลิตร/วินาที /ตร.กม.)
				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	P.24B	Canal	2521 - 2531	1.21	1.53	1.66	2.52	3.47	3.41	3.56	1.76	1.47	2.15	1.74	1.69	16.15	10.02	26.17	-
17	P.24C	Canal	2521 - 2531	1.58	2.22	2.40	2.51	4.42	4.41	5.62	2.24	1.62	2.26	1.76	1.33	21.59	10.80	32.38	-
18	P.25	572	2507 - 2511	0.00	4.39	2.41	3.79	17.79	43.06	21.09	10.10	9.71	0.71	0.00	0.00	92.52	20.52	113.05	6.27
19	P.27	24	2508 - 2512	0.19	0.43	0.34	0.11	0.55	0.37	0.23	0.34	0.22	0.13	0.11	0.11	2.03	1.08	3.12	4.12
20	P.27A	18	2510 - 2522	0.41	0.59	0.64	0.89	1.46	1.86	1.59	1.10	0.82	0.63	0.45	0.42	7.03	3.81	10.84	19.10
21	P.28	1,261	2509 - 2522	4.82	13.84	18.91	34.66	100.89	89.67	48.59	29.10	17.28	11.90	5.39	4.15	306.55	72.64	379.19	9.54
22	P.29	1,970	2512 - 2530	2.52	10.08	9.61	6.01	12.39	54.44	49.31	25.88	5.53	2.19	0.51	0.63	141.84	37.26	179.10	2.88
23	P.30	466	2510 - 2522	2.92	6.21	10.37	15.90	44.53	37.40	21.89	12.04	8.36	5.83	3.35	2.91	136.28	35.41	171.69	11.68
24	P.34	566	2517 - 2525	3.70	6.98	9.36	26.63	43.04	49.59	28.39	15.29	8.84	8.30	6.10	4.78	163.99	47.01	211.00	11.82
25	P.36	35	2520 - 2526	0.73	0.94	0.82	1.57	2.49	3.24	3.48	1.76	1.04	0.83	0.62	0.59	12.55	5.58	18.13	16.43
26	P.37	14	2520 - 2526	0.18	0.27	0.37	0.69	0.98	1.20	0.90	0.51	0.30	0.25	0.18	0.15	4.42	1.56	5.98	13.55
27	P.38	34	2522 - 2525	0.19	0.64	0.46	0.47	0.35	1.87	0.80	0.41	0.60	0.21	0.10	0.07	4.59	1.58	6.17	5.76
28	P.41	426	2522 - 2533	4.82	9.63	13.35	12.35	15.71	25.49	32.94	24.13	13.30	9.32	6.01	4.59	109.46	62.17	171.62	12.78
29	P.42	318	2528 - 2544	0.31	2.32	2.04	1.67	3.57	9.95	8.73	3.39	1.05	0.49	0.24	0.27	28.28	5.75	34.03	3.39
30	P.44	35	2526 - 2528	0.00	0.01	0.09	0.14	0.15	0.69	0.63	0.40	0.16	0.09	0.08	0.10	1.71	0.84	2.55	2.31

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปี สถิติข้อมูล (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)												ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) (ล้าน ลบ.ม.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำท่า รายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	Specific yield (ลิตร/วินาที /ตร.กม.)
				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	P.48	74	2526 - 2531	0.03	0.46	0.69	0.48	0.92	1.17	1.34	0.69	0.15	0.08	0.06	0.02	5.05	1.02	6.07	2.60
32	P.53	146	2527 - 2530	0.04	0.25	0.35	0.12	0.46	1.44	1.41	1.57	0.33	0.11	0.07	0.01	4.03	2.12	6.16	1.34
33	P.56A	546	2542 - 2557	3.89	9.29	8.94	17.19	35.80	44.51	24.28	15.36	7.11	4.64	2.70	2.32	140.01	36.02	176.03	10.22
34	P.63	45	2530 - 2533	0.07	0.29	0.71	0.58	0.90	1.03	1.72	0.43	0.27	0.22	0.15	0.15	5.23	1.30	6.53	4.60
35	P.64	502	2533 - 2552	3.28	11.25	16.55	34.29	45.61	54.40	41.39	17.50	9.97	6.10	4.11	4.03	203.50	44.99	248.50	15.70
36	P.65	243	2536 - 2552	2.10	5.50	5.68	9.31	22.66	28.33	15.15	7.29	4.65	3.16	2.08	1.92	86.63	21.20	107.83	14.07
37	P.66	6,367	2537	22.90	64.60	102.20	101.20	730.00	905.60	344.60	201.70	175.20	80.00	30.20	33.80	2,248.20	543.80	2,792.00	13.91
38	P.67	5,323	2539 - 2557	53.06	77.67	77.12	80.58	188.46	296.60	160.54	105.20	51.25	32.06	19.93	26.18	880.99	287.68	1,168.67	6.96
39	P.68	6,430	2538 - 2540	31.50	52.32	78.36	111.99	306.74	394.53	231.28	109.14	55.40	18.35	18.41	12.41	1,175.22	245.21	1,420.43	7.00
40	P.69	1,602	2538 - 2543	7.40	12.12	12.80	29.16	88.83	104.06	64.78	31.73	3.75	4.37	8.86	8.55	311.75	64.65	376.40	7.45
41	P.70	182	2538 - 2543	1.37	2.98	3.16	4.52	11.48	14.73	7.66	3.84	2.45	1.70	0.97	0.84	44.53	11.17	55.70	9.70
42	P.71	1,722	2539 - 2552	3.08	25.61	20.53	14.97	36.35	92.48	58.49	40.98	14.93	9.63	2.54	1.91	248.43	73.07	321.50	5.92
43	P.71A	1,726	2553 - 2557	7.87	22.65	15.20	13.23	59.42	127.54	84.21	34.15	16.19	8.24	4.94	3.08	322.25	74.47	396.71	7.29
44	P.73	14,814	2541 - 2557	53.58	253.32	204.83	223.13	607.00	1,075.95	700.23	383.26	138.14	69.94	39.61	35.23	3,064.45	719.76	3,784.21	8.10
45	P.75	3,080	2542 - 2554	42.52	46.87	39.59	47.70	109.78	155.03	96.95	56.49	31.68	25.72	27.61	37.81	495.91	221.82	717.74	7.39

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลำดับ ที่	รหัส สถานี	พื้นที่ รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปี สถิติข้อมูล (พ.ศ.)	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)												ฤดูฝน (พ.ค.-ค.ค.) (ล้าน ลบ.ม.)	ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำท่า รายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	Specific yield (ลิตร/วินาที /ตร.กม.)
				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	P.76	1,545	2543 - 2555	3.39	24.90	15.18	8.40	25.94	73.74	67.70	22.60	5.90	2.82	1.40	1.34	215.85	37.45	253.30	5.20
47	P.77	550	2542 - 2555	1.50	5.49	4.77	8.12	19.68	34.22	16.97	8.06	3.58	2.40	1.71	1.84	89.23	19.08	108.31	6.24
48	P.79	136	2544 - 2557	2.88	4.48	5.12	7.41	10.86	13.30	8.61	6.48	4.82	4.15	3.15	3.08	49.77	24.56	74.33	17.33
49	P.80	129	2544 - 2557	1.34	2.42	2.69	4.20	10.54	12.88	8.18	4.43	3.01	2.18	1.57	1.39	40.90	13.91	54.81	13.47
50	P.81	1,190	2545 - 2557	8.50	26.51	16.23	27.68	73.16	91.43	45.74	24.24	7.31	7.68	6.72	6.16	280.74	60.60	341.34	9.10
51	P.82	389	2546 - 2557	4.53	12.18	11.58	12.56	18.72	41.40	35.86	20.32	13.14	9.38	5.91	4.96	132.30	58.22	190.52	15.53
52	P.84	493	2546 - 2557	1.65	8.90	6.23	5.18	11.69	32.17	27.88	12.55	7.11	2.70	1.17	1.22	92.04	26.40	118.44	7.62
53	P.85	2,037	2546 - 2557	1.42	17.84	13.23	8.72	27.20	76.99	74.76	17.35	5.00	2.76	0.82	0.91	218.74	28.26	247.00	3.85
54	P.86	-	2548 - 2557	3.30	4.38	4.67	5.77	9.91	11.13	6.43	3.92	3.42	3.49	2.99	3.22	42.30	20.34	62.64	-
55	P.87	934	2548 - 2557	0.16	8.24	2.46	3.59	14.32	38.55	18.95	3.83	1.11	0.70	0.45	0.46	86.12	6.72	92.84	3.15
56	P.88	-	2549	3.36	16.69	9.17	25.63	51.06	38.81	22.94	3.04	7.22	7.41	9.77	10.58	164.30	41.38	205.68	-
57	P.89	1,537	2548 - 2549	14.07	24.19	38.12	76.56	134.57	184.25	81.52	38.15	23.10	8.66	10.90	7.95	539.19	102.82	642.01	13.25
58	P.90	1,661	2553 - 2557	14.72	22.58	28.61	47.61	124.77	154.86	78.36	34.61	25.07	18.41	13.13	12.84	456.80	118.79	575.59	10.99
59	P.91	130	2553 - 2557	0.96	1.66	1.96	4.18	19.87	17.40	9.69	5.81	3.10	2.15	1.67	1.38	54.76	15.08	69.84	17.03
60	P.92	1,653	2553 - 2557	14.13	33.68	36.93	60.81	126.90	174.52	110.28	57.53	38.20	24.79	14.94	12.40	543.12	161.99	705.11	13.53
61	P.93	411	2553 - 2557	1.77	5.91	5.17	7.74	19.82	24.48	15.56	9.01	5.56	3.89	2.20	1.85	78.69	24.28	102.97	7.94

2.2 ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

ในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล ที่ได้จากการตรวจวัดหรือประเมินได้จากสมการสมดุลอ่างเก็บน้ำ ทั้งแบบรายวันและรายเดือนจากในอดีตจนถึงปี พ.ศ. 2557 โดยข้อมูลดังกล่าวดำเนินการเก็บรวบรวมโดยกรมชลประทานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สำหรับรายละเอียดของข้อมูลปริมาณการไหลเข้าสำหรับแต่ละเขื่อนแสดงได้ดังนี้

2.2.1 ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนภูมิพล

ผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนภูมิพล พบว่า มีข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2526 ถึง พ.ศ. 2555 โดยได้แสดงปริมาณการไหลเข้ารายเดือนและรายปีในช่วงเวลาดังกล่าวในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 14 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าสู่เขื่อนภูมิพลมีค่ารายปีเฉลี่ยเท่ากับ 5,533.78 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับปีที่มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้ามากที่สุดคือ ปี พ.ศ. 2554 โดยมีค่าเท่ากับ 12,918.44 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปีที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าน้อยที่สุดคือ ปี พ.ศ. 2541 โดยมีค่าเพียง 1,317.66 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับเดือนที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าสูงสุดเฉลี่ยและต่ำสุดเฉลี่ยคือเดือนกันยายนและเดือนมีนาคม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,456.41 และ 41.60 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

2.2.2 ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

ผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล พบว่า มีข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2557 โดยได้แสดงปริมาณการไหลเข้ารายเดือนและรายปีในช่วงเวลาดังกล่าวในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 15 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าสู่เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล มีค่ารายปีเฉลี่ยเท่ากับ 343.62 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับปีที่มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้ามากที่สุดคือ ปี พ.ศ. 2548 โดยมีค่าเท่ากับ 648.57 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปีที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าน้อยที่สุดคือ ปี พ.ศ. 2541 โดยมีค่าเพียง 173.70 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับเดือนที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าสูงสุดเฉลี่ยและต่ำสุดเฉลี่ยคือเดือนสิงหาคม และเดือนมีนาคม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 249.20 และ 0 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลรายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2526 ถึง พ.ศ. 2555

หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2526	0	35.98	67.7	37.43	401.81	1,138.88	1,484.75	1,407.10	370.21	150.41	75.16	9.45	5,178.88
2527	18.35	52.85	303.97	189.2	514.05	939.51	1,311.32	398.03	190.8	69.97	33.53	12.59	4,034.20
2528	23.8	111.9	271.66	413.71	523	1,240.59	1,156.19	1,467.39	423.73	192.87	127.17	73.05	6,025.05
2529	80.03	296.98	225.44	329.05	679.32	938.37	615.23	286.48	182.93	103.53	30.39	12.23	3,779.97
2530	46.05	42.51	224.3	19.04	893.47	1,246.47	978.67	793.29	268.26	110.34	39.65	1.19	4,663.23
2531	7.65	340.27	769.07	532.82	752.49	848.2	1,813.43	713.64	326.01	165.23	66.51	9.08	6,344.40
2532	0	139.64	367.72	351.02	513.83	664.47	1,457.60	448.24	216.21	77.81	23.14	2.64	4,262.33
2533	12.41	266.97	292.27	205.33	440.02	1,013.70	942.65	464.9	182.4	49.76	9.44	0	3,879.84
2534	0	41.04	247.48	181.78	923.82	1,227.09	862.78	504.93	167.62	102.32	24.94	5.01	4,288.80
2535	0	1	30.76	143.16	610.63	1,305.41	1,207.59	353.33	350.92	151.47	31.79	30.7	4,216.74
2536	0.24	48.48	67.84	73.43	174.33	925.36	611.77	163.81	102.33	32.25	11.67	61.87	2,273.38
2537	84.28	253.19	509.69	717.79	1,997.10	2,380.57	988.13	440.86	333.81	168.16	87.61	90.82	8,052.01
2538	46.18	234.12	170.23	337.13	1,452.71	2,191.15	1,118.20	467.59	242.8	172.77	243.74	125.93	6,802.55
2539	117.17	221.23	443.78	392.27	1,003.24	2,101.46	1,226.81	734.42	246.69	165.76	93.02	104.89	6,850.74

ตารางที่ 14 (ต่อ)

หน่วย : ล้านบาทต่อปี

พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2540	119.21	39.72	32.77	296.37	915.94	1,002.79	1,164.23	333.8	145.72	76.32	50.98	27.24	4,205.09
2541	1.72	12.72	4.15	98.54	261.94	690.36	137.32	68.84	35.76	4.33	0	1.97	1,317.66
2542	5.1	485.83	369.55	147.57	871.47	1,167.81	1,232.08	1,271.38	251.17	109.5	94.73	46.18	6,052.37
2543	176.79	696.25	645.14	483.56	623.29	1,095.66	948.84	518.4	195.34	98.98	29.39	134.48	5,646.11
2544	0	233.98	149.99	408.85	1,406.04	758.64	745.77	529.48	195.41	126.44	584.06	12.27	5,150.93
2545	16.14	379.35	251.18	326.3	945.49	2,990.21	1,111.80	1,286.91	589.41	384.34	205.31	149.18	8,635.62
2546	65.93	133.65	126.17	354.03	444.41	1,134.90	423.52	152.78	7.67	24.49	0	11.51	2,879.06
2547	0	350.05	663.06	467.9	795.64	1,454.55	597.61	198.91	107.95	25.94	17.69	23.72	4,703.02
2548	71.17	70.07	240.33	466.14	952.94	2,658.83	1,231.25	848.3	307.91	143.48	58.59	40.43	7,089.44
2549	150.07	642.96	515.04	705.26	1,274.30	2,762.64	1,633.63	440.31	253.99	163.77	101.85	19.4	8,663.22
2550	0.8	993.88	447.08	320.9	651.49	1,346.53	1,834.44	481.74	221.18	75.21	35.5	0	6,408.75
2551	10.31	560.04	288.99	248.62	709.19	1,111.78	1,588.56	1,064.17	218.4	43.69	0	23.57	5,867.32
2552	28.62	390.19	688.14	579.75	663.72	1,452.15	1,969.50	376.12	89.13	30	0	0	6,267.32
2553	0	0	21.47	150.39	1,123.57	1,508.90	2,067.17	427.1	120.82	11.57	4.21	157.12	5,592.32

ตารางที่ 14 (ต่อ)

หน่วย : ล้านบาท/ปี

พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2554	244.03	1,017.84	928.92	961.02	2,646.13	2,877.21	2,812.78	670.11	395.47	284.96	75.1	4.87	12,918.44
2555	54.23	345.42	298.3	336.06	674.28	1,518.24	764.31	331.26	119.31	28.21	38.39	56.67	4,564.68
เฉลี่ย	46.01	281.27	322.07	342.48	861.32	1456.41	1201.26	588.12	228.65	111.46	73.12	41.6	5,553.78
สูงสุด	244.03	1,017.84	928.92	961.02	2,646.13	2,990.21	2,812.78	1,467.39	589.41	384.34	584.06	157.12	12,918.44
ต่ำสุด	0	0	4.15	19.04	174.33	664.47	137.32	68.84	7.67	4.33	0	0	1,317.66

ตารางที่ 15 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชลรายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2528 ถึง พ.ศ. 2557

หน่วย: ล้านลูกบาศก์เมตร

พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2528	7.1	21.9	16.7	29.7	56.2	82.80	43.60	72.40	23.7	11.2	5.2	0	370.50
2529	7.8	18.9	6.7	31.5	45.4	61.4	81.10	18.7	10	16.2	4	3.3	305.00
2530	3.3	6	11	18.1	138.6	72.00	41.40	37.20	14.1	7.4	3	3.1	355.20
2531	9.2	46.4	52.7	40	55.5	40.3	47.4	21.1	11.7	5	4.2	5.3	338.80
2532	4.7	11.7	27.5	47.6	44	105.60	59	19.9	12.8	9.1	5	1.9	348.80
2533	2.4	16.4	25.5	14.1	53.4	50.6	41.50	23.7	8.8	5.3	4.7	1.7	248.10
2534	6.8	4.4	12.8	18.7	68.1	91.5	39.20	26.3	10.5	6.9	6.3	3.2	294.70
2535	2.2	3.4	6.2	20.2	29	70.40	33	12.3	15.2	6.9	3.5	3.3	205.60
2536	3.4	9.3	10.2	36.8	24.3	37.30	38.7	13.6	13.4	3.9	2.5	15.4	208.80
2537	5.9	18.3	43.1	58.5	249.2	127.40	51.80	21	14.7	9.1	7.1	5.1	611.20
2538	5	12.6	6.2	41	119.9	176.3	49.4	34.7	16.3	12.1	10	3.2	486.70
2539	4.2	9.1	25.2	22.4	97.80	67.50	44.5	43.9	14.9	10.6	4	5.6	349.70
2540	6.2	3.8	2.7	42.4	49.80	105.30	60.90	20.5	9.3	7.6	2.3	1.8	312.60
2541	3.7	8.9	7.3	16.3	30.20	66.20	18.00	10.6	5	3.9	1.3	2.3	173.70
2542	5	11	16.3	12.4	71	107.80	54.00	25.5	89	8.2	4.4	5.2	409.80
2543	6.5	19.9	15.8	28.8	35.7	59.3	34.9	17.4	10.8	4.39	4.87	8.91	247.27
2544	2.35	18.75	11.3	43	119.5	83.60	43.50	23.60	13.2	5.74	7.48	1.87	373.89
2545	2.84	23.06	13.33	20.55	49.68	105.31	21.13	71.12	35.39	18.91	5.36	3.44	370.12
2546	4.66	10.07	12.06	22.51	54.80	113.6	26.65	17.99	6.24	7.71	2.91	3.47	282.67
2547	1.62	16.28	33.12	66.45	89.51	167.30	48.47	25.21	12.51	9.53	6.73	8.42	485.15
2548	6.29	5.16	21.6	68.76	113.81	208.98	105.55	53.35	32.88	17.84	11.65	2.7	648.57
2549	12.68	15.54	4.84	39.1	83.6	95.32	76.65	24.11	13.53	8.31	2.78	1.71	378.17
2550	3.65	36.22	30.27	20.89	70.65	63.55	56.32	38.41	9.07	6.97	7.24	4.94	348.18
2551	5.47	17.11	25.39	45.81	69.79	113.52	57.86	25.48	10.81	6.39	5.23	4.02	386.88
2552	2.49	16.09	27.62	24.08	35.93	62.55	47.19	14.72	6.52	5.98	0.83	2.7	246.70
2553	3.31	3.28	8.35	18.46	120.68	111.61	67.34	22.95	9.87	3.19	1.41	5.98	376.43
2554	15.37	29.08	24.54	33.96	153.34	117.07	67.81	29.13	12.32	8.87	4.76	4.21	500.46
2555	7.39	16.3	13.2	15.59	20.21	64.60	24.07	17.26	7.76	3.98	6.34	4.31	201.01
2556	2.14	2.59	8.83	16.37	53.01	86.73	61.41	29.2	17.4	8.29	5.5	4.92	296.39
2557	4.01	7.98	8.8	28.39	34.38	41.58	19.79	18.29	4.39	8.48	6.34	4.94	187.37
เฉลี่ย	5.26	14.65	17.22	30.68	73.48	91.51	50.67	27.7	15.74	8.25	4.89	4.21	343.62
สูงสุด	15.37	46.40	52.7	68.76	249.20	208.98	108.70	72.40	89	18.91	11.65	15.4	648.57
ต่ำสุด	1.62	2.59	2.7	8.7	20.21	37.3	18	10.6	4.39	3.19	0.83	0	173.70

2.2.3 ข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

ผลการรวบรวมข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารา พบว่า มีข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2557 โดยได้แสดงปริมาณการไหลเข้ารายเดือนและรายปีในช่วงเวลาดังกล่าวในหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 16 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าสู่เขื่อนแม่กวงอุดมธารา มีค่ารายปีเฉลี่ยเท่ากับ 194.73 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับปีที่มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้ามากที่สุดคือปี พ.ศ. 2554 โดยมีค่าเท่ากับ 426.14 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปีที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าน้อยที่สุดคือปี พ.ศ. 2557 โดยมีค่าเพียง 83.25 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับเดือนที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าสูงสุดเฉลี่ยและต่ำสุดเฉลี่ยคือเดือนสิงหาคม และเดือนเมษายน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 113.00 และ 0 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่กวงอุดมธารารายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2557

หน่วย: ล้านลูกบาศก์เมตร

พ.ศ.	ม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ก.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2537	1.8	7.8	15.7	17.9	93.2	73.20	29.50	7.30	10.8	6.1	3.2	1	267.50
2538	1	8.2	6.9	19.2	82.7	56.6	24.80	12.7	10.8	5.2	4.8	3.3	236.20
2539	5.2	6.6	13.5	16.7	40.6	40.30	31.60	19.90	8.5	7.6	5.6	4.8	200.90
2540	6.3	7.2	6.6	19.6	22.3	40.8	24.8	9.8	4.7	5.3	1.3	2	150.70
2541	4.3	3.8	1.7	11.3	23	25.00	9.3	6.8	3	3.2	2.5	2	95.90
2542	2.8	7.1	12.4	7	39.3	56.3	25.10	12.5	4.6	6.4	3.7	4.7	181.90
2543	0.2	13.1	13.9	18.9	10.7	37.5	21.50	10	7.2	5	1	3.6	142.60
2544	0	7.8	11.5	27.4	81.6	34.00	33.6	1.5	7.3	8.71	4.42	2.41	220.24
2545	6.54	10.29	11.4	11.83	17.45	47.20	26.01	29.93	13.29	10.49	5.27	5.16	194.86
2546	7.07	6.29	10.27	20.5	24.67	31.01	18.43	4.59	4.16	5.29	2.92	5.17	140.37
2547	5.28	11.06	26.49	27.25	24.03	68.74	21.49	7.91	8.73	13.14	5.86	2.09	222.07
2548	3.85	4.28	9.69	34.05	54.16	104.42	50.35	29.12	17.71	10.77	6.19	6.85	331.44
2549	4.21	18.07	16.14	21.86	38.00	48.67	25.16	11.67	7.02	4.57	4.3	6.61	206.28
2550	9.48	16.55	9.84	12	13.88	30.59	18.54	9.04	6.92	5.29	4.29	2.27	138.69
2551	1.8	6.39	8.88	13.71	20.84	38.88	28.77	16.65	7.28	11.75	8.78	2.66	166.39
2552	5.64	10.14	10.52	11.49	12.24	34.71	31.16	13.32	6.91	3.99	0.74	2.38	143.24
2553	1.81	1.83	3.86	7.99	71.05	45.64	29.69	14.00	7.07	6.43	6.6	6.28	202.25
2554	10.58	13.93	25.5	27.29	113	106.42	61.83	24.51	18.25	10.46	6.85	7.52	426.14
2555	4.93	9.24	9.12	18.03	21.42	29.12	19.97	8.96	5.01	9.33	12.01	5.04	152.18
2556	0.73	3.02	3.37	13.04	36.02	46.29	35.44	19.38	9.61	5.27	6.44	7.6	186.22
2557	2.16	1.28	4.44	6.38	12.92	24.63	10.09	10.18	3.9	4.3	1.83	1.15	83.25
เฉลี่ย	4.08	8.28	11.03	17.31	39.25	47.3	27.08	13.03	8.05	6.87	4.56	4.02	194.73
สูงสุด	10.58	18.07	26.49	34.05	113.00	106.42	61.83	29.93	18.25	13.14	12.01	7.6	426.14
ต่ำสุด	0	1.28	1.7	6.38	10.4	20.6	9.3	1.5	3	2.5	0.74	1	83.25

3. การคัดเลือกข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าเพื่อการคาดการณ์น้ำท่าโดยวิธีการ PSR

จากผลการรวบรวมข้อมูลน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบน พบว่า ในลุ่มน้ำปิงตอนบนมีจำนวนสถานีวัดน้ำท่าทั้งสิ้น 61 สถานี ดังแสดงในตารางที่ 13 จากข้อมูลดังกล่าว ได้พิจารณาเลือกสถานีวัดน้ำท่าที่มีข้อมูลน้ำท่าเพียงพอเพื่อการคาดการณ์น้ำท่าทั้งรายเดือนและรายวันล่วงหน้าโดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) โดยหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกสถานีวัดน้ำท่านั้น ได้พิจารณาเลือกสถานีที่มีข้อมูลอย่างน้อยที่สุด 13 ปี ทั้งนี้เนื่องจากการคาดการณ์น้ำท่าโดยวิธี PSR นั้น จำเป็นต้องนำข้อมูลส่วนหนึ่งมาใช้สร้างความสัมพันธ์ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การฝึกหัด (Training) และข้อมูลอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบ (Testing) กับผลการคาดการณ์น้ำท่า เพื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากวิธีการ PSR (Calculated runoff) กับที่ได้จากการตรวจวัด (Observed runoff) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ข้อมูลน้ำท่าที่จำเป็นต้องใช้เพื่อทั้ง 2 กระบวนการ ควรมีข้อมูลอย่างน้อย 13 ปี ดังนั้น เมื่อพิจารณาตามเงื่อนไขดังกล่าวทำให้สามารถคัดเลือกสถานีวัดน้ำท่าที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูลเพียงพอได้จำนวน 19 สถานี ทั้งนี้รายชื่อสถานีวัดน้ำท่า ตำแหน่งที่ตั้งและช่วงปีสถิติข้อมูล ของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 19 สถานี แสดงดังในตารางที่ 17

4. การประยุกต์ใช้วิธีการ PSR เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า

การประยุกต์ใช้วิธีการ PSR เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า ดำเนินการโดยการประยุกต์ใช้วิธีการ PSR ที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรม MATLAB ทั้งนี้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังอธิบายด้วย Flowchart ดังในภาพที่ 20 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) เริ่มโปรแกรม
- 2) ใส่ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมซึ่งประกอบด้วย อนุกรมน้ำท่ารายเดือนจากการตรวจวัดค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ embedding dimension (m) ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ delay time (τ) ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ K Nearest Neighbor (k) และเวลาล่วงหน้าในการคาดการณ์น้ำท่า
- 3) กำหนดค่าพารามิเตอร์ delay time (τ) เท่ากับ 1 เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการสร้าง multi-dimensional phase space
- 4) กำหนดค่าพารามิเตอร์ embedding dimension (m) เท่ากับ 2 เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในการสร้าง multi-dimensional phase space
- 5) สร้าง multi-dimensional phase space ตามมิติ τ และ m ที่กำหนด และนำ phase space จำนวน 70% ของข้อมูลอนุกรมน้ำท่ารายเดือน สำหรับใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการฝึกหัด (Training) หาชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด
- 6) กำหนดค่าพารามิเตอร์ K Nearest Neighbor (k) เท่ากับ 1 เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นในกระบวนการคาดการณ์น้ำท่า
- 7) คาดการณ์น้ำท่าตามเวลาล่วงหน้าที่กำหนด
- 8) ตรวจสอบผลการคาดการณ์น้ำท่าจากวิธี PSR ว่าครบตามจำนวนข้อมูลอนุกรมน้ำท่าที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบ (Testing) คือจำนวน 30% ของอนุกรมน้ำท่าทั้งหมดที่เหลือจาก

อนุกรมน้ำท่า 70% ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการฝึกหัด (Training) หากครบแล้วโปรแกรมจะทำงานต่อในขั้นตอนที่ 10 หากยังไม่ครบโปรแกรมจะทำงานในขั้นตอนที่ 9

9) เพิ่มข้อมูลอนุกรมน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่ผ่านการคาดการณ์น้ำท่าตามเวลาด่วงหน้าที่กำหนดเพิ่มเข้าไปใน multi-dimensional phase space สำหรับใช้ในกระบวนการการคาดการณ์น้ำท่าในขั้นตอนที่ 7

10) คำนวณตัวแปรทางสถิติเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการคาดการณ์น้ำท่าแต่ละชุดพารามิเตอร์เทียบกับข้อมูลตรวจวัด โดยค่าตัวแปรทางสถิติที่นำมาใช้ในการประเมินผลการคาดการณ์ประกอบด้วย (1) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r) (2) ดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency Index; EI) และ (3) รากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองสัมพัทธ์ (Relative Root Mean Square Error; Rel. RMSE) ซึ่งประเมินได้ตามสมการที่ (14) ถึงสมการที่ (16) ตามลำดับ

$$\text{Correlation Coefficient (r)} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (14)$$

$$\text{Efficiency Index (EI)} = 1 - \left[\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \right] \quad (15)$$

$$\text{Relative Root Mean Square Error (Rel. RMSE)} = \frac{\sqrt{\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{N}}}{\bar{Y}} \quad (16)$$

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

11) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ K Nearest Neighbor (k) ว่าเท่ากับค่าสูงสุด (k_{max}) ที่นำเข้าหรือไม่ ถ้า k เท่ากับ k_{max} ให้ดำเนินการในขั้น 11 ต่อไป หาก k น้อยกว่า k_{max} จะวนรอบกลับไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 6 เพิ่มค่า k เป็น $k+1$

12) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ embedding dimension (m) เท่ากับค่าสูงสุด (m_{max}) ที่นำเข้าหรือไม่ ถ้า m เท่ากับ m_{max} ให้ดำเนินการในขั้น 12 ต่อไป หาก m น้อยกว่า m_{max} จะวนรอบกลับไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 4 เพิ่มค่า m เป็น $m+1$

13) ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ delay time (τ) เท่ากับค่าสูงสุด (τ_{max}) ที่นำเข้าหรือไม่ ถ้า τ เท่ากับ τ_{max} ให้ดำเนินการในขั้น 13 ต่อไป หาก τ น้อยกว่า τ_{max} จะวนรอบกลับไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 3 เพิ่มค่า τ เป็น $\tau+1$

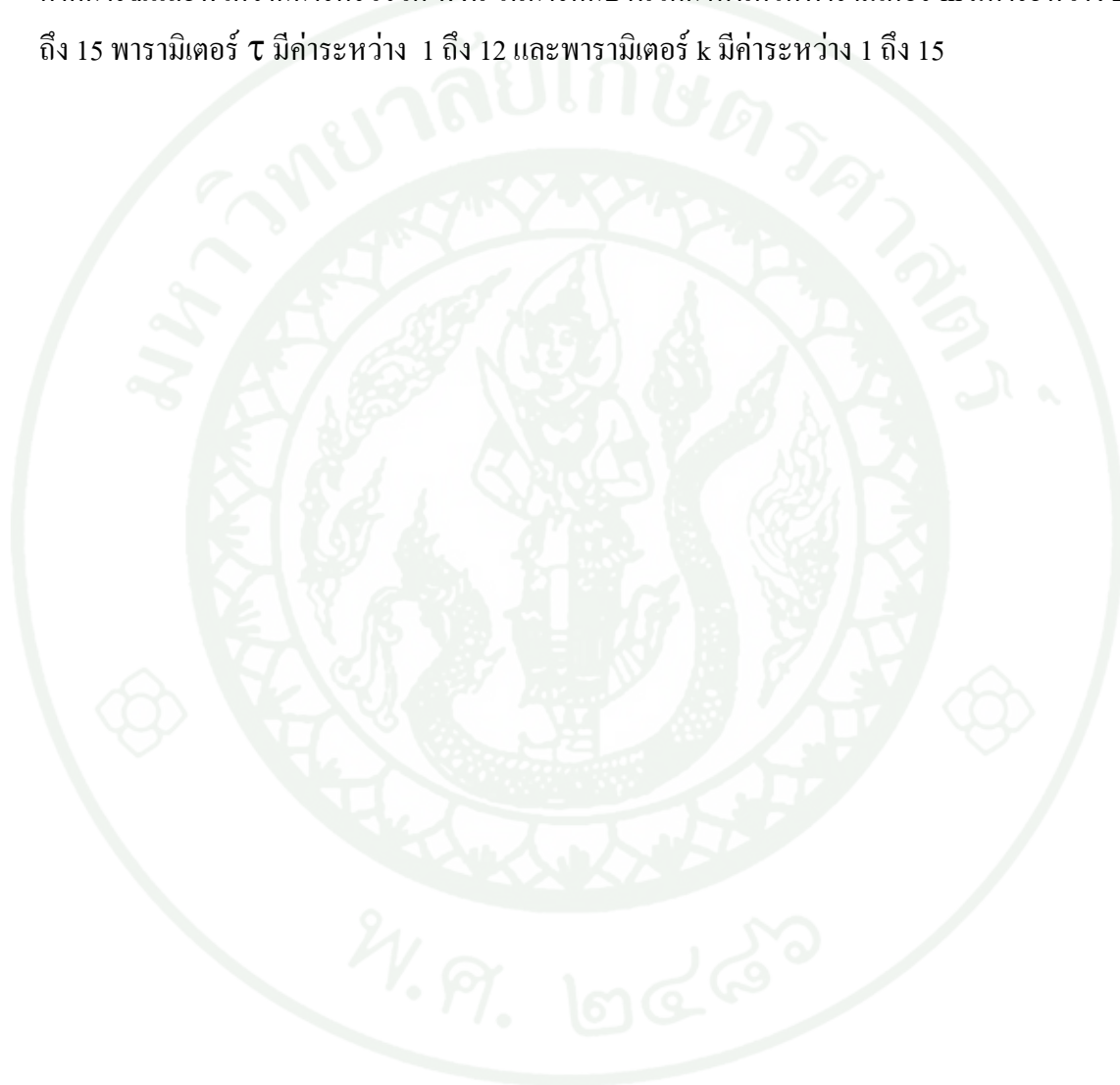
14) เปรียบเทียบค่าตัวแปรทางสถิติของทุกชุดพารามิเตอร์ เพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้า

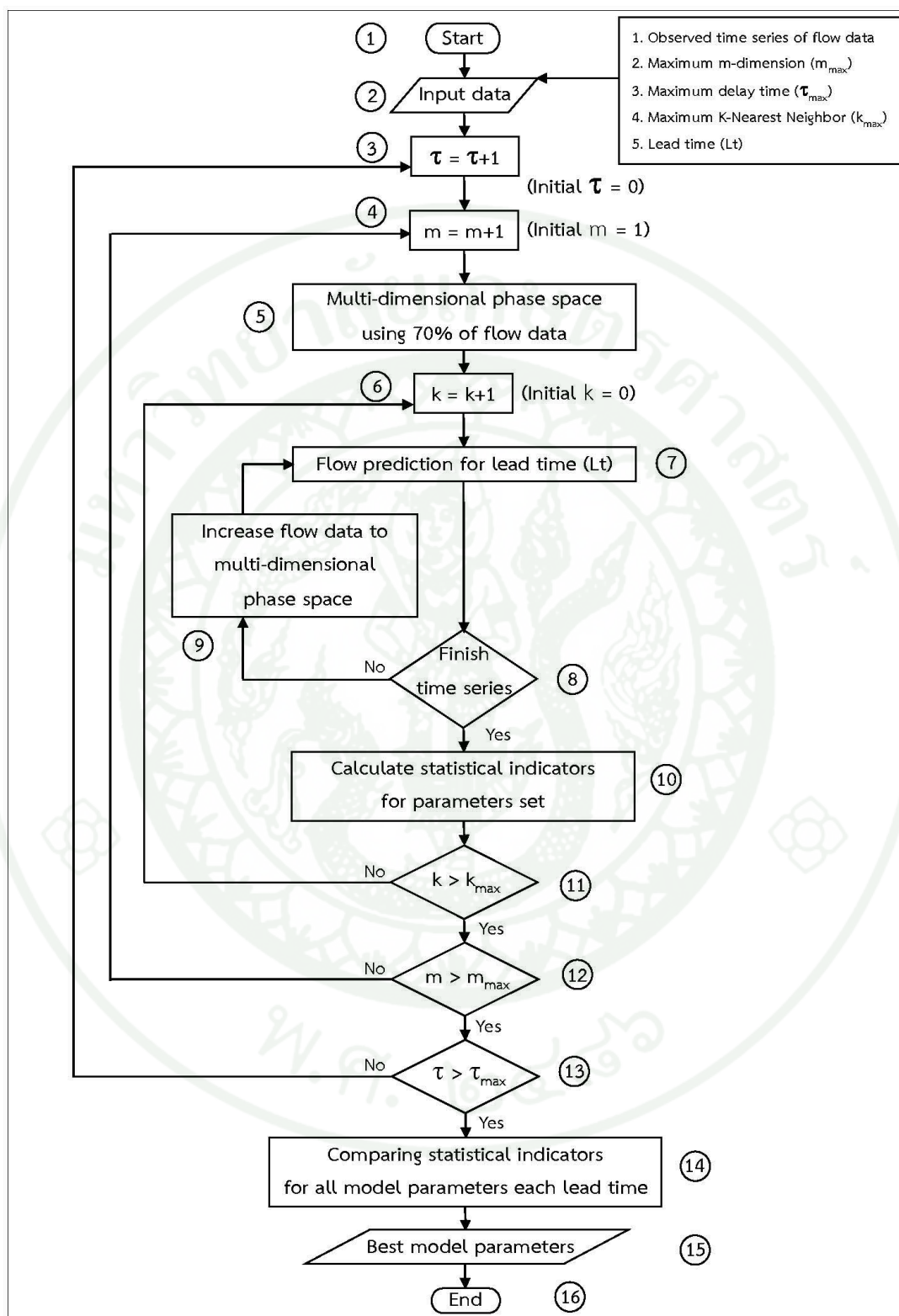
15) ได้ชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด

16) จบโปรแกรม

หลักการในการจำแนกข้อมูลน้ำท่ารายเดือนของสถานที่ที่จะทำการคาดการณ์น้ำท่าคือ การแบ่งอนุกรมน้ำท่าออกเป็น 2 ชุด คือ ข้อมูลชุดแรกสำหรับใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการฝึกหัด (Training) จำนวน 70% ของข้อมูลทั้งหมดเพื่อใช้ในการสร้าง multi-dimensional phase space และข้อมูลอีกชุดสำหรับการทดสอบ (Testing) จำนวน 30 % เพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลจากการคาดการณ์น้ำท่าอย่างไรก็ตาม ข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่ผ่านการคาดการณ์แล้วจะถูกนำมาใช้ประกอบการสร้าง multi-dimensional phase space ต่อไป จนครบอนุกรมน้ำท่าทั้ง 100%

โปรแกรมวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) ที่สร้างขึ้นในการศึกษานี้ มิใช่กระบวนการหาค่าชุดของพารามิเตอร์โดยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) แต่เป็นการจัดให้พารามิเตอร์ embedding dimensions (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) ต้องพบกันหมดเพื่อการหาค่าของชุดพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดการเข้ากันได้ระหว่างอนุกรมน้ำท่าที่ได้จากการคาดการณ์และที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้ ในการศึกษานี้ได้กำหนดให้พารามิเตอร์ m มีค่าระหว่าง 2 ถึง 15 พารามิเตอร์ τ มีค่าระหว่าง 1 ถึง 12 และพารามิเตอร์ k มีค่าระหว่าง 1 ถึง 15





ภาพที่ 20 ขั้นตอนและกระบวนการประยุกต์ใช้ PSR เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า

5. การประยุกต์ใช้วิธีการ PSR เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า

การประยุกต์ใช้วิธีการ PSR เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ดำเนินการในทำนองเดียวกับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ารายเดือน เพียงแต่ข้อมูลอนุกรมน้ำท่าที่นำเข้าไปโปรแกรมใช้ข้อมูลน้ำท่ารายวัน อย่างไรก็ตาม อนุกรมน้ำท่าแบบรายวันมีปริมาณมากกว่าอนุกรมน้ำท่าแบบรายเดือนมาก ดังนั้น ในกระบวนการหาค่าชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด จึงไม่สามารถกำหนดค่าของพารามิเตอร์ embedding dimensions (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) ให้มีค่าอยู่ในช่วงที่กว้างและให้พบกันหมดเหมือนกับที่กำหนดในกรณีการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า เนื่องจากข้อจำกัดในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงประยุกต์ใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ในการเลือกค่าชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุดสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยใช้โปรแกรม MOSCEM (Vrugt et al., 2003) ซึ่งเป็นโปรแกรมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency Index; EI) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทั้งนี้ กำหนดให้พารามิเตอร์ m มีค่าระหว่าง 2 ถึง 15 พารามิเตอร์ τ มีค่าระหว่าง 1 ถึง 12 และพารามิเตอร์ k มีค่าระหว่าง 1 ถึง 15 เช่นเดียวกับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ารายเดือน แต่เป็นการสุ่มค่าชุดของพารามิเตอร์และเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการสุ่มค่า โดยมิได้เป็นการพบกันหมดของชุดพารามิเตอร์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ดังที่ประยุกต์ใช้กับคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ารายเดือน

6. การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง ดำเนินการโดยศึกษาอิทธิพลของจำนวนพารามิเตอร์ embedding dimension (m), delay time (τ) และ K-Nearest Neighbor (k) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองของ Phase Space Reconstruction (PSR) ที่มีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1) เลือกสถานีวัดน้ำท่าที่มีข้อมูลสมบูรณ์ต่อเนื่องสำหรับการวิเคราะห์ความไว
- 2) คัดเลือกพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 1 เดือน ที่มีความถูกต้องสูงสุด จากนั้นเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย embedding dimensions (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) ครั้งละ 1 ค่า
- 3) วิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า

ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการศึกษาเรื่อง การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) ประกอบด้วยหัวข้อหลัก 3 หัวข้อ คือ (1) การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน (2) การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน และ (3) การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง ซึ่งแต่ละหัวข้อแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน

การประยุกต์ใช้วิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ได้รับการคัดเลือก โดยการคัดเลือกสถานีใช้เกณฑ์ด้านความต่อเนื่องยาวนานของข้อมูลที่ควรมีมากกว่า 13 ปี พบว่ามีสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ในเกณฑ์จำนวน 19 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า P.1, P.4A, P.5, P.14, P.20, P.21, P.24A, P.42, P.56A, P.64, P.65, P.67, P.71, P.73, P.75, P.76, P.77, P.79 และ P.80 รวมทั้งการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน กับข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้ากับสถานีที่คัดเลือกและปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน ได้ทำการอธิบายผลโดยแยกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด และ (2) การเพิ่มความถูกต้องของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยการผสมผลการคาดการณ์น้ำท่าจากพารามิเตอร์ 2 ชุดสำหรับรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวถึง แสดงดังต่อไปนี้

1.1 การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด

ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด ทั้งนี้ ในการศึกษานี้มีได้ใช้กระบวนการหาค่าชุดของพารามิเตอร์โดยกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) แต่เป็นการจัดให้พารามิเตอร์ของวิธีการ PSR ซึ่งประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ embedding dimensions (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) ต้องพบกันหมด เพื่อการหาค่าของชุดพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดการเข้ากันได้ระหว่างอนุกรมน้ำท่าที่ได้จากการคาดการณ์และที่ได้จากการตรวจวัด ดังนั้น ในการศึกษาจึงได้กำหนดให้พารามิเตอร์ m มีค่าระหว่าง 2 ถึง 15 พารามิเตอร์ τ มีค่าระหว่าง 1 ถึง 12 และพารามิเตอร์ k มีค่าระหว่าง 1 ถึง 15 เพื่อให้ครอบคลุมพารามิเตอร์ทั้งหมด ทำให้แต่ละสถานีที่ทำการประยุกต์ใช้ PSR จะมีชุดพารามิเตอร์ที่ต้องทดสอบมากที่สุดจำนวน 2,520 ชุดพารามิเตอร์ ยกเว้นสถานีวัดน้ำท่าที่มีข้อมูลไม่เพียงพอ

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุดสำหรับทั้ง 19 สถานีวัดน้ำท่า และ 3 อ่างเก็บน้ำ นั้น พิจารณาคัดเลือกด้วยตัวแปรทางสถิติ 3 ตัวแปร คือ (1) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; r) (2) ดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency Index; EI) และ (3) รากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองสัมพัทธ์ (Relative Root Mean Square Error; Rel. RMSE) ทั้งนี้ ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติดังกล่าวในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าของทุกสถานีและอ่างเก็บน้ำและในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุด แสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าของทุกสถานีและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังในตารางที่ 18 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร คือ r , EI และ Rel. RMSE

นอกจากนั้นแล้ว ในตารางดังกล่าวได้จัดลำดับผลการประเมินตัวแปรทางสถิติของแต่ละช่วงเวลา การคาดการณ์จากช่วงเวลาที่ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดจนถึงที่ด้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวแปรทางสถิติมีจำนวน 3 ตัวแปร และการเพิ่มขึ้นและลดลงของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร เป็นอิสระในแต่ละสถานี ดังนั้นจึงมีความไม่สอดคล้องกันบ้าง ด้วยเหตุผลดังกล่าว การจัดลำดับจึงคิดตามค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรทางสถิติ และกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปร EI, 1-Rel. RMSE และ r เท่ากับ 0.4, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในภาพรวมของผลการคาดการณ์ จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าทางสถิติที่ดีที่สุดคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 12 เดือน เนื่องจากการคาดการณ์สำหรับเดือนที่พิจารณาซึ่งอาจจะง่ายต่อการคาดการณ์มากที่สุด (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 62.40%, 69.36% และ 0.81 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 เดือน เนื่องจากการคาดการณ์ที่ใกล้กับเดือนที่พิจารณามากที่สุด (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 63.20%, 70.56% และ 0.82 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 9 เดือน (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 61.44%, 71.81% และ 0.80 ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าสถิติที่ด้อยที่สุดคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 6 เดือน เนื่องจากการคาดการณ์ที่อยู่ระหว่างกลาง (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 59.80%, 73.00% และ 0.80 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 4 เดือน (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 59.46%, 72.47% และ 0.79 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ผลการคาดการณ์สำหรับทั้ง 12 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก กล่าวคือ EI มีค่าระหว่าง 59.46% ถึง 63.20% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.60% สำหรับ Rel. RMSE มีค่าระหว่าง 69.36% ถึง 73.00% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.02% และค่า r มีค่าระหว่าง 0.79 ถึง 0.82 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 1 ถึง 12 เดือน สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำให้ผลอยู่ในเกณฑ์ดีแม้ว่าช่วงเวลาของการคาดการณ์จะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 18 ค่าของตัวแปรทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ลำดับ ที่	เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	EI (%)			Rel. RMSE (%)			r		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	12	62.40	88.30	46.50	69.36	100.20	26.86	0.81	0.94	0.71
2	1	63.20	79.19	48.65	70.56	103.98	44.13	0.82	0.90	0.74
3	9	61.44	83.16	44.85	71.81	113.76	39.99	0.80	0.92	0.70
4	11	60.69	78.94	41.08	71.65	111.76	39.15	0.80	0.89	0.69
5	7	60.46	80.51	45.11	72.47	109.33	36.25	0.80	0.90	0.69
6	8	60.46	81.74	43.10	72.79	112.72	36.18	0.79	0.91	0.69
7	10	60.15	80.81	45.15	72.62	112.90	40.69	0.79	0.90	0.70
8	3	59.58	77.49	44.42	72.35	99.22	41.66	0.80	0.90	0.71
9	5	59.78	74.89	42.92	72.64	110.08	37.93	0.79	0.87	0.66
10	2	59.79	74.34	46.04	72.58	101.33	47.29	0.79	0.88	0.70
11	4	59.46	72.60	42.62	72.47	101.35	40.95	0.79	0.87	0.74
12	6	59.80	78.25	42.82	73.00	109.58	36.12	0.80	0.89	0.67
ค่าเฉลี่ย		60.60	79.18	44.44	72.02	107.18	38.93	0.80	0.90	0.70

2) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของทุกช่วงเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือนในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังในตารางที่ 19 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร คือ r, EI และ Rel. RMSE ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ นอกจากนั้นแล้ว ในตารางดังกล่าวได้จัดลำดับผลการประเมินตัวแปรทางสถิติของแต่ละสถานีจากสถานีที่ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดจนถึงที่ด้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวแปรทางสถิติมีจำนวน 3 ตัวแปร และการเพิ่มขึ้นและลดลงของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร เป็นอิสระในแต่ละสถานี ดังนั้นจึงมีความไม่สอดคล้องกันบ้าง ด้วยเหตุผลดังกล่าว การจัดลำดับจึงคิดตามค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรทางสถิติ และกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปร EI, 1-Rel. RMSE และ r เท่ากับ 0.4, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในภาพรวมของผลการคาดการณ์ จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าทางสถิติที่ดีที่สุดคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.80 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 74.28%, 40.82% และ 0.87 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.56A (ค่าเฉลี่ยของ EI,

Rel. RMSE และ r เท่ากับ 78.03%, 45.48% และ 0.89 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์สำหรับ สถานีวัดน้ำท่า P.64 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 69.33%, 48.03% และ 0.86 ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าสถิติที่ด้อยที่สุดคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.76 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 49.16%, 105.87% และ 0.72 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์ สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.5 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 54.89%, 99.35% และ 0.76 ตามลำดับ) ทั้งนี้ ผลการคาดการณ์สำหรับทั้ง 19 สถานี และ 3 อ่างเก็บน้ำ มีค่าแตกต่างกันพอสมควร กล่าวคือ EI มีค่าระหว่าง 46.52% ถึง 78.03% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.60% สำหรับ Rel. RMSE มีค่า ระหว่าง 40.82% ถึง 105.87% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.02% และค่า r มีค่าระหว่าง 0.72 ถึง 0.89 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 1 ถึง 12 เดือน สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำให้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละสถานี ซึ่ง อาจเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญดังนี้คือ (1) ผลกระทบจากการนำน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ (regulated flows) ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งทำให้การไหลไม่เป็นไปตามธรรมชาติ (natural flows) จึงยาก ต่อการคาดการณ์การไหล (2) ช่วงปีสถิติข้อมูลที่ไม่ยาวนานเพียงพอ ทำให้ไม่มีข้อมูลมากพอที่จะ ใช้ในการสร้าง multi-dimensional phase space จึงทำให้การคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง กระทำได้ยากเมื่อขาดข้อมูลน้ำท่าต้นแบบ (3) สถานีวัดน้ำท่าหรืออ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่อาจยาก ต่อการคาดการณ์มากกว่าขนาดเล็ก เนื่องจากสถานีวัดน้ำท่าหรืออ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่อาจมี ความซับซ้อนของกระบวนการเกิดน้ำท่ามากกว่าขนาดเล็ก เพราะเมื่อพื้นที่ขนาดใหญ่ย่อมมีความ หลากหลายของลักษณะเฉพาะของกลุ่มน้ำและปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่ลุ่มน้ำอาจแตกต่างกันไป ในพื้นที่ขนาดใหญ่จึงทำให้น้ำท่าที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนทำให้ยากต่อ การคาดการณ์

ตารางที่ 19 ค่าของตัวแปรทางสถิติของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน ของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	พื้นที่รับ น้ำฝน (ตร.กม.)	จำนวนสถิติ ข้อมูล (ปี)	EI (%)			Rel. RMSE (%)			r		
				ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	P.80	129	13	74.28	88.30	63.87	40.82	66.28	26.86	0.87	0.94	0.82
2	P.56A	546	13	78.03	83.16	72.60	45.48	51.37	39.99	0.89	0.92	0.87
3	P.64	502	18	69.33	73.81	67.16	48.03	52.22	41.83	0.86	0.87	0.84
4	P.65	243	15	71.17	74.25	66.21	53.59	59.24	49.99	0.86	0.87	0.83
5	เขื่อนแม่งัด	1,281	30	71.97	79.19	70.10	60.81	63.92	51.79	0.86	0.90	0.84
6	P.75	3,080	13	55.77	61.71	44.42	48.86	54.10	44.13	0.77	0.81	0.70
7	P.71	1,722	14	60.69	64.97	55.45	64.10	70.35	57.08	0.80	0.82	0.77
8	เขื่อนแม่กวางอุดม	569	21	65.23	71.45	62.43	73.36	77.58	60.25	0.82	0.85	0.81
9	P.14	3,836	42	61.94	65.11	60.94	68.94	69.44	66.09	0.80	0.81	0.79
10	P.73	14,814	16	68.56	73.53	63.11	78.82	84.45	70.73	0.84	0.88	0.80
11	P.79	136	13	46.52	56.98	41.08	52.61	57.00	46.68	0.75	0.87	0.69
12	เขื่อนภูมิพล	26,386	31	61.49	68.36	59.75	74.82	77.69	67.81	0.84	0.86	0.81
13	P.21	452	53	57.90	65.40	56.14	67.86	69.14	61.90	0.76	0.81	0.75
14	P.1	6,350	62	56.12	66.27	53.61	70.21	72.09	62.27	0.75	0.82	0.73
15	P.20	1,345	33	54.12	62.87	50.47	74.80	76.71	66.45	0.78	0.83	0.76
16	P.24A	452	41	54.03	55.21	53.37	84.99	85.84	84.35	0.76	0.79	0.75
17	P.77	550	14	59.55	64.94	53.39	93.29	99.32	89.23	0.80	0.83	0.76
18	P.4A	1,930	36	58.66	68.29	52.32	95.89	101.35	84.47	0.78	0.84	0.75
19	P.42	318	17	50.04	56.07	46.50	88.23	91.72	84.68	0.73	0.76	0.72
20	P.67	5,323	18	53.79	59.60	51.37	93.85	95.87	85.80	0.75	0.82	0.74
21	P.5	1,569	23	54.89	60.62	53.36	99.35	102.32	91.71	0.76	0.80	0.74
22	P.76	1,545	13	49.16	61.44	42.82	105.87	113.76	90.62	0.72	0.81	0.66
ค่าเฉลี่ย				60.60	67.34	56.39	72.02	76.90	64.76	0.80	0.84	0.77

3) ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุด

ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนโดยวิธี PSR นั้น ได้กำหนดให้พารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์มีค่าอยู่ในช่วงดังนี้ (1) พารามิเตอร์ embedding dimensions (m) มีค่าระหว่าง 2 ถึง 15 (2) พารามิเตอร์ delay time (τ) มีค่าระหว่าง 1 ถึง 12 และ (3) พารามิเตอร์ K-nearest (k) มีค่าระหว่าง 1 ถึง 15 จากนั้นจึงใช้โปรแกรม PSR ที่สร้างขึ้นเพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุด สำหรับแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์และในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้ ได้แสดงความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m, τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำดังในตารางที่ 20 และได้แสดงความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m, τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำดังในตารางที่ 21

ตารางที่ 20 และ ตารางที่ 21 แสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ embedding dimension (m) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ m เท่ากับ 8, 10 และ 13 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 12.88%, 12.50% และ 10.61% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ m ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุด 2 ลำดับแรก คือ m เท่ากับ 9 และ 5 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 3.03% และ 3.79% ตามลำดับ โดยลำดับที่ 3 ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยคือ m เท่ากับ 3, 4 และ 11 ซึ่งมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากันคือ 4.17% ทั้งนี้ m เท่ากับ 2 ไม่ได้ได้รับการคัดเลือกในทุกช่วงเวลาและทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ นอกจากนั้นแล้ว ในตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเลือกพารามิเตอร์ embedding dimension (m) ซึ่งมีค่าระหว่าง 3 ถึง 15 นั้น มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาการคำนวณล่วงหน้า ในขณะที่การเลือกพารามิเตอร์ embedding dimension (m) มีการกระจายตัวไม่มากในหลายๆ สถานีวัดน้ำท่า กล่าวคือ ในหลายๆ สถานีวัดน้ำท่ามีแนวโน้มในการเลือกพารามิเตอร์ m ที่ซ้ำกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าระหว่าง 1 ถึง 12 เดือน อาทิ เช่น ที่สถานี P.42 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 10 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าทั้ง 12 เดือน ที่สถานี P.65, P.71 และ P.77 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 10, 7 และ 13 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 11 เดือน ที่สถานี P.64, P.67 และเขื่อนภูมิพล มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 13, 12 และ 14 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 9 เดือน ที่สถานี P.5, P.21 และ P.76 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 10, 8 และ 7 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 7 เดือน และที่สถานี P.73, P.80 และเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล มีการเลือกพารามิเตอร์ m

เท่ากับ 8, 8 และ 13 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 6 เดือน ซึ่งจากสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวมาข้างต้นมีการเลือกพารามิเตอร์ m ตัวเดียวกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าจำนวน 6 ถึง 12 เดือน รวมได้เป็น 121 กรณี จาก 264 กรณี (22 สถานี * 12 เดือน) ซึ่งคิดเป็น 45.83% ของทั้งหมด

พารามิเตอร์ delay time (T) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ T เท่ากับ 7, 11 และ 5 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 20.08%, 16.29% และ 15.91% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ T ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุด 3 ลำดับแรก คือ T เท่ากับ 6, 4 และ 3 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 1.14%, 2.27% และ 2.65% ตามลำดับ ทั้งนี้ T เท่ากับ 12 ไม่ได้รับการคัดเลือกในทุกช่วงเวลาและทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การเลือกพารามิเตอร์ delay time (T) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง 11 นั้น มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้า ในขณะที่การเลือกพารามิเตอร์ delay time (T) มีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ embedding dimension (m) โดยในตารางที่ 21 แสดงให้เห็นว่า สถานีวัดน้ำท่ามีแนวโน้มในการเลือกพารามิเตอร์ T ที่ซ้ำกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าระหว่าง 1 ถึง 12 เดือน อาทิเช่น ที่สถานี P.42 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 11 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าทั้ง 12 เดือน ที่สถานี P.14, P.65, P.67 และ P.77 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 10, 5, 9 และ 7 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 11 เดือน ที่สถานี P.1, P.24A และเขื่อนภูมิพล มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 1, 7 และ 7 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 10 เดือน ที่สถานี P.4A และ P.76 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 11 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 8 เดือน ที่สถานี P.5 และ P.21 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 11 และ 8 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 7 เดือน และที่เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชลมีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 7 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 6 เดือน ซึ่งจากสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวมาข้างต้นมีการเลือกพารามิเตอร์ T ตัวเดียวกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าจำนวน 6 ถึง 12 เดือน รวมได้เป็น 138 กรณี จาก 264 กรณี (22 สถานี * 12 เดือน) ซึ่งคิดเป็น 52.27% ของทั้งหมด

พารามิเตอร์ K-nearest (k) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ k เท่ากับ 2, 3 และ 1 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 20.08%, 14.02% และ 12.50% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ k ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุด 3 ลำดับแรก คือ k เท่ากับ 15, 11 และ 10 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 1.14, 1.52% และ 2.65% ตามลำดับ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การเลือกพารามิเตอร์

K-nearest (k) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง 15 นั้น มีความถี่ของการเลือกในช่วงค่า k น้อย ๆ มากกว่าในช่วงค่า k มาก ๆ กล่าวคือ ค่า k เท่ากับ 1, 2 และ 3 มีความถี่ของการคัดเลือกรวมกันถึง 46.6% ของค่า k ทั้งหมด ทั้งนี้ การเลือกพารามิเตอร์ K-nearest (k) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง 15 นั้น มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้า ในขณะที่การเลือกพารามิเตอร์ K-nearest (k) มีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ embedding dimension (m) และพารามิเตอร์ delay time (τ) โดยในตารางที่ 21 แสดงให้เห็นว่า สถานีวัดน้ำท่ามีแนวโน้มในการเลือกพารามิเตอร์ k ที่ซ้ำกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าระหว่าง 1 ถึง 12 เดือน อาทิเช่น ที่สถานี P.42 และ P.77 มีการเลือกพารามิเตอร์ k เท่ากับ 3 และ 1 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าทั้ง 12 เดือน ที่สถานี P.65 และ P.71 มีการเลือกพารามิเตอร์ k เท่ากับ 12 และ 8 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 11 เดือน ที่สถานี P.14 และเขื่อนแม่กวงอุดมธารา มีการเลือกพารามิเตอร์ k เท่ากับ 5 และ 2 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 9 เดือน ที่สถานี P.5, P.24A, P.64, P.73 และ P.76 มีการเลือกพารามิเตอร์ k เท่ากับ 1, 14, 6, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 8 เดือน ที่สถานี P.4A และ P.21 มีการเลือกพารามิเตอร์ k เท่ากับ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 7 เดือน และที่สถานี P.1 เขื่อนภูมิพล และเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล มีการเลือกพารามิเตอร์ k เท่ากับ 13, 9, และ 4 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 6 เดือน ซึ่งจากสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวมาข้างต้นมีการเลือกพารามิเตอร์ k ตัวเดียวกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าจำนวน 6 ถึง 12 เดือน รวมได้เป็น 146 กรณี จาก 264 กรณี (22 สถานี * 12 เดือน) ซึ่งคิดเป็น 55.30% ของทั้งหมด

ตารางที่ 20 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน ในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
1		-	-	2	1	4	3	1	1	2	-	3	2	1	2	22
2		-	1	1	2	1	1	2	3	3	2	-	2	2	2	22
3		-	-	1	2	3	1	2	-	3	-	2	2	3	3	22
4		-	1	1	-	3	1	3	-	3	-	4	2	4	-	22
5		-	1	1	-	1	4	3	-	3	1	2	2	1	3	22
6		-	1	-	1	2	2	4	-	3	1	3	3	2	-	22
7		-	2	-	1	1	2	4	-	3	1	3	3	2	-	22
8		-	2	-	1	1	2	4	-	3	2	2	3	2	-	22
9		-	2	1	-	2	3	2	1	2	1	1	2	2	3	22
10		-	-	3	-	-	2	3	-	3	2	1	2	4	2	22
11		-	1	1	1	1	3	3	1	2	1	1	2	2	3	22
12		-	-	-	1	5	1	3	2	3	-	2	3	1	1	22
รวม		-	11	11	10	24	25	34	8	33	11	24	28	26	19	264
เปอร์เซ็นต์		-	4.17	4.17	3.79	9.09	9.47	12.88	3.03	12.50	4.17	9.09	10.61	9.85	7.20	100.00
ลำดับที่		-	8	8	9	6	5	1	10	2	8	6	3	4	7	

ตารางที่ 20 (ต่อ)

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ delay time (T)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
1	-	1	-	-	3	-	4	3	1	5	5	-				22
2	2	1	-	-	5	1	4	1	2	2	4	-				22
3	3	2	-	-	3	1	6	-	1	3	3	-				22
4	3	2	-	-	4	1	5	1	1	2	3	-				22
5	3	2	2	-	3	-	4	2	1	1	4	-				22
6	1	2	1	1	3	-	5	1	1	2	5	-				22
7	1	2	-	1	3	-	5	2	1	3	4	-				22
8	2	3	-	-	4	-	4	2	-	3	4	-				22
9	1	3	1	-	4	-	5	3	1	2	2	-				22
10	4	-	1	-	5	-	3	2	1	3	3	-				22
11	3	-	-	2	2	-	4	4	1	3	3	-				22
12	3	1	2	2	3	-	4	-	1	3	3	-				22
รวม	26	19	7	6	42	3	53	21	12	32	43	-				264
เปอร์เซ็นต์	9.85	7.20	2.65	2.27	15.91	1.14	20.08	7.95	4.55	12.12	16.29	-				100.00
ลำดับที่	5	7	9	10	3	11	1	6	8	4	2	-				

ตารางที่ 20 (ต่อ)

เวลาการดำเนินงาน (เดือน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ K-nearest (k)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
1	5	2	2	2	2	-	2	4	-	-	1	2	-	-	-	22
2	3	4	2	1	3	3	1	-	-	1	-	2	-	1	1	22
3	3	4	2	2	2	-	-	2	2	-	1	1	1	1	1	22
4	3	5	3	3	1	1	-	1	1	1	1	1	-	1	-	22
5	3	4	3	1	1	1	1	2	1	1	-	2	1	1	-	22
6	3	4	4	2	1	2	-	1	1	1	-	1	1	1	-	22
7	3	4	5	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	-	22
8	3	4	3	1	2	1	-	1	1	1	-	2	2	1	-	22
9	2	5	3	1	2	-	2	2	-	1	-	1	1	2	-	22
10	1	8	3	-	1	2	1	1	-	1	-	2	1	1	-	22
11	2	4	4	1	2	1	1	2	-	2	-	2	-	-	1	22
12	2	5	3	5	-	2	-	1	-	1	1	-	1	1	-	22
รวม	33	53	37	20	18	14	9	18	7	11	4	17	9	11	3	264
เปอร์เซ็นต์	12.50	20.08	14.02	7.58	6.82	5.30	3.41	6.82	2.65	4.17	1.52	6.44	3.41	4.17	1.14	100.00
ลำดับที่	3	1	2	4	5	7	9	5	10	8	11	6	9	8	12	

ตารางที่ 21 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือน ของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m)														
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
1	P.1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	3	-	2	5	12
2	P.4A	-	-	-	-	-	-	2	4	-	4	2	-	-	-	12
3	P.5	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	5	12
4	P.14	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	10	-	12	
5	P.20	-	4	-	-	3	-	-	1	-	2	1	-	-	1	12
6	P.21	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	1	1	1	2	12
7	P.24A	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	5	-	-	5	12
8	P.42	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	12
9	P.56A	-	4	-	2	4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	12
10	P.64	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	1	9	-	-	12
11	P.65	-	-	1	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	12
12	P.67	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	9	-	-	-	12
13	P.71	-	-	-	-	1	11	-	-	-	-	-	-	-	-	12
14	P.73	-	-	-	-	2	3	6	-	1	-	-	-	-	-	12
15	P.75	-	2	1	2	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	12
16	P.76	-	-	3	-	-	-	7	2	-	-	-	-	-	-	12
17	P.77	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	11	-	-	12
18	P.79	-	1	5	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
19	P.80	-	-	1	-	2	1	6	1	1	-	-	-	-	-	12
20	เขื่อนภูมิพล	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	9	-	12
21	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	6	3	1	12
22	เขื่อนแม่งัดหลวงอุคมธารา	-	-	-	1	-	-	4	1	-	4	-	1	1	-	12
	รวม	-	11	11	10	24	25	34	8	33	11	24	28	26	19	264
	เปอร์เซ็นต์	-	4.17	4.17	3.79	9.09	9.47	12.88	3.03	12.50	4.17	9.09	10.61	9.85	7.20	100.00
	ลำดับที่	-	8	8	9	6	5	1	10	2	8	6	3	4	7	

ตารางที่ 21 (ต่อ)

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ delay time (T)												รวม	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	P.1	10	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	12
2	P.4A	-	-	1	-	-	-	2	1	-	-	8	-	-	12
3	P.5	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	7	-	-	12
4	P.14	-	-	1	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	12
5	P.20	5	1	-	-	4	-	-	-	-	1	1	-	-	12
6	P.21	3	-	-	-	-	-	1	7	-	-	1	-	-	12
7	P.24A	-	-	-	-	-	-	10	-	-	2	-	-	-	12
8	P.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	12
9	P.56A	2	2	-	-	-	-	-	4	-	-	4	-	-	12
10	P.64	-	1	1	1	-	-	-	-	-	9	-	-	-	12
11	P.65	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	1	-	-	12
12	P.67	-	1	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	12
13	P.71	-	-	-	-	5	-	-	-	-	7	-	-	-	12
14	P.73	-	-	3	-	4	-	5	-	-	-	-	-	-	12
15	P.75	-	5	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-	12
16	P.76	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	8	-	-	12
17	P.77	1	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	12
18	P.79	-	3	-	3	5	-	-	1	-	-	-	-	-	12
19	P.80	-	5	1	-	1	-	3	1	-	1	-	-	-	12
20	เขื่อนภูมิพล	-	-	-	-	1	-	10	-	-	-	1	-	-	12
21	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	4	-	-	-	-	-	6	1	1	-	-	-	-	12
22	เขื่อนแม่งัดอุบลรัตน์	1	-	-	-	4	-	5	1	-	1	-	-	-	12
	รวม	26	19	7	6	42	3	53	21	12	32	43	-	-	264
	เปอร์เซ็นต์	9.85	7.20	2.65	2.27	15.91	1.14	20.08	7.95	4.55	12.12	16.29	-	-	100.00
	ลำดับที่	5	7	9	10	3	11	1	6	8	4	2	-	-	

ตารางที่ 21 (ต่อ)

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ K-nearest (k)															รวม
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	P.1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	6	-	2	12
2	P.4A	7	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
3	P.5	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
4	P.14	-	-	2	1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
5	P.20	-	2	5	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
6	P.21	-	7	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1	1	-	12
7	P.24A	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	8	1	12
8	P.42	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
9	P.56A	-	-	-	2	-	1	4	1	-	2	-	2	-	-	-	12
10	P.64	-	-	-	-	-	8	-	2	-	-	1	1	-	-	-	12
11	P.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	11	-	-	-	12
12	P.67	-	10	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	12
13	P.71	-	-	-	-	-	-	1	11	-	-	-	-	-	-	-	12
14	P.73	1	8	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
15	P.75	-	2	5	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
16	P.76	1	2	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
17	P.77	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
18	P.79	-	1	2	2	1	-	3	2	-	-	-	-	1	-	-	12
19	P.80	-	2	-	-	1	-	-	-	-	5	1	-	1	2	-	12
20	เขื่อนภูมิพล	2	-	-	1	-	-	-	-	6	3	-	-	-	-	-	12
21	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	-	3	-	6	-	1	1	-	-	-	-	1	-	-	-	12
22	เขื่อนแม่งัดอุบลรัตน์	2	9	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
	รวม	33	53	37	20	18	14	9	18	7	11	4	17	9	11	3	264
	เปอร์เซ็นต์	12.50	20.08	14.02	7.58	6.82	5.30	3.41	6.82	2.65	4.17	1.52	6.44	3.41	4.17	1.14	100.00
	ลำดับที่	3	1	2	4	5	7	9	5	10	8	11	6	9	8	12	

1.2 การเพิ่มความถูกต้องของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยการผสมผลการคาดการณ์น้ำท่าจากพารามิเตอร์ 2 ชุด

จากผลการศึกษาการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องที่สุด พบว่า ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดสำหรับในกรณีปริมาณการไหลต่ำ ๆ ถึงกลาง ๆ (low to medium flows) แต่ในกรณีปริมาณการไหลสูง ๆ (high flows) นั้น พบว่า ผลจากการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ามีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการตรวจวัด และเมื่อมาพิจารณาพารามิเตอร์ของแบบจำลองพบว่า ค่าของ K-nearest มีอิทธิพลต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าสูง ๆ มากกว่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ โดยพบว่า การที่ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการตรวจวัดเกิดจากสาเหตุประการสำคัญคือการกำหนดให้ค่าของ K-nearest มากกว่า 1 เช่นในกรณีที่กำหนดให้ K-nearest เท่ากับ 3 ก็จะทำการเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าที่ได้รับการคัดเลือกมา 3 ค่า เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าที่คาดการณ์ได้มีค่าน้อยกว่าในกรณีที่กำหนดให้ K-nearest มีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากในกรณีที่ K-nearest เท่ากับ 1 นั้น โปรแกรม PSR จะนำปริมาณน้ำท่าที่เหมาะสมต่อการคาดการณ์เพียง 1 ค่า มาใช้เป็นผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าทำให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับการตรวจวัดมากขึ้น ดังนั้น จึงเป็นที่มาของการเพิ่มความถูกต้องของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยการผสมผลการคาดการณ์น้ำท่าจากพารามิเตอร์ 2 ชุด กล่าวคือ ชุดที่ 1 สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าต่ำ ๆ ถึงกลาง ๆ (low to medium flows) โดยการกำหนดให้ค่าของ K-nearest มีค่าเท่าใดก็ได้ระหว่าง 1 ถึง 15 และชุดที่ 2 สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าสูง ๆ (high flows) โดยการกำหนดให้ค่าของ K-nearest มีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น และนำปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคาดการณ์ทั้ง 2 กรณี มาผสมกัน ซึ่งจำเป็นต้องหาจุดรวมที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้การลองผิดลองถูก (trial and error) ด้วยค่าเริ่มต้นของการแบ่งขนาดของปริมาณการไหล (threshold flow; Q) ที่เหมาะสมที่สุดที่จะให้ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดจากผลการรวมปริมาณการไหลที่ได้จากพารามิเตอร์ทั้ง 2 ชุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวในที่นี้ให้ชื่อว่าการผสมปริมาณการไหล (mix flows)

ต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงหัวข้อที่สำคัญ 2 ส่วน ที่เป็นผลจากกระบวนการ mix flows ดังนี้ คือ (1) ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าสูง ๆ (high flows) และ (2) การปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า สำหรับรายละเอียดในแต่ละส่วนสรุปได้ดังนี้

1) ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าสูง ๆ (high flows)

กระบวนการ mix flows ประกอบด้วยชุดพารามิเตอร์ 2 ชุด คือ ชุดพารามิเตอร์สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับปริมาณการไหลต่ำ ๆ ถึงกลาง ๆ (low to medium flows) และสำหรับปริมาณการไหลสูง ๆ (high flows) ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์หาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับปริมาณการไหลต่ำ ๆ ถึงกลาง ๆ (low to medium flows) นั้น ได้แสดงไว้แล้วในหน้าที่ 74 หัวข้อย่อยที่ 3) เรื่อง “ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุด” สำหรับผลการวิเคราะห์หาชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับปริมาณการไหลสูง ๆ (high flows) สรุปได้ดังนี้

ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าสูง ๆ (high flows) นั้น ได้กำหนดให้พารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์มีค่าอยู่ในช่วงดังนี้ (1) พารามิเตอร์ embedding dimensions (m) มีค่าระหว่าง 2 ถึง 15 (2) พารามิเตอร์ delay time (τ) มีค่าระหว่าง 1 ถึง 12 และ (3) พารามิเตอร์ K-nearest (k) มีค่าเท่ากับ 1 ตามที่ได้กล่าวข้างต้น จากนั้นจึงใช้โปรแกรม PSR ที่สร้างขึ้นเพื่อหาชุดพารามิเตอร์ embedding dimensions (m) และพารามิเตอร์ delay time (τ) ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุด สำหรับแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์และในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้ ได้แสดงความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ τ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนกรณี high flows ในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำดังในตารางที่ 22 และได้แสดงความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ τ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำดังในตารางที่ 23

ตารางที่ 22 และ ตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ embedding dimension (m) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ m เท่ากับ 7, 8 และ 6 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 15.15%, 12.50% และ 11.36% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ m ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุด 2 ลำดับแรก คือ m เท่ากับ 2 และ 11 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 0.76% และ 2.56% ตามลำดับ โดยลำดับที่ 3 ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยคือ m เท่ากับ 3 และ 14 ซึ่งมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากันคือ 3.03% นอกจากนั้นแล้ว ในตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเลือกพารามิเตอร์ embedding dimension (m) ซึ่งมีค่าระหว่าง 2 ถึง 15 นั้น มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนใน

แต่ละช่วงเวลาการคัดเลือกว่า ในขณะที่ยกพารามิเตอร์ embedding dimension (m) มีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า กล่าวคือ ในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่ามีแนวโน้มในการเลือกพารามิเตอร์ m ที่ซ้ำกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าระหว่าง 1 ถึง 12 เดือน อาทิเช่น ที่สถานี P.76 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 8 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าทั้ง 12 เดือน ที่สถานี P.67 และ P.77 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 9 และ 13 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 11 เดือน ที่สถานี P.5 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 10 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 10 เดือน ที่สถานี P.20 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 6 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 9 เดือน ที่สถานี P.80 และเขื่อนภูมิพล มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 7 และ 10 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 8 เดือน ที่สถานี P.42 เขื่อนแม่กวงอุดมธารา มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 7 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 7 เดือน และที่สถานี P.71 และ P.73 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 5 และ 10 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 6 เดือน ซึ่งจากสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวมาข้างต้นมีการเลือกพารามิเตอร์ m ตัวเดียวกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าจำนวน 6 ถึง 12 เดือน รวมได้เป็น 95 กรณี จาก 264 กรณี (22 สถานี * 12 เดือน) ซึ่งคิดเป็น 35.98% ของทั้งหมด

พารามิเตอร์ delay time (τ) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ τ เท่ากับ 11, 7 และ 2 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 23.86%, 12.88% และ 12.50% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ τ ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุด 2 ลำดับแรก คือ τ เท่ากับ 6 และ 9 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 0.76% และ 3.41% ตามลำดับ โดยลำดับที่ 3 ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยคือ m เท่ากับ 3 และ 8 ซึ่งมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากันคือ 6.44% ทั้งนี้ τ เท่ากับ 12 ไม่ได้ได้รับการคัดเลือกในทุกช่วงเวลาและทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การเลือกพารามิเตอร์ delay time (τ) ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง 11 นั้น มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาการคัดเลือกว่า ในขณะที่ยกพารามิเตอร์ delay time (τ) มีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ embedding dimension (m) โดยในตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่า สถานีวัดน้ำท่ามีแนวโน้มในการเลือกพารามิเตอร์ τ ที่ซ้ำกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าระหว่าง 1 ถึง 12 เดือน อาทิเช่น ที่สถานี P.76 มีการเลือกพารามิเตอร์ τ เท่ากับ 11 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าทั้ง 12 เดือน ที่สถานี P.67 และ P.77 มีการเลือกพารามิเตอร์ τ เท่ากับ 11 และ 7 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 11 เดือน ที่สถานี P.5 มีการเลือกพารามิเตอร์ τ เท่ากับ 11 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 10 เดือน ที่สถานี P.42, P.56A, เขื่อนภูมิพลและเขื่อนแม่กวงอุดมธารา มีการเลือกพารามิเตอร์ τ เท่ากับ 7, 11, 8, และ 7 ตามลำดับ สำหรับการ

คาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 9 เดือน ที่สถานี P.80 และเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 4 และ 1 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 8 เดือน ที่สถานี P.4A และ P.20 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 11 และ 2 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 7 เดือน และที่สถานี P.1, P.24A และ P.71 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 2, 5 และ 11 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 6 เดือน ซึ่งจากสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวมาข้างต้นมีการเลือกพารามิเตอร์ T ตัวเดียวกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าจำนวน 6 ถึง 12 เดือน รวมได้เป็น 128 กรณี จาก 264 กรณี (22 สถานี * 12 เดือน) ซึ่งคิดเป็น 42.48% ของทั้งหมด

จากผลที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าสูง ๆ (high flows) มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้า แต่มีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า กล่าวคือมีการเลือกพารามิเตอร์ตัวเดียวกันในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า ในทำนองเดียวกับที่เกิดขึ้นในกรณีความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าต่ำ ๆ ถึงกลาง ๆ (low to medium flows)

ตารางที่ 22 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ τ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนกรณี high flows ในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
1		-	2	2	1	3	2	4	1	3	-	-	1	1	2	22
2		-	-	2	-	2	6	7	1	2	-	-	-	1	1	22
3		-	1	1	3	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	22
4		-	-	1	5	3	3	4	1	2	-	1	2	-	-	22
5		-	1	1	5	3	3	1	1	3	1	-	2	-	1	22
6		-	-	2	1	4	4	2	1	4	1	1	1	-	1	22
7		-	1	1	3	3	5	1	2	3	2	-	1	-	-	22
8		1	-	1	2	1	5	1	2	3	1	1	2	-	2	22
9		1	1	1	2	2	5	2	3	2	-	1	1	-	1	22
10		-	1	1	3	2	2	4	1	1	-	2	1	1	3	22
11		-	1	1	3	2	2	1	4	1	1	3	1	2	-	22
12		-	-	2	2	3	-	4	1	2	-	-	3	2	3	22
รวม		2	8	16	30	30	40	33	20	29	7	10	16	8	15	264
เปอร์เซ็นต์		0.76	3.03	6.06	11.36	11.36	15.15	12.50	7.58	10.98	2.65	3.79	6.06	3.03	5.68	100.00
ลำดับที่		11	9	6	3	3	1	2	5	4	10	8	6	9	7	

ตารางที่ 22 (ต่อ)

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ delay time (T)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
1	1	-	-	3	5	1	2	1	1	4	4	-				22
2	1	2	4	2	2	-	2	2	1	3	3	-				22
3	1	3	2	5	2	-	3	1	-	-	5	-				22
4	-	4	2	1	2	-	3	2	-	3	5	-				22
5	-	7	2	-	1	-	3	2	-	3	4	-				22
6	2	3	-	3	1	-	3	2	1	1	6	-				22
7	1	5	-	4	-	-	4	1	-	1	6	-				22
8	3	4	1	1	-	-	2	1	2	1	7	-				22
9	1	2	1	2	3	-	3	1	2	1	6	-				22
10	4	2	3	-	-	-	4	1	1	1	6	-				22
11	4	1	1	-	1	1	3	2	1	2	6	-				22
12	3	-	1	-	6	-	2	1	-	4	5	-				22
รวม	21	33	17	21	23	2	34	17	9	24	63	-				264
เปอร์เซ็นต์	7.95	12.50	6.44	7.95	8.71	0.76	12.88	6.44	3.41	9.09	23.86	-				100.00
ลำดับที่	6	3	7	6	5	9	2	7	8	4	1	-				

ตารางที่ 23 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ τ เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนกรณี high flows ของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m)														รวม
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	P.1	-	1	-	2	3	1	1	-	-	-	-	-	1	3	12
2	P.4A	-	-	-	-	1	-	-	1	-	5	2	-	2	1	12
3	P.5	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	2	12
4	P.14	-	-	-	1	1	1	3	3	1	-	1	-	-	1	12
5	P.20	-	-	1	1	9	-	-	-	-	-	-	1	-	-	12
6	P.21	-	-	-	1	3	-	-	-	-	2	1	-	1	4	12
7	P.24A	-	-	1	2	3	1	1	-	-	-	-	-	1	3	12
8	P.42	-	-	-	-	3	7	2	-	-	-	-	-	-	-	12
9	P.56A	-	1	5	4	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	12
10	P.64	-	-	-	1	4	-	1	2	-	-	-	4	-	-	12
11	P.65	-	1	-	5	-	5	-	-	1	-	-	-	-	-	12
12	P.67	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	-	-	-	12
13	P.71	-	-	3	6	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	12
14	P.73	-	-	-	-	-	1	3	2	6	-	-	-	-	-	12
15	P.75	-	1	3	-	2	5	1	-	-	-	-	-	-	-	12
16	P.76	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	12
17	P.77	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	11	-	-	12
18	P.79	2	4	3	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	12
19	P.80	-	-	-	1	1	8	2	-	-	-	-	-	-	-	12
20	เขื่อนภูมิพล	-	-	-	-	-	2	-	-	8	-	2	-	-	-	12
21	เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	-	-	-	3	-	-	1	-	1	-	4	-	2	1	12
22	เขื่อนแม่งัดหลวงอุคมธารา	-	-	-	1	-	7	2	1	-	-	-	-	1	-	12
	รวม	2	8	16	30	30	40	33	20	29	7	10	16	8	15	264
	เปอร์เซ็นต์	0.76	3.03	6.06	11.36	11.36	15.15	12.50	7.58	10.98	2.65	3.79	6.06	3.03	5.68	100.00
	ลำดับที่	11	9	6	3	3	1	2	5	4	10	8	6	9	7	

ตารางที่ 23 (ต่อ)

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการตัดเลือกค่าพารามิเตอร์ delay time (T)												รวม
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	P.1	3	6	-	-	2	-	-	-	-	1	-	-	12
2	P.4A	1	-	3	-	-	-	-	-	-	1	7	-	12
3	P.5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	10	-	12
4	P.14	3	1	-	1	1	-	-	-	1	5	-	-	12
5	P.20	-	7	-	-	2	-	-	-	-	3	-	-	12
6	P.21	-	5	-	-	-	-	1	-	5	1	-	-	12
7	P.24A	-	-	3	1	6	1	1	-	-	-	-	-	12
8	P.42	1	-	-	-	-	-	9	-	-	-	2	-	12
9	P.56A	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	9	-	12
10	P.64	-	1	-	5	1	-	-	-	1	4	-	-	12
11	P.65	-	-	5	-	1	-	1	-	-	-	5	-	12
12	P.67	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	11	-	12
13	P.71	-	2	-	1	-	-	-	3	-	-	6	-	12
14	P.73	-	4	1	-	5	1	1	-	-	-	-	-	12
15	P.75	2	4	2	-	4	-	-	-	-	-	-	-	12
16	P.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	12
17	P.77	1	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	12
18	P.79	2	2	-	4	-	-	-	1	2	1	-	-	12
19	P.80	-	-	1	8	-	-	-	1	-	2	-	-	12
20	เขื่อนภูมิพล	-	-	-	-	-	-	-	9	-	2	1	-	12
21	เขื่อนแม่จันทน์	8	-	1	-	-	-	-	-	-	3	-	-	12
22	เขื่อนแม่กวางอุดมธารา	-	-	-	-	1	-	9	1	-	1	-	-	12
	รวม	21	33	17	21	23	2	34	17	9	24	63	0	264
	เปอร์เซ็นต์	7.95	12.50	6.44	7.95	8.71	0.76	12.88	6.44	3.41	9.09	23.86	0.00	100.00
	ลำดับที่	6	3	7	6	5	9	2	7	8	4	1		

2) การปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า

เพื่อแสดงให้เห็นประโยชน์ของกระบวนการ mix flows จึงได้แสดงผลการเปรียบเทียบในกรณีปกติที่ไม่มีการ mix flows และกรณีที่มีการ mix flows โดยการแสดงการเปรียบเทียบใน 2 ลักษณะ คือ (1) การปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ และ (2) การปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้ การปรับปรุงใน 2 ลักษณะ ดังกล่าว สรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1) การปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ผลการปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าของทุกสถานีและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังในตารางที่ 24 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร คือ r , EI และ Rel. RMSE รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ของค่าของตัวแปรทางสถิติที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ผ่านกระบวนการ mix flows ตลอดจนแสดงการจัดลำดับผลการประเมินตัวแปรทางสถิติของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์จากช่วงเวลาที่ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดจนถึงที่ด้อยที่สุด โดยการจัดลำดับตามค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรทางสถิติ และกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปร EI, 1-Rel. RMSE และ r เท่ากับ 0.4, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน จากตารางดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีก่อนการใช้กระบวนการ mix flows ดังสรุปในตารางที่ 24 แสดงให้เห็นว่า EI ที่ไม่ผ่านการ mix flows มีค่าระหว่าง 59.46% ถึง 63.20% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.60% ในกรณีที่ผ่านมากระบวนการ mix flows มีค่าระหว่าง 60.43% ถึง 65.35% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.03% ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.01% สำหรับ Rel. RMSE ที่ไม่ผ่านการ mix flows มีค่าระหว่าง 69.36% ถึง 73.00% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.02% ในกรณีที่ผ่านมากระบวนการ mix flows มีค่าระหว่าง 66.46% ถึง 71.83% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.70% ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ 3.22% และสำหรับ r ที่ไม่ผ่านการ mix flows มีค่าระหว่าง 0.79 ถึง 0.82 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ในกรณีที่ผ่านมากระบวนการ mix flows มีค่าระหว่าง 0.80 ถึง 0.83 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.52% ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการ mix flows มีประโยชน์อย่างมากต่อการเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการคาดการณ์ในทุกช่วงเวลาของการคาดการณ์

นอกจากนั้นแล้ว ในตารางที่ 24 แสดงให้เห็นว่า ค่าทางสถิติที่ดีที่สุดหลังกระบวนการ mix flows คือการคาดการณ์ล่วงหน้า 12 เดือน (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 65.35%, 66.46% และ 0.83 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดีขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ 4.73%, 4.18% และ 1.73% ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 9 เดือน (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 64.73%, 68.70% และ 0.82 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดีขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ 5.35%, 4.33% และ 1.97% ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 2 เดือน (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 63.98%, 68.60% และ 0.82 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดีขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ 7.00%, 5.48% และ 3.54% ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าสถิติที่ด้อยที่สุดคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 4 เดือน (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 60.43%, 71.83% และ 0.80 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดีขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ 1.62%, 0.89% และ 0.46% ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์ล่วงหน้า 6 เดือน (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 61.44%, 71.33% และ 0.80 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าดีขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ 2.74%, 2.30% และ 0.80% ตามลำดับ) โดยจะเห็นได้ว่าค่าทางสถิติมีทิศทางที่ดีขึ้นในทุกช่วงเวลาการคาดการณ์

ตารางที่ 24 ค่าของตัวแปรทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำในกรณีผ่านกระบวนการ mix flows

ลำดับ ที่	เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	EI (%)			Rel. RMSE (%)			r		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	12	65.35 (4.73)	88.47 (0.19)	46.50 (0.00)	66.46 (-4.18)	100.20 (0.00)	26.67 (-0.72)	0.83 (1.73)	0.94 (-0.23)	0.71 (0.00)
2	9	64.73 (5.35)	77.78 (-6.47)	46.56 (3.82)	68.70 (-4.33)	113.76 (0.00)	39.67 (-0.79)	0.82 (1.97)	0.90 (-1.98)	0.70 (0.00)
3	2	63.98 (7.00)	78.94 (6.19)	47.42 (3.00)	68.60 (-5.48)	101.33 (0.00)	44.86 (-5.14)	0.82 (3.54)	0.90 (3.12)	0.73 (4.33)
4	1	64.19 (1.56)	79.58 (0.50)	48.65 (0.00)	69.53 (-1.45)	103.98 (0.00)	42.65 (-3.36)	0.82 (0.37)	0.89 (-0.26)	0.74 (0.00)
5	10	63.45 (5.48)	77.03 (-4.67)	45.15 (0.00)	69.26 (-4.63)	112.90 (0.00)	40.69 (0.00)	0.81 (2.10)	0.89 (-1.91)	0.70 (0.00)
6	3	62.56 (5.01)	81.28 (4.89)	46.32 (4.29)	69.72 (-3.63)	99.22 (0.00)	42.90 (2.95)	0.81 (2.01)	0.90 (0.83)	0.73 (3.39)
7	8	63.17 (4.48)	79.60 (-2.62)	45.33 (5.19)	70.28 (-3.44)	112.72 (0.00)	36.18 (0.00)	0.81 (1.79)	0.91 (-0.16)	0.69 (0.00)
8	7	62.73 (3.75)	82.63 (2.64)	45.11 (0.00)	70.21 (-3.12)	109.33 (0.00)	36.25 (0.00)	0.81 (1.56)	0.91 (1.01)	0.69 (0.00)
9	11	62.34 (2.70)	75.63 (-4.19)	41.08 (0.00)	70.17 (-2.07)	111.76 (0.00)	39.15 (0.00)	0.80 (0.82)	0.89 (-0.25)	0.69 (0.00)
10	5	62.01 (3.73)	81.30 (8.57)	33.43 (-22.12)	70.35 (-3.14)	110.08 (0.00)	37.93 (0.00)	0.80 (1.12)	0.90 (3.94)	0.66 (0.00)
11	6	61.44 (2.74)	78.25 (0.00)	42.82 (0.00)	71.33 (-2.30)	109.58 (0.00)	36.12 (0.00)	0.80 (0.80)	0.89 (0.00)	0.67 (0.00)
12	4	60.43 (1.62)	81.29 (11.98)	44.49 (4.39)	71.83 (-0.89)	101.35 (0.00)	39.08 (-4.57)	0.80 (0.46)	0.90 (4.14)	0.73 (-1.84)
ค่าเฉลี่ย		63.03	80.15	44.41	69.70	107.18	38.51	0.81	0.90	0.70
เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย		(4.01)	(1.22)	(-0.07)	(-3.22)	(0.00)	(-1.08)	(1.52)	(0.65)	(0.49)

2.2) การปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ผลการปรับปรุงตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของทุกช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังในตารางที่ 25 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร คือ r, EI และ Rel. RMSE รวมทั้ง

เปอร์เซ็นต์ของค่าของตัวแปรทางสถิติที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ผ่านกระบวนการ mix flows ตลอดจนแสดงการจัดลำดับผลการประเมินตัวแปรทางสถิติของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำจากสถานีที่ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดจนถึงที่ด้อยที่สุด โดยการจัดลำดับตามค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรทางสถิติ และกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปร EI, 1-Rel. RMSE และ r เท่ากับ 0.4, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน จากตารางดังกล่าวเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีก่อนการใช้กระบวนการ mix flows ดังสรุปในตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่า EI ที่ไม่ผ่านการ mix flows มีค่าระหว่าง 46.52% ถึง 78.03% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60.60% ในกรณีที่ผ่านมากระบวนการ mix flows มีค่าระหว่าง 50.00% ถึง 76.38% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.03% ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.01% สำหรับ Rel. RMSE ที่ไม่ผ่านการ mix flows มีค่าระหว่าง 40.82% ถึง 105.87% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 72.02% ในกรณีที่ผ่านมากระบวนการ mix flows มีค่าระหว่าง 41.12% ถึง 104.84% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.70% ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ 3.22% และสำหรับ r ที่ไม่ผ่านการ mix flows มีค่าระหว่าง 0.72 ถึง 0.89 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ในกรณีที่ผ่านมากระบวนการ mix flows มีค่าระหว่าง 0.72 ถึง 0.88 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.52%

นอกจากนั้นแล้ว ในตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่า ค่าทางสถิติที่ดีที่สุดหลังกระบวนการ mix flows คือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.80 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 74.82%, 41.12% และ 0.88 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.65 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 76.38%, 48.28% และ 0.88 ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าสถิติที่ด้อยที่สุดคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.76 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 50.00%, 104.84% และ 0.72 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.5 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 56.64%, 97.37% และ 0.77 ตามลำดับ) ทั้งนี้ ผลการคาดการณ์สำหรับทั้ง 19 สถานี และ 3 อ่างเก็บน้ำ มีค่าแตกต่างกันพอสมควร กล่าวคือ EI มีค่าระหว่าง 50.00% ถึง 76.38% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.03% สำหรับ Rel. RMSE มีค่าระหว่าง 41.12% ถึง 104.84% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69.70% และค่า r มีค่าระหว่าง 0.72 ถึง 0.88 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 โดยจะเห็นได้ว่าค่าทางสถิติมีทิศทางที่ดีขึ้น

ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าในภาพรวมของกระบวนการ mix flows นั้น นับว่ามีประโยชน์ต่อการเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการคาดการณ์น้ำท่าในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตาม ผลการดำเนินการของกระบวนการ mix flows ที่สถานีวัดน้ำท่า P.56A, P.64 และ P.75 ไม่สามารถปรับปรุงความถูกต้องของผลการคาดการณ์น้ำท่าได้ ดังนั้น จึงไม่นำผลของกระบวนการ mix flows มาใช้ในการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าสำหรับสถานีดังกล่าว

ตารางที่ 25 ค่าของตัวแปรทางสถิติของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำในกรณีผ่านกระบวนการ mix flows

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	EI (%)			Rel. RMSE (%)			r		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	P.80	74.82 (0.73)	88.47 (0.19)	63.87 (0.00)	41.12 (0.73)	66.28 (0.00)	26.67 (-0.72)	0.88 (0.39)	0.94 (-0.23)	0.85 (3.33)
2	P.65	76.38 (7.32)	81.30 (9.51)	66.81 (0.90)	48.28 (-9.91)	56.75 (-4.20)	42.90 (-14.19)	0.88 (2.73)	0.90 (3.19)	0.83 (0.15)
3	P.56A	73.60 (-5.68)	82.63 (-0.64)	63.38 (-12.70)	49.76 (9.40)	59.39 (15.61)	41.95 (4.92)	0.88 (-1.58)	0.91 (-0.98)	0.85 (-2.10)
4	P.64	68.87 (-0.66)	73.95 (0.18)	61.75 (-8.05)	48.37 (0.72)	56.19 (7.61)	41.75 (-0.19)	0.85 (-0.69)	0.89 (2.11)	0.81 (-3.83)
5	เขื่อนแม่จัด สมบูรณ์ชล	72.68 (0.99)	79.20 (0.01)	68.44 (-2.37)	59.97 (-1.37)	63.34 (-0.91)	51.78 (-0.03)	0.86 (0.80)	0.90 (0.99)	0.84 (-0.72)
6	P.71	67.74 (11.62)	73.37 (12.94)	56.18 (1.33)	57.83 (-9.78)	69.76 (-0.83)	53.76 (-5.80)	0.83 (3.65)	0.86 (4.55)	0.77 (-0.72)
7	เขื่อนแม่กวง อุดมธารา	72.00 (10.38)	79.60 (11.41)	62.65 (0.35)	66.82 (-8.92)	77.52 (-0.08)	56.78 (-5.75)	0.86 (4.35)	0.91 (6.25)	0.80 (-1.62)
8	P.75	54.82 (-1.71)	71.56 (15.96)	33.43 (-24.74)	49.38 (1.06)	61.20 (13.13)	39.67 (-10.11)	0.80 (3.57)	0.90 (10.54)	0.67 (-4.42)
9	P.79	50.78 (9.15)	67.07 (17.71)	41.08 (0.00)	50.26 (-4.46)	55.74 (-2.22)	43.31 (-7.21)	0.77 (1.87)	0.87 (0.00)	0.70 (0.71)
10	P.73	71.32 (4.02)	76.11 (3.51)	66.72 (5.72)	75.31 (-4.44)	83.77 (-0.80)	67.64 (-4.38)	0.85 (1.47)	0.88 (0.00)	0.82 (2.28)
11	P.14	64.41 (3.99)	74.39 (14.25)	61.32 (0.62)	66.59 (-3.40)	69.44 (0.00)	56.66 (-14.27)	0.81 (1.38)	0.88 (8.09)	0.80 (0.19)
12	เขื่อนภูมิพล	65.63 (6.72)	70.90 (3.72)	63.61 (6.46)	70.69 (-5.52)	73.14 (-5.86)	64.54 (-4.82)	0.84 (0.10)	0.86 (0.04)	0.84 (2.77)
13	P.20	62.82 (16.07)	68.78 (9.41)	56.27 (11.48)	67.25 (-10.09)	72.08 (-6.03)	62.16 (-6.46)	0.81 (3.40)	0.84 (1.51)	0.78 (2.35)

ตารางที่ 25 (ต่อ)

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	EI (%)			Rel. RMSE (%)			r		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
14	P.21	58.96 (1.82)	68.65 (4.96)	56.14 (0.00)	66.97 (-1.31)	69.14 (0.00)	58.93 (-4.80)	0.77 (0.92)	0.83 (2.52)	0.75 (0.00)
15	P.1	56.35 (0.42)	66.27 (0.00)	48.70 (-9.15)	69.99 (-0.31)	75.99 (5.41)	62.27 (0.00)	0.76 (0.55)	0.82 (0.00)	0.71 (-2.84)
16	P.24A	58.21 (7.75)	63.61 (15.22)	53.50 (0.24)	80.98 (-4.71)	85.84 (0.00)	76.49 (-9.31)	0.78 (1.81)	0.80 (1.98)	0.75 (0.00)
17	P.4A	61.92 (5.57)	73.64 (7.82)	52.32 (0.00)	91.69 (-4.38)	101.35 (0.00)	77.33 (-8.45)	0.80 (2.64)	0.87 (3.16)	0.75 (0.00)
18	P.77	59.55 (0.00)	64.94 (0.00)	53.39 (0.00)	93.29 (0.00)	99.32 (0.00)	89.23 (0.00)	0.80 (0.00)	0.83 (0.00)	0.76 (0.00)
19	P.67	57.39 (6.69)	64.65 (8.49)	53.44 (4.03)	90.07 (-4.02)	93.81 (-2.15)	83.88 (-2.24)	0.78 (3.37)	0.82 (0.00)	0.76 (3.15)
20	P.42	51.80 (3.51)	56.40 (0.58)	46.50 (0.00)	86.65 (-1.79)	90.79 (-1.01)	82.81 (-2.21)	0.75 (1.62)	0.78 (2.23)	0.72 (0.00)
21	P.5	56.64 (3.18)	61.34 (1.19)	53.36 (0.00)	97.37 (-1.99)	102.32 (0.00)	90.64 (-1.17)	0.77 (1.24)	0.80 (0.00)	0.75 (2.21)
22	P.76	50.00 (1.71)	67.75 (10.27)	42.82 (0.00)	104.84 (-0.98)	113.76 (0.00)	84.76 (-6.47)	0.72 (0.52)	0.84 (2.77)	0.66 (0.00)
ค่าเฉลี่ย		63.03	71.57	55.71	69.70	77.13	61.63	0.81	0.86	0.77
เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย		4.01	6.28	-1.19	-3.22	0.31	-4.83	1.52	2.17	0.04

2. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน

การประยุกต์ใช้วิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในลุ่มน้ำปิง จำนวน 19 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า P.1, P.4A, P.5, P.14, P.20, P.21, P.24A, P.42, P.56A, P.64, P.65, P.67, P.71, P.73, P.75, P.76, P.77, P.79 และ P.80 รวมทั้งการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน กับข้อมูลปริมาณการไหลเข้าเขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่กวงอุดมธารา เช่นเดียวกับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน

ตามที่ได้อธิบายไว้ใน เรื่อง “การประยุกต์ใช้วิธีการ PSR เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า” ในหน้าที่ 77 ว่า อนุกรมน้ำท่าแบบรายวันมีปริมาณมากกว่าอนุกรมน้ำท่าแบบรายเดือนมาก ดังนั้น ในกระบวนการหาค่าชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด จึงไม่สามารถกำหนดค่าของพารามิเตอร์ embedding dimensions (m), delay time (T) และ K-nearest (k) ให้มีค่าอยู่ในช่วงที่กว้างและให้พบกันหมดเหมือนกับที่กำหนดในกรณีการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า เนื่องจากข้อจำกัดในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้น จึงใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) โดยใช้โปรแกรม MOSCEM (Vrugt et al., 2003) ในการเลือกค่าชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุดสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดนั้น กำหนดให้ดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency Index; EI) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ทั้งนี้ ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าของสถานีวัดน้ำท่า 19 สถานี และอ่างเก็บน้ำ 3 อ่าง ได้ถูกแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้าของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ (2) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ และ (3) ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องมากที่สุด สำหรับรายละเอียดในแต่ละส่วนแสดงดังต่อไปนี้

2.1 ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้าของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้าของทุกสถานีและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังในตารางที่ 26 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ของตัวแปรทางสถิติ 3 ตัวแปร คือ r, EI และ Rel. RMSE โดยผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้าจาก 1 ถึง 7 วัน ของทั้งสถานีวัดน้ำท่า 19 สถานี และอ่างเก็บน้ำ 3 อ่างเก็บน้ำ พบว่า ในภาพรวมแล้ว ทุกสถานีวัดน้ำท่าและทุกอ่างเก็บน้ำจะให้ความถูกต้องที่ดีกว่าสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้าสำหรับช่วงเวลาสั้น ๆ และความถูกต้องจะลดลงเมื่อช่วงเวลาของการคาดการณ์ยาวนานขึ้น ทั้งนี้ ความถูกต้องสำหรับการคาดการณ์ในช่วงเวลา 4, 5 และ 6 วัน อาจมีความถูกต้องเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาการคาดการณ์ที่ยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในภาพรวมของทั้ง 19 สถานี และ 3 อ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 26 แล้วพบว่า ค่าความถูกต้องของ

การคาดการณ์ล่วงหน้ามีค่าสูงสุดสำหรับการคาดการณ์ 1 วัน และความถูกต้องจะลดลงเมื่อช่วงเวลาของการคาดการณ์เพิ่มขึ้นจนถึงค่าต่ำสุดสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 7 วัน โดยค่า EI เฉลี่ย มีค่าลดลงจาก 67.62%, 50.23%, 42.12%, 37.51%, 35.35%, 33.85% และ 32.04% สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ตามลำดับ สำหรับค่า r เฉลี่ย มีค่าลดลงจาก 0.82, 0.71, 0.65, 0.61, 0.60, 0.59 และ 0.57 สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ตามลำดับ และ ค่า Rel. RMSE เฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 92.59%, 116.02%, 125.45%, 130.43%, 132.77%, 134.26% และ 136.12% สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้ผลที่ได้มีความสมเหตุสมผลเนื่องจากการคาดการณ์น้ำท่ารายวันในช่วงเวลาสั้น ๆ ย่อมมีความถูกต้องมากกว่า และเมื่อช่วงเวลาของการคาดการณ์เพิ่มขึ้น ความถูกต้องย่อมลดน้อยลงไป เนื่องจากปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาใกล้ ๆ กัน ย่อมมีความสัมพันธ์กันมากกว่าเมื่อช่วงเวลาเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อช่วงเวลาเพิ่มมากขึ้น ตัวแปรสำคัญที่ทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงไปคือความลึกฝนซึ่งยากต่อการคาดคะเนในลักษณะรายวัน ทำให้ผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันมีความถูกต้องน้อยกว่าการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนที่สามารถคาดการณ์ความลึกฝนได้ง่ายกว่า เนื่องจากความลึกฝนรายเดือนจะมีความเปลี่ยนแปลงในเดือนเดียวกันของแต่ละปีไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับเปลี่ยนแปลงของความลึกฝนรายวันในเดือนเดียวกันของแต่ละปี จึงเป็นผลให้การคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนสามารถทำได้ถูกต้องมากกว่าการคาดการณ์น้ำท่ารายวันเป็นอย่างมาก ดังนั้น ความถูกต้องของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนจึงไม่มีแนวโน้มลดลงเมื่อช่วงเวลาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความถูกต้องของการคาดการณ์น้ำท่ารายวันมีแนวโน้มลดลงเมื่อช่วงเวลาเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 26 ค่าของตัวแปรทางสถิติในแต่ละช่วงเวลาของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ลำดับ ที่	เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (วัน)	EI (%)			Rel. RMSE (%)			r		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	1	67.6	90.1	31.8	92.6	215.3	35.2	0.82	0.95	0.57
2	2	50.2	76.6	24.2	116.0	226.9	50.2	0.71	0.88	0.49
3	3	42.1	67.3	20.5	125.5	232.2	56.5	0.65	0.83	0.46
4	4	37.5	60.8	15.1	130.4	240.0	60.8	0.61	0.78	0.39
5	5	35.4	55.9	11.2	132.8	245.4	62.5	0.60	0.76	0.35
6	6	33.8	56.1	8.7	134.3	248.7	63.6	0.59	0.76	0.33
7	7	32.0	52.2	7.1	136.1	250.8	65.4	0.57	0.74	0.31
ค่าเฉลี่ย		42.7	65.6	16.9	124.0	237.0	56.3	0.65	0.81	0.41

2.2 ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของทุกช่วงเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังในตารางที่ 27 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดง ค่าเฉลี่ยค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร คือ r , EI และ Rel. RMSE ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ นอกจากนั้นแล้ว ในตารางดังกล่าวได้จัดลำดับผลการประเมินตัวแปรทางสถิติของแต่ละสถานีจากสถานีที่ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดจนถึงที่ด้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวแปรทางสถิติมีจำนวน 3 ตัวแปร และการเพิ่มขึ้นและลดลงของตัวแปรทางสถิติทั้ง 3 ตัวแปร เป็นอิสระในแต่ละสถานี ดังนั้นจึงมีความไม่สอดคล้องกันบ้าง ด้วยเหตุผลดังกล่าว การจัดลำดับจึงคิดตามค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปรทางสถิติ และกำหนดให้ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปร EI, 1-Rel. RMSE และ r เท่ากับ 0.4, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ ทั้งนี้ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในภาพรวมของผลการคาดการณ์ จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่าทางสถิติที่ดีที่สุดคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.75 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 59.29%, 56.32% และ 0.77 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.1 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 60.94%, 83.76% และ 0.79 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.73 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 65.56%, 93.35% และ 0.81 ตามลำดับ) ในขณะที่ค่าสถิติที่ด้อยที่สุดคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.42 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 16.94%, 237.04% และ 0.41 ตามลำดับ) รองลงมาคือการคาดการณ์สำหรับสถานีวัดน้ำท่า P.76 (ค่าเฉลี่ยของ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 30.38%, 208.66% และ 0.55 ตามลำดับ) ทั้งนี้ ผลการคาดการณ์สำหรับทั้ง 19 สถานี และ 3 อ่างเก็บน้ำ มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก กล่าวคือ EI มีค่าระหว่าง 16.94% ถึง 65.56% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.72% สำหรับ Rel. RMSE มีค่าระหว่าง 56.32% ถึง 237.04% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 123.90% และค่า r มีค่าระหว่าง 0.41 ถึง 0.81 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการคาดการณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำให้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละสถานี และบางสถานีมีผลการคาดการณ์ที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัด อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกสถานีพบว่า ผลการคาดการณ์มีความถูกต้องสูงสุด 4 ลำดับแรก คือ ที่สถานีวัดน้ำท่า P.75, P.1, P.73 และ P.67 โดยสถานีวัดน้ำท่าเหล่านี้ตั้งอยู่ในแม่น้ำปิงสายหลักทั้งสิ้น ดังนั้น ปริมาณน้ำท่าอาจมีความแน่นอนมากกว่าปริมาณน้ำท่าในลำน้ำสาขาย่อย กล่าวคือ ปริมาณน้ำท่าในลำน้ำสาขาย่อยจะขึ้นกับความลึกฝนของลำน้ำสาขาย่อยเท่านั้น

ในขณะที่ในลำน้ำสายหลักนั้น ปริมาณน้ำท่าขึ้นกับหลายลำน้ำสาขา ดังนั้น ปริมาณน้ำท่าอาจมีความมั่นคงแน่นอนมากกว่า จึงเป็นผลให้การคาดการณ์น้ำท่ารายวันมีความถูกต้องที่สูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีของอ่างเก็บน้ำก็พบว่า ผลการคาดการณ์สำหรับเขื่อนภูมิพลซึ่งตั้งอยู่ในแม่น้ำปิงสายหลักและมีพื้นที่รับน้ำมากกว่าเขื่อนแม่กวงอุดมธาราและเขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชลก็ให้การคาดการณ์น้ำท่ารายวันที่มีความถูกต้องมากกว่าเช่นกัน

ตารางที่ 27 ค่าของตัวแปรทางสถิติของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ลำดับที่	สถานีวัดน้ำท่า	EI (%)			Rel. RMSE (%)			r		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
1	P.75	59.3	84.5	46.8	56.3	65.4	35.2	0.77	0.92	0.69
2	P.1	60.9	87.3	48.5	83.8	98.0	48.6	0.79	0.94	0.70
3	P.73	65.6	90.1	52.2	93.3	112.6	51.3	0.81	0.95	0.73
4	P.67	60.7	85.1	49.8	97.9	112.4	61.1	0.79	0.92	0.74
5	เขื่อนภูมิพล	59.8	85.4	45.2	96.4	114.4	59.1	0.77	0.93	0.68
6	P.65	48.8	71.2	37.9	92.3	101.7	70.5	0.70	0.84	0.62
7	เขื่อนแม่กวงอุดมธารา	42.9	61.6	35.3	94.8	101.2	78.0	0.65	0.79	0.60
8	P.21	42.8	70.0	34.2	98.9	106.7	72.2	0.65	0.84	0.60
9	P.79	34.2	52.7	27.1	95.4	100.5	81.3	0.59	0.73	0.53
10	เขื่อนแม่จัดสมบูรณ์ชล	46.6	65.8	39.8	113.9	121.5	91.5	0.69	0.82	0.65
11	P.14	45.5	69.4	32.5	113.8	127.4	85.9	0.68	0.85	0.59
12	P.20	45.0	69.3	34.2	114.1	125.6	85.8	0.67	0.83	0.59
13	P.5	48.8	88.1	29.4	123.6	149.7	61.2	0.70	0.94	0.56
14	P.56A	35.6	64.7	27.5	113.9	121.6	84.7	0.60	0.81	0.53
15	P.4A	45.9	76.2	32.7	135.0	152.3	90.6	0.67	0.87	0.57
16	P.80	35.2	51.9	26.7	121.0	128.8	104.6	0.60	0.74	0.53
17	P.71	31.1	64.0	21.1	130.6	140.6	95.1	0.56	0.80	0.48
18	P.64	31.0	52.6	23.5	161.0	169.9	133.9	0.58	0.75	0.50
19	P.24A	30.1	56.8	20.2	162.7	174.6	128.6	0.54	0.76	0.45
20	P.77	22.7	42.6	14.1	181.4	191.3	156.8	0.50	0.67	0.43
21	P.76	30.4	66.6	18.1	208.7	228.2	145.8	0.55	0.82	0.45
22	P.42	16.9	31.8	7.1	237.0	250.8	215.3	0.41	0.57	0.31
ค่าเฉลี่ย		42.7	67.6	32.0	123.9	136.2	92.6	0.65	0.82	0.57

2.3 ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องมากที่สุด

ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันโดยวิธี PSR นั้น ได้กำหนดให้พารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์มีค่าอยู่ในช่วงดังนี้ (1) พารามิเตอร์ embedding dimensions (m) มีค่าระหว่าง 2 ถึง 15 (2) พารามิเตอร์ delay time (τ) มีค่าระหว่าง 1 ถึง 12 และ (3) พารามิเตอร์ K-nearest (k) มีค่าระหว่าง 1 ถึง 15 เช่นเดียวกับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน แต่เนื่องจากอนุกรมน้ำท่าแบบรายวันมีปริมาณมากกว่าอนุกรมน้ำท่าแบบรายเดือนมาก ดังนั้น ในกระบวนการหาค่าชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุดจึงใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) โดยใช้โปรแกรม MOSCEM ในการเลือกค่าชุดพารามิเตอร์ แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ จึงได้ทำการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม MOSCEM โดยโปรแกรม MOSCEM จะทำการสร้างชุดพารามิเตอร์จำนวน 54 ชุด จำนวน 2 รอบ โดยในรอบแรกจะเป็นการสุ่มชุดพารามิเตอร์ทั้ง 54 ชุด จากนั้นโปรแกรมจะหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งในที่นี้คือค่า EI เพื่อนำมาสร้างโอกาสให้ค่า EI ที่มีค่ามากจะมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับการคัดเลือกในรอบต่อไปมากกว่าค่า EI ที่มีค่าน้อย จากนั้นชุดพารามิเตอร์ที่มีค่า EI สูง ๆ จะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างชุดพารามิเตอร์อีกจำนวน 54 ชุด ในรอบที่ 2 เพื่อนำไปสู่การหาค่าตอบ ทั้งนี้ ได้แสดงความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m, τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายวันในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำดังในตารางที่ 28 และได้แสดงความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m, τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำดังในตารางที่ 29

ตารางที่ 28 และ ตารางที่ 29 แสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ embedding dimension (m) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ m เท่ากับ 3, 4 และ 5 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 46.75%, 14.29% และ 12.34% ตามลำดับ ซึ่งรวมเป็น 73.38% ในขณะที่พารามิเตอร์ m เท่ากับ 2 และ 15 ไม่ได้รับการคัดเลือกในทุกช่วงเวลาและทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้ พารามิเตอร์ m ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุดลำดับแรก คือ m เท่ากับ 14 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 0.65% รองลงมาคือ m เท่ากับ 11 และ 12 ซึ่งมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากันคือ 1.30 % และรองลงมาคือ m เท่ากับ 13 ซึ่งมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 1.95% นอกจากนั้นแล้ว ในตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเลือกพารามิเตอร์ embedding dimension (m) ซึ่งมีค่าระหว่าง 3 ถึง 14 นั้น มีการกระจายตัวของการคัดเลือกไม่มากทั้งในแต่ละช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้า และในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ กล่าวคือ มีแนวโน้มในการเลือกพารามิเตอร์ m ที่ซ้ำกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้า

ระหว่าง 1 ถึง 7 วัน อาทิเช่น ที่สถานี P.4A, P.20, P.73 และเขื่อนภูมิพล มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 3 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าทั้ง 7 วัน ที่สถานี P.76 และ P.80 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 3 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 5 วัน ที่สถานี P.5, P.14, P.21, P.24A และ P.71 มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 3 และ สถานี P.64 และเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล มีการเลือกพารามิเตอร์ m เท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 4 วัน ซึ่งจากสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวมาข้างต้นมีการเลือกพารามิเตอร์ m ตัวเดียวกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าจำนวน 4 ถึง 7 วัน รวมได้เป็น 66 กรณี จาก 154 กรณี (22 สถานี * 7 วัน) ซึ่งคิดเป็น 42.86% ของทั้งหมด

ทั้งนี้ ในภาพรวมสามารถสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ m ที่มีค่ามากขึ้นจะได้รับการคัดเลือกน้อยลง โดย m ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ m เท่ากับ 3, 4 และ 5 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกรวมกันถึง 73.38% และ m เท่ากับ 6 ถึง 10 มีความถี่ของการคัดเลือกรวมกัน 21.43% ในขณะที่ m เท่ากับ 11 ถึง 14 มีความถี่ของการคัดเลือกเพียง 5.19% และพารามิเตอร์ m เท่ากับ 2 และ 15 ไม่ได้รับการคัดเลือก

พารามิเตอร์ delay time (T) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ลำดับแรก T เท่ากับ 2 ลำดับที่สอง T เท่ากับ 5 และ 6 และลำดับที่สาม T เท่ากับ 3 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 31.82%, 12.99% และ 11.69% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ T ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ลำดับแรก T เท่ากับ 12 ลำดับที่สอง T เท่ากับ 7 และ 9 และลำดับที่สาม T เท่ากับ 10 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 1.95%, 2.60% และ 3.25% ตามลำดับ ทั้งนี้ T เท่ากับ 1 ไม่ได้รับการคัดเลือกในทุกช่วงเวลาและทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การเลือกพารามิเตอร์ delay time (T) ซึ่งมีค่าระหว่าง 2 ถึง 12 นั้น มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้า ในขณะที่การเลือกพารามิเตอร์ delay time (T) มีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า โดยในตารางที่ 30 แสดงให้เห็นว่า สถานีวัดน้ำท่ามีแนวโน้มในการเลือกพารามิเตอร์ T ที่ซ้ำกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าระหว่าง 1 ถึง 7 วัน อาทิเช่น ที่สถานี P.5 และ เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 2 และ 5 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 6 วัน ที่สถานี P.65 และ P.75 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 2 สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 5 วัน ที่สถานี P.24A, P.64, P.67 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 2 สถานี P.73, P.79 และ P.80 มีการเลือกพารามิเตอร์ T เท่ากับ 5, 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าถึง 4 วัน ซึ่งจากสถานีวัดน้ำท่าที่กล่าวมาข้างต้นมีการเลือกพารามิเตอร์

τ ตัวเดียวกันสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้าจำนวน 4 ถึง 7 วัน รวมได้เป็น 46 กรณี จาก 154 กรณี (22 สถานี * 7 วัน) ซึ่งคิดเป็น 29.87% ของทั้งหมด

ทั้งนี้ ในภาพรวมสามารถสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ τ ที่มีค่าระหว่าง 2 ถึง 6 ได้รับการคัดเลือกรวมกันถึง 79.22% โดย τ เท่ากับ 2 ได้รับการคัดเลือกสูงสุดคือ 31.82% ซึ่ง τ เท่ากับ 3 ถึง 6 ได้รับการคัดเลือกไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่ τ เท่ากับ 7 ถึง 12 ได้รับการคัดเลือกรวมกันเพียง 20.78%

พารามิเตอร์ K-nearest (k) ที่ได้รับการคัดเลือกมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ลำดับแรก k เท่ากับ 14 และ 15 ลำดับที่สอง k เท่ากับ 12 และลำดับที่สาม k เท่ากับ 10 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 16.88%, 13.64% และ 10.39% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ k ที่ได้รับการคัดเลือกน้อยที่สุด 3 ลำดับแรก คือ ลำดับแรก k เท่ากับ 2 และ 4 ลำดับที่สอง k เท่ากับ 5 และ 6 และลำดับที่สาม k เท่ากับ 7 และ 8 โดยมีความถี่ของการคัดเลือกเท่ากับ 1.30, 3.25% และ 5.19% ตามลำดับ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ K-nearest (k) ที่มีค่ามาก ๆ มีแนวโน้มได้รับการคัดเลือกมากกว่า โดยพารามิเตอร์ k ที่มีค่าระหว่าง 10 ถึง 15 ได้รับการคัดเลือกรวมกันถึง 74.03% โดย k เท่ากับ 14 และ 15 ได้รับการคัดเลือกสูงสุดเท่ากันคือ 16.88% ในขณะที่ k เท่ากับ 2 และ 4 ถึง 9 ได้รับการคัดเลือกเพียง 25.97%

จากภาพรวมของการเลือกพารามิเตอร์ m , τ และ k แสดงให้เห็นว่า ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันมีแนวโน้มของการเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ τ ที่มีค่าน้อย ๆ เนื่องจากปริมาณน้ำท่ารายวันมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันสำหรับวันที่ต่อเนื่องกัน ในขณะที่ค่า k ที่มีค่ามาก ๆ ได้รับการคัดเลือกแสดงว่า เมื่อปริมาณน้ำท่ารายวันที่อยู่ใกล้ ๆ กันที่ได้รับการคัดเลือกจากการเลือกพารามิเตอร์ m และ τ แล้ว เมื่อนำปริมาณน้ำท่าของวันที่ได้รับการคัดเลือกเหล่านั้นหลาย ๆ ค่า (ค่า k สูง ๆ) มาหาค่าเฉลี่ยจะให้ผลของการคาดการณ์ที่มีความถูกต้องมากกว่าการใช้ปริมาณน้ำท่าที่น้อย ๆ วัน (ค่า k ต่ำ ๆ) มาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 28 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , T และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายวันในแต่ละช่วงเวลาของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (วัน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m)															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	-	17	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
2	-	14	6	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	22
3	-	11	2	3	2	1	2	-	-	-	-	1	-	-	-	22
4	-	8	3	4	-	-	2	2	1	1	-	1	-	-	-	22
5	-	8	1	6	1	1	1	-	2	-	1	1	-	-	-	22
6	-	8	2	3	1	2	1	3	1	1	-	-	-	-	-	22
7	-	6	4	2	2	2	2	1	1	-	1	-	1	-	-	22
รวม	-	72	22	19	6	7	8	7	5	2	2	3	1	-	-	154
เปอร์เซ็นต์ ลำดับที่	-	46.75	14.29	12.34	3.90	4.55	5.19	4.55	3.25	1.30	1.30	1.95	0.65	-	-	100.00
-	-	1	2	3	6	5	4	5	7	9	9	8	10	-	-	-
เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (วัน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ delay time (T)															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	-	3	2	2	1	5	2	2	2	1	1	1	-	-	-	22
2	-	5	3	2	2	2	2	2	-	-	4	-	-	-	-	22
3	-	12	1	2	-	3	-	1	1	-	1	1	-	-	-	22
4	-	8	5	1	3	1	-	-	1	1	1	1	-	-	-	22
5	-	9	-	5	3	2	-	-	-	1	2	-	-	-	-	22
6	-	7	2	1	7	3	-	1	-	1	-	-	-	-	-	22
7	-	5	5	2	4	4	-	1	-	1	-	-	-	-	-	22
รวม	-	49	18	15	20	20	4	7	4	5	9	3	-	-	-	154
เปอร์เซ็นต์ ลำดับที่	-	31.82	11.69	9.74	12.99	12.99	2.60	4.55	2.60	3.25	5.84	1.95	-	-	-	100.00
-	-	1	3	4	2	2	8	6	8	7	5	9	-	-	-	-
เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (วัน)	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ K-nearest (k)															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	-	2	-	-	1	-	1	2	1	1	2	5	2	2	3	22
2	-	-	-	-	-	-	2	-	1	4	2	2	3	3	5	22
3	-	-	-	1	-	-	1	-	2	1	4	6	2	3	2	22
4	-	-	-	-	1	1	2	-	1	3	1	4	1	5	3	22
5	-	-	-	-	1	1	1	3	2	3	1	1	-	4	5	22
6	-	-	-	-	-	2	-	2	1	1	2	2	2	6	4	22
7	-	-	-	1	2	1	1	1	2	3	1	1	2	3	4	22
รวม	-	2	-	2	5	5	8	8	10	16	13	21	12	26	26	154
เปอร์เซ็นต์ ลำดับที่	-	1.30	-	1.30	3.25	3.25	5.19	5.19	6.49	10.39	8.44	13.64	7.79	16.88	16.88	100.00
-	-	9	-	9	8	8	7	7	6	3	4	2	5	1	1	-

ตารางที่ 29 ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ m , τ และ k เพื่อการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของ
ทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	P.1	-	3	1	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	7
2	P.4A	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
3	P.5	-	4	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	7
4	P.14	-	4	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
5	P.20	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
6	P.21	-	4	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	7
7	P.24A	-	4	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
8	P.42	-	3	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	7
9	P.56A	-	1	3	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	7
10	P.64	-	1	4	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	7
11	P.65	-	1	1	1	-	1	3	-	-	-	-	-	-	-	7
12	P.67	-	2	2	1	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	7
13	P.71	-	4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
14	P.73	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
15	P.75	-	2	-	2	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	7
16	P.76	-	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
17	P.77	-	-	3	-	-	-	-	1	-	1	2	-	-	-	7
18	P.79	-	-	1	-	-	3	-	1	-	-	-	2	-	-	7
19	P.80	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
20	เขื่อนภูมิพล	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
21	เขื่อนแม่จันทน์ชล	-	1	1	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
22	เขื่อนแม่กวางอุดมธารา	-	-	-	1	3	1	1	1	-	-	-	-	-	-	7
	รวม	-	72	22	19	6	7	8	7	5	2	2	3	1	-	154
	เปอร์เซ็นต์	-	46.75	14.29	12.34	3.90	4.55	5.19	4.55	3.25	1.30	1.30	1.95	0.65	-	100.00
	ลำดับที่	-	1	2	3	6	5	4	5	7	9	9	8	10	-	

ตารางที่ 29 (ต่อ)

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ delay time (τ)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	รวม
1	P.1	-	3	-	-	-	1	-	2	1	-	-	-	-	-	-	7
2	P.4A	-	-	3	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
3	P.5	-	6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
4	P.14	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	2	3	-	-	-	7
5	P.20	-	3	-	-	1	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	7
6	P.21	-	3	1	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	7
7	P.24A	-	4	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
8	P.42	-	-	-	-	-	1	-	2	-	2	2	-	-	-	-	7
9	P.56A	-	2	1	-	3	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	7
10	P.64	-	4	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
11	P.65	-	5	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	7
12	P.67	-	4	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-	-	-	-	7
13	P.71	-	1	2	1	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	7
14	P.73	-	1	-	1	4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	7
15	P.75	-	5	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	7
16	P.76	-	2	1	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
17	P.77	-	2	2	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	7
18	P.79	-	3	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
19	P.80	-	-	-	4	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
20	เขื่อนภูมิพล	-	-	-	-	1	3	-	-	-	1	2	-	-	-	-	7
21	เขื่อนแม่จันทน์ชล	-	-	1	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
22	เขื่อนแม่กวางอุดมธารา	-	1	1	2	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	7
	รวม	-	49	18	15	20	20	4	7	4	5	9	3	-	-	-	154
	เปอร์เซ็นต์	-	31.82	11.69	9.74	12.99	12.99	2.60	4.55	2.60	3.25	5.84	1.95	-	-	-	100.00
	ลำดับที่	-	1	3	4	2	2	8	6	8	7	5	9	-	-	-	

ตารางที่ 29 (ต่อ)

ลำดับ ที่	สถานีวัดน้ำท่า	ความถี่ของการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ K-nearest (k)															รวม
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	P.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	2	-	7	
2	P.4A	-	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	4	-	7	
3	P.5	-	-	-	-	1	-	1	-	2	2	-	-	1	-	7	
4	P.14	-	-	-	1	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	7	
5	P.20	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	1	1	1	7	
6	P.21	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	2	2	7	
7	P.24A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3	1	7	
8	P.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	1	3	7	
9	P.56A	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	1	3	7	
10	P.64	-	1	-	-	-	1	-	1	1	2	-	-	1	-	7	
11	P.65	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	4	7	
12	P.67	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	2	-	-	7	
13	P.71	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	1	1	7	
14	P.73	-	-	-	-	1	1	1	1	1	-	1	1	-	-	7	
15	P.75	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	5	7
16	P.76	-	1	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	1	2	-	7
17	P.77	-	-	-	-	-	-	1	-	1	2	-	1	-	1	1	7
18	P.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	2	-	7
19	P.80	-	-	-	-	1	1	1	-	1	-	2	1	-	-	-	7
20	เขื่อนภูมิพล	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	1	1	-	2	-	7
21	เขื่อนแม่จันทน์ชล	-	-	-	-	-	-	1	1	2	-	-	1	1	1	-	7
22	เขื่อนแม่กวางอุดมธารา	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	1	3	7
	รวม	-	2	-	2	5	5	8	8	10	16	13	21	12	26	26	154
	เปอร์เซ็นต์	-	1.30	-	1.30	3.25	3.25	5.19	5.19	6.49	10.39	8.44	13.64	7.79	16.88	16.88	100.00
	ลำดับที่	-	9	-	9	8	8	7	7	6	3	4	2	5	1	1	

3. การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองของวิธีการ PSR มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองที่จะมีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า ทั้งนี้ ในการดำเนินการเริ่มด้วยการเลือกสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้วิเคราะห์ความไว 1 สถานี จากนั้นทำการคัดเลือกพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีความถูกต้องสูงสุด ต่อจากนั้นจึงทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย embedding dimensions (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) เพื่อดูอิทธิพลของแต่ละพารามิเตอร์ที่มีต่อผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า โดยในการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์เหล่านั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าครั้งละ 1 พารามิเตอร์ ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นไม่เปลี่ยนแปลง เพื่อแสดงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์นั้น ๆ ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า

ในการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองของวิธีการ PSR นั้น ได้เลือกสถานีวัดน้ำท่า P.20 ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,345 ตารางกิโลเมตร และมีสถิติข้อมูลจำนวน 397 เดือน โดยพิจารณาเลือกกรณีการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 1 เดือน ซึ่งผลจากการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุดสำหรับพารามิเตอร์ embedding dimensions (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) พบว่า มีค่าเท่ากับ 6, 5 และ 2 ตามลำดับ โดยให้ค่าตัวแปรทางสถิติ EI, Rel. RMSE และ r เท่ากับ 62.87%, 66.45% และ 0.83 ตามลำดับ และมีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 4,150.03 ล้านลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ทีละพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ (1) embedding dimensions (m) จาก 2 ถึง 15 (2) delay time (τ) จาก 1 ถึง 12 และ (3) K-nearest (k) จาก 1 ถึง 15 โดยผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์แสดงดังในตารางที่ 30 รวมทั้ง ภาพที่ 21 ถึง ภาพที่ 23 โดยในตารางและรูปดังกล่าวได้แสดงปริมาตรกราฟน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการใช้ค่า m , τ และ k เท่ากับ 6, 5 และ 2 ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์และพารามิเตอร์สรุปได้ดังนี้

3.1) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ embedding dimensions (m) ที่มีต่อปริมาณน้ำท่า

จากตารางที่ 30 และ ภาพที่ 21 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m) จากเดิมซึ่งมีค่าเท่ากับ 6 ให้มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 7 ถึง 15 เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลงระหว่าง 1.62% สำหรับ m เท่ากับ 12 จนถึงลดลงเท่ากับ 11.26% สำหรับ m เท่ากับ 15 โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า m ที่เพิ่มขึ้น และในทำนองกลับกัน เมื่อ m มีค่าลดลงระหว่าง 5 ถึง 2 เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 0.942% สำหรับ m เท่ากับ 5 จนถึงเพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.36% สำหรับ m เท่ากับ 3 โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า m ที่ลดลงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อค่าของพารามิเตอร์ embedding dimensions (m) เพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนของข้อมูลน้ำท่าที่จะถูกใช้ในการคาดการณ์น้ำท่ามีจำนวนมากขึ้น ซึ่งเมื่อจำนวนของข้อมูลน้ำท่าที่ถูกใช้ในการคาดการณ์มีมากขึ้น จะส่งผลชัดเจนสำหรับการคาดการณ์น้ำท่าที่มีปริมาณสูง ๆ โดยจะทำให้การคาดการณ์น้ำท่าที่มีปริมาณสูง ๆ มีค่าลดลง ดังนั้น เมื่อข้อมูลน้ำท่าที่มีค่ามาก ๆ จะมีอิทธิพลมากต่อปริมาณน้ำท่าในภาพรวม จึงเป็นผลดังได้สรุปผลดังกล่าวข้างต้น

3.2) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ delay time (τ) ที่มีต่อปริมาณน้ำท่า

จากตารางที่ 30 และ ภาพที่ 22 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ delay time (τ) จากเดิมซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 ให้มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 6 ถึง 12 เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลงระหว่าง 0.83% สำหรับ τ เท่ากับ 10 จนถึงลดลงเท่ากับ 6.54% สำหรับ τ เท่ากับ 9 โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า τ ที่เพิ่มขึ้น และในทำนองกลับกัน เมื่อ τ มีค่าลดลงระหว่าง 2 ถึง 4 เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 3.92% สำหรับ τ เท่ากับ 4 จนถึงเพิ่มขึ้นเท่ากับ 7.92% สำหรับ τ เท่ากับ 3 โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า τ ที่ลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ τ มีค่าลดลงเป็น 1 นั้น ปริมาณน้ำท่ากลับมีค่าลดลงเท่ากับ 2.38% ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ต่างกันกับกรณีที่ τ มีค่าลดลงระหว่าง 2 ถึง 4 ดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อค่าของพารามิเตอร์ delay time (τ) ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 5 หมายถึงการนำข้อมูลเพื่อการสร้าง phase space มาวางเหลื่อมกัน 5 เดือน สามารถคาดการณ์น้ำท่าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลมาวางเหลื่อมกันด้วยจำนวนเดือนที่แตกต่างกันไปย่อมทำให้ผลไม่ดีเท่ากับเมื่อใช้ค่า τ เท่ากับ 5 ทั้งนี้ ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร ขึ้นกับปริมาณน้ำท่าที่นำมาวางเหลื่อมกัน

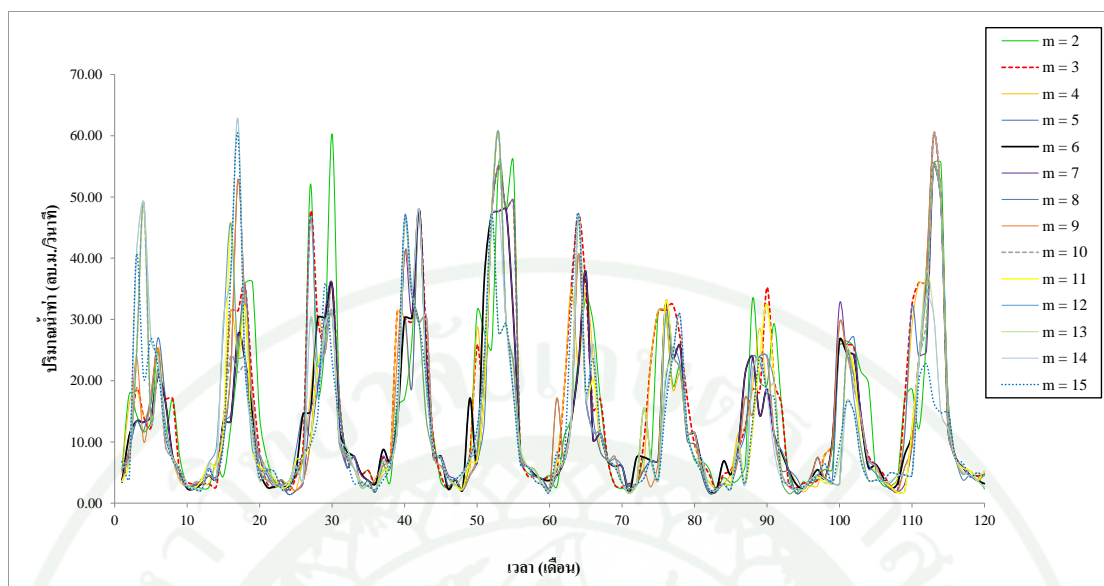
ว่าเป็นข้อมูลในเดือนใดในฤดูกาลใด ซึ่งถ้ามีการวางเหลื่อมฤดูกาลกันก็จะมีผลมากต่อการคาดการณ์น้ำท่า ดังนั้น เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกราฟน้ำท่าที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงค่า τ จะพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากค่า m และ k ทั้งนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่า τ จะเป็นการเหลื่อมข้อมูลด้วยเดือนที่แตกต่างกัน จึงอาจทำให้ข้อมูลที่ใช้สร้าง phase space มีความแตกต่างกันมากเมื่อมีการเหลื่อมข้ามฤดูกาลหรือเดือนที่มีความแตกต่างของข้อมูลน้ำท่ามาก ๆ ดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้ จะสังเกตได้จากกรณีที่ τ เท่ากับ 1 หรือ 12 จะให้ผลความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าที่ใกล้เคียงกัน คือ ลดลงเท่ากับ 2.38% และ 3.12% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเหลื่อมกันเท่ากับ 1 เดือน หรือ 12 เดือน ข้อมูลน้ำท่าของทั้งสองเดือนมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อครบวัฏจักรน้ำท่าใน 1 ปี

3.3) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ K-nearest (k) ที่มีต่อปริมาณน้ำท่า

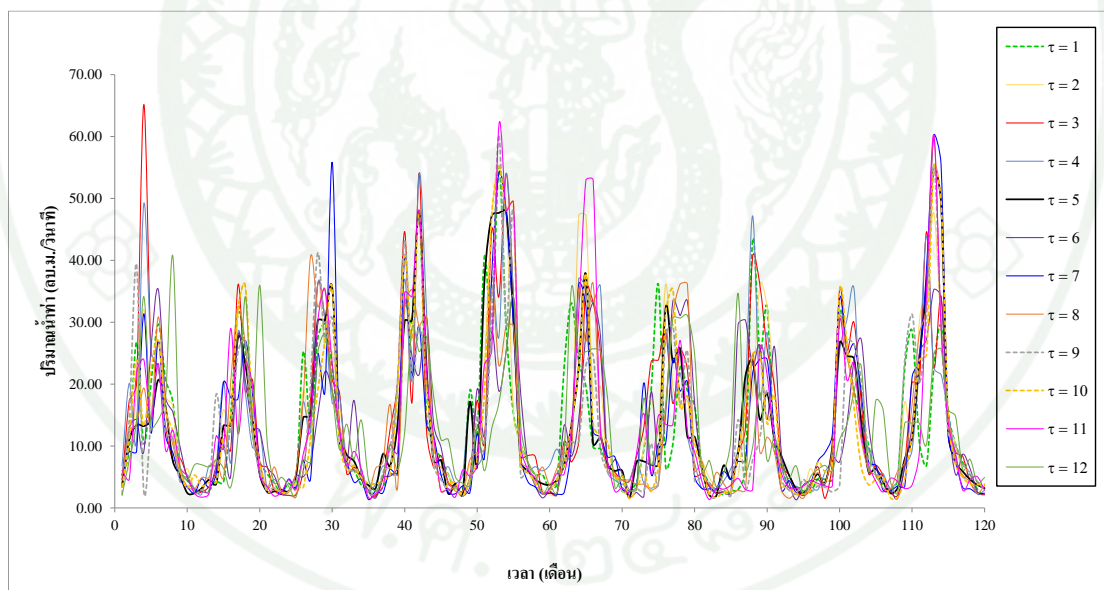
จากตารางที่ 30 และ ภาพที่ 23 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ K-nearest (k) จากเดิมซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ให้มีค่าเพิ่มขึ้นระหว่าง 3 ถึง 15 เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลงระหว่าง 0.39% สำหรับ k เท่ากับ 3 จนถึงลดลงเท่ากับ 6.86% สำหรับ k เท่ากับ 13 โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงมีแนวโน้มค่อนข้างแน่นอนตามค่า k ที่เพิ่มขึ้น และในทำนองกลับกัน เมื่อ k มีค่าลดลงคือ k มีค่าเท่ากับ 1 เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.07% จากภาพที่ 23 แสดงให้เห็นว่ากราฟน้ำท่าที่ k มีค่าเท่ากับ 1 จะทำให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ค่า k ที่เพิ่มขึ้นจาก 2 จนถึง 15 โดยมีแนวโน้มการลดลงค่อนข้างแน่นอนตามค่า k ที่เพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก พารามิเตอร์ K-nearest (k) หมายถึง จำนวนจุดของอนุกรมน้ำท่าที่อยู่ใกล้ที่สุด ณ จุดที่เริ่มการคาดการณ์ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ ดังนั้น ในกรณีที่ k เท่ากับ 1 ก็จะเลือกจุดของอนุกรมน้ำท่าที่อยู่ใกล้ที่สุด ณ จุดที่เริ่มการคาดการณ์เพียง 1 จุด มาเป็นปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ ดังนั้น ในกรณีที่อนุกรมน้ำท่าที่คาดการณ์เป็นปริมาณน้ำท่าสูง ๆ ก็จะเลือกจุดของปริมาณน้ำท่าที่สูงใกล้เคียงเพียงจุดเดียวมาใช้ในการคาดการณ์ จึงเป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าสูงสุดในกรณีที่ k เท่ากับ 1 มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ค่า k ที่เพิ่มขึ้นจาก 2 จนถึง 15 โดย ในกรณีที่ k มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2 ถึง 15 ซึ่งหมายถึงการเลือกจุดของปริมาณน้ำท่าที่สูงที่สุดจำนวน 2 ถึง 15 จุด มาเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ จึงทำให้ปริมาณน้ำท่าคาดการณ์มีค่าลดลงตามลำดับที่ค่อนข้างแน่นอน

ตารางที่ 30 ปริมาณน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ m, τ และ k

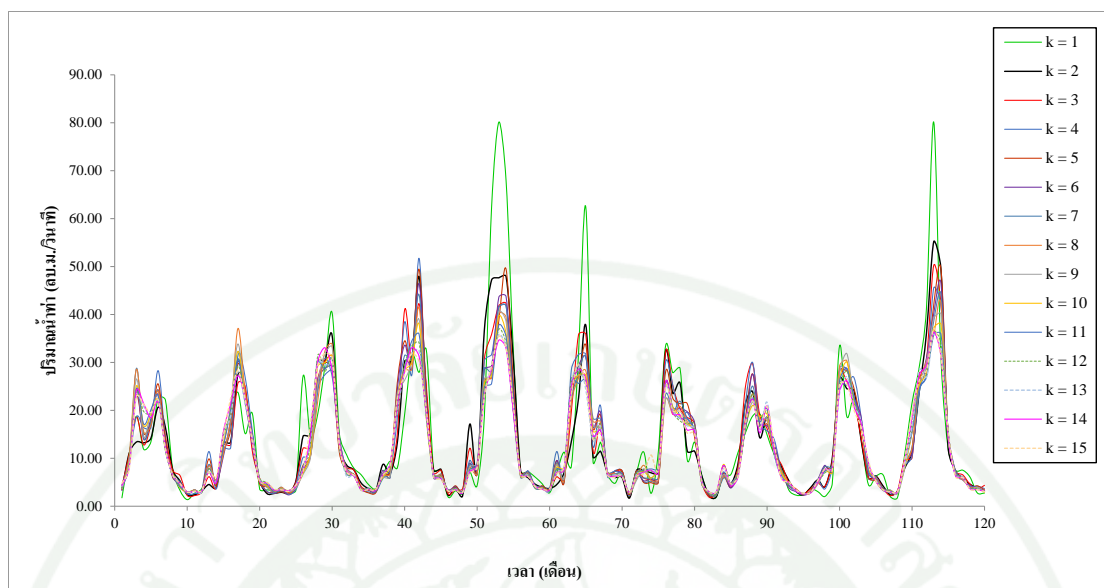
การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์	ปริมาตรน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่า (%)	ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่าเฉลี่ย (%)	การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์	ปริมาตรน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่า (%)	ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่าเฉลี่ย (%)	การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์	ปริมาตรน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)	ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่า (%)	ความแตกต่างของปริมาตรน้ำท่าเฉลี่ย (%)
m		(%)	เฉลี่ย (%)	τ		(%)	เฉลี่ย (%)	k		(%)	เฉลี่ย (%)
2	4,562.41	9.94		1	4,051.37	-2.38		1	4,401.76	6.07	6.07
3	4,953.56	19.36	10.28	2	4,411.75	6.31	6.05	2	4,150.03	0.00	
4	4,602.27	10.90		3	4,478.61	7.92		3	4,133.67	-0.39	
5	4,189.09	0.94		4	4,312.53	3.92		4	4,104.10	-1.11	
6	4,150.03	0.00		5	4,150.03	0.00		5	4,101.73	-1.16	
7	3,958.70	-4.61		6	3,954.76	-4.71		6	4,054.58	-2.30	
8	4,013.15	-3.30		7	3,975.81	-4.20		7	3,992.25	-3.80	
9	4,058.50	-2.21		8	4,005.79	-3.48		8	3,953.27	-4.74	
10	3,870.11	-6.75		9	3,878.55	-6.54	-3.65	9	3,944.96	-4.94	-4.20
11	3,986.71	-3.94	-4.51	10	4,115.72	-0.83		10	3,932.25	-5.25	
12	4,083.00	-1.62		11	4,038.12	-2.70		11	3,916.29	-5.63	
13	4,030.60	-2.88		12	4,020.48	-3.12		12	3,906.51	-5.87	
14	3,982.76	-4.03						13	3,865.34	-6.86	
15	3,682.59	-11.26						14	3,882.30	-6.45	
								15	3,896.25	-6.12	



ภาพที่ 21 กราฟน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ m



ภาพที่ 22 กราฟน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ τ



ภาพที่ 23 กราฟน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ k

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาเรื่อง การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยวิธีการ Phase Space Reconstruction (PSR) สามารถนำผลการศึกษามาสรุปในหัวข้อหลัก 3 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าสามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ 1) การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด และ 2) การเพิ่มความถูกต้องของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยการผสมผลการคาดการณ์น้ำท่าจากพารามิเตอร์ 2 ชุด สำหรับผลการศึกษาทั้ง 2 ส่วน สามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด

1) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ พบว่า ช่วงเวลาการคาดการณ์ที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด คือ การคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 12 เดือน เนื่องจากการคาดการณ์สำหรับเดือนที่พิจารณาซึ่งง่ายต่อการคาดการณ์มากที่สุด ในขณะที่ค่าสถิติที่ด้อยที่สุด คือ การคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 6 เดือน เนื่องจากการคาดการณ์ที่อยู่ระหว่างกลาง ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำให้ผลอยู่ในเกณฑ์ดีแม้ว่าช่วงเวลาของการคาดการณ์จะเพิ่มขึ้น

2) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนของทุกช่วงเวลาในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ พบว่า สถานีที่มีค่าทางสถิติที่ดีที่สุด คือ สถานีวัดน้ำท่า P.80 ในขณะที่ค่าสถิติที่ด้อยที่สุด คือ ที่สถานีวัดน้ำท่า P.76 นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้ว่าการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำให้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละสถานี ซึ่งอาจเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญดังนี้คือ

(1) ผลกระทบจากการนำน้ำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ (regulated flows) ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งทำให้การไหลไม่เป็นไปตามธรรมชาติ (natural flows) จึงยากต่อการคาดการณ์การไหล (2) ช่วงปีสถิติข้อมูลที่ไม่ยาวนานเพียงพอ ทำให้ไม่มีข้อมูลมากพอที่จะใช้ในการสร้าง multi-dimensional phase space จึงทำให้การคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงกระทำได้ยากเมื่อขาดข้อมูลน้ำท่าต้นแบบ และ (3) สถานีวัดน้ำท่าหรืออ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่อาจยากต่อการคาดการณ์มากกว่าขนาดเล็ก เนื่องจากสถานีวัดน้ำท่าหรืออ่างเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่อาจมีความซับซ้อนของกระบวนการเกิดน้ำท่ามากกว่าขนาดเล็ก เพราะเมื่อพื้นที่ขนาดใหญ่ย่อมมีความหลากหลายของลักษณะเฉพาะของกลุ่มน้ำ และปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่ลุ่มน้ำอาจแตกต่างกันไปในพื้นที่ขนาดใหญ่จึงทำให้น้ำท่าที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนทำให้ยากต่อการคาดการณ์

3) ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุด ของทั้ง 3 พารามิเตอร์ สรุปได้ว่า ผลการคัดเลือกพารามิเตอร์ embedding dimensions (m), delay time (τ) และ K-nearest (k) ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ถูกต้องมากที่สุด นั้น มีลักษณะการกระจายตัว 2 ลักษณะคือ ลักษณะการกระจายตัวของพารามิเตอร์ในแต่ละช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้ามีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอน และลักษณะการกระจายตัวของพารามิเตอร์ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำมีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า

1.2 การเพิ่มความถูกต้องของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยการผสมผลการคาดการณ์น้ำท่า จากพารามิเตอร์ 2 ชุด

1) ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือนในกรณีของ high flows นั้น กำหนดให้ค่าของ K-nearest มีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น ทำให้ผลการคัดเลือกพารามิเตอร์มีเพียง 2 พารามิเตอร์ คือ embedding dimension (m) และ delay time (τ) โดยผลการคัดเลือกพารามิเตอร์ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีปริมาณการไหลสูง ๆ (high flows) มีการกระจายตัวของการคัดเลือกแบบไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาคาดการณ์ล่วงหน้า แต่มีการกระจายตัวไม่มากในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า กล่าวคือ มีการเลือกพารามิเตอร์ตัวเดียวกันในหลาย ๆ สถานีวัดน้ำท่า ในทำนองเดียวกับที่เกิดขึ้นในกรณีความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่มีค่าต่ำ ๆ ถึงปริมาณน้ำท่ากลาง ๆ (low to medium flows)

2) การเพิ่มความถูกต้องของผลการคาดการณ์น้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าด้วยการผสมผลการคาดการณ์น้ำท่า จากพารามิเตอร์ 2 ชุด สรุปได้ว่ากระบวนการ Mix Flows ที่ได้นำมาใช้ในการปรับปรุงตัวแปรทางสถิตินี้ว่ามีประโยชน์อย่างมากต่อการเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการคาดการณ์ในทุกช่วงเวลาของการคาดการณ์และแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและเขื่อน กล่าวคือ มีการปรับปรุงตัวแปรทางสถิติดังนี้ EI มีค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.0%, Rel. RMSE มีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเท่ากับ 3.2% และ r มีค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.52% แม้ว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มความถูกต้องโดยเฉลี่ยในภาพรวมของทุกสถานีและทุกเขื่อนจะไม่มากก็ตาม แต่ในบางสถานีมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น กระบวนการ mix flows จึงนับว่าเป็นทางเลือกที่มีประโยชน์สำหรับในกรณีที่ต้องการเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการคาดการณ์น้ำท่าที่มีค่าสูง ๆ

2. การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าสามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ 1) การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด และ 2) ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องมากที่สุด สำหรับผลการศึกษาทั้ง 2 ส่วน สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุด

ผลการศึกษาการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ที่ถูกต้องมากที่สุดสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของแต่ละช่วงเวลาการคาดการณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้าของทุกสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ พบว่า ทุกสถานีวัดน้ำท่าและทุกอ่างเก็บน้ำจะให้ความถูกต้องที่ดีกว่าสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้าสำหรับช่วงเวลาสั้น ๆ และความถูกต้องจะลดลงเมื่อช่วงเวลาของการคาดการณ์ยาวนานขึ้น ทั้งนี้ผลที่ได้มีความสมเหตุสมผลเนื่องจากการคาดการณ์น้ำท่ารายวันในช่วงเวลาสั้น ๆ ย่อมมีความถูกต้องมากกว่า และเมื่อช่วงเวลาของการคาดการณ์เพิ่มขึ้น ความถูกต้องย่อมลดน้อยลงไป เนื่องจากปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาใกล้ ๆ กัน ย่อม

มีความสัมพันธ์กันมากกว่าเมื่อช่วงเวลาเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อช่วงเวลาเพิ่มมากขึ้น ตัวแปรสำคัญที่ทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงไปคือความลึกฝนซึ่งขาดต่อการคาดคะเนในลักษณะรายวัน

2) ผลการประเมินตัวแปรทางสถิติในภาพรวมของทุกช่วงเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ ให้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละสถานี และบางสถานีมีผลการคาดการณ์ที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัด อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันของทุกสถานีพบว่า ผลการคาดการณ์มีความถูกต้องสูงสุด 4 ลำดับแรก คือ ที่สถานีวัดน้ำท่า P.75, P.1, P.73 และ P.67 โดยสถานีวัดน้ำท่าเหล่านี้ตั้งอยู่ในแม่น้ำปิงสายหลักทั้งสิ้น ดังนั้น ปริมาณน้ำท่าอาจมีความแน่นอนมากกว่าปริมาณน้ำท่าในลำน้ำสาขาย่อย กล่าวคือ ปริมาณน้ำท่าในลำน้ำสาขาย่อยจะขึ้นกับความลึกฝนของลำน้ำสาขาย่อยเท่านั้น ในขณะที่ในลำน้ำสายหลักนั้น ปริมาณน้ำท่าขึ้นกับหลายลำน้ำสาขา ดังนั้น ปริมาณน้ำท่าอาจมีความมั่นคงแน่นอนมากกว่า จึงเป็นผลให้การคาดการณ์น้ำท่ารายวันมีความถูกต้องที่สูงกว่า และเมื่อเปรียบเทียบในกรณีของอ่างเก็บน้ำ ก็พบว่า ผลการคาดการณ์สำหรับเขื่อนภูมิพลซึ่งตั้งอยู่ในแม่น้ำปิงสายหลักในแม่น้ำปิงสายหลักและมีพื้นที่รับน้ำมากกว่าเขื่อนแม่งวงอุดมธาราและเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชลก็ให้ผลการคาดการณ์น้ำท่ารายวันที่มีความถูกต้องมากกว่าเช่นกัน

2.2 ความถี่ของชุดพารามิเตอร์ที่ให้ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ถูกต้องมากที่สุด

จากภาพรวมของการเลือกพารามิเตอร์ m , T และ k แสดงให้เห็นว่า ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันมีแนวโน้มของการเลือกค่าพารามิเตอร์ m และ T ที่มีค่าน้อย ๆ เนื่องจากปริมาณน้ำท่ารายวันมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันสำหรับวันที่ต่อเนื่องกัน ในขณะที่ค่า k ที่มีค่ามาก ๆ ได้รับการคัดเลือกแสดงว่า เมื่อปริมาณน้ำท่ารายวันที่อยู่ใกล้ ๆ กันที่ได้รับการคัดเลือกจากการเลือกพารามิเตอร์ m และ T แล้ว เมื่อนำปริมาณน้ำท่าของวันที่ได้รับการคัดเลือกเหล่านั้นหลาย ๆ ค่า (ค่า k สูง ๆ) มาหาค่าเฉลี่ยจะให้ผลของการคาดการณ์ที่มีความถูกต้องมากกว่าการใช้ปริมาณน้ำท่าน้อย ๆ วัน (ค่า k ต่ำ ๆ) มาหาค่าเฉลี่ย

3. การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง

การวิเคราะห์ความไว (sensitivity study) ของพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลองของวิธีการ PSR มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองที่มีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า โดยได้เลือกสถานีวัดน้ำท่า P.20 ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,345 ตาราง

กิโลเมตร และมีสถิติข้อมูลจำนวน 397 เดือน ซึ่งพิจารณาเลือกกรณีการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 1 เดือน สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความไว โดยผลการวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์สรุปได้ดังนี้

1) การเพิ่มค่าพารามิเตอร์ embedding dimensions (m) เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลง โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า m ที่เพิ่มขึ้น ในทำนองกลับกัน เมื่อ m มีค่าลดลง เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า m ที่ลดลงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อค่าของพารามิเตอร์ embedding dimensions (m) เพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนของข้อมูลน้ำท่าที่จะถูกใช้ในการคาดการณ์น้ำท่ามีจำนวนมากขึ้น ซึ่งเมื่อจำนวนของข้อมูลน้ำท่าที่ถูกใช้ในการคาดการณ์มีมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อผลการคาดการณ์น้ำท่าที่มีปริมาณสูง ๆ โดยจะทำให้การคาดการณ์น้ำท่าที่มีปริมาณสูง ๆ มีค่าลดลง ดังนั้น เมื่อข้อมูลน้ำท่าที่มีค่ามาก ๆ จะมีอิทธิพลมากต่อปริมาณน้ำท่าในภาพรวม

2) การเพิ่มค่าพารามิเตอร์ delay time (τ) เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลง โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า τ ที่เพิ่มขึ้น และในทำนองกลับกัน เมื่อ τ มีค่าลดลง เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามค่า τ ที่ลดลงเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อค่าของพารามิเตอร์ delay time (τ) ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 5 ในกรณีการคาดการณ์น้ำท่าล่วงหน้า 1 เดือน ที่สถานีวัดน้ำท่า P.20 หมายถึงการนำข้อมูลเพื่อการสร้าง phase space มาวางเหลื่อมกัน 5 เดือน สามารถคาดการณ์น้ำท่าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลมาวางเหลื่อมกันด้วยจำนวนเดือนที่แตกต่างกันไปย่อมทำให้ผลไม่ดีเท่ากับเมื่อใช้ค่า τ เท่ากับ 5 ทั้งนี้ ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร ขึ้นกับปริมาณน้ำท่าที่นำมาวางเหลื่อมกันว่าเป็นข้อมูลในเดือนใดในฤดูกาลใด ซึ่งถ้ามีการวางเหลื่อมฤดูกาลกันก็จะมีผลมากต่อการคาดการณ์น้ำท่า ดังนั้น เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกราฟน้ำท่าที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงค่า τ จะพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากค่า m และ k ทั้งนี้เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงค่า τ จะเป็นการเหลื่อมข้อมูลด้วยเดือนที่แตกต่างกัน จึงอาจทำให้ข้อมูลที่ใช้สร้าง phase space มีความแตกต่างกันมากเมื่อมีการเหลื่อมข้ามฤดูกาลหรือเดือนที่มีความแตกต่างของข้อมูลน้ำท่ามาก ๆ ดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้ จะสังเกตได้จากกรณีที่ τ เท่ากับ 1 หรือ 12 จะให้ผลความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าที่ใกล้เคียงกัน คือ ลดลงเท่ากับ 2.38% และ 3.12% ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากการเหลื่อมกันเท่ากับ 1 เดือน หรือ 12 เดือน ข้อมูลน้ำท่าของทั้งสองเดือนมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อครบวัฏจักรน้ำท่าใน 1 ปี

3) การเพิ่มค่าพารามิเตอร์ K-nearest (k) เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลง โดยเปอร์เซ็นต์การลดลงมีแนวโน้มค่อนข้างแน่นอนตามค่า k ที่เพิ่มขึ้น และในทำนองกลับกัน เมื่อ k มีค่าลดลง เป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นค่อนข้างแน่นอนตามค่า k ที่เพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก พารามิเตอร์ K-nearest (k) หมายถึง จำนวนจุดของอนุกรมน้ำท่าที่อยู่ใกล้ที่สุด ณ จุดที่เริ่มการคาดการณ์ เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ ดังนั้น ในกรณีที่ k เท่ากับ 1 ก็จะเลือกจุดของอนุกรมน้ำท่าที่อยู่ใกล้ที่สุด ณ จุดที่เริ่มการคาดการณ์เพียง 1 จุด มาเป็นปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ ดังนั้น ในกรณีที่อนุกรมน้ำท่าที่คาดการณ์เป็นปริมาณน้ำท่าสูง ๆ ก็จะเลือกจุดของปริมาณน้ำท่าที่สูงใกล้เคียงเพียงจุดเดียวมาใช้ในการคาดการณ์ จึงเป็นผลให้ปริมาณน้ำท่าสูงสุดในกรณีที่ k เท่ากับ 1 มีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ค่า k ที่เพิ่มขึ้นจาก 2 จนถึง 15 โดย ในกรณีที่ k มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2 ถึง 15 ซึ่งหมายถึงการเลือกจุดของปริมาณน้ำท่าที่สูงที่สุดจำนวน 2 ถึง 15 จุด มาเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นปริมาณน้ำท่าคาดการณ์ จึงทำให้ปริมาณน้ำท่าคาดการณ์มีค่าลดลงตามลำดับที่ค่อนข้างแน่นอน

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษานี้ได้พิสูจน์แล้วว่า Phase Space Reconstruction (PSR) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการประเมินน้ำท่าสำหรับสถานีวัดน้ำท่าและเขื่อนในลุ่มน้ำปิงตอนบนทั้งในกรณีการประเมินน้ำท่ารายวันและโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีน้ำท่ารายเดือน ดังนั้น PSR จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการประเมินน้ำท่าสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ เพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ ทั้งนี้ จำเป็นต้องวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ m , τ และ k ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่ศึกษาโดยแนะนำให้ใช้กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อให้ง่ายต่อการประยุกต์ใช้

2. ในการประเมินน้ำท่ารายวันได้ทำการเลือกช่วงของพารามิเตอร์ m , τ และ k ให้มีค่าดังนี้คือ 2-15, 1-12 และ 1-15 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า ช่วงของค่า m และ τ มีความเหมาะสมดีเพราะช่วงที่ได้รับการคัดเลือกส่วนใหญ่มีแนวโน้มอยู่ในช่วงที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ช่วงของพารามิเตอร์ k อาจจะแคบเกินไป กล่าวคือ พารามิเตอร์ k ที่ได้รับการคัดเลือกส่วนใหญ่มีค่ามาก ๆ โดยพารามิเตอร์ k ที่เท่ากับ 14 และ 15 ได้รับการคัดเลือกถึง 33.76% จากจำนวนค่า k ทั้งหมดตามลำดับ ดังนั้น ถ้าได้มีการเพิ่มช่วงของพารามิเตอร์ k ให้กว้างขึ้น อาจเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการประเมินน้ำท่ารายวันได้

3. การประเมินน้ำท่าโดยวิธี PSR สำหรับการศึกษาได้เลือกวิธี K Nearest Neighbor มาประยุกต์ใช้ โดยให้ความสำคัญของปริมาณน้ำท่าทุกค่าที่ได้รับการคัดเลือกเท่ากัน อย่างไรก็ตาม ถ้าได้มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับน้ำท่าที่อยู่ใกล้มากกว่าน้ำท่าที่อยู่ไกลแล้ว คาดว่าจะสามารถเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการคาดการณ์น้ำท่าได้

4. Phase Space Reconstruction (PSR) สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการคาดการณ์ความลึกฝนได้ทั้งในกรณีรายเดือนและรายวัน อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินความลึกฝนจะมีความถูกต้องน้อยกว่าผลการประเมินน้ำท่า เนื่องจากการเกิดฝนมีความเป็นอิสระสูงกว่าน้ำท่ามาก ดังนั้น อาจทำการประเมินความลึกฝนรายเดือนให้ประสบความสำเร็จก่อน จากนั้นจึงทำการประเมินความลึกฝนราย 15 วัน แล้วจึงนำผลการประเมินแบบรายเดือนมาเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการประเมินแบบราย 15 วัน ต่อไป และสามารถใช้กระบวนการดังกล่าวสำหรับการประเมินความลึกฝนในช่วงเวลาที่สั้นลงได้ตามต้องการ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- นุชนารถ และคณะ. 2555. การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำปิงตอนบนเพื่อการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนภูมิพล. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร.
- นุชนารถ และคณะ. 2558. การคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลเพื่อการบริหารจัดการอุทกภัยและภัยแล้ง. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร.
- Abarbanel, H.D.I., Brown, R., and Kadtke, J.B. (1990). Prediction in chaotic nonlinear systems: Methods for time series with broadband Fourier spectra. **Phys. Rev. A**, 41(4): pp. 1782-1807.
- Casdagli, M. (1989). Nonlinear prediction of chaotic time series. **Physica D36**: pp. 335-356.
- Casdagli, M. (1991). Chaos and deterministic versus stochastic nonlinear modeling. **J. Royal Stat. Soc. B**, 54(2): pp. 303-328.
- Farmer, J.D. and Sidorowich, J.J. (1987). Predicting chaotic time series. **Phys. Rev. Lett.** 59: pp. 845-848.
- Fraedrich, K. (1986). Estimating the dimensions of weather and climate attractors. **J. Atmos. Sci.**, 43(5): pp. 119-132.
- Frison, T. (1994). **Nonlinear data analysis techniques, in Trading on the Edge: Neural, Genetic, and Fuzzy Systems for Chaotic Financial Markets.** edited by G. J. Deboeck: pp. 280-296, Wiley, New York.

Grassberger, P. and Procaccia, I. (1983). Measuring the strangeness of strange attractors. **Physica D9**: pp. 189-208.

Holzfuß, J.W. and Mayer-Kress, G. (1986). **An approach to error estimation in the application of dimension algorithms**. Dimension and entropies in chaotic systems, G. Mayer-Kress, ed., Springer, New York: pp. 114-117.

Jasper A. Vrugt, Hoshin V. Gupta, Luis A. Bastidas, Willem Bouten, and Soroosh Sorooshian, (2003). Effective and efficient algorithm for multiobjective optimization of hydrologic models. **Water Resources Research**, 39(8): p. 1214.

Kostelich, E. J., and Yorke, J. A. (1988). Noise reduction in dynamical systems. **Phys. Rev. A**, 38(3): pp. 1649-1652.

Muller-Jerking, J., Martinerie, J., Neuenschwander, S., Pezard, L., Ranault, B. and Varela, F.J. (1996). Detecting non-linearities in neuro-electrical signals: A study of synchronous local field potentials. **Physica D94**: pp. 65-91.

Packard, N.H., Crutchfield, J.P., Farmer, J.D., and Shaw, R.S., (1980). Geometry from a time series. **Phys. Rev. Lett.** 45(9): pp. 712-716.

Regonda, S., Sivakumar, B. and Jain, A. (2004). Temporal scaling in river flow: Can it be chaotic?, **Hydrol. Sci. J.**, 49(3): pp. 373-385.

Sangoyomi, T.B., Lall, U. and Abarbanel, H.D.I. (1996). Nonlinear dynamics of the Great Salt Lake: Dimension estimation. **Water Resource. Res.**, 32(1): pp. 149-159.

Schreiber, T. (1993). Extremely simple nonlinear noise-reduction method. **Phys. Rev. E**, 47(4): pp. 2401-2404.

- Schuster, H.G. (1984). **Deterministic chaos**. VCH, Weinheim, Germany.
- Sivakumar, B., Liong, S.Y., Liaw, C.Y. and Phoon, K.K. (1999a). Singapore rainfall behavior: chaotic?, **J. Hydrol. Eng ASCE** 4(1): pp. 38-48.
- Sivakumar, B., Phoon, K.K., Liong, S.Y. and Liaw, C.Y. (1999b). A systematic approach to noise reduction in observed chaotic time series., **J. Hydrol.** 219(3/4): pp. 103-135.
- Sivakumar, B. (2001). Monthly runoff prediction using phase space reconstruction. **Hydrol. Sci. J.** 46(3): pp. 377-387.
- Sivakumar, B., Jayawardena, A.W. and Fernando, T.M.K.G. (2002). River flow forecasting: use of phase-space reconstruction and artificial neural networks approaches. **J. Hydrol.** 265: pp. 225-245.
- Sivakumar, B. (2005). A multi-variable time series phase-space reconstruction approach to investigation of chaos in hydrological processes. **International Journal of Civil and Environmental Engineering.** 1(1): pp. 35-51.
- Sivakumar, B. and Singh, V.P. (2012). Hydrologic system complexity and nonlinear dynamic concepts for a catchment classification framework. **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**, 8. C6585-C6589.
- Sugihara, G. and May, R. M. (1990). Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series. **Nature** 344: pp. 734-741.
- Takens, F. (1981). **Detecting strange attractors in turbulence**. Dynamical systems and turbulence, D. A. Rand and L. S. Young, eds., Springer, Warwick: pp. 366-381.

Theiler, J. (1987). Efficient algorithm for estimating the correlation dimension from a set of discrete points. **Phys. Rev. A**, 36(9): pp. 4456-4462.

Tsonis, A. A. (1992). **Chaos: From theory to applications**. Plenum, New York.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน

ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า ตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังใน ตารางผนวกที่ ก1 ถึง ตารางผนวกที่ ก22 โดยแสดงจากสถานีที่ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดคือ สถานีวัดน้ำท่า P.80 จนถึงที่ ด้อยที่สุดคือ สถานีวัดน้ำท่า P.76 รวมทั้งสิ้น 22 สถานี ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ ก1 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.80

เวลาการคำนวณ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)		
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	8	4	1	0.91	62.55	67.49	10	10	2	0.88	63.87	66.28	6	0.88	63.87	66.28	0.00	0.00	0.00
2	7	4	1	0.89	67.03	49.53	9	7	5	0.85	69.95	47.29	6	0.85	69.95	47.29	0.00	0.00	0.00
3	7	4	1	0.81	56.03	47.65	8	7	13	0.82	66.38	41.66	7	0.85	69.95	47.29	3.54	5.39	13.50
4	7	4	1	0.80	55.14	49.29	8	7	11	0.84	69.04	40.95	3	0.85	71.81	39.08	1.62	4.00	-4.57
5	7	10	1	0.77	57.40	49.40	8	2	10	0.87	74.89	37.93	4	0.87	74.89	37.93	0.00	0.00	0.00
6	8	4	1	0.82	60.90	48.43	8	2	10	0.89	78.25	36.12	4	0.89	78.25	36.12	0.00	0.00	0.00
7	7	4	1	0.83	62.32	48.33	8	2	10	0.89	78.81	36.25	4	0.89	78.81	36.25	0.00	0.00	0.00
8	7	4	1	0.83	63.72	47.98	8	2	10	0.89	79.37	36.18	4	0.89	79.37	36.18	0.00	0.00	0.00
9	7	4	1	0.83	63.35	47.87	7	2	14	0.86	73.79	40.49	4	0.86	73.79	40.49	0.00	0.00	0.00
10	5	3	1	0.80	61.42	48.66	4	5	2	0.86	73.02	40.69	7	0.86	73.02	40.69	0.00	0.00	0.00
11	7	10	1	0.77	59.43	50.51	6	8	10	0.89	75.63	39.15	4	0.89	75.63	39.15	0.00	0.00	0.00
12	6	8	1	0.86	65.08	46.42	6	3	14	0.94	88.30	26.86	3	0.94	88.47	26.67	-0.23	0.19	-0.72
ค่าเฉลี่ย				0.83	61.20	50.13				0.87	74.28	40.82	5	0.88	74.82	41.12	0.41	0.80	0.68

ตารางผนวกที่ ก2 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.65

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)							
1	3	5	1	0.75	50.86	69.06	4	11	12	0.87	74.25	49.99	8	0.83	66.81	56.75	-4.68	-10.01	13.52
2	10	7	1	0.68	39.82	75.49	10	5	12	0.84	67.73	55.28	8	0.84	67.73	55.28	0.00	0.00	0.00
3	5	3	1	0.66	37.25	78.53	10	5	12	0.86	71.71	52.73	6	0.90	81.28	42.90	5.26	13.34	-18.65
4	5	3	1	0.66	38.26	78.73	10	5	12	0.86	72.13	52.89	6	0.90	81.29	43.34	4.98	12.70	-18.06
5	5	3	1	0.68	40.21	77.79	10	5	12	0.86	72.13	53.11	6	0.90	81.30	43.50	4.96	12.71	-18.09
6	7	11	1	0.68	34.48	81.43	10	5	12	0.86	72.06	53.18	9	0.88	77.78	47.42	2.80	7.94	-10.83
7	7	11	1	0.68	35.36	80.51	10	5	12	0.86	71.62	53.35	9	0.88	77.38	47.63	2.96	8.04	-10.72
8	7	11	1	0.68	35.06	80.55	10	5	12	0.85	71.29	53.56	9	0.88	77.08	47.85	3.03	8.12	-10.65
9	7	11	1	0.71	41.57	76.22	10	5	12	0.85	71.17	53.54	9	0.88	76.99	47.83	3.05	8.17	-10.66
10	7	11	1	0.70	41.37	76.07	10	5	12	0.85	71.18	53.34	9	0.88	77.03	47.61	3.03	8.22	-10.73
11	5	3	1	0.74	47.48	73.13	10	5	12	0.87	72.51	52.91	13	0.87	72.51	52.91	0.00	0.00	0.00
12	5	3	1	0.81	61.80	62.99	10	5	11	0.83	66.21	59.24	6	0.90	79.34	46.33	7.59	19.82	-21.79
ค่าเฉลี่ย				0.70	41.96	75.88				0.86	71.17	53.59	8	0.88	76.38	48.28	2.75	7.42	-9.72

ตารางผนวกที่ ก3 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.56A

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)							
1	7	11	1	0.82	65.64	55.32	6	11	7	0.88	76.89	45.37	15	0.89	79.58	42.65	1.78	3.49	-5.99
2	8	3	1	0.77	49.07	67.47	5	11	10	0.88	74.34	47.89	19	0.88	74.34	47.89	0.00	0.00	0.00
3	5	11	1	0.70	27.73	81.68	5	2	8	0.90	77.49	45.58	18	0.88	69.29	53.24	-1.83	-10.58	16.80
4	5	11	1	0.70	32.58	80.57	6	2	10	0.87	72.60	51.37	18	0.85	63.38	59.39	-1.46	-12.70	15.61
5	5	2	1	0.78	49.60	71.12	3	8	7	0.87	74.74	50.35	19	0.87	74.74	50.35	0.00	0.00	0.00
6	5	11	1	0.72	40.12	78.91	6	11	4	0.88	76.79	49.13	16	0.85	68.15	57.55	-3.27	-11.25	17.14
7	3	4	1	0.73	47.83	72.71	3	8	7	0.90	80.51	44.44	16	0.91	82.63	41.95	1.01	2.64	-5.60
8	4	11	1	0.77	51.88	68.66	8	1	12	0.91	81.74	42.29	9	0.89	74.63	49.85	-2.51	-8.70	17.88
9	4	11	1	0.80	56.23	64.46	3	8	7	0.92	83.16	39.99	9	0.89	77.78	45.93	-3.19	-6.47	14.87
10	4	11	1	0.82	58.17	61.56	8	1	12	0.90	80.81	41.70	9	0.87	73.88	48.65	-3.67	-8.58	16.66
11	4	11	1	0.81	57.55	61.61	3	8	6	0.89	78.94	43.40	9	0.88	74.47	47.78	-1.73	-5.66	10.09
12	4	11	1	0.82	58.06	61.66	6	11	4	0.89	78.40	44.25	16	0.85	70.35	51.84	-3.90	-10.27	17.16
ค่าเฉลี่ย				0.77	49.54	68.81				0.89	78.03	45.48	14	0.88	73.60	49.76	-1.56	-5.67	9.55

ตารางผนวกที่ ก4 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.64

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)	(%)		(%)				
1	9	5	1	0.82	54.12	60.59	13	10	12	0.87	70.97	48.19	23	0.88	73.75	45.83	2.17	3.92	-4.91
2	8	4	1	0.78	39.66	70.58	13	10	6	0.86	71.15	48.80	16	0.85	61.75	56.19	-1.31	-13.21	15.15
3	9	4	1	0.80	55.49	61.95	13	10	11	0.84	68.37	52.22	12	0.85	69.25	51.48	0.55	1.29	-1.41
4	13	10	1	0.76	51.34	64.49	13	10	6	0.85	69.56	51.00	11	0.81	64.70	54.92	-4.89	-6.99	7.69
5	13	10	1	0.76	50.26	63.77	13	10	6	0.86	69.70	49.77	11	0.81	64.72	53.71	-5.00	-7.15	7.91
6	6	4	1	0.82	59.18	56.10	13	10	6	0.86	69.40	48.57	29	0.86	72.38	46.15	0.50	4.30	-5.00
7	6	4	1	0.82	59.02	55.14	13	10	6	0.86	68.79	48.13	29	0.86	71.84	45.71	0.57	4.43	-5.01
8	13	10	1	0.75	46.46	61.65	13	10	6	0.85	68.00	47.66	11	0.81	62.60	51.52	-5.24	-7.94	8.11
9	6	4	1	0.83	60.30	51.50	6	2	8	0.87	73.81	41.83	29	0.86	72.41	42.93	-0.58	-1.90	2.64
10	5	9	1	0.78	51.84	56.76	13	10	6	0.85	67.16	46.87	14	0.89	73.95	41.75	3.84	10.11	-10.93
11	6	2	1	0.77	52.97	55.45	5	4	8	0.85	67.31	46.23	12	0.86	71.41	43.23	1.08	6.08	-6.47
12	13	10	1	0.76	47.56	59.97	12	3	6	0.85	67.70	47.07	24	0.85	67.70	47.07	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย				0.79	52.35	59.83				0.86	69.33	48.03	18	0.85	68.87	48.37	-0.69	-0.59	0.65

ตารางผนวกที่ ก5 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)	(%)		(%)				
1	14	1	1	0.79	61.24	70.68	12	8	7	0.90	79.19	51.79	41	0.89	79.20	51.78	-0.33	0.01	-0.03
2	8	3	1	0.85	69.69	62.42	11	9	6	0.85	72.61	59.33	26	0.90	78.94	52.03	5.91	8.71	-12.30
3	14	1	1	0.84	67.99	64.14	14	1	2	0.85	71.94	60.06	36	0.86	72.61	59.34	0.49	0.93	-1.20
4	5	10	1	0.76	53.50	76.88	14	1	2	0.85	71.45	60.25	42	0.84	68.44	63.34	-1.72	-4.21	5.13
5	5	10	1	0.76	54.13	76.97	15	1	12	0.84	71.15	61.04	17	0.85	70.61	61.61	0.79	-0.76	0.93
6	10	1	1	0.77	55.00	76.94	13	7	4	0.86	72.20	60.48	52	0.86	72.20	60.48	0.00	0.00	0.00
7	5	10	1	0.77	76.63	73.51	13	7	4	0.85	70.83	62.25	18	0.85	70.30	62.81	0.26	-0.75	0.90
8	12	1	1	0.78	60.14	73.51	13	7	4	0.86	71.57	62.09	42	0.86	72.14	61.46	0.65	0.80	-1.02
9	12	1	1	0.78	59.76	74.20	13	7	4	0.85	70.34	63.70	42	0.86	72.46	61.38	1.83	3.01	-3.64
10	12	1	1	0.78	59.74	74.17	14	1	2	0.86	70.10	63.92	42	0.86	70.87	63.08	0.05	1.11	-1.31
11	12	1	1	0.80	62.57	71.25	13	7	4	0.85	71.21	62.49	42	0.87	73.34	60.14	1.83	2.99	-3.77
12	15	1	1	0.76	56.06	76.67	13	7	4	0.85	71.02	62.27	41	0.85	71.06	62.22	-0.11	0.06	-0.08
ค่าเฉลี่ย				0.79	61.37	72.61				0.86	71.97	60.81	37	0.86	72.68	59.97	0.80	0.99	-1.36

ตารางผนวกที่ ก6 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.71

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE (%)	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE (%)	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE (%)	r	EI	Rel. RMSE (%)
1	8	4	1	0.66	34.16	85.52	6	10	8	0.77	55.45	70.35	31	0.77	56.18	69.76	-0.72	1.33	-0.83
2	7	2	1	0.62	22.18	91.91	7	5	7	0.79	60.40	65.56	37	0.86	73.37	53.76	8.23	21.48	-18.00
3	8	2	1	0.64	28.03	89.04	7	5	8	0.80	59.46	66.83	37	0.86	72.15	55.39	6.52	21.34	-17.11
4	4	8	1	0.62	27.13	90.20	7	5	8	0.79	58.82	67.81	37	0.85	71.32	56.59	6.87	21.25	-16.55
5	4	8	1	0.62	25.78	91.85	7	5	8	0.80	59.41	67.92	37	0.85	71.91	56.50	6.24	21.05	-16.81
6	4	8	1	0.61	25.59	93.65	7	5	8	0.81	59.33	69.23	37	0.85	71.86	57.59	6.03	21.12	-16.82
7	5	11	1	0.49	9.40	95.02	7	10	8	0.82	64.97	59.08	31	0.83	68.46	56.06	1.42	5.37	-5.11
8	5	11	1	0.47	3.48	97.86	7	10	8	0.80	61.62	61.71	31	0.81	65.66	58.38	2.21	6.56	-5.41
9	5	11	1	0.51	11.54	94.44	7	10	8	0.80	62.09	61.82	29	0.82	66.14	58.43	2.04	6.51	-5.49
10	5	11	1	0.53	11.92	93.22	7	10	8	0.80	61.66	61.50	29	0.81	65.76	58.13	2.08	6.64	-5.49
11	5	11	1	0.54	11.38	91.50	7	10	8	0.80	61.56	60.26	29	0.81	65.74	56.89	2.10	6.80	-5.60
12	5	11	1	0.53	8.87	90.28	7	10	8	0.80	63.58	57.08	29	0.80	64.40	56.43	0.70	1.29	-1.13
ค่าเฉลี่ย				0.57	18.29	92.04				0.80	60.69	64.10	33	0.83	67.74	57.83	3.64	11.73	-9.53

ตารางผนวกที่ ก7 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE (%)	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE (%)	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE (%)	r	EI	Rel. RMSE (%)
1	5	10	1	0.82	62.65	77.52	5	10	1	0.82	62.65	77.52	-	0.82	62.65	77.52	0.00	0.00	0.00
2	8	7	1	0.79	57.27	82.75	11	5	2	0.83	66.72	73.03	15	0.89	78.70	58.42	7.71	17.96	-20.01
3	7	7	1	0.79	60.27	79.99	8	7	2	0.81	62.63	77.58	19	0.86	71.67	67.55	5.92	14.44	-12.93
4	7	7	1	0.79	60.17	80.13	14	1	2	0.85	71.45	60.25	15	0.80	63.78	76.41	-6.30	-10.73	26.82
5	7	7	1	0.79	59.80	79.88	8	7	2	0.81	62.53	77.11	19	0.86	71.64	67.09	5.93	14.57	-13.00
6	7	7	1	0.79	59.69	79.66	8	7	2	0.81	62.43	76.90	19	0.86	71.58	66.89	5.95	14.65	-13.02
7	7	7	1	0.79	59.94	79.46	8	7	2	0.81	62.46	76.92	19	0.86	71.62	66.88	5.94	14.66	-13.05
8	7	7	1	0.79	59.93	79.57	11	5	2	0.82	64.20	75.21	15	0.91	79.60	56.78	11.18	23.98	-24.50
9	7	7	1	0.70	49.00	89.95	11	5	2	0.82	65.18	74.32	15	0.88	75.93	61.79	6.66	16.49	-16.86
10	8	7	1	0.71	50.39	88.95	11	5	2	0.82	65.39	74.30	15	0.86	74.61	63.64	4.90	14.10	-14.35
11	9	8	1	0.83	66.12	74.88	9	8	1	0.83	66.12	74.88	-	0.83	66.12	74.88	0.00	0.00	0.00
12	14	5	1	0.85	68.65	73.28	13	7	4	0.85	71.02	62.27	13	0.89	76.13	63.94	4.85	7.20	2.69
ค่าเฉลี่ย				0.79	59.49	80.50				0.82	65.23	73.36	16	0.86	72.00	66.82	4.39	10.61	-8.18

ตารางผนวกที่ ก8 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.75

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)							
1	4	5	1	0.61	33.35	58.22	6	2	5	0.81	61.71	44.13	72	0.81	61.71	44.13	0.00	0.00	0.00
2	6	3	1	0.71	20.24	64.06	5	5	3	0.70	46.04	52.70	62	0.77	47.42	52.02	9.20	3.00	-1.29
3	4	5	1	0.66	31.46	60.07	5	5	3	0.71	44.42	54.10	47	0.76	46.32	53.16	6.61	4.29	-1.73
4	6	3	1	0.66	31.06	61.22	3	5	3	0.76	54.69	49.63	62	0.75	49.48	52.40	-1.23	-9.53	5.59
5	3	5	1	0.59	27.72	63.77	6	2	5	0.81	61.71	44.13	17	0.67	33.43	61.20	-17.17	-45.83	38.67
6	7	2	1	0.67	30.07	63.49	3	5	3	0.80	55.11	50.87	52	0.81	50.65	53.34	1.20	-8.10	4.85
7	7	2	1	0.69	34.20	61.40	6	2	3	0.81	60.04	47.85	52	0.84	56.02	50.20	3.28	-6.69	4.91
8	7	2	1	0.77	54.73	50.45	6	2	5	0.79	59.40	47.78	23	0.89	67.74	42.59	12.04	14.04	-10.86
9	7	2	1	0.79	56.47	49.07	6	2	5	0.80	61.17	46.35	23	0.90	71.56	39.67	12.82	16.97	-14.41
10	8	1	1	0.76	51.35	51.75	4	5	6	0.75	55.06	49.74	27	0.84	59.99	46.93	12.50	8.96	-5.65
11	7	1	1	0.65	27.99	62.95	8	4	2	0.77	59.08	47.45	47	0.81	62.68	45.31	5.05	6.11	-4.51
12	4	5	1	0.57	20.11	65.76	8	4	2	0.71	50.79	51.61	62	0.71	50.79	51.61	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย				0.68	34.90	59.35				0.77	55.77	48.86	46	0.80	54.82	49.38	3.69	-1.40	1.30

ตารางผนวกที่ ก9 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.79

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)							
1	3	4	1	0.71	27.74	68.09	4	5	8	0.78	56.98	52.54	3	0.79	59.78	50.80	1.28	4.90	-3.30
2	4	8	1	0.66	8.65	74.71	6	2	5	0.78	46.82	57.00	3	0.85	67.07	44.86	9.84	43.24	-21.31
3	3	4	1	0.48	-5.89	78.39	6	2	4	0.79	49.19	54.30	6	0.79	49.19	54.30	0.00	0.00	0.00
4	5	2	1	0.66	8.99	71.37	6	2	4	0.75	42.62	56.67	3	0.73	44.49	55.74	-2.65	4.39	-1.65
5	5	2	1	0.71	8.60	67.81	4	5	8	0.74	44.82	52.69	2	0.82	62.71	43.31	10.64	39.93	-17.80
6	4	4	1	0.43	-20.34	76.28	5	4	3	0.77	48.63	49.83	3	0.77	49.31	49.51	-0.01	1.39	-0.66
7	4	4	1	0.46	-23.84	78.12	5	4	3	0.75	45.26	51.94	6	0.75	45.26	51.94	0.00	0.00	0.00
8	2	9	1	0.39	-16.04	76.54	3	8	13	0.69	43.10	53.60	4	0.71	48.96	50.76	3.18	13.60	-5.29
9	2	9	1	0.30	-27.04	79.68	4	5	7	0.71	44.85	52.50	4	0.71	46.56	51.68	0.25	3.82	-1.57
10	3	1	1	0.51	-45.40	83.95	4	5	7	0.72	45.15	51.56	7	0.72	45.15	51.56	0.00	0.00	0.00
11	3	1	1	0.46	-30.92	77.57	4	5	7	0.70	41.08	52.04	7	0.70	41.08	52.04	0.00	0.00	0.00
12	8	10	1	0.28	-9.98	69.05	5	4	2	0.87	49.74	46.68	5	0.87	49.74	46.68	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย				0.50	-10.46	75.13				0.75	46.52	52.61	4	0.77	50.78	50.26	1.88	9.27	-4.30

ตารางผนวกที่ ก10 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.73

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	T	k	r	EI	Rel. RMSE	m	T	k	r	EI	Rel. RMSE	(m ³ /s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)						(%)				(%)		(%)				
1	10	6	1	0.73	49.68	97.46	7	7	5	0.81	63.38	83.14	524	0.83	67.93	77.80	2.87	7.18	-6.42
2	8	5	1	0.86	70.25	75.26	8	5	1	0.86	70.25	75.26	1	0.86	70.25	75.26	0.00	0.00	0.00
3	10	3	1	0.81	63.93	83.10	6	7	5	0.83	66.32	80.31	395	0.88	76.11	67.64	6.32	14.76	-15.77
4	8	5	1	0.80	61.43	86.35	8	7	4	0.80	63.11	84.45	280	0.85	70.12	76.00	6.46	11.11	-10.01
5	10	2	1	0.78	60.32	89.48	7	3	2	0.85	72.31	74.74	695	0.85	72.79	74.10	0.39	0.66	-0.87
6	10	2	1	0.81	63.70	87.49	8	3	2	0.82	66.24	84.37	524	0.82	66.72	83.77	0.07	0.73	-0.71
7	10	2	1	0.79	62.23	89.39	8	5	2	0.82	67.43	83.01	524	0.83	68.25	81.96	0.55	1.22	-1.27
8	10	2	1	0.79	61.26	89.87	8	5	2	0.83	68.15	81.49	524	0.83	68.97	80.43	0.52	1.21	-1.30
9	9	5	1	0.77	59.32	91.03	8	7	2	0.87	70.20	77.92	395	0.87	75.31	70.93	-0.05	7.28	-8.97
10	7	7	1	0.81	64.99	83.33	10	3	2	0.84	68.57	78.96	330	0.85	71.69	74.95	1.13	4.54	-5.08
11	9	5	1	0.77	58.89	89.00	7	7	2	0.88	73.53	71.41	793	0.88	73.53	71.41	0.00	0.00	0.00
12	8	5	1	0.82	66.95	78.58	6	5	2	0.87	73.22	70.73	456	0.87	74.12	69.53	-0.16	1.23	-1.70
ค่าเฉลี่ย				0.80	61.91	86.70				0.84	68.56	78.82	453	0.85	71.32	75.31	1.51	4.16	-4.34

ตารางผนวกที่ ก11 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.14

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	T	k	r	EI	Rel. RMSE	m	T	k	r	EI	Rel. RMSE	(m ³ /s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)						(%)				(%)		(%)				
1	10	10	1	0.78	60.19	70.59	14	10	4	0.81	65.11	66.09	130	0.81	65.11	66.09	0.00	0.00	0.00
2	7	10	1	0.75	56.52	72.98	14	10	5	0.79	60.94	69.17	119	0.82	65.54	64.98	3.11	7.54	-6.07
3	6	4	1	0.75	55.10	74.66	14	10	5	0.80	61.32	69.30	143	0.80	61.32	69.30	0.00	0.00	0.00
4	8	10	1	0.73	52.34	77.33	14	10	5	0.80	61.71	69.31	119	0.80	64.19	67.03	0.75	4.03	-3.30
5	5	2	1	0.75	55.57	74.80	7	3	3	0.80	62.08	69.09	119	0.81	64.17	67.16	1.14	3.37	-2.79
6	12	1	1	0.73	53.42	76.56	14	10	5	0.80	61.68	69.44	119	0.80	61.68	69.44	0.00	0.00	0.00
7	9	1	1	0.75	56.58	73.87	14	10	5	0.80	61.67	69.41	119	0.80	62.53	68.62	0.35	1.40	-1.13
8	9	1	1	0.75	55.47	74.63	14	10	5	0.80	61.58	69.32	119	0.80	62.45	68.53	0.35	1.41	-1.13
9	8	10	1	0.72	52.01	77.28	14	10	5	0.80	61.49	69.22	119	0.80	64.00	66.93	0.74	4.07	-3.31
10	8	10	1	0.72	52.02	77.17	14	10	5	0.80	61.43	69.19	119	0.80	63.94	66.91	0.74	4.08	-3.31
11	9	9	1	0.73	52.80	76.77	14	10	5	0.80	61.52	69.32	119	0.80	63.60	67.42	0.38	3.38	-2.74
12	15	5	1	0.77	58.06	72.50	12	10	3	0.81	62.71	68.36	125	0.88	74.39	56.66	8.99	18.62	-17.12
ค่าเฉลี่ย				0.74	55.01	74.93				0.80	61.94	68.94	122	0.81	64.41	66.59	1.38	3.99	-3.41

ตารางผนวกที่ ก12 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีเขื่อนภูมิพล

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)						(%)				(%)		(%)				
1	7	11	1	0.84	68.36	67.81	7	11	1	0.84	68.36	67.81	-	0.84	68.36	67.81	0.00	0.00	0.00
2	7	10	1	0.75	52.55	82.41	9	7	1	0.81	61.93	73.82	525	0.86	70.90	64.54	5.23	14.48	-12.57
3	10	8	1	0.76	50.84	83.21	14	7	9	0.84	59.82	75.23	543	0.84	63.61	71.60	-0.08	6.32	-4.82
4	10	8	1	0.76	50.80	83.27	14	7	9	0.84	60.42	74.69	543	0.84	64.21	71.02	-0.08	6.27	-4.91
5	10	8	1	0.76	51.61	83.10	14	7	9	0.84	60.87	74.72	543	0.84	64.66	71.01	-0.10	6.22	-4.96
6	10	8	1	0.76	51.59	83.33	14	7	9	0.84	60.94	74.85	543	0.84	64.73	71.13	-0.10	6.22	-4.97
7	10	8	1	0.76	51.80	83.80	14	7	9	0.84	60.91	75.46	543	0.84	64.70	71.71	-0.15	6.23	-4.97
8	10	8	1	0.76	52.31	84.37	14	7	9	0.84	60.43	76.86	543	0.84	64.28	73.02	-0.20	6.38	-4.99
9	10	8	1	0.77	52.93	84.26	14	7	10	0.85	60.46	77.23	543	0.84	64.53	73.14	-0.42	6.73	-5.29
10	12	8	1	0.79	51.31	85.45	14	7	10	0.85	59.75	77.69	416	0.84	65.55	71.87	-0.59	9.72	-7.49
11	12	8	1	0.76	49.51	86.53	14	7	10	0.85	59.90	77.12	746	0.84	64.00	73.07	-0.48	6.85	-5.25
12	10	10	1	0.77	51.82	83.87	6	5	4	0.86	64.12	72.37	435	0.84	67.96	68.39	-1.67	5.99	-5.50
ค่าเฉลี่ย				0.77	52.95	82.62				0.84	61.49	74.82	538	0.84	65.63	70.69	0.11	6.78	-5.48

ตารางผนวกที่ ก13 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.20

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)						(%)				(%)		(%)				
1	6	10	1	0.80	60.23	68.78	6	5	2	0.83	62.87	66.45	23	0.83	67.51	62.16	0.21	7.39	-6.46
2	4	10	1	0.70	43.08	82.37	3	11	6	0.76	52.09	75.57	63	0.79	60.01	69.05	4.05	15.20	-8.63
3	6	5	1	0.70	44.34	81.49	6	10	4	0.80	53.03	74.86	63	0.80	57.94	70.84	1.11	9.26	-5.37
4	6	2	1	0.72	45.46	80.50	12	1	4	0.77	50.47	76.71	23	0.78	56.27	72.08	1.13	11.48	-6.03
5	6	2	1	0.73	46.69	80.15	15	1	4	0.76	51.74	76.26	29	0.82	64.39	65.50	7.36	24.46	-14.10
6	6	2	1	0.77	54.96	74.30	6	2	6	0.80	52.70	76.14	23	0.82	65.61	64.92	2.59	24.49	-14.73
7	6	2	1	0.78	57.81	72.29	3	5	3	0.77	54.10	75.40	68	0.83	66.76	64.17	7.82	23.38	-14.89
8	6	2	1	0.77	55.84	74.48	3	5	3	0.80	54.96	75.22	39	0.84	68.78	62.62	5.63	25.15	-16.75
9	6	2	1	0.76	55.15	75.05	3	5	3	0.78	55.03	75.15	68	0.84	67.71	63.68	7.38	23.04	-15.26
10	6	2	1	0.71	45.15	82.81	11	1	2	0.77	53.16	76.52	34	0.79	59.99	70.72	2.38	12.84	-7.57
11	5	10	1	0.70	42.89	84.05	11	1	3	0.77	53.04	76.21	63	0.79	59.40	70.86	2.16	11.99	-7.02
12	13	5	1	0.73	47.40	80.17	9	1	3	0.78	56.27	73.09	55	0.78	59.46	70.38	-0.72	5.66	-3.71
ค่าเฉลี่ย				0.74	49.92	78.04				0.78	54.12	74.80	46	0.81	62.82	67.25	3.43	16.19	-10.04

ตารางผนวกที่ ก14 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.21

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)	(%)	(%)				(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)				
1	15	9	1	0.75	55.30	70.36	12	7	8	0.81	65.40	61.90	17	0.83	68.65	58.93	2.52	4.96	-4.80
2	6	9	1	0.69	45.10	77.66	13	11	14	0.76	57.83	68.06	19	0.79	62.02	64.59	3.59	7.26	-5.11
3	11	2	1	0.65	35.36	83.94	15	1	9	0.75	56.14	69.14	21	0.75	56.14	69.14	0.00	0.00	0.00
4	5	2	1	0.64	35.29	83.60	8	8	2	0.76	57.20	67.99	20	0.77	59.06	66.50	1.84	3.24	-2.19
5	6	2	1	0.65	36.78	82.65	8	8	2	0.76	56.73	68.37	17	0.77	58.75	66.76	1.89	3.55	-2.36
6	15	9	1	0.63	34.37	84.49	8	8	2	0.76	57.46	68.02	21	0.76	57.46	68.02	0.00	0.00	0.00
7	11	2	1	0.65	38.63	82.04	8	8	2	0.76	57.85	67.98	21	0.76	57.85	67.98	0.00	0.00	0.00
8	15	9	1	0.63	34.17	85.44	8	8	2	0.76	57.78	68.42	21	0.76	57.78	68.42	0.00	0.00	0.00
9	15	9	1	0.63	34.52	85.22	8	8	2	0.77	58.15	68.13	21	0.77	58.15	68.13	0.00	0.00	0.00
10	14	2	1	0.63	34.95	84.72	8	8	2	0.76	56.77	69.06	21	0.76	56.77	69.06	0.00	0.00	0.00
11	12	7	1	0.65	34.02	84.96	15	1	12	0.75	56.37	69.08	20	0.75	56.59	68.91	0.12	0.38	-0.24
12	6	10	1	0.63	34.22	84.42	14	1	13	0.76	57.12	68.15	14	0.76	58.27	67.24	0.95	2.00	-1.34
ค่าเฉลี่ย				0.65	37.72	82.46				0.76	57.90	67.86	19	0.77	58.96	66.97	0.91	1.78	-1.34

ตารางผนวกที่ ก15 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.1

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)	(%)	(%)				(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)				
1	6	5	1	0.72	46.02	78.78	7	5	4	0.82	66.27	62.27	284	0.82	66.27	62.27	0.00	0.00	0.00
2	7	2	1	0.66	34.98	84.95	14	1	12	0.76	57.67	68.54	225	0.78	60.75	66.00	3.17	5.34	-3.71
3	15	2	1	0.60	25.72	91.21	15	1	15	0.73	53.61	72.09	284	0.73	53.61	72.09	0.00	0.00	0.00
4	8	2	1	0.63	24.23	92.43	6	5	2	0.76	55.39	70.92	229	0.78	55.85	70.55	2.50	0.82	-0.51
5	6	2	1	0.61	19.63	95.28	15	1	13	0.74	54.09	72.01	250	0.74	54.09	72.01	0.00	0.00	0.00
6	6	10	1	0.52	13.91	98.45	12	1	13	0.74	54.28	71.74	186	0.71	48.70	75.99	-3.64	-10.28	5.93
7	5	2	1	0.68	34.44	85.86	12	1	13	0.74	54.11	71.84	284	0.74	54.11	71.84	0.00	0.00	0.00
8	5	2	1	0.59	19.25	95.09	12	1	13	0.74	54.59	71.31	284	0.74	54.59	71.31	0.00	0.00	0.00
9	3	5	1	0.52	19.14	95.13	15	1	13	0.74	55.23	70.78	172	0.78	60.13	66.80	4.54	8.88	-5.63
10	15	1	1	0.64	17.24	96.22	14	1	13	0.75	55.95	70.20	285	0.75	55.95	70.20	0.00	0.00	0.00
11	14	1	1	0.64	23.71	92.72	15	1	15	0.74	54.94	71.26	285	0.74	54.94	71.26	0.00	0.00	0.00
12	15	1	1	0.64	31.09	88.33	15	1	10	0.76	57.25	69.58	284	0.76	57.25	69.58	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย				0.62	25.78	91.20				0.75	56.12	70.21	254	0.76	56.35	69.99	0.55	0.40	-0.33

ตารางผนวกที่ ก16 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.24A

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	(m^3/s)	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	r	EI	Rel. RMSE
1	4	5	1	0.69	45.86	93.40	15	7	11	0.77	55.21	84.95	11	0.77	58.26	82.01	-0.24	5.51	-3.46
2	7	5	1	0.63	37.07	100.79	15	7	15	0.77	55.05	85.18	24	0.77	55.05	85.18	0.00	0.00	0.00
3	5	4	1	0.68	44.04	94.86	15	7	14	0.77	54.19	85.82	16	0.80	63.61	76.49	4.62	17.38	-10.87
4	6	5	1	0.61	34.92	101.97	12	7	14	0.75	53.87	85.84	21	0.75	53.87	85.84	0.00	0.00	0.00
5	15	3	1	0.64	38.51	98.62	12	7	14	0.75	53.69	85.59	15	0.78	60.39	79.16	3.82	12.47	-7.51
6	6	5	1	0.64	37.61	98.80	12	7	14	0.75	53.50	85.30	18	0.75	53.50	85.30	0.00	0.00	0.00
7	6	7	1	0.65	36.97	98.88	12	7	14	0.75	53.84	84.61	16	0.79	59.36	79.39	4.67	10.25	-6.17
8	15	3	1	0.64	38.43	97.40	12	7	14	0.75	53.78	84.39	15	0.78	60.54	77.97	3.74	12.58	-7.61
9	5	5	1	0.64	36.91	98.24	15	7	14	0.76	53.37	84.46	13	0.76	56.24	81.82	0.27	5.37	-3.12
10	15	3	1	0.63	36.73	98.97	15	7	14	0.76	53.55	84.80	16	0.79	59.69	78.99	2.91	11.47	-6.85
11	14	6	1	0.64	36.66	98.83	8	10	5	0.76	53.62	84.57	14	0.77	58.16	80.32	1.01	8.47	-5.02
12	8	5	1	0.66	38.88	97.90	8	10	6	0.79	54.63	84.35	14	0.79	59.87	79.32	0.96	9.60	-5.95
ค่าเฉลี่ย				0.65	38.55	98.22				0.76	54.03	84.99	16	0.78	58.21	80.98	1.81	7.76	-4.71

ตารางผนวกที่ ก17 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.4A

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	(m^3/s)	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	r	EI	Rel. RMSE
1	6	10	1	0.79	60.75	93.98	9	8	3	0.84	68.29	84.47	44	0.85	72.64	78.46	1.38	6.37	-7.11
2	14	3	1	0.76	55.63	99.12	9	7	2	0.76	56.27	98.41	43	0.83	65.16	87.84	9.42	15.79	-10.74
3	12	11	1	0.76	54.82	99.22	12	11	1	0.76	54.82	99.22	1	0.76	54.82	99.22	0.00	0.00	0.00
4	12	11	1	0.75	52.32	101.35	12	11	1	0.75	52.32	101.35	1	0.75	52.32	101.35	0.00	0.00	0.00
5	11	11	1	0.77	53.86	100.86	11	11	1	0.77	53.86	100.86	1	0.77	53.86	100.86	0.00	0.00	0.00
6	11	11	1	0.78	56.18	98.99	11	11	1	0.78	56.18	98.99	1	0.78	56.18	98.99	0.00	0.00	0.00
7	11	11	1	0.78	56.85	97.71	11	11	1	0.78	56.85	97.71	1	0.78	56.85	97.71	0.00	0.00	0.00
8	11	11	1	0.78	56.83	97.98	11	11	1	0.78	56.83	97.98	1	0.78	56.83	97.98	0.00	0.00	0.00
9	9	3	1	0.82	66.64	86.95	9	3	1	0.82	66.64	86.95	1	0.82	66.64	86.95	0.00	0.00	0.00
10	15	3	1	0.76	57.24	98.48	8	11	3	0.77	58.61	96.89	10	0.87	73.64	77.33	12.42	25.64	-20.19
11	11	11	1	0.78	57.01	99.39	8	11	3	0.79	60.45	95.33	38	0.80	62.71	92.57	1.80	3.74	-2.90
12	14	1	1	0.80	59.88	96.06	9	7	2	0.79	62.77	92.53	74	0.85	71.42	81.07	6.97	13.78	-12.38
ค่าเฉลี่ย				0.78	57.33	97.51				0.78	58.66	95.89	18	0.80	61.92	91.69	2.67	5.44	-4.44

ตารางผนวกที่ ก18 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.77

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)							
1	13	7	1	0.76	53.39	99.32	13	7	1	0.76	53.39	99.32	-	0.76	53.39	99.32	0.00	0.00	0.00
2	10	1	1	0.77	57.86	93.20	10	1	1	0.77	57.86	93.20	-	0.77	57.86	93.20	0.00	0.00	0.00
3	13	7	1	0.77	55.20	95.12	13	7	1	0.77	55.20	95.12	-	0.77	55.20	95.12	0.00	0.00	0.00
4	13	7	1	0.79	57.65	92.43	13	7	1	0.79	57.65	92.43	-	0.79	57.65	92.43	0.00	0.00	0.00
5	13	7	1	0.79	57.36	91.77	13	7	1	0.79	57.36	91.77	-	0.79	57.36	91.77	0.00	0.00	0.00
6	13	7	1	0.80	57.44	91.99	13	7	1	0.80	57.44	91.99	-	0.80	57.44	91.99	0.00	0.00	0.00
7	13	7	1	0.81	59.43	93.08	13	7	1	0.81	59.43	93.08	-	0.81	59.43	93.08	0.00	0.00	0.00
8	13	7	1	0.82	59.85	96.02	13	7	1	0.82	59.85	96.02	-	0.82	59.85	96.02	0.00	0.00	0.00
9	13	7	1	0.82	62.20	95.72	13	7	1	0.82	62.20	95.72	-	0.82	62.20	95.72	0.00	0.00	0.00
10	13	7	1	0.83	64.63	91.53	13	7	1	0.83	64.63	91.53	-	0.83	64.63	91.53	0.00	0.00	0.00
11	13	7	1	0.83	64.94	90.03	13	7	1	0.83	64.94	90.03	-	0.83	64.94	90.03	0.00	0.00	0.00
12	13	7	1	0.83	64.65	89.23	13	7	1	0.83	64.65	89.23	-	0.83	64.65	89.23	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย				0.80	59.55	93.29				0.80	59.55	93.29	-	0.80	59.55	93.29	0.00	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ ก19 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.67

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)			(%)			(%)			(%)							
1	10	7	1	0.69	46.94	98.33	12	9	8	0.82	59.60	85.80	162	0.82	59.60	85.80	0.00	0.00	0.00
2	9	11	1	0.67	40.81	105.77	8	9	2	0.74	51.37	95.87	138	0.77	53.44	93.81	3.43	4.03	-2.15
3	9	11	1	0.65	37.63	108.52	12	9	2	0.74	52.53	94.68	165	0.77	56.04	91.10	3.22	6.70	-3.78
4	9	11	1	0.71	47.08	101.55	12	9	2	0.75	53.55	95.14	165	0.78	57.08	91.45	3.05	6.59	-3.87
5	9	11	1	0.72	47.79	100.11	12	9	2	0.75	53.37	94.61	165	0.77	56.91	90.94	3.08	6.65	-3.88
6	9	11	1	0.71	47.67	99.59	12	9	2	0.75	53.20	94.17	165	0.77	56.77	90.51	3.11	6.70	-3.88
7	9	11	1	0.71	47.77	99.56	12	9	2	0.75	53.19	94.25	165	0.77	56.76	90.59	3.11	6.71	-3.89
8	9	11	1	0.71	47.87	99.50	5	2	2	0.74	53.93	93.54	138	0.76	56.14	91.27	3.15	4.10	-2.43
9	9	11	1	0.71	47.81	99.75	12	9	2	0.75	53.23	94.43	165	0.77	56.81	90.74	3.09	6.73	-3.90
10	9	11	1	0.72	48.31	99.28	12	9	2	0.75	53.15	94.52	165	0.77	56.74	90.83	3.08	6.75	-3.90
11	9	11	1	0.72	48.26	99.55	12	9	2	0.75	54.18	93.68	165	0.77	57.77	89.93	2.85	6.63	-4.00
12	9	11	1	0.72	48.90	100.86	6	9	4	0.75	54.22	95.46	138	0.82	64.65	83.88	9.61	19.24	-12.13
ค่าเฉลี่ย				0.70	46.40	101.03				0.75	53.79	93.85	158	0.78	57.39	90.07	3.40	6.73	-3.98

ตารางผนวกที่ ก20 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.42

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)						(%)				(%)		(%)				
1	8	11	1	0.72	41.87	97.41	10	11	3	0.76	56.07	84.68	5	0.78	56.40	84.36	2.23	0.58	-0.37
2	8	11	1	0.72	45.02	93.87	10	11	3	0.76	53.83	86.02	5	0.76	54.88	85.04	1.21	1.95	-1.14
3	7	7	1	0.65	34.38	101.45	10	11	3	0.73	50.08	88.49	4	0.75	52.70	86.13	2.32	5.23	-2.66
4	7	7	1	0.65	34.31	100.32	10	11	3	0.74	51.76	85.97	6	0.74	51.76	85.97	0.00	0.00	0.00
5	7	7	1	0.69	38.72	95.73	10	11	3	0.74	51.19	85.43	4	0.76	54.14	82.81	2.27	5.77	-3.07
6	7	7	1	0.69	39.44	95.19	10	11	3	0.74	51.12	85.52	4	0.76	54.08	82.88	2.25	5.79	-3.08
7	7	7	1	0.67	36.45	99.55	10	11	3	0.73	48.28	89.80	4	0.75	51.95	86.56	2.97	7.60	-3.61
8	7	1	1	0.67	40.55	98.55	10	11	3	0.73	48.51	91.72	4	0.75	52.25	88.33	3.07	7.70	-3.69
9	7	7	1	0.74	43.70	95.14	10	11	3	0.72	48.17	91.28	4	0.75	51.93	87.91	3.09	7.80	-3.69
10	6	7	1	0.64	33.66	102.34	10	11	3	0.72	47.80	90.79	6	0.72	47.80	90.79	0.00	0.00	0.00
11	6	7	1	0.64	32.35	101.78	10	11	3	0.72	47.18	89.94	6	0.72	47.18	89.94	0.00	0.00	0.00
12	6	7	1	0.64	31.66	100.68	10	11	3	0.72	46.50	89.08	6	0.72	46.50	89.08	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย				0.68	37.68	98.50				0.73	50.04	88.23	5	0.75	51.80	86.65	1.62	3.54	-1.78

ตารางผนวกที่ ก21 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย
เดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.5

เวลาคาดการณ์ ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	m	τ	k	r	EI	Rel. RMSE	(m^3/s)	r	EI	Rel. RMSE	r	EI	Rel. RMSE
			(%)						(%)				(%)		(%)				
1	15	8	1	0.76	55.78	95.26	15	8	1	0.76	55.78	95.26	1	0.76	55.78	95.26	0.00	0.00	0.00
2	15	8	1	0.70	48.94	104.16	15	8	2	0.74	53.47	99.44	54	0.79	61.34	90.64	6.80	14.72	-8.85
3	10	11	1	0.80	60.62	91.71	10	11	1	0.80	60.62	91.71	1	0.80	60.62	91.71	0.00	0.00	0.00
4	10	11	1	0.76	53.56	99.82	10	11	1	0.76	53.56	99.82	1	0.76	53.56	99.82	0.00	0.00	0.00
5	10	11	1	0.76	53.88	100.40	10	11	1	0.76	53.88	100.40	1	0.76	53.88	100.40	0.00	0.00	0.00
6	10	11	1	0.76	53.87	101.68	10	11	1	0.76	53.87	101.68	1	0.76	53.87	101.68	0.00	0.00	0.00
7	10	11	1	0.76	54.09	102.32	10	11	1	0.76	54.09	102.32	1	0.76	54.09	102.32	0.00	0.00	0.00
8	10	11	1	0.76	54.20	102.24	10	11	1	0.76	54.20	102.24	1	0.76	54.20	102.24	0.00	0.00	0.00
9	10	11	1	0.76	54.01	101.79	15	8	2	0.76	55.40	100.24	35	0.78	60.22	94.67	3.12	8.69	-5.55
10	10	11	1	0.76	53.82	101.35	15	8	2	0.75	54.11	101.03	35	0.77	58.95	95.56	2.71	8.93	-5.41
11	10	11	1	0.75	53.62	100.86	15	8	2	0.77	56.37	97.82	71	0.79	59.78	93.92	2.48	6.05	-3.99
12	10	11	1	0.75	53.36	100.20	10	11	1	0.75	53.36	100.20	1	0.75	53.36	100.20	0.00	0.00	0.00
ค่าเฉลี่ย				0.76	54.15	100.15				0.76	54.89	99.35	17	0.77	56.64	97.37	1.26	3.20	-1.98

ตารางผนวกที่ ก22 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 12 เดือน ของสถานีวัดน้ำท่า P.76

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (เดือน)	high flows						low to medium flows						mix flows			การปรับปรุง			
	ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			ค่าพารามิเตอร์			ค่าตัวแปรทางสถิติ			Q	ค่าตัวแปรทางสถิติ		ค่าตัวแปรทางสถิติ (%)			
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	(m^3/s)	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)	r	EI	Rel. RMSE
1	8	11	1	0.74	48.65	103.98	8	11	1	0.74	48.65	103.98	-	0.74	48.65	103.98	0.00	0.00	0.00
2	8	11	1	0.74	39.99	112.20	4	6	4	0.73	51.06	101.33	35	0.73	51.06	101.33	0.00	0.00	0.00
3	8	11	1	0.74	40.77	112.32	4	6	2	0.81	61.44	90.62	31	0.81	62.90	88.89	0.08	2.38	-1.91
4	8	11	1	0.74	41.52	112.52	4	6	3	0.76	54.74	98.99	35	0.76	54.74	98.99	0.00	0.00	0.00
5	8	11	1	0.74	41.16	111.77	7	11	3	0.66	42.92	110.08	35	0.66	42.92	110.08	0.00	0.00	0.00
6	8	11	1	0.75	41.23	111.09	7	11	3	0.67	42.82	109.58	35	0.67	42.82	109.58	0.00	0.00	0.00
7	8	11	1	0.75	41.33	113.02	7	11	3	0.69	45.11	109.33	35	0.69	45.11	109.33	0.00	0.00	0.00
8	8	11	1	0.79	40.98	117.13	7	11	3	0.69	45.33	112.72	35	0.69	45.33	112.72	0.00	0.00	0.00
9	8	11	1	0.79	41.80	118.78	7	11	3	0.70	46.61	113.76	35	0.70	46.61	113.76	0.00	0.00	0.00
10	8	11	1	0.79	41.42	117.90	7	11	3	0.70	46.28	112.90	35	0.70	46.28	112.90	0.00	0.00	0.00
11	8	11	1	0.79	40.90	116.71	7	11	3	0.69	45.81	111.76	35	0.69	45.81	111.76	0.00	0.00	0.00
12	8	11	1	0.78	40.28	115.34	8	2	2	0.79	59.13	95.42	31	0.84	67.75	84.76	5.52	14.59	-11.18
ค่าเฉลี่ย				0.76	41.67	113.56				0.72	49.16	105.87	34	0.72	50.00	104.84	0.47	1.41	-1.09



ภาคผนวก ข

การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน

ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าและอ่างเก็บน้ำ แสดงดังใน ตารางผนวกที่ ข1 ถึง ตารางผนวกที่ ข22 โดยแสดงจากสถานีที่ได้ค่าตัวแปรทางสถิติที่ดีที่สุดคือ สถานีวัดน้ำท่า P.75 จนถึงที่ ด้อยที่สุดคือ สถานีวัดน้ำท่า P.42 รวมทั้งสิ้น 22 สถานี ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ ข1 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.75

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	3	10	0.92	84.51	35.24
2	3	7	15	0.83	68.64	50.15
3	5	2	15	0.78	60.16	56.54
4	8	2	15	0.75	53.89	60.83
5	8	2	9	0.73	51.36	62.49
6	8	2	15	0.72	49.68	63.57
7	5	2	15	0.69	46.79	65.39
ค่าเฉลี่ย				0.77	59.29	56.32

ตารางผนวกที่ ข2 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.1

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	8	12	0.94	87.34	48.62
2	3	8	14	0.85	72.23	72.01
3	3	9	11	0.79	61.96	84.27
4	10	2	12	0.76	54.36	92.30
5	10	2	14	0.76	52.25	94.41
6	9	2	11	0.75	49.90	96.71
7	4	6	11	0.70	48.54	98.01
ค่าเฉลี่ย				0.79	60.94	83.76

ตารางผนวกที่ ข3 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.73

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	7	5	0.95	90.06	51.29
2	3	5	9	0.88	76.58	78.75
3	3	2	11	0.83	67.32	93.03
4	3	5	7	0.78	60.82	101.85
5	3	4	12	0.76	55.88	108.08
6	3	5	8	0.76	56.10	107.83
7	3	5	6	0.73	52.17	112.60
ค่าเฉลี่ย				0.81	65.56	93.35

ตารางผนวกที่ ข4 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.67

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	4	11	8	0.92	85.08	61.12
2	3	8	12	0.84	70.62	85.81
3	3	8	9	0.78	60.77	99.21
4	4	2	12	0.75	55.01	106.31
5	5	2	9	0.74	52.33	109.49
6	10	2	8	0.75	51.22	110.81
7	10	2	8	0.74	49.84	112.43
ค่าเฉลี่ย				0.79	60.70	97.88

ตารางผนวกที่ ข5 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีเขื่อนภูมิพล

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	6	14	0.93	85.43	59.12
2	3	6	12	0.85	71.16	83.16
3	3	6	14	0.79	61.44	96.12
4	3	11	10	0.75	55.05	103.73
5	3	11	10	0.72	51.38	107.85
6	3	5	11	0.71	48.92	110.51
7	3	10	4	0.68	45.25	114.35
ค่าเฉลี่ย				0.77	59.80	96.41

ตารางผนวกที่ ข6 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.65

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	4	15	0.84	71.17	70.55
2	4	11	10	0.76	57.08	85.54
3	8	2	12	0.70	48.97	92.83
4	8	2	14	0.67	44.18	96.76
5	5	2	15	0.65	42.18	98.26
6	7	2	15	0.64	39.88	100.10
7	8	2	15	0.62	37.88	101.73
ค่าเฉลี่ย				0.70	48.76	92.25

ตารางผนวกที่ ข7 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีเขื่อนแม่กวงอุดมธารา

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	5	8	12	0.79	61.59	77.98
2	7	4	14	0.67	45.34	93.02
3	6	2	15	0.65	42.38	95.49
4	9	3	15	0.63	39.48	97.89
5	6	5	15	0.61	37.32	99.63
6	6	5	12	0.62	38.67	98.54
7	8	4	13	0.60	35.28	101.23
ค่าเฉลี่ย				0.65	42.86	94.83

ตารางผนวกที่ ข8 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.21

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	9	11	0.84	70.00	72.17
2	4	2	15	0.70	48.31	94.71
3	3	2	12	0.62	38.35	103.41
4	5	2	14	0.61	36.05	105.29
5	3	4	14	0.61	37.04	104.43
6	3	5	15	0.60	35.52	105.65
7	7	3	10	0.61	34.17	106.72
ค่าเฉลี่ย				0.65	42.78	98.91

ตารางผนวกที่ ข9 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน
ล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.79

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	4	2	15	0.73	52.66	81.27
2	9	3	11	0.63	39.08	92.15
3	7	3	12	0.59	34.99	95.13
4	13	2	13	0.55	29.05	99.33
5	13	2	15	0.54	28.65	99.55
6	7	3	14	0.54	28.08	99.89
7	7	3	14	0.53	27.08	100.52
ค่าเฉลี่ย				0.59	34.23	95.40

ตารางผนวกที่ ข10 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีเขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	4	6	14	0.82	65.79	91.53
2	3	6	13	0.74	52.21	108.18
3	5	6	12	0.68	44.00	117.10
4	5	3	7	0.66	42.88	118.26
5	5	6	8	0.65	40.55	120.69
6	5	6	9	0.66	41.11	120.20
7	6	6	9	0.65	39.79	121.54
ค่าเฉลี่ย				0.69	46.62	113.93

ตารางผนวกที่ ข11 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.14

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	12	7	0.85	69.40	85.92
2	3	11	7	0.75	54.33	104.95
3	6	12	4	0.70	47.28	112.73
4	5	12	5	0.66	41.66	118.56
5	3	11	6	0.63	38.77	121.43
6	3	10	6	0.60	34.48	125.59
7	6	3	5	0.59	32.51	127.43
ค่าเฉลี่ย				0.68	45.49	113.80

ตารางผนวกที่ ข12 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.20

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	2	12	0.83	69.33	85.79
2	3	11	10	0.73	52.54	106.71
3	3	2	13	0.67	44.93	114.94
4	3	9	14	0.64	40.65	119.32
5	3	5	15	0.63	38.59	121.36
6	3	6	12	0.59	34.67	125.17
7	3	2	12	0.59	34.22	125.59
ค่าเฉลี่ย				0.67	44.99	114.12

ตารางผนวกที่ ข13 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.5

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	2	11	0.94	88.11	61.20
2	3	2	7	0.83	68.87	99.11
3	3	2	11	0.73	52.94	121.96
4	3	2	10	0.64	40.00	137.81
5	7	2	10	0.60	32.78	145.98
6	11	2	14	0.59	29.38	149.75
7	14	5	5	0.56	29.81	149.39
ค่าเฉลี่ย				0.70	48.84	123.60

ตารางผนวกที่ ข14 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.56A

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	9	15	0.81	64.74	84.67
2	4	3	15	0.63	38.88	111.50
3	13	2	13	0.59	32.26	117.41
4	9	5	10	0.55	28.89	120.32
5	4	5	15	0.55	28.70	120.51
6	5	2	13	0.54	28.08	121.08
7	4	5	14	0.53	27.48	121.64
ค่าเฉลี่ย				0.60	35.58	113.88

ตารางผนวกที่ ข15 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.4A

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	4	8	0.87	76.20	90.64
2	3	3	14	0.75	56.07	123.14
3	3	4	14	0.68	45.51	137.11
4	3	3	14	0.64	40.10	143.74
5	3	6	10	0.61	37.08	147.30
6	3	3	14	0.59	33.92	150.93
7	3	6	10	0.57	32.66	152.34
ค่าเฉลี่ย				0.67	45.93	135.03

ตารางผนวกที่ ข16 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.80

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	6	9	0.74	51.94	104.56
2	3	4	11	0.65	39.93	116.84
3	3	4	11	0.61	34.86	121.62
4	3	4	12	0.58	32.50	123.74
5	3	4	5	0.58	32.74	123.47
6	4	6	6	0.53	27.40	128.20
7	4	6	7	0.53	26.69	128.77
ค่าเฉลี่ย				0.60	35.15	121.03

ตารางผนวกที่ ข17 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.71

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	7	13	0.80	64.03	95.06
2	4	7	10	0.62	37.04	125.73
3	4	2	12	0.52	24.71	137.45
4	4	3	11	0.51	23.62	138.39
5	3	4	14	0.51	24.26	137.77
6	3	5	13	0.48	21.10	140.56
7	3	3	15	0.50	22.81	138.98
ค่าเฉลี่ย				0.56	31.08	130.56

ตารางผนวกที่ ข18 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.64

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	5	2	0.75	52.55	133.91
2	4	2	10	0.62	34.06	157.85
3	8	2	9	0.58	28.80	164.01
4	4	2	6	0.55	28.08	164.83
5	10	2	8	0.54	25.15	168.13
6	4	5	10	0.52	25.16	168.11
7	4	5	13	0.50	23.52	169.93
ค่าเฉลี่ย				0.58	31.05	160.97

ตารางผนวกที่ ข19 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.24A

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	6	12	0.76	56.83	128.55
2	3	2	15	0.60	36.45	155.94
3	3	6	12	0.52	26.69	167.44
4	3	6	12	0.49	23.86	170.60
5	5	2	14	0.50	24.32	170.05
6	5	2	14	0.48	22.70	171.81
7	5	2	14	0.45	20.16	174.56
ค่าเฉลี่ย				0.54	30.14	162.71

ตารางผนวกที่ ข20 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.77

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	4	10	12	0.67	42.60	156.78
2	4	2	15	0.54	28.96	174.36
3	4	2	10	0.48	21.91	182.72
4	11	3	9	0.46	17.31	187.95
5	12	4	7	0.43	15.07	190.40
6	9	4	14	0.48	18.66	186.26
7	12	3	10	0.45	14.09	191.35
ค่าเฉลี่ย				0.50	22.66	181.40

ตารางผนวกที่ ข21 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.76

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	3	2	0.82	66.57	145.77
2	3	5	13	0.61	36.00	201.71
3	5	2	7	0.52	25.64	217.41
4	3	5	14	0.49	22.74	221.61
5	5	2	8	0.51	22.34	222.21
6	3	5	14	0.48	21.27	223.73
7	3	4	9	0.45	18.09	228.19
ค่าเฉลี่ย				0.55	30.38	208.66

ตารางผนวกที่ ข22 ชุดพารามิเตอร์และค่าตัวแปรทางสถิติสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า
รายวันล่วงหน้าตั้งแต่ 1 ถึง 7 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า P.42

เวลาคาดการณ์ล่วงหน้า (วัน)	ค่าพารามิเตอร์				ค่าตัวแปรทางสถิติ	
	m	τ	k	r	EI (%)	Rel. RMSE (%)
1	3	6	13	0.57	31.75	215.32
2	3	11	13	0.49	24.17	226.91
3	3	11	14	0.46	20.53	232.23
4	5	10	15	0.39	15.07	240.02
5	5	10	11	0.35	11.17	245.40
6	9	8	15	0.33	8.74	248.66
7	9	8	15	0.31	7.13	250.78
ค่าเฉลี่ย				0.41	16.94	237.04

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวกীরติการ นาคีสินธุ์
เกิดวันที่	14 เมษายน 2533
สถานที่เกิด	ราชบุรี ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ตีพิมพ์ผลงาน งานประชุมวิชาการ THAICID ครั้งที่ 11 ปี 2561