

การพัฒนาวิธีพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าและการปล่อยน้ำ
ในภาวะน้ำหลากของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์



นายไพศาล ช่วยแทน

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1724-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF INFLOW FORECASTING AND OUTFLOW RELEASE METHODS
DURING FLOOD PERIODS OF PASAK JOLASID DAM



Mr. Phaisan Chouytan

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004


ISBN 974-53-1724-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาวิธีพยากกรณีปริมาณน้ำไหลเข้าและ
การปล่อยน้ำในภาวะน้ำหลากของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
โดย นายไพศาล ช่วยแทน
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ติเรก ลาวณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุนธนกุลวงศ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ชัยยุทธ สุศรี)

ไพศาล ช่วยแท่น : การพัฒนาวิธีพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าและการปล่อยน้ำในภาวะ
 น้ำหลากของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์. (DEVELOPMENT OF INFLOW FORECASTING AND
 OUTFLOW RELEASE METHODS DURING FLOOD PERIODS OF PASAK
 JOLASID DAM) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล, 305 หน้า.
 ISBN 974-53-1724-1

เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก ซึ่งในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) สภาพน้ำหลากมี
 ความผันแปรสูง ประกอบกับอ่างเก็บน้ำมีขนาดความจุเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย โดยวิธี
 การปล่อยน้ำที่เหมาะสมสามารถช่วยลดปัญหาน้ำท่วมด้านท้ายน้ำได้ ที่ผ่านมารูปแบบของการปล่อยน้ำ
 ออกจากอ่างเก็บน้ำ ได้ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำกับเหตุการณ์น้ำหลากทุกขนาด ทำให้การปล่อยน้ำ
 ไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์น้ำหลากที่เกิดขึ้น ดังนั้นการศึกษานี้ จึงได้พัฒนาวิธีการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำ
 หลาก ให้เหมาะสมกับเหตุการณ์น้ำหลากที่เกิดขึ้น มีการประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่า
 ล่วงหน้าร่วมกับวิธีการปล่อยน้ำ รวมถึงการพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำและศึกษาความสามารถของ
 อ่างเก็บน้ำในการรองรับน้ำหลาก

การพัฒนาวิธีการพยากรณ์ได้ใช้แบบจำลอง ANN แบบ BPNN และใช้แบบจำลองอนุกรมเวลา
 แบบ AR รวมทั้งกราฟความสัมพันธ์แบบต่างๆ มีการพยากรณ์น้ำท่าใน 5 พื้นที่ย่อย มีการเปรียบเทียบตัว
 แปรนำเข้าระหว่างกรณีใช้อัตราการไหลน้ำท่ารายวันร่วมกับปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ย และกรณีใช้อัตรา
 การไหลน้ำท่ารายวันเพียงอย่างเดียว พบว่าสามารถพยากรณ์ได้ล่วงหน้า 1 - 13 วัน ประสิทธิภาพของการ
 พยากรณ์ทั้งในช่วงของการปรับเทียบและสอบทาน สูงกว่า 84% การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำใช้
 สมการการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือร่วมกับสมการสมดุลน้ำ จากนั้นได้มีการศึกษาความสามารถของอ่าง
 เก็บน้ำในการรองรับน้ำหลากของเหตุการณ์น้ำหลากจริง 30 ปี ย้อนหลัง และน้ำหลากออกแบบ พบว่าวิธี
 การปล่อยน้ำที่เหมาะสม ตั้งแต่วันที่ 1 ส.ค. - 10 ก.ย. ใช้เกณฑ์ RC0300 หรือ RC2546 ตั้งแต่วันที่ 11
 ก.ย. - 15 ต.ค. ใช้เกณฑ์ RC0400 และหลังจากวันที่ 15 ต.ค. ถึงสิ้นฤดูน้ำหลากใช้เกณฑ์ RC0500

การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำ โดยคำนึงถึงปริมาณน้ำท่าไหลเข้าในช่วงเวลาที่เหลือ ความจุเก็บกักที่
 เหลือ และเวลาที่เหลือร่วมกับสมการสมดุลน้ำ พบว่าสามารถเปลี่ยนแปลงสภาพของอัตราการปล่อยน้ำ
 ให้มีการกระจายตัวสม่ำเสมอขึ้น สามารถลดยอดน้ำหลากสูงสุดได้เฉลี่ย 47.2% และสามารถช่วยเพิ่มการ
 เก็บกักน้ำช่วงปลายฤดูน้ำหลากให้เต็มความจุของอ่างเก็บน้ำ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์
 อัตราการไหลน้ำท่าเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ล่วงหน้า 1 - 13 วัน ร่วมกับวิธีการปล่อยน้ำที่พัฒนาขึ้น พบ
 ว่าสามารถลดยอดน้ำหลาก จากกรณีไม่ใช้การพยากรณ์ล่วงหน้า ได้ดีกับเหตุการณ์น้ำหลากสูงมาก ซึ่งลด
 ได้ประมาณ 2.39 - 29.54 %

ภาควิชา _____ วิศวกรรมแหล่งน้ำ _____ ลายมือชื่อนิสิต _____
 สาขาวิชา _____ วิศวกรรมแหล่งน้ำ _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
 ปีการศึกษา _____ 2547 _____

4470448521 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD : PASAK JOLASID DAM / INFLOW FORCASTING / OPERATION RULE CURVES

PHAISAN CHOUYTAN : DEVELOPMENT OF INFLOW FORECASTING AND OUTFLOW
RELEASE METHODS DURING FLOOD PERIODS OF PASAK JOLASID DAM.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. TUANTAN KITPAISALSAKUL, D.Eng. 305 pp.

ISBN 974-53-1724-1

The Pasak Jolasid Dam is located in the Pasak River Basin. The flood magnitude change highly in the flood season (Aug. – Sep.). The storage capacity of the reservoir has only one – third of average annual runoff. The appropriate outflow release method can reduce downstream flood problem. In the past, the pattern of release from the reservoir used the operation rule curve with the flood events of all magnitudes. This operation might not fit with some flood events. Therefore this study was to develop the outflow release method in flood season to cope with the occurring flood event. The forecasted inflow results were applied jointly with the outflow release method. In addition, a number of operation rule curves were developed and the capability of the reservoir to reduce flood was studied.

The ANN model based on BPNN algorithm, time series model (AR model) and various correlation graphs were applied to develop the forecasting method. There were forecasting runoff in 5 subcatchments. The input variables were compared in 2 cases, one case with daily discharge and average daily rainfall and another case with discharge only. The forecasting periods were 1 – 13 days ahead. The efficiency of forecasting was found in training and testing stages higher than 84%. The operation rule curves were developed using the remaining time release equation and water balance equation. Then the capability of the reservoir to reduce flood in the last real flood 30 events and the design floods was studied. The appropriate operation rule curves were found as the water release from reservoir between 1 Aug. – 10 Sep. used RC0300 or RC2546, between 11 Sep. – 15 Oct. used RC0400 and then to the end of flood season used RC0500.

The development of outflow release method considered the remaining inflow, reservoir storage and time with the water balance equation. It was found that the outflow hydrographs could be changed to distribute more uniformly, the flood peak could be reduce as average as 47.2% and could raising store the flood water at the end of flood season to fill up the reservoir storage capacity. When the forecasted inflows to the reservoir 1 – 13 days ahead were applied along the outflow release method with developing the water release method, the flood peak could be reduced from the case without forecasting in the large flood events about 2.39 – 29.54%

Department Water Resources Engineering

Student's signature

Ph. Chouytan

Field of study Water Resources Engineering

Advisor's signature

Tuan Kitpaisalsakul

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องด้วยข้าพเจ้าได้รับคำปรึกษา คำแนะนำ แนวความคิด และความอนุเคราะห์ จากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวความคิดการจัดทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าให้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ วัควิชัย รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์ และอาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาของท่านในการให้คำชี้แนะ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการ และอบรมสั่งสอนสิ่งที่ดีๆ แก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบุคลากรของภาควิชาทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ การติดต่อประสานงาน และสาธารณูปโภคต่างๆ ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ อย่างเต็มกำลัง

ขอขอบคุณ กรมชลประทาน โครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ และโครงการประเมินผลโครงการเขื่อนป่าสักฯ ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สกว. ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ รวมทั้งคำสั่งสอน วิธีการ และประสบการณ์ในการทำงาน แก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณ บริษัท ไพรเกสรเทคโนโลยีคอนซัลแต้นส์ จำกัด ที่กรุณาให้เวลาแก่ข้าพเจ้าในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งญาติมิตร และเพื่อนๆ ของข้าพเจ้าเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้ให้โอกาส เงินทุนสนับสนุนการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีต่อข้าพเจ้ามาตลอดเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และสภาพปัญหาของพื้นที่.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.3.1 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยา.....	3
1.3.2 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	3
1.3.3 การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก..	3
1.3.4 การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก.....	4
1.3.5 การพัฒนาวิธีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า.....	4
1.3.6 การประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ร่วมกับ วิธีการปล่อยน้ำ.....	4
1.4 แนวทางและขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	5
1.5 การศึกษาที่ผ่านมา.....	5
1.5.1 การศึกษาการบริหารอ่างเก็บน้ำ.....	5
1.5.2 การพยากรณ์น้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสักที่ผ่านมา.....	7
1.5.3 แบบจำลองพยากรณ์น้ำท่าที่ผ่านมา.....	8
1.5.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในงานด้านแหล่งน้ำ.....	9
1.5.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองอนุกรมเวลา.....	14
1.6 สรุปสิ่งที่ได้จากผลการศึกษาที่ผ่านมา.....	14
1.6.1 การบริหารอ่างเก็บน้ำ.....	15
1.6.2 การพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยแบบจำลอง ANN.....	15
1.6.3 การปรับปรุงผลการพยากรณ์.....	15

	หน้า
บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	
2.1 อาณาเขต ที่ตั้ง สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ.....	16
2.1.1 อาณาเขต และที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก.....	16
2.1.2 สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ.....	16
2.2 สภาพภูมิอากาศ.....	18
2.3 สภาพอุตุ-อุทกวิทยา.....	20
2.3.1 อุตุนิยมวิทยา.....	20
2.3.2 ปริมาณน้ำฝน.....	21
2.3.3 ปริมาณน้ำท่า.....	22
2.4 สภาพน้ำท่วมในอดีต.....	25
2.5 ลักษณะโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์.....	26
2.5.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	26
2.5.2 ข้อมูลทั่วไปของโครงการ.....	26
บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา	
3.1 การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดซ้ำของน้ำหลาก.....	30
3.1.1 วิธี Plotting Position.....	30
3.1.2 วิธี Gumbel.....	30
3.1.3 วิธี Log Pearson Type III.....	31
3.2 การพัฒนาเกณฑ์และวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ.....	32
3.2.1 ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต.....	32
3.2.2 สมการการปล่อยน้ำ.....	32
3.2.3 การสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	33
3.2.4 การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำ.....	33
3.3 ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันและต่างกันเทียบกับเวลา.....	34
3.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันเทียบกับเวลา.....	34
3.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันในส่วนตัวสุดท้ายเทียบกับเวลา ..	36
3.3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างชนิดกันเทียบกับเวลา.....	39
3.4 แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม.....	40
3.4.1 ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลอง ANN แบบ BPNN.....	40
3.4.2 หลักการทำงานพื้นฐานของแบบจำลอง.....	40
3.4.3 ขั้นตอนการทำงานกระบวนการเรียนรู้ในแบบจำลอง.....	42

	หน้า
บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	
2.1 อาณาเขต ที่ตั้ง สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ.....	16
2.1.1 อาณาเขต และที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก.....	16
2.1.2 สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ.....	16
2.2 สภาพภูมิอากาศ.....	18
2.3 สภาพพืด-อุทกวิทยา.....	20
2.3.1 อุตุนิยมวิทยา.....	20
2.3.2 ปริมาณน้ำฝน.....	21
2.3.3 ปริมาณน้ำท่า.....	22
2.4 สภาพน้ำท่วมในอดีต.....	25
2.5 ลักษณะโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์.....	26
2.5.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	26
2.5.2 ข้อมูลทั่วไปของโครงการ.....	26
บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา	
3.1 การวิเคราะห์ค่าบการเกิดซ้ำของน้ำหลาก.....	30
3.1.1 วิธี Plotting Position.....	30
3.1.2 วิธี Gumbel.....	30
3.1.3 วิธี Log Pearson Type III.....	31
3.2 การพัฒนาเกณฑ์และวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ.....	32
3.2.1 ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต.....	32
3.2.2 สมการการปล่อยน้ำ.....	32
3.2.3 การสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	33
3.2.4 การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำ.....	33
3.3 ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันและต่างกันเทียบกับเวลา.....	34
3.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันเทียบกับเวลา.....	34
3.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันในส่วนสุดท้ายเทียบกับเวลา ..	36
3.3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างชนิดกันเทียบกับเวลา.....	39
3.4 แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม.....	40
3.4.1 ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลอง ANN แบบ BPNN.....	40
3.4.2 หลักการทำงานพื้นฐานของแบบจำลอง.....	40
3.4.3 ขั้นตอนการทำงานกระบวนการเรียนรู้ในแบบจำลอง.....	42

	หน้า
4.6.9 การปรับปรุงผลการพยากรณ์.....	90
4.6.10 รูปแบบของการพยากรณ์น้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	91
4.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ..	92
4.7.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN.....	92
4.7.2 การประเมินประสิทธิผลของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปล่อยน้ำ.....	93
บทที่ 5 ผลการศึกษา	
5.1 การศึกษาสภาพอุตุ - อุตกวิทยา ที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูน้ำหลาก.....	98
5.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน.....	98
5.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า.....	101
5.2 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	107
5.3 ผลการศึกษาศามารถของอ่างเก็บน้ำในการรองรับน้ำหลาก.....	111
5.4 ผลการพัฒนาวีธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	123
5.5 การพัฒนาวีธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ล่วงหน้าโดยแบบจำลอง ANN.....	141
5.5.1 การเตรียมข้อมูลและรูปแบบของการพยากรณ์.....	141
5.5.2 การคัดเลือกตัวแปรสำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าล่วงหน้า 1 วัน...	141
5.5.3 การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง.....	152
5.5.4 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน.....	153
5.5.5 การปรับปรุงผลการพยากรณ์.....	154
5.5.6 ผลการพยากรณ์ล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน.....	160
5.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ...	187
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	195
6.1.1 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำและการศึกษาศามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก.....	195
6.1.2 การพัฒนาวีธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	197
6.1.3 การพัฒนาวีธีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	199

	หน้า
6.1.4 การประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ น้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	200
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	202
รายการอ้างอิง.....	203
ภาคผนวก.....	206
ก การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และการศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำ เขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก.....	207
ก-1 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	207
ก-2 การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก...	207
ข การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์.....	218
ค การเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง ANN.....	223
ค-1 การเตรียมข้อมูลชุด - อุทกวิทยา.....	223
ค-2 การแบ่งช่วงข้อมูลสำหรับปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล.....	223
ง การพัฒนาแบบจำลอง ANN.....	238
ง-1 การทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ.....	238
ง-2 การปรับปรุงผลการพยากรณ์.....	238
ง-3 ผลการพยากรณ์.....	238
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	305

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตาราง 2-1	สรุปช่วงพิสัยค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก.....	19
ตาราง 2-2	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา.....	22
ตาราง 2-3	อัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา.....	22
ตาราง 2-4	แสดงความเป็นมาของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	27
ตาราง 2-5	สภาพทั่วไปของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	28
ตาราง 2-6	งบประมาณการดำเนินงานของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	29
ตาราง 3-1	ลักษณะของฟังก์ชันความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation เพื่อใช้คัดเลือกแบบจำลองอนุกรมเวลา.....	50
ตาราง 4-1	อัตราภาวะเหย ณ สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ อ.บัวชุม จ.ลพบุรี.....	55
ตาราง 4-2	อัตราความต้องการน้ำรายเดือนเฉลี่ย เพื่อการใช้น้ำด้านต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	56
ตาราง 4-3	ตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งที่มา และช่วงเวลาของข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา.....	61
ตาราง 4-4	ตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งที่มา และช่วงเวลาของข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา.....	61
ตาราง 4-5	สัดส่วนพื้นที่ของสถานีวัดน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยวิธี Thiessen Polygon.....	80
ตาราง 4-6	การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง ANN.....	89
ตาราง 5-1	เปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ...	99
ตาราง 5-2	ปริมาณน้ำฝนสูงสุดราย 1, 2 และ 3 วัน ที่คาบการเกิดซ้ำต่าง ๆ (ปี) ของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา.....	100
ตาราง 5-3	สภาพน้ำหลากในแม่น้ำป่าสัก ณ บริเวณหัวงานเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก 30 ปี ย้อนหลัง ระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2545.....	101
ตาราง 5-4	ปริมาณน้ำหลากสูงสุดและคาบการเกิดซ้ำที่สถานีต่าง ๆ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยปริมาณน้ำหลากสูงสุด หน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที.....	102
ตาราง 5-5	ผลการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุด.....	108
ตาราง 5-6	ผลการทดสอบการปล่อยน้ำ ของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่าง ๆ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก ระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2545.....	109
ตาราง 5-7	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 กันยายน.....	113
ตาราง 5-8	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20 กันยายน.....	114
ตาราง 5-9	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 30 กันยายน.....	115

ตาราง 5-10	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 ตุลาคม.....	116
ตาราง 5-11	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20 ตุลาคม.....	117
ตาราง 5-12	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2542 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน.....	118
ตาราง 5-13	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน.....	119
ตาราง 5-14	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน.....	120
ตาราง 5-15	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0400 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน.....	121
ตาราง 5-16	ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0500 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน.....	122
ตาราง 5-17	ผลการแบ่งเหตุการณ์ปีน้ำมาก ปีน้ำปกติ และปีน้ำน้อย.....	124
ตาราง 5-18	การหาอัตราการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538.....	125
ตาราง 5-19	ผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก ระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2545 โดยวิธีการปล่อยน้ำที่ใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต.....	127
ตาราง 5-20	ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation, Partial Autocorrelation และ Cross Correlation ระหว่างสถานี Dam. กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป.....	148
ตาราง 5-21	ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation, Partial Autocorrelation และ Cross Correlation ระหว่างสถานี SM.3 กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป.....	149
ตาราง 5-22	ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation, Partial Autocorrelation และ Cross Correlation ระหว่างสถานี SM.2 กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป.....	150
ตาราง 5-23	ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation, Partial Autocorrelation ของ สถานี SM.1 และ สถานี S.4B และความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation สถานี S.4B กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่า SM.1.....	151

	หน้า
ตาราง 5-24 ชุดตัวแปรนำเข้าเบื้องต้นสำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ล่วงหน้า 1 วัน.....	152
ตาราง 5-25 การทดสอบค่าโมเมนต์และอัตราการเรียนรู้เพื่อหาค่าที่เหมาะสม.....	153
ตาราง 5-26 สรุปตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า Dam., SM.3, SM.2, S.4B และ SM.1 กรณีที่ 1	154
ตาราง 5-27 ชุดตัวแปรนำเข้าที่ใช้พยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงฤดูน้ำหลาก กรณีที่ 1.....	161
ตาราง 5-28 ชุดตัวแปรนำเข้าที่ใช้พยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงฤดูน้ำหลาก กรณีที่ 2.....	163
ตาราง 5-29 ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงของการปรับเทียบ และ สอบทาน ณ สถานีวัดน้ำท่าของแต่ละพื้นที่ย่อย กรณีที่ 1.....	164
ตาราง 5-30 ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงของการปรับเทียบ และ สอบทาน ณ สถานีวัดน้ำท่าของแต่ละพื้นที่ย่อย กรณีที่ 2.....	167
ตาราง 5-31 เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการบริหารการปล่อยน้ำออกจาก อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2521.....	188
ตาราง 5-32 เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการบริหารการปล่อยน้ำออกจาก อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538.....	189
ตาราง 5-33 เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการบริหารการปล่อยน้ำออกจาก อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2543.....	190
ตาราง 6-1 ผลการเปรียบเทียบวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ ในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และสถิติน้ำหลาก.....	198
ตาราง 6-2 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าของสถานีวัดน้ำท่า ต่าง ๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2.....	201

สารบัญรูป

		หน้า
รูป 2-1	อาณาเขต และตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก.....	17
รูป 2-2	ทิศทาง และช่วงเวลาของการเกิดลมมรสุม แนวร่องความกดอากาศต่ำและลมพายุ.....	20
รูป 2-3	การกระจายตัวของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา.....	21
รูป 2-4	แผนที่แสดงเส้นชั้นปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก.....	23
รูป 2-5	แผนที่แสดงเส้นชั้นปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก.....	24
รูป 3-1	นิยามค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation ของอนุกรมเวลาต่อเนื่องชุดหนึ่ง.....	35
รูป 3-2	Correlogram ของอนุกรมเวลา (a) ต่อเนื่อง (b) ไม่ต่อเนื่อง.....	36
รูป 3-3	ลักษณะโครงข่ายของแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมแบบ BPNN.....	40
รูป 3-4	หลักการทํางานพื้นฐานของหน่วยย่อย ในแบบจำลอง BPNN.....	41
รูป 3-5	รูปแบบต่างๆ ของฟังก์ชันกระตุ้น.....	41
รูป 3-6	ขั้นตอนการทํางานของกระบวนการเรียนรู้ในแบบจำลอง BPNN.....	44
รูป 3-7	กราฟ Correlogram ของความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation สำหรับแบบจำลอง Autoregressive (AR)	51
รูป 3-8	กราฟ Correlogram ของความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation สำหรับแบบจำลอง Moving Average (MA).....	52
รูป 3-9	กราฟ Correlogram ของความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation สำหรับแบบจำลอง Autoregressive Moving Average (ARMA).....	53
รูป 4-1	กราฟคุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ.....	57
รูป 4-2	เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากที่ผ่านมาของกรมชลประทาน.....	58
รูป 4-3	ที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา.....	60
รูป 4-4	แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่า S.9.....	62
รูป 4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนรายปีสถานีต่างๆ กับฝนสะสมรายปีเฉลี่ย 18 สถานี.....	65
รูป 4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีสถานีต่างๆ กับปริมาณน้ำท่าสะสมรายปีเฉลี่ย 4 สถานี.....	68
รูป 4-7	ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	71
รูป 4-8	ปริมาณน้ำท่าสะสมที่ค่าความถี่ต่างๆ.....	75
รูป 4-9	ปริมาณน้ำท่าคงเหลือที่ค่าความถี่ต่างๆ.....	75
รูป 4-10	ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) ตามวิธีการปล่อยน้ำ โดยใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต.....	78

รูป 4-11 การแบ่งพื้นที่ย่อยตามสถานีวัดน้ำท่าและตำแหน่งห้วงงานเขื่อนป่าสักฯ ที่ใช้ในการศึกษา...	81
รูป 4-12 สัดส่วนพื้นที่สถานีวัดน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อยโดยวิธี Thiessen Polygon.....	82
รูป 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก.....	84
รูป 4-14 แผนผังพื้นที่ย่อยในการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า.....	86
รูป 4-15 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ร่วมกับเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	94
รูป 4-16 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า ๓ วัน ร่วมกับเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ.....	95
รูป 4-17 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ร่วมกับค่าสถิติน้ำหลากในอดีต.....	96
รูป 4-18 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า ๓ วัน ร่วมกับค่าสถิติน้ำหลากในอดีต.....	97
รูป 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า S.14..	104
รูป 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า SM.1.	104
รูป 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า S.4B.	105
รูป 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า SM.2.	105
รูป 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า SM.3.	106
รูป 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า S.9...	106
รูป 5-7 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุด.....	108
รูป 5-8 ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ณ วันที่ 30 พฤศจิกายน เมื่อบริหารการปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ.....	110
รูป 5-9 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่าง ๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 ก.ย.....	113
รูป 5-10 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่าง ๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20 ก.ย.....	114
รูป 5-11 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่าง ๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 30 ก.ย.....	115

	หน้า
รูป 5-12 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้ เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่าง ๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 ต.ค.....	116
รูป 5-13 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้ เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่าง ๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20 ต.ค.....	117
รูป 5-14 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2542 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลา ที่แตกต่างกัน.....	118
รูป 5-15 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลา ที่แตกต่างกัน.....	119
รูป 5-16 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลา ที่แตกต่างกัน.....	120
รูป 5-17 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0400 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลา ที่แตกต่างกัน.....	121
รูป 5-18 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0500 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลา ที่แตกต่างกัน.....	122
รูป 5-19 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2521 (ปีน้ำมาก).....	129
รูป 5-20 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538 (ปีน้ำมาก).....	130
รูป 5-21 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2543 (ปีน้ำมาก).....	131
รูป 5-22 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2545 (ปีน้ำมาก).....	132
รูป 5-23 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2523 (ปีน้ำปกติ).....	133

	หน้า
รูป 5-24 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2525 (ปีน้ำปกติ).....	134
รูป 5-25 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2526 (ปีน้ำปกติ).....	135
รูป 5-26 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2528 (ปีน้ำปกติ).....	136
รูป 5-27 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2516 (ปีน้ำน้อย).....	137
รูป 5-28 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2517 (ปีน้ำน้อย).....	138
รูป 5-29 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2522 (ปีน้ำน้อย).....	139
รูป 5-30 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ปี พ.ศ. 2532 (ปีน้ำน้อย).....	140
รูป 5-31 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QDam ₁ สถานี Dam.....	143
รูป 5-32 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QSM ₃ สถานี SM.3.....	144
รูป 5-33 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QSM ₂ สถานี SM.2.....	145
รูป 5-34 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QS.4B ₁ สถานี S.4B.....	146
รูป 5-35 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QSM ₁ สถานี SM.1.....	147
รูป 5-36 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีต่างๆ กรณีที่ 1.....	156
รูป 5-37 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีต่างๆ กรณีที่ 2.....	158
รูป 5-38 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี S.4B (เปรียบเทียบ).....	170
รูป 5-39 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี SM.2 (เปรียบเทียบ).....	170

	หน้า
รูป 5-56 ผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 11 วัน ของ เหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.....	184
รูป 5-57 ผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 12 วัน ของ เหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.....	185
รูป 5-58 ผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 13 วัน ของ เหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.....	186
รูป 5-59 ผลการปล่อยน้ำที่ได้จากวิธีการแบบต่าง ๆ โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2521.....	191
รูป 5-60 ผลการปล่อยน้ำที่ได้จากวิธีการแบบต่าง ๆ โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2538.....	192
รูป 5-61 ผลการปล่อยน้ำที่ได้จากวิธีการแบบต่าง ๆ โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2543.....	192
รูป 5-62 ผลการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา กรณีไม่ใช้ และใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2521.....	193
รูป 5-63 ผลการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา กรณีไม่ใช้ และใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2538.....	193
รูป 5-64 ผลการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา กรณีไม่ใช้ และใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2543.....	194

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และสภาพปัญหาของพื้นที่ศึกษา

โครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ เป็นโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ซึ่งดำเนินการศึกษา ก่อสร้างและบริหารโครงการ โดยกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หัวงานโครงการตั้งอยู่ที่บ้านแก่งเสือเต้น ตำบลหนองบัว อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี เป็นอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของโครงการ เพื่อใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับการเกษตร การบรรเทาอุทกภัยด้านท้ายน้ำ ในส่วนของพื้นที่ริมแม่น้ำป่าสัก และในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง รวมถึงกรุงเทพมหานครและปริมณฑล การอุปโภค-บริโภค การท่องเที่ยว การประมงและกิจกรรมการใช้น้ำประเภทต่างๆ ได้เริ่มมีการศึกษาโครงการตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2508 จนถึงขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างจนแล้วเสร็จ และเริ่มการบริหารงานอ่างเก็บน้ำเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2542

โครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จัดเป็นโครงการชลประทานขนาดใหญ่ มีความจุที่ระดับเก็บกักปกติ 785 ล้าน ลบ.ม. (+ 42.00 ม.รทก.) ซึ่งมีขนาดประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายปีเฉลี่ยประมาณ 2,137 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำส่วนใหญ่ออกในช่วงฤดูน้ำหลาก ระหว่างเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายนเฉลี่ยประมาณ 1,769 ล้าน ลบ.ม. (ร้อยละ 83) และเนื่องจากปริมาณน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักในช่วงฤดูน้ำหลาก มีความผันแปรแต่ละปีค่อนข้างสูง โดยจากค่าสถิติในอดีตพบว่าผันแปรอยู่ระหว่าง 485 - 4,079 ล้าน ลบ.ม. พบว่าในบางปีที่ปริมาณน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในปริมาณมาก และมีการควบคุมการปล่อยน้ำลงสู่ท้ายน้ำในปริมาณที่จำกัดตามเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นเหตุทำให้น้ำเต็มอ่างเก็บน้ำในเวลาอันรวดเร็ว จากนั้นเมื่ออ่างเก็บน้ำมีน้ำเต็มแล้ว จึงไม่สามารถบรรเทาหรือชะลอน้ำหลากที่เหลือได้อีกต่อไป ดังนั้นการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ให้เหมาะสมกับเหตุการณ์และมีประสิทธิภาพสูงสุด คือสามารถบรรเทาปัญหาน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ด้านท้ายน้ำ และสามารถเก็บกักปริมาณน้ำสำรองไว้เพื่อใช้ในการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

การบริหารงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ได้สร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โดยวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของเหตุการณ์น้ำหลากที่มีขนาดแตกต่างกัน ดังนั้นการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ จึงไม่เหมาะสมกับขนาดน้ำหลากที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย เช่น ในเหตุการณ์น้ำหลาก ปี พ.ศ. 2545 ได้เกิดฝนตกหนักบริเวณพื้นที่ทางตอนบนของลุ่มน้ำป่าสัก ทำให้เกิดน้ำหลากไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จำนวนมาก น้ำเต็มอ่างเก็บน้ำในเวลาอันรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถบรรเทาปัญหาน้ำหลากในช่วงเวลาที่เหลือได้

ดังนั้นในการศึกษาค้างนี้ ได้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก ประกอบด้วย การพัฒนาวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) แบบ Back Propagation Neural Network (BPNN) และการปรับปรุงผลการพยากรณ์ โดยแบบจำลองอนุกรมเวลา การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลค่าสถิติน้ำหลากในอดีต การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำในการรองรับน้ำหลากขนาดต่างๆ และเกิดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากให้สอดคล้องกับเหตุการณ์น้ำหลากที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม โดยการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำที่ขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าในช่วงเวลาที่เหลือความจุเก็บกักที่เหลือ และเวลาที่เหลือร่วมกับสมการสมดุลน้ำ เพื่อปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้า โดยให้ค่าสูงสุดของอัตราการปล่อยน้ำมีค่าน้อยลง อีกทั้งสามารถสำรองน้ำเพื่อการใช้งานด้านต่างๆ ในช่วงฤดูแล้ง การศึกษานี้จะให้การบูรณาการวิธีการหลายวิธี คือการประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ล่วงหน้า ร่วมกับเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และวิธีการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา เพื่อหาแนวทางวิธีการบริหารอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ตามสถานการณ์น้ำหลากที่เกิดขึ้น ได้อย่างสอดคล้องและเหมาะสมที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ของการศึกษา ประกอบด้วย

- 1) เพื่อพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก
- 2) เพื่อพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำและใช้ค่าการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ร่วมกับวิธีการปล่อยน้ำแบบต่างๆ
- 3) เพื่อพัฒนาวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
- 4) เพื่อเสนอแนวทางในการบริหารอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ในการลดขนาดน้ำหลากและสำรองน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของโครงการในช่วงฤดูแล้ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ เพื่อพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากให้มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำหลาก ที่คาดว่าจะไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในอนาคต ดังนั้นในการศึกษาค้างนี้ จึงได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 คือ การวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยา ในช่วงฤดูน้ำหลากของพื้นที่ศึกษา

ส่วนที่ 2 คือ การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก

ส่วนที่ 3 คือ การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก

ส่วนที่ 4 คือ การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

ส่วนที่ 5 คือ การพัฒนาวิธีการพยากรณ์อัตราการใช้ระบายวันล่วงหน้า ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

ส่วนที่ 6 คือ การประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์ ร่วมกับวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

ซึ่งรายละเอียดของขอบเขตการศึกษามีดังนี้

1.3.1 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยา

- 1) รวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา ที่จำเป็นสำหรับการศึกษา ในพื้นที่ศึกษาคือพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก บริเวณตั้งแต่เหนือห้วยงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มีพื้นที่ประมาณ 12,600 ตารางกิโลเมตร
- 2) วิเคราะห์สภาพน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา
- 3) วิเคราะห์สภาพน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

1.3.2 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

- 1) พัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับเวลา (H - t Curve) โดยพิจารณา เปรียบเทียบทางเลือกของเกณฑ์เป็น 5 รูปแบบ คือเกณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้นมา 3 รูปแบบ และเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมาของกรมชลประทาน พ.ศ. 2542 (RC2542) และพ.ศ. 2546 (RC2546) อีก 2 รูปแบบ
- 2) พื้นที่ศึกษา คือพื้นที่บริเวณอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ และในการประเมินเกณฑ์งานอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม ได้ทดสอบหาค่าอัตราการปล่อยน้ำโดยใช้สมการสมมูลน้ำร่วมกับกราฟคุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำ คือ ค่าระดับ ความจุ และพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำ และค่าความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ ของโครงการ

1.3.3 การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก

- 1) สร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ และช่วงเวลาการเกิดที่แตกต่างกัน
- 2) ทดสอบการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้ง 5 รูปแบบ คือเกณฑ์ที่จะพัฒนาขึ้นมา 3 รูปแบบและเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมาของกรมชลประทาน พ.ศ. 2542 (RC2542) และพ.ศ. 2546 (RC2546) อีก 2 รูปแบบ

1.3.4 การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

- 1) ใช้ค่าสถิติปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สะสม ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของข้อมูลในอดีต (วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน ของสถานีวัดน้ำท่า S.9)
- 2) พัฒนาวิธีการปล่อยน้ำ โดยใช้สมการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือร่วมกับสมการสมดุลน้ำ

1.3.5 การพัฒนาวิธีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า

- 1) แบบจำลองพยากรณ์น้ำหลากที่ใช้ คือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบ Back Propagation Neural Network (BPNN) และปรับปรุงผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลาแบบ Autoregressive (AR Model) สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันในช่วงฤดูน้ำหลาก
- 2) พื้นที่ในการศึกษาคั้งนี้ คือพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตั้งแต่เหนือห้วยงานเขื่อนป่าสักฯ ขึ้นไปจนถึงจังหวัดเลยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 12,600 ตารางกิโลเมตร โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 ส่วน ตามสถานีวัดน้ำท่าที่มีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า และตำแหน่งห้วยงานเขื่อนป่าสักฯ โดยมีสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้จำนวน 5 สถานี และสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 19 สถานี
- 3) จำนวนวันการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ขึ้นอยู่กับจำนวนวันการรวมตัว (Concentration Time, T_c) ของน้ำหลากแต่ละสถานีวัดน้ำท่า โดยได้จากการวิเคราะห์ กราฟความสัมพันธ์แบบต่างๆ ประกอบด้วยกราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation, Partial Autocorrelation, Cross Correlation และกราฟน้ำฝน - น้ำท่า โดยผลที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในเบื้องต้น มีการปรับปรุงผลการพยากรณ์ของอนุกรมค่าความผิดพลาด โดยใช้แบบจำลองอนุกรมเวลาแบบต่างๆ

1.3.6 การประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ร่วมกับวิธีการปล่อยน้ำ

- 1) นำผลที่ได้จากการพยากรณ์ ทดสอบการปล่อยน้ำด้วยวิธีการปล่อยน้ำแบบต่างๆ
- 2) เปรียบเทียบผลกรณีไม่ใช้และใช้ค่า การพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า

1.4 แนวทางและขั้นตอนการศึกษา

- 1) ศึกษาค้นคว้ารายงานและเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง แนวทางและทฤษฎีต่างๆ รวมถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ที่ใช้ในการศึกษา
- 2) รวบรวมรายงาน เอกสารและข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ และข้อมูลลักษณะทั่วไปของโครงการ
- 3) สำรวจภาคสนาม เพื่อดูสภาพพื้นที่ของโครงการและการสอบถามข้อมูลน้ำท่วมในอดีตในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก
- 4) ศึกษาตัวแปรต่างๆ ทางอุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษา สภาพน้ำท่วมในอดีต และการคัดเลือกช่วงเวลาในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก
- 5) พัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ให้เหมาะสมกับสภาพน้ำหลากและการเก็บกักน้ำในช่วงปลายฤดูน้ำหลากเพื่อใช้ในกิจกรรมด้านต่างๆ ของโครงการ
- 6) ศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ในการรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาแตกต่างกัน โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ
- 7) พัฒนาวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต และใช้สมการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือร่วมกับสมการสมดุลน้ำ
- 8) พัฒนาแบบจำลอง ANN ร่วมกับแบบจำลองอนุกรมเวลาสำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ส่องหน้ารายวัน
- 9) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ร่วมกับวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ในช่วงฤดูน้ำหลาก
- 10) สรุปผลและเสนอแนะการบริหารอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ในช่วงฤดูน้ำหลาก

1.5 การศึกษาที่ผ่านมา

1.5.1 การศึกษาการบริหารอ่างเก็บน้ำ

สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักมีการศึกษาภาพรวมของลุ่มน้ำ เช่น การศึกษาศักยภาพของลุ่มน้ำ การศึกษาสภาพฝนที่ตกในลุ่มน้ำ การจัดทำแผนรวมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เป็นต้น ตลอดจนการศึกษาความเหมาะสมของการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก สรุปได้ดังนี้

กรมอุตุนิยมวิทยา (2536) ได้ศึกษาข้อมูลฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสัก ตามโครงการพระราชดำริ ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสัก ซึ่งมีการวางเครือข่ายสถานีฝนเพิ่มเติมให้ตรงตามมาตรฐานความหนาแน่นของสถานีวัดน้ำฝน ซึ่งองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้กำหนดไว้ เพื่อให้ทราบปริมาณและการกระจายตัวของฝน โดยเริ่มตรวจวัดตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2533 เพื่อนำผลที่ได้

ไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรและการจัดการทรัพยากรน้ำ พบว่าเมื่อมีการวางเครือข่ายสถานีวัดน้ำฝนเพิ่มเติมการกระจายตัวของฝนมีความถูกต้องมากขึ้น และมีการหาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักโดยวิธีเส้นชั้นน้ำฝนเท่า (Isohyets Method) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่า โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นตรง โดยมีสถานีวัดน้ำท่าที่อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เป็นสถานีวัดปริมาณน้ำด้านท้ายน้ำ สรุปได้ว่าปริมาณน้ำท่า มีค่าเป็น 40-48% ของปริมาณน้ำฝน

กรมชลประทาน (2536) ได้ว่าจ้างให้มีการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการเขื่อนเก็บกักน้ำแม่ป่าสัก จังหวัดสระบุรี และจังหวัดลพบุรี โดยโครงการเขื่อนเก็บกักน้ำแม่ป่าสัก มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งน้ำต้นทุนของโครงการชลประทานในเขตลุ่มน้ำป่าสักและเจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนล่างเดิมและพื้นที่เปิดใหม่ ช่วยบรรเทาอุทกภัยในบริเวณลุ่มน้ำป่าสักบริเวณท้ายอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯได้เป็นอย่างดี ส่วนการบรรเทาอุทกภัยในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาช่วยได้เพียงเล็กน้อย รวมทั้งเพื่อจุดประสงค์อื่นๆ เช่น การอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม การเดินเรือ เป็นแหล่งท่องเที่ยว เป็นต้น

กรมชลประทาน (2542) ได้ว่าจ้างให้มีการจัดหาและทดสอบระบบโทรมาตร (Telemetry System) โครงการพัฒนาลุ่มน้ำป่าสักอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เนื่องจากความจุของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มีขนาดประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีมาตรการเสริมเพื่อให้การจัดการบริหารอ่างเก็บน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อประโยชน์ทั้งในการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย รวมถึงการเก็บกักน้ำไว้สำหรับประโยชน์ใช้ในการเกษตรและอุปโภคบริโภค

กรมชลประทาน (2542) ได้ว่าจ้างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ศึกษาและวิเคราะห์หาเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โดยการวิเคราะห์สามารถกำหนดเกณฑ์การเก็บน้ำสูงสุดรายเดือน (Upper Rule Curve) สำหรับควบคุมการปล่อยน้ำรายเดือนในระยะยาว โดยใช้การหาค่าเกณฑ์และจำลองระบบลุ่มน้ำ โดยโปรแกรม HEC-3 และกำหนดเกณฑ์การเก็บกักน้ำสูงสุดช่วงฤดูน้ำหลาก (ก.ย.-ต.ค.) เป็นรายวัน (Flood Control Rule Curve) โดยใช้โปรแกรม Reservoir Routing จากข้อมูลจำนวน 29 ปี (พ.ศ. 2510 - 2538) พบว่าสามารถควบคุมอ่างเก็บน้ำให้มีน้ำล้นมากถึงขั้นเป็นอุทกภัยเพียง 2 ปี และเก็บน้ำได้โดยเฉลี่ยปีละ 741 ล้าน ลบ.ม.

กรมทรัพยากรน้ำ (2546) ได้มีการศึกษาโครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก โดยมีการใช้แบบจำลอง Mike Basin ในการจำลองสภาพการใช้น้ำด้านต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก โดยแยกประเมินความต้องการใช้น้ำในสภาพปัจจุบัน และอนาคตเมื่อมีการพัฒนาโครงการที่มีศักยภาพ ซึ่งพิจารณาเปอร์เซ็นต์การพัฒนาพื้นที่โครงการศักยภาพที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำต้นทุนในพื้นที่ และปริมาณการขาดแคลนน้ำของพื้นที่ชลประทาน

กรมชลประทาน (2546) ได้ปรับปรุงเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ หลังจากเปิดดำเนินการมาโครงการได้ประมาณ 4 ปี เพื่อให้สามารถควบคุมสภาพน้ำหลากในลุ่มน้ำป่าสักให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้การสมมุติค่าเกณฑ์และจำลองระบบโดยโปรแกรม HEC-3 ใช้ข้อมูลศึกษาจำนวน 30 ปี (พ.ศ.2513-2543) พบว่า โอกาสเสี่ยงต่อสภาวะขาดแคลนน้ำอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 6 - 10 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด และเมื่อนำไปทดสอบกับข้อมูลในปี พ.ศ.2545 ซึ่งมีน้ำหลากออกจากอ่างเก็บน้ำเป็นจำนวนมาก พบว่า เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ที่ปรับปรุงขึ้นสามารถช่วยลดอัตราการระบายน้ำสูงสุดจาก 1,500 ลบ.ม./วินาที เหลือเพียง 800 ลบ.ม./วินาที

อรอนงค์ (2546) มีการพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ โดยวิธี Probability Based Rule Curve เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารอ่างเก็บน้ำในสภาวะปกติ และนำแบบจำลอง ANN ที่พัฒนาขึ้นมาช่วยเสริมการบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงสภาวะน้ำไหลล้นอ่างและสภาวะขาดแคลนน้ำ โดยการนำแบบจำลอง ANN มาประยุกต์ใช้กับการบริหารอ่างเก็บน้ำในสภาวะไหลล้นอ่างเก็บน้ำ พบว่าสามารถลดปริมาณน้ำหลากล้นอ่างเก็บน้ำได้ดีในกรณีปริมาณน้ำหลากปานกลาง (1,134 ลบ.ม./วินาที) แต่กรณีปริมาณน้ำสูงมาก สามารถลดปริมาณน้ำหลากได้เพียงเล็กน้อย (4%) สำหรับสภาวะขาดแคลนน้ำ พบว่า ไม่ทำให้การบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำน้อยเปลี่ยนแปลง และได้เสนอแนวทางในการบริหารอ่างเก็บน้ำในสภาพปัจจุบันและสภาพอนาคตด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นตามค่าเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยง

1.5.2 การพยากรณ์น้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสักที่ผ่านมา

วีระชัย (2530) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน - น้ำท่า ในลุ่มน้ำป่าสัก โดยใช้แบบจำลอง Tank Model จากการศึกษาพบว่า แบบจำลอง Tank Model สามารถนำมาใช้ประมาณปริมาณน้ำท่าจากสถิติน้ำฝนได้ผลดี มีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 99.9% นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อเสนอแนะว่าปัญหาสำคัญในการทำแบบจำลอง Tank Model คือ การกำหนดค่าคงที่ในแบบจำลองให้เหมาะสม ซึ่งค่าคงที่เหล่านี้มีมากถึง 19 ตัว

Kabilling (1989) ได้นำแบบจำลอง Stochastic มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ แบบจำลอง Deterministic ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันของลุ่มน้ำป่าสัก โดยการประยุกต์แบบจำลอง Tank และ Nam มาใช้ร่วมกับแบบจำลองอนุกรมเวลา ARMA ใช้ในการอธิบายและพยากรณ์อนุกรมค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้ Tank และ Nam Model พบว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถพยากรณ์น้ำท่ารายวันที่สถานีวิเชียรบุรีและบัวชุมให้ความถูกต้องสูงกว่าแบบจำลอง DLGM ที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้ แต่แบบจำลองไม่เหมาะสมกับสถานีหล่มสัก เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำลาดชันมาก และจากการศึกษาพบว่า ช่วงเวลาในการพยากรณ์น้ำท่าล่วงหน้าที่เหมาะสมคือ 1 วัน

Gautam (1997) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำป่าสักที่สถานีวัดน้ำท่าหล่มสัก วิเชียรบุรี และบัวชุม โดยใช้แบบจำลอง Nam, Tank, 3-Parameter Muskingum Model และ ANN พบว่า การพยากรณ์น้ำท่าราย 12 ชั่วโมงล่วงหน้าที่สถานีวัดน้ำท่าหล่มสัก โดยใช้แบบจำลอง ANN ให้ค่าความถูกต้องสูง แต่เนื่องจากมีข้อมูลจำกัดเพียง 6 ปี ซึ่งอาจไม่เพียงพอในการพยากรณ์น้ำท่าที่ปริมาณสูงมากๆ การพยากรณ์น้ำท่ารายวันที่สถานีวิเชียรบุรี โดยแบบจำลอง Nam, Tank และ ANN พบว่า แบบจำลอง Tank+AR และ Nam+AR ให้ผลการพยากรณ์มีค่าถูกต้องกว่าแบบจำลองอื่นๆ และที่สถานีบัวชุมพบว่า แบบจำลอง Musk+AR ให้ค่าการพยากรณ์ที่แม่นยำเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การนำแบบจำลอง AR ซึ่งเป็นแบบจำลอง Stochastic มาใช้ร่วมกับแบบจำลอง Deterministic ให้ค่าการพยากรณ์ในช่วงปริมาณน้ำมีค่าสูงได้เป็นอย่างดี ส่วนแบบจำลอง ANN ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีในช่วงปริมาณน้ำปกติ แต่กรณีปริมาณน้ำมีค่าสูงให้ผลการพยากรณ์ที่ไม่ดีนัก

อรอนงค์ (2546) ประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ โดยการพยากรณ์ใน 2 ลักษณะคือ การพยากรณ์แบบรายลุ่มน้ำย่อย และการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ ผลการพัฒนาแบบจำลอง ANN พบว่า รูปแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ คือ การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลแบบรวมทั้งลุ่มน้ำในระยะเวลา 1 - 7 วัน ล่วงหน้า และแยกแบบจำลองเป็นแบบจำลองฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าผลการพยากรณ์ให้ผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงโดยค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (EI) ในขั้นการเรียนรู้ ทดสอบ และรับรองผล ของแบบจำลอง ANN ฤดูฝนสูงกว่า 90, 71 และ 70% ตามลำดับ และค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง ANN ฤดูแล้งสูงกว่า 82, 94 และ 81% ตามลำดับ

1.5.3 แบบจำลองการพยากรณ์น้ำท่าที่ผ่านมา

วีระพล (2531) กล่าวว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ ที่ประกอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่า นั้น จะเรียกแบบจำลองนี้ว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) โดยแบบจำลองในลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่านี้ มีผู้เสนอหลายวิธีด้วยกัน เช่น Sacramento Watershed Model, Tank Model, SSARR Model (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation) และ NAM Model เป็นต้น โดยแบบจำลองที่นิยมใช้ในประเทศไทยคือ Tank Model และ SSARR โดยทั้งสองรูปแบบได้จำลองเป็นคอมพิวเตอร์โมเดลขนาดใหญ่ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เมนเฟรมที่มีความจำสูง และการใช้ค่อนข้างยุ่งยากในเรื่องการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของรูปแบบจำลอง

Nam (1991) ได้ศึกษาการพยากรณ์น้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำฮัวบิन्ह (Hoabinh Reservoir) ซึ่งตั้งอยู่บนแม่น้ำดานิม ประเทศเวียดนาม จากข้อมูลน้ำฝนและอัตราการไหลรายวัน โดยใช้แบบจำลอง Multiple Linear Regression และแบบจำลอง Linear Perturbation Model Extended Version พบว่าข้อมูลฝนเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการพยากรณ์น้ำท่า จึงจำเป็นต้องปรับปรุงโดยใช้ข้อมูลน้ำ

ท่าของสถานีที่อยู่เหนือและท้ายน้ำของจุดที่พิจารณาเพิ่มเติม และจากผลการพยากรณ์พบว่าแบบจำลองทั้งสองชนิดให้ผลดีและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่แบบจำลอง MLR จะง่ายต่อการใช้งานมากกว่า

1.5.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในงานด้านแหล่งน้ำ

การพัฒนาแบบจำลอง ANN นั้น เริ่มจากได้มีการพัฒนาแบบจำลองให้มีความสามารถเรียนรู้และประมวลผลได้เหมือนกับสมองมนุษย์ โดยมีขั้นตอนทำงานพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอนคือ รับข้อมูล, ประมวลผล และแสดงผลการประมวล ทำให้แบบจำลอง ANN มีลักษณะโครงข่ายพื้นฐานอยู่ 3 ชั้น คือ ชั้นรับข้อมูล (Input Layer) ชั้นแอบแฝง (Hidden Layer) และชั้นแสดงผล (Output Layer) โดยแต่ละชั้นจะประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ (Node) ซึ่งทำหน้าที่คล้ายเซลล์สมองมนุษย์ นับตั้งแต่นั้นมาแบบจำลอง ANN ได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างกว้างขวางทั้งในด้าน ลักษณะของโครงข่าย การทำงาน และกระบวนการเรียนรู้ เป็นต้น และมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ในหลายสาขาวิชาจนถึงปัจจุบัน

Siang (1992) ได้นำ Back Propagation Neural Networks (BPNN) มาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำรายเดือน โดยใช้ตัวแปร อุณหภูมิ, pH และค่าความเหนียวน้ำ ในชั้นตัวแปรนำเข้า และนอกจากนี้ยังใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนล่วงหน้า 1 เดือน ที่เมืองเวียนเตียน ประเทศลาว และสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำโขงอีก 5 สถานี จากการศึกษาพบว่าการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือน โดยใช้แบบจำลอง BPNN ที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วย 1 ชั้นแอบแฝง และในชั้นแอบแฝงจะผันแปรจำนวนหน่วย ตั้งแต่ 1-3 หน่วย โดยการเพิ่มจำนวนหน่วยในชั้นแอบแฝงนั้น ไม่ได้ช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นเท่าที่ควร และผลที่ได้จากการคาดการณ์โดยใช้แบบจำลอง BPNN พบว่าให้ผลดีกว่า เมื่อนำไปเทียบกับแบบจำลอง Box-Jenkins

Gui (1993) ได้นำแบบจำลอง BPNN ที่มีจำนวนชั้นแอบแฝงจำนวน 1 ชั้น มาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้ารายวันกับแม่น้ำน่าน ที่สถานีวัดน้ำท่าอำเภอเมือง และสถานีบ้านแก่งสว่าง จังหวัดน่าน โดยใช้ข้อมูลนำเข้าเป็นปริมาณน้ำฝน และน้ำท่ารายวันของแต่ละสถานี ในพื้นที่ลุ่มน้ำยอนหลัง 5 วัน ซึ่งใช้การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าแบบ trial & error โดยผลการศึกษาพบว่า ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเพื่อให้ผลการพยากรณ์ที่ดีนั้น ข้อมูลนำเข้าจะต้องประกอบด้วยข้อมูลน้ำฝนรายวันย้อนหลังของสถานีในพื้นที่ทางด้านเหนือลำน้ำ ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันย้อนหลังของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่เหนือขึ้นไปจากสถานีวัดน้ำท่าที่จะพยากรณ์ และปริมาณน้ำท่ารายวันย้อนหลังของสถานีวัดน้ำท่าที่จะพยากรณ์ล่วงหน้า

Danh (1995) ได้พัฒนาแบบจำลอง Tank Model, Tank-AR(1) Model และ BPNN model เพื่อใช้ในการพยากรณ์อัตราการไหลรายวัน ในลุ่มน้ำดานิม (Da Nhim Basin) และลุ่มน้ำสาเงา (La Nga Basin) ในประเทศเวียดนาม พบว่าแบบจำลอง BPNN ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีที่สุด รองลงมาคือ Tank-RR (1) Model และ Tank Model ตามลำดับ

Nam (1998) ได้พัฒนาแบบจำลอง ANN แบบ BP มาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในลุ่มน้ำย่อย 3 ลุ่มน้ำ คือ Lai Chau, Ta Bu และ Hoa Binh ในลุ่มน้ำคำ ประเทศเวียดนาม มีพื้นที่รับน้ำ 26,800 ตร.กม. ผลการพยากรณ์ให้ผลที่ดี แม้ว่ามีข้อมูลบางส่วนทางต้นน้ำขาดหายไปและมีจำนวนข้อมูลน้อย โดยข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำท่าและน้ำฝนรายเดือนของสถานีที่ทำนายและสถานีด้านเหนือน้ำ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มตัวแปรน้ำฝนและน้ำท่ารายวันเข้าไปด้วย และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษากำหนดค่าอัตราการเรียนรู้ (η) อยู่ระหว่าง 0.1 - 0.3 และค่าโมเมนตัม (α) เป็น 0.9 ผลการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ของลุ่มน้ำ Lai Chau, Ta Bu และ Hoa Binh เท่ากับ 91% 84% และ 85% ตามลำดับ

Srivastava และคณะ (1999) ได้นำแบบจำลอง ANN มาใช้ในการทำนายปริมาณน้ำท่าเข้าอ่างและบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำอินดราวัติตอนบน ประเทศอินเดีย มีพื้นที่รับน้ำ 2,630 ตร.กม. พื้นที่การเกษตรประมาณ 128,000,000 เฮกแตร์ และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 600 MW. การศึกษาได้นำแบบจำลอง ARMA และแบบจำลอง ANN มาทำนายปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่าง ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง ANN ให้ผลการทำนายที่ดีในช่วงปริมาณน้ำมาก ส่วนแบบจำลอง ARMA ให้ผลการทำนายที่ดีในช่วงปริมาณน้ำน้อย เกณฑ์การบริหารอ่างเก็บน้ำถูกสร้างโดยใช้ Dynamic Programming โดยใช้ข้อมูลจำนวน 32 ปี การปล่อยน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอ่าง ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง และความต้องการน้ำโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธี Linear Regression, Nonlinear Regression และ ANN แบบ BP ผลการวิเคราะห์พบว่า ANN ให้ผลในการบริหารอ่างเก็บน้ำที่ดีกว่าวิธีอื่น

Tokar และคณะ (1999) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำ Little Pratum River ในรัฐแมริแลนด์ ประเทศสหรัฐอเมริกา มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 98 ตร.กม. โดยให้ปริมาณน้ำท่าที่ขึ้นอยู่กัตัวแปรต่างๆ ทางอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ย จากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ อุณหภูมิ และการละลายของหิมะ เป็นต้น และคัดเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธี Sensitivity Analysis โดยจะเปรียบเทียบผลการคำนวณแบบจำลองทางสถิติและแบบจำลองทางกายภาพ อันได้แก่แบบจำลองความถดถอย (Regression Model) และ แบบจำลอง Simple Conceptual Model ตามลำดับ โดยพบว่าแบบจำลองใช้โครงข่ายประสาทเทียม ใช้เวลาในการปรับเทียบแบบจำลองน้อยกว่าแบบจำลอง Simple Conceptual Model และให้ผลการคำนวณที่ดีกว่าแบบจำลองความถดถอย

Xuan Hung (1999) ได้ศึกษาการบริหารอ่างเก็บน้ำ Hoa Binh โดยการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำล่วงหน้าในลุ่มน้ำคำ ประเทศเวียดนาม มีพื้นที่รับน้ำ 50,600 ตร.กม. ความจุ 9,450

ล้าน ลบ.ม. อ่างเก็บน้ำมีข้อมูลการปล่อยน้ำเพียงไม่กี่ปี ดังนั้นจึงต้องสร้างข้อมูลโดยใช้แบบจำลองอ่างเก็บน้ำ สำหรับแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่าง ประกอบด้วย แบบจำลอง Thomas - Fiering, Box-Jenkins และ BPNN พบว่า ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองพยากรณ์น้ำท่ารายเดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 75-87% แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ แบบจำลอง Thomas-Fiering ซึ่งให้ผลในการบริหารอ่างเก็บน้ำดีที่สุดในรูปของพลังงานไฟฟ้า

Manusthiparom (2000) มีการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลรายชั่วโมงล่วงหน้า 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ในแม่น้ำเจ้าพระยา ณ สถานีวัด C.4 (สะพานพุทธ) ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นระยะทาง 48 กม. โดยใช้แบบจำลอง BPNN และ MIKE-11 HD Model สำหรับตัวแปรนำเข้าสู่แบบจำลองนั้น ได้แก่ ระดับน้ำและอัตราการไหลรายชั่วโมง ณ สถานีวัดบางไทร เป็นขอบเขตด้านต้นน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากสถานีวัด C.4 ไปทางต้นน้ำเป็นระยะทาง 64 กม. ระดับน้ำขึ้น-น้ำลง ที่วัดจากสถานีป้อมพระจุลฯ ใช้เป็นขอบเขตด้านท้ายน้ำ โดยตั้งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำ 1 กม. นอกจากนี้ยังใช้ปริมาณน้ำท่าระหว่างขอบเขตที่กำหนดที่ไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นตัวแปรรวมอยู่ด้วย จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อ นำแบบจำลอง BPNN มาใช้ร่วมกับ AR(3) Model ทำให้ผลการพยากรณ์นั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด

Neelakantan และคณะ (2000) ได้พัฒนาแบบจำลอง ANN แบบ BP เพื่อจำลองการใช้น้ำของระบบอ่างเก็บน้ำที่เมืองเซินไฉ ประเทศอินเดีย เพื่อหาเกณฑ์การบริหารอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม การศึกษาได้พัฒนาแบบจำลองระบบอ่างเก็บน้ำ (Simulation Model) โดยอาศัยหลักสมมูลน้ำ Hedging Rule ซึ่งเป็นการส่งน้ำตามสัดส่วนปริมาณน้ำต้นทุน ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย ความจุคลอง ความจุอ่างเก็บน้ำต่ำสุด - สูงสุด และการระเหย โดยสร้างข้อมูลจากเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำหลายๆ แบบ จากข้อมูลจำนวน 25 ปี ตัวแปรที่ใช้ ได้แก่ ความจุเริ่มต้นของช่วงเวลา (ใน 1 ปีแบ่งออกเป็น 6 ช่วงเวลาตามข้อมูลของปริมาณน้ำท่า) และความจุอ่างเก็บน้ำเป็นตัวกำหนดสัดส่วนการปล่อยน้ำ ตามความต้องการ 3 ช่วง ข้อมูลจากแบบจำลองระบบนำไปใช้เป็นข้อมูลเข้าของแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม ได้แก่ ความจุอ่างเก็บน้ำจำนวน 18 ค่า ข้อมูลออก ได้แก่ ปริมาณการขาดแคลนน้ำที่น้อยที่สุดจำนวน 1 ค่า ลักษณะโครงข่ายของแบบจำลอง คือ 18 - 18 - 1 โดยใช้การเรียนรู้แบบ BP และฟังก์ชันการกระตุ้นแบบซิกมอยด์ ส่วนค่าอัตราการเรียนรู้และโมเมนตัม มีการปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม เพื่อให้มีการลู่เข้าสู่คำตอบเร็วขึ้น จากนั้นนำผลจากแบบจำลอง ANN ไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ด้วยแบบจำลองหาค่าความเหมาะสม (Hooke and Jeeves Nonlinear Programming) และตรวจสอบผลที่ได้อีกครั้งด้วยแบบจำลอง Simulation-Optimization ที่มีอยู่เดิม ผลของแบบจำลอง ANN พบว่า ในช่วงการเรียนรู้มีค่าความผิดพลาดของการทำนายไม่เกิน 5% ในช่วงการทดสอบมีค่าความผิดพลาดของการทำนายไม่เกิน 15% และการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง ANN สามารถลดเวลาที่ใช้คำนวณลงได้มากเมื่อเทียบกับการใช้แบบจำลองเดิม

ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Network in Hydrology (2000) ได้ศึกษาความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมในการแก้ปัญหาทางด้านอุทกวิทยา สรุปข้อเด่นข้อด้อยของแบบจำลอง ANN ไว้ดังนี้ ข้อเด่น คือ แบบจำลองสามารถจดจำและเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเข้าและตัวแปรออก โดยปราศจากการพิจารณาทางด้านกายภาพ และทำงานได้ดี ถึงแม้ว่าข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลที่มีความผิดพลาด ทั้งที่เกิดจากการวัดและตัวของข้อมูลเอง อีกทั้งกระบวนการประมวลผลข้อมูลและการพยากรณ์สามารถใช้งานได้ง่าย ส่วนข้อด้อย คือ ยังไม่มีวิธีที่ชัดเจนในการเลือกลักษณะโครงข่ายของแบบจำลอง กระบวนการเรียนรู้ และเกณฑ์ในการวัดผล ยังต้องอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจของผู้วิจัยเท่านั้น

Tingsanchali (2001) ได้นำแบบจำลอง BPNN มาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า Z.11 ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำประแส มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด 1,280 ตร.กม. ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ให้ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน นั้น ขึ้นอยู่กับข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่ารายวัน ณ วันปัจจุบันและวันที่ผ่านมา ซึ่งได้มาจากการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าแบบ trial & error โดยจะใช้ข้อมูลในช่วงปี 1993-1997 สำหรับการปรับเทียบและทดสอบแบบจำลอง จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง BPNN สามารถให้ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน ได้ดีเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งจะ เป็นประโยชน์กับลุ่มน้ำที่มีข้อมูลทางกายภาพจำกัด

เสรีและคณะ (2544) พยากรณ์ระดับน้ำที่หาดใหญ่ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับข้อมูลที่ใช้ ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำฝนและระดับน้ำสถานี X44 (คลองอู่ตะเภา) และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรชนิดเดียวกัน (Autocorrelation) กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างกัน (Cross Correlation) ผสมกับการ Trial & Error ในการพิจารณาจำนวนข้อมูลนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ซึ่งให้แบบจำลองเรียนรู้ข้อมูลปี พ.ศ.2543 และทดสอบผลการพยากรณ์กับข้อมูลน้ำท่วมปี พ.ศ.2531 พบว่าผลการคำนวณเป็นที่น่าสนใจคือมีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 และ 0.95 ในช่วงการเรียนรู้และการทดสอบตามลำดับ

วุฒิชัย (2544) ได้นำแบบจำลอง ANN แบบ Back Propagation มาใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน 1 และ 2 วันล่วงหน้า ในแม่น้ำจันทบุรี (สถานี Z13) และแม่น้ำคลองอู่ตะเภา (สถานี X90) โดยใช้ตัวแปรอิสระคือ ปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ และปริมาณน้ำท่ารายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษา และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation กับค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation เท่ากับ 0.6 ในการพิจารณาจำนวนข้อมูลนำเข้าโดยผลการศึกษาพบว่า ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน 1 วันล่วงหน้า ให้ผลน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ดี และมีความน่าเชื่อถือลดลงเมื่อทำการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน 2 วันล่วงหน้า

Kitpaisalsakul และ Piman (2002) ได้นำแบบจำลอง ANN มาประยุกต์ใช้สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ล่วงหน้า 1,2 และ 3 วัน ณ สถานีวัดน้ำท่า KGT.10 ที่ตั้งอยู่ใกล้กับจุดออกของลุ่มน้ำคลองพระสึง ซึ่งตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย จากผลการศึกษาพบว่าตัวแปรนำ

เข้าที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน คือ ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายวัน ในวันที่ผ่านๆ มาจากสถานีวัดต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ นอกจากนี้ยังได้มีการนำผลการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN มาเปรียบเทียบกับผลพยากรณ์จากแบบจำลอง MLR ที่ใช้ตัวแปรนำเข้าสู่ชุดเดียวกับแบบจำลอง ANN ซึ่งพบว่าในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองทั้ง 2 มีค่าใกล้เคียงกันกับข้อมูลที่วัดจริง แต่เมื่อพยากรณ์ล่วงหน้า 2 และ 3 วัน พบว่า แบบจำลอง ANN ให้ผลการพยากรณ์ดีกว่าแบบจำลอง MLR อย่างชัดเจน

ธนพล (2545) ได้นำแบบจำลอง ANN มาใช้พยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้าที่สถานีวัดน้ำท่า KGT.3 ในลุ่มน้ำปราจีนบุรี ผลการศึกษาศรวิธีคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ การคัดเลือกอัตราการไหลน้ำท่ารายวันย้อนหลังของสถานีตัวเองใช้กราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation โดยพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์แบบ Partial Autocorrelation ที่มีค่ามากกว่าค่าขอบเขตความเป็นอิสระของค่าตัวแปรที่ความเชื่อมั่น 95% การคัดเลือกปริมาณฝนเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่รายวันย้อนหลังใช้กราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation และกราฟน้ำฝน น้ำท่า โดยพิจารณาจากวันปัจจุบันย้อนไปถึงวันย้อนหลังที่ค่าความสัมพันธ์สูงสุด และใช้ค่า T_c มาประกอบการพิจารณา การคัดเลือกอัตราการไหลน้ำท่ารายวันย้อนหลังของสถานีน้ำท่าเหนือน้ำ ใช้กราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation โดยพิจารณาจากวันปัจจุบันย้อนหลังไปถึงวันที่มีค่าความสัมพันธ์สูงสุด ซึ่งให้ผลการคัดเลือกเช่นเดียวกับวิธีการหาค่า การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการพยากรณ์อัตราการไหลรายวัน พบว่า จำนวนวันที่สามารถพยากรณ์น้ำท่าล่วงหน้าได้มากที่สุดขึ้นอยู่กับค่า T_c ของลุ่มน้ำ และสามารถใช้พยากรณ์น้ำท่าที่ออกจากลุ่มน้ำขนาดใหญ่ได้ดีกว่าลุ่มน้ำขนาดเล็ก เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำท่ารายวันน้อยกว่า และการเปลี่ยนแปลงของฝนเป็นน้ำท่าของลุ่มน้ำขนาดเล็กอาจใช้เวลาน้อยกว่า 1 วัน นอกจากนี้ยังพบว่า การพยากรณ์น้ำท่าในฤดูแล้งมีความแม่นยำมากกว่าฤดูฝน และการพยากรณ์โดยใช้ผลการพยากรณ์ในวันก่อนหน้ามาใช้ในแบบจำลองสามารถช่วยให้ผลการพยากรณ์ในวันต่อๆ ไปแม่นยำมากขึ้น

การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าโมเมนต์และค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมในแบบจำลอง ANN แบบ BP คือ ค่าโมเมนต์ที่เหมาะสมเริ่มต้นที่ 0.45 และเปลี่ยนเป็น 0.95 ที่รอบการคำนวณซ้ำ 5,000 รอบ (เงื่อนไขการหยุดคำนวณซ้ำอยู่ที่ 10,000 รอบ) ส่วนค่าอัตราการเรียนรู้ควรอยู่ระหว่าง 0.001 - 0.01 การกำหนดหน่วยในชั้นแอบแฝง กำหนดเท่ากับจำนวนตัวแปรนำเข้า (กรณีตัวแปรนำเข้า 1 - 5 ตัว) ใช้ชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียว ส่วนแบบจำลอง ANN ที่มีตัวแปรนำเข้ามากกว่า 5 ตัว ขึ้นไป ใช้จำนวนชั้นแอบแฝง 2 ชั้น และในแต่ละชั้นแอบแฝงมีจำนวนหน่วยเป็นครึ่งหนึ่งของตัวแปรนำเข้า และการปรับเปลี่ยนจำนวนหน่วยและจำนวนชั้นแอบแฝงไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของแบบจำลองแตกต่างกันอย่างชัดเจน และเมื่อนำแบบจำลองอนุกรมเวลามาช่วยปรับปรุงผลการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN พบว่า มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยฤดูฝนเพิ่มขึ้น 0.6 - 14.7% และฤดูแล้งเพิ่มขึ้น 0.7 - 8.9%

Kitpaisalsakul และ Suttinon (2002) ได้เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ระดับน้ำขึ้น-น้ำลง ล่วงหน้า 3, 12 และ 24 ชั่วโมง ณ สถานีวัดป้อมพระจุลฯ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จากแบบจำลอง ANN และแบบจำลองฮาร์โมนิก โดยแบบจำลอง ANN จะใช้ข้อมูลระดับน้ำขึ้น-น้ำลง รายชั่วโมง ย้อนหลังไป 25 ชั่วโมง เป็นข้อมูลนำเข้า ส่วนแบบจำลอง HARMONIC นั้นจะใช้ข้อมูลระดับน้ำขึ้น-น้ำลง เฉลี่ยตลอดทั้งปีเป็นข้อมูลนำเข้า จากผลการศึกษาพบว่า ผลการพยากรณ์ในระยะสั้น (3 และ 12 ชั่วโมง) จากแบบจำลอง ANN จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบจำลอง HARMONIC อย่างเห็นได้ชัด แต่ความแตกต่างของผลการพยากรณ์จากแบบจำลองทั้ง 2 นี้ จะลดลงเมื่อใช้กับการพยากรณ์ในช่วงระยะยาวมากขึ้น (24 ชั่วโมง)

1.5.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลองอนุกรมเวลา

แบบจำลองอนุกรมเวลา ถูกจัดสร้างขึ้นเพื่ออธิบายกระบวนการ ที่เกิดจากอนุกรมค่าความผิดพลาดของตัวแปรชุดหนึ่ง และนำแบบจำลองนั้นไปใช้ในการพยากรณ์หรือสังเคราะห์ค่าของตัวแปรต่อไป โดยแบบจำลองอนุกรมเวลาที่รู้จักกันทั่วไปนั้น ได้แก่ แบบจำลอง Autoregressive (AR), Moving Average (MA), Autoregressive-Moving Average (ARMA) เป็นต้น จากการศึกษาที่ผ่านมาได้มีการนำแบบจำลองอนุกรมเวลามาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผลการพยากรณ์ มีดังนี้

Kabiling (1989) มีการประเมินน้ำท่ารายวันที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ในลุ่มน้ำป่าสัก โดยใช้แบบจำลอง Tank Model และ NAM Model และได้นำแบบจำลองอนุกรมเวลา ARMA มาใช้ในการอธิบายและพยากรณ์อนุกรมค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้ Tank Model และ NAM Model จากผลการศึกษาพบว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 ร่วมกันทำให้ผลการพยากรณ์ดีขึ้นเป็นที่น่าพอใจ

Prasad (1995) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Tank Model และ NAM Model ร่วมกับ AR Model เพื่อปรับปรุงผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันในลุ่มน้ำบากมาติ (Bagmati Basin) และลุ่มน้ำน่าน (Nan Basin) พบว่าผลการพยากรณ์ให้ผลดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง Tank Model และ NAM Model เพียงอย่างเดียว

Win (1999) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Back Propagation Neural Networks (BPNN) ในการทำนายปริมาณน้ำหลากรายวันในลุ่มน้ำประแส โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลและน้ำฝนรายวัน ที่ได้มาจากการคัดเลือกแบบ Trial & Error พบว่าผลการพยากรณ์มีความแม่นยำสูง นอกจากนี้ยังได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง BPNN ร่วมกับ AR Model เพื่อปรับแก้ค่าความผิดพลาดให้ลดน้อยลง

1.6 สรุปสิ่งที่ได้จากผลการศึกษาที่ผ่านมา

จากผลการศึกษาที่ผ่านมา สามารถสรุปออกเป็น 3 ประเด็น ได้ดังต่อไปนี้

1.6.1 การบริหารอ่างเก็บน้ำ

1) การบริหารอ่างเก็บน้ำได้มีการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยการทายค่าเกณฑ์แบบต่างๆ ที่สมมุติขึ้น เช่น การบริหารอ่างเก็บน้ำในระยะยาวเป็นรายเดือน โดยใช้แบบจำลอง HEC-3 และช่วงฤดูน้ำหลาก (Flood Control Rule Curve) เป็นรายวัน โดยแบบจำลอง Reservoir Routing และการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำรายเดือนโดยใช้ค่าสถิติ โดยวิธี Probability Based Rule Curves โดยพิจารณาจากค่าความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำที่ค่าควบคุมปริมาณน้ำต่ำสุด (Lower Rule Curve) และค่าความเสี่ยงจากความจุของอ่างเก็บน้ำที่เหลือ ในการรองรับน้ำหลากที่ค่าควบคุมปริมาณน้ำสูงสุด (Upper Rule Curve)

2) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ร่วมกับการบริหารการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โดยเปรียบเทียบผลกับกรณีไม่ใช่แบบจำลอง ANN

โดยสรุปวิธีการปล่อยน้ำที่ผ่านมา โดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลากยังไม่มีวิธีการปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับเหตุการณ์น้ำหลากขนาดต่างๆ ที่เกิดขึ้น เป็นเพียงการปล่อยน้ำตามค่าควบคุมของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ ที่ใช้กับทุกเหตุการณ์น้ำหลากเท่านั้น

1.6.2 การพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยแบบจำลอง ANN

1) การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN ในเบื้องต้น ได้จากค่าความสัมพันธ์แบบต่างๆ ประกอบด้วย ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation, แบบ Partial Autocorrelation, แบบ Cross Correlation และความสัมพันธ์น้ำฝน - น้ำท่า

2) ลักษณะโครงข่ายแบบจำลอง เมื่อจำนวนชุดตัวแปรนำเข้าน้อยกว่า 5 ชุด จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 1 ชั้น และมีจำนวนหน่วยเท่ากับจำนวนชุดตัวแปรนำเข้า และเมื่อจำนวนชุดตัวแปรนำเข้ามากกว่า 5 ชุดขึ้นไป จำนวนชั้นซ่อนเท่ากับ 2 ชั้น และมีจำนวนหน่วยในแต่ละชั้นเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนชุดตัวแปรนำเข้า

3) ฟังก์ชันกระตุ้นที่เหมาะสมกับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันใช้แบบจิกมอยด์ ฟังก์ชัน และการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ คือค่าโมเมนตัมและค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมในแบบจำลอง ได้จากการทดสอบกับชุดข้อมูลตัวแปรนำเข้าที่มีมากที่สุดในการพยากรณ์

1.6.3 การปรับปรุงผลการพยากรณ์

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าได้มีการนำแบบจำลองอนุกรมเวลา ประกอบด้วย แบบจำลอง AR Model, MA Model และ ARMA Model มาช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพในพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าที่สูงขึ้น

บทที่ 2

สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

2.1 อาณาเขต ที่ตั้ง สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ

2.1.1 อาณาเขต และที่ตั้งของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก

ลุ่มน้ำป่าสักเป็น 1 ใน 25 ลุ่มน้ำในประเทศไทย ตามการแบ่งของคณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติ โดยมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 16,292 ตร.กม. ลักษณะลุ่มน้ำมีรูปร่างคล้ายขนนก คือ แคบ เรียวยาว มีความกว้างประมาณ 45 กม. และยาวประมาณ 350 กม. ดังแสดงในรูป 2-1 พื้นที่ลุ่มน้ำครอบคลุมบางส่วนของเขตภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด ประกอบด้วย จังหวัดเลย จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดชัยภูมิ และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ขอบเขตลุ่มน้ำอยู่ระหว่างละติจูดที่ 14 องศา 15 ลิปดา ถึง 17 องศา 20 ลิปดา เหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 30 ลิปดา ถึง 101 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก โดยมีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ใกล้เคียงดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย
ทิศใต้	ติดต่อกับ	อำเภอเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอำเภอหนองแขง อำเภอวิหารแดง จังหวัดสระบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	อำเภอเทพารักษ์ อำเภอด่านขุนทด อำเภอสีคิ้ว อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอกักตี่ชุมพล อำเภอเทพสถิตย์ จังหวัดชัยภูมิ
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	อำเภอโคกเจริญ อำเภอสระโบสถ์ อำเภอโคกสำโรง อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี และอำเภอชนแดน อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

2.1.2 สภาพภูมิประเทศและระบบลุ่มน้ำ

1) สภาพภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำป่าสัก เนื่องจากมีลักษณะแคบ เรียวยาว และวางตัวตามแนวเหนือใต้ จึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนแรก คือ พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน อยู่ในบริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นเทือกเขาสูงล้อมรอบอยู่บริเวณด้านเหนือ ด้านตะวันตก และด้านตะวันออกของจังหวัดเพชรบูรณ์ มีพื้นที่ราบอยู่ตอนกลางของลุ่มน้ำในแนวเหนือใต้ และมีความลาดชันจากทิศเหนือลงไปทิศใต้ สภาพพื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 110 - 115 เมตร

ส่วนที่ 2 คือ พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนกลาง มีลักษณะพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบสลับเนินเขา และภูเขา มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 45 - 60 เมตร เหลาลงไปทางทิศใต้ โดยพื้นที่ทางทิศตะวันตกและทิศใต้เป็นที่ราบสลับเนินเขา ส่วนทางทิศตะวันออกเป็นเทือกเขาและภูเขาสลับเนินเขา ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บริเวณตอนล่างของจังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดลพบุรี จังหวัดสระบุรี จังหวัดชัยภูมิและจังหวัดนครราชสีมาบางส่วน

ส่วนที่ 3 คือ พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนล่าง บริเวณด้านตะวันออกตอนล่างและตะวันออกเฉียงใต้ เป็นแนวเทือกเขาดงพญาเย็น เขาสามหลั่น ต่อเนื่องถึงอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ พื้นที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 5 - 30 เมตร ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดสระบุรี จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

2) ระบบลุ่มน้ำ

ระบบลุ่มน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก มีแม่น้ำป่าสักเป็นแม่น้ำสายหลัก มีต้นกำเนิดแม่น้ำอยู่บริเวณเทือกเขาทางตอนบนของลุ่มน้ำในบริเวณจังหวัดเลย ไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ โดยไหลผ่านพื้นที่ของจังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดลพบุรี จากนั้นไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ โดยปริมาณน้ำบางส่วนได้ส่งไปยังพื้นที่ชลประทานของโครงการ และส่วนที่เหลือไหลผ่านจังหวัดสระบุรีสู่เขื่อนทดน้ำพระราม 6 (โดยปริมาณน้ำบางส่วนผันเข้าคลองระพีพัฒน์ไปสู่พื้นที่การเกษตรบริเวณทุ่งเจ้าพระยาตะวันออก) หลังจากนั้นไหลไปบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา รวมความยาวแม่น้ำป่าสักโดยประมาณ 700 กม. และมีลำน้ำสาขาแยกไปทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออก ซึ่งสภาพลำน้ำสาขาส่วนใหญ่สั้นและมีพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก โดยลำน้ำสาขาที่สำคัญ ได้แก่ ห้วยน้ำพุง ห้วยป่าแดง ห้วยขอนแก่น ล่าง ห้วยเกาะแก้ว ลำสนธิ และห้วยมวกเหล็ก เป็นต้น

2.2 สภาพภูมิอากาศ

นอกจากที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของลุ่มน้ำป่าสัก ซึ่งตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรเล็กน้อยและมีพื้นที่ทางตอนเหนือเป็นเทือกเขาสูงสลับเนินเขาแล้ว ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสภาพภูมิอากาศในบริเวณลุ่มน้ำอีกอย่างหนึ่งคือ ลมประจำถิ่นที่พัดผ่าน ได้แก่ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดมาจากทางตอนกลางของทวีปเอเชียบริเวณประเทศจีน และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพัดมาจากทะเลอันดามัน นอกจากนี้มีลมพายุหมุนเขตร้อนจากทะเลจีนใต้และมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งทั้งหมดเป็นเหตุก่อให้เกิดอิทธิพลต่อ

สภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำป่าสักทั้งลุ่ม ซึ่งทิศทาง และช่วงเวลาของการเกิดลมมรสุม แนวร่องความกดอากาศต่ำและลมพายุ ดังแสดงในรูป 2-2 เหล่านี้ล้วนเป็นเหตุปัจจัยทำให้เกิดฤดูกาลในพื้นที่ทั้งลุ่ม

ฤดูกาลของพื้นที่ในบริเวณลุ่มน้ำป่าสัก สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู คือ

1) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงปลายเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมทั่วทั้งลุ่ม และมีลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จากทะเลจีนใต้และอ่าวไทย พัดเข้ามาแทนที่ ประกอบกับระยะนี้เป็นระยะที่ประเทศไทยได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ทำให้ความชื้นของแผ่นดินมีน้อย และเกิดภาวะความแห้งแล้งตามมา

2) ฤดูฝน เป็นช่วงที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เริ่มตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคมหรือต้นเดือนมิถุนายนจนถึงเดือนตุลาคม ส่วนฝนที่เกิดจากพายุดีเปรสชันซึ่งก่อตัวขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกและทะเลจีนใต้ แล้วเคลื่อนผ่านประเทศเวียดนาม ประเทศลาว และเข้าสู่ประเทศไทย ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยผ่านเข้าสู่ลุ่มน้ำทางด้านทิศตะวันออก

3) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งช่วงนี้มีกระแสลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีน ทำให้พื้นที่ในบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำมีอากาศหนาวเย็นมากขึ้น

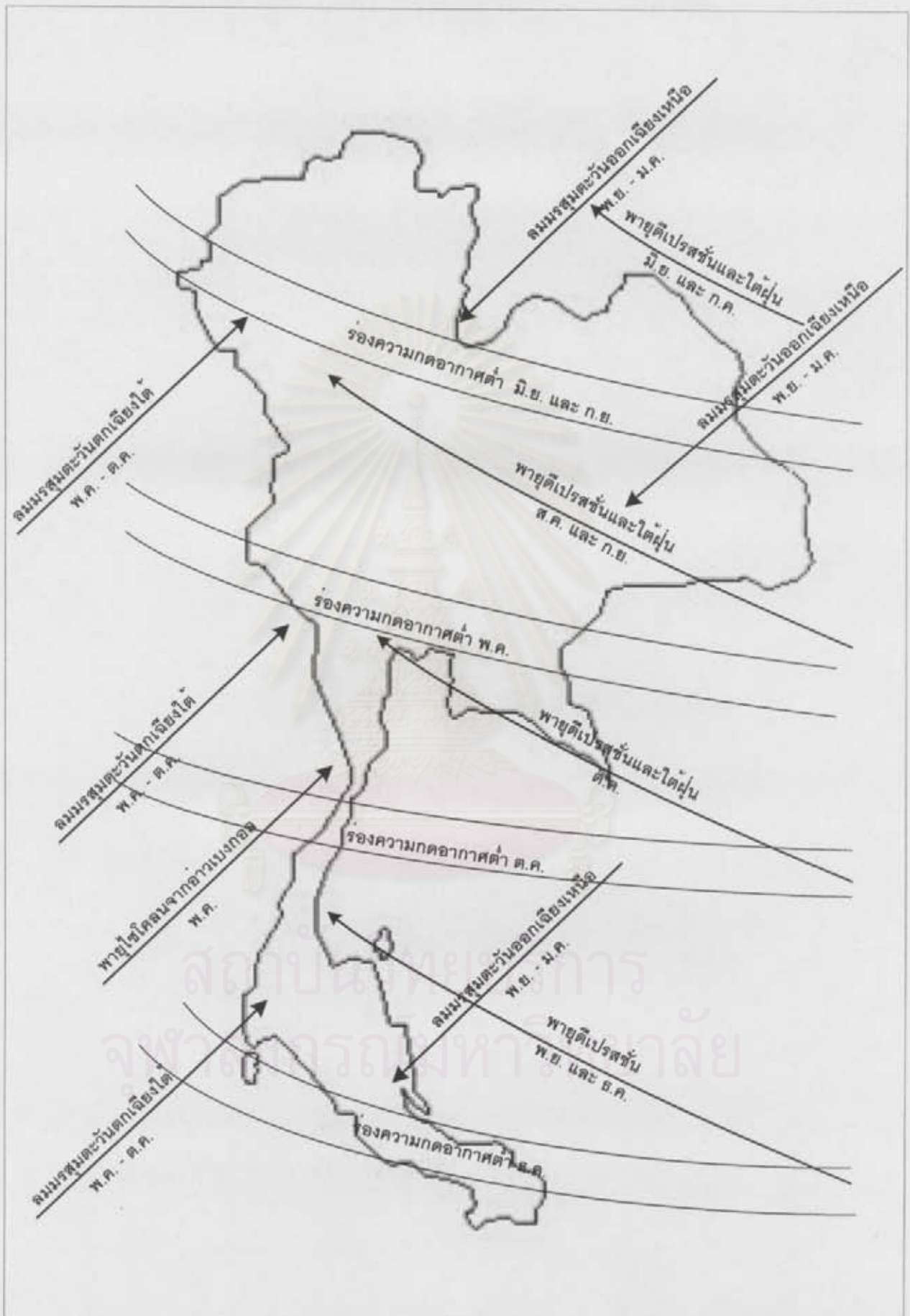
2.3 สภาพอุตุ-อุทกวิทยา

2.3.1 อุตุนิยมวิทยา

จากข้อมูลภูมิอากาศของสถานีตรวจวัดตัวแปรภูมิอากาศต่างๆ ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก ได้บันทึกโดยกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 5 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีอำเภอหล่มสัก สถานีจังหวัดเพชรบูรณ์ สถานีอำเภอวิเชียรบุรี สถานีบัวชุม และสถานีจังหวัดลพบุรี โดยสามารถสรุปช่วงพิสัยค่าตัวแปรภูมิอากาศหลักรายปีเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดตัวแปรภูมิอากาศทั้ง 5 แห่ง ดังแสดงในตาราง 2-1

ตาราง 2-1 สรุปช่วงพิสัยค่าเฉลี่ยรายปีของตัวแปรภูมิอากาศหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก

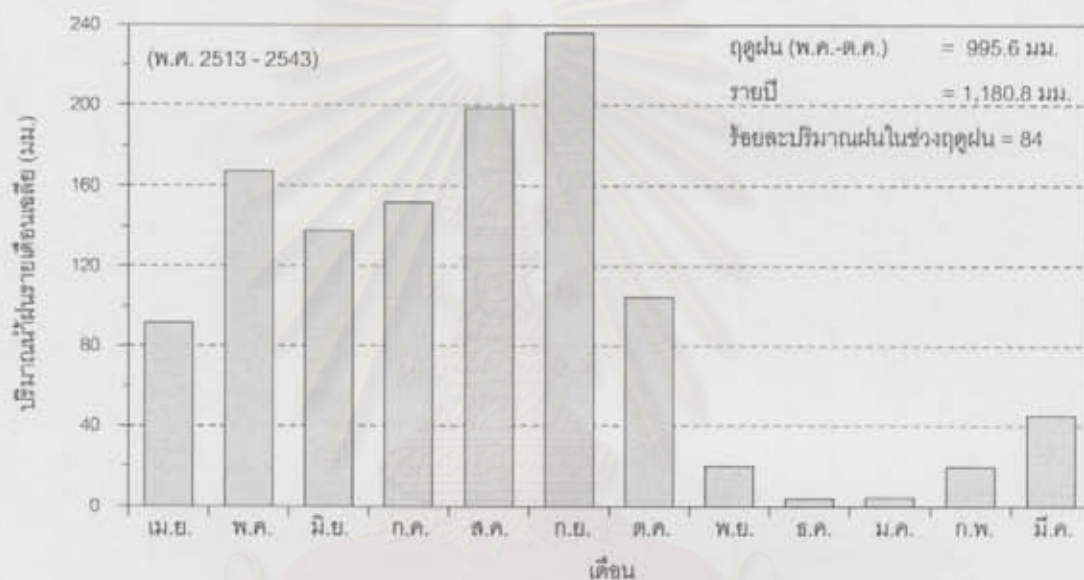
ตัวแปรภูมิอากาศ	ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	26.7 – 28.1
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	70.6 – 74.7
ปริมาณการระเหยจากผิวน้ำ (มม.)	1,596.3 – 1,905.8
ความครึ้มของเมฆ (0-10 อีอกต้า)	5.4 – 5.6
ความเร็วลม (นิอต)	1.2 – 2.4
ปริมาณฝน (มม.)	1,044.3 – 1,204.2



รูป 2-2 ทิศทาง และช่วงเวลาของการเกิดลมมรสุม แนวร่องความกดอากาศต่ำและลมพายุ

2.3.2 ปริมาณน้ำฝน

เมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักเหนือหัวงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ และบริเวณใกล้เคียง ที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 19 สถานี ดังแสดงในรูป 2-3 พบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.) มีค่าประมาณ 995.6 มม. หรือร้อยละ 84 และฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.) มีค่าประมาณ 185.2 มม. หรือร้อยละ 16 จากปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยประมาณ 1,180.8 มม. แสดงว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักมีฝนตกชุกในช่วงฤดูฝน ทำให้เกิดน้ำหลากมากในช่วงเวลาดังกล่าว และในทางกลับกันในช่วงฤดูแล้งปริมาณฝนตกค่อนข้างน้อย ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักมีสภาพแห้งแล้ง และสภาพน้ำในแม่น้ำป่าสักแห้งขอดเป็นช่วงๆ



รูป 2-3 การกระจายตัวของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษา

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของฝนรายปีเฉลี่ย ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก จากแผนที่เส้นชั้นปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก กรมทรัพยากรน้ำ, 2546) ดังแสดงในรูป 2-4 พบว่าปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย มีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 1,000 - 1,600 มม. โดยทางตอนบนของลุ่มน้ำมีปริมาณฝนตกชุกบริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์ มีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 1,100 - 1,600 มม. ส่วนพื้นที่บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำมีปริมาณฝนน้อยกว่าตอนบนของลุ่มน้ำและมีลักษณะการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ มีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 1,000 - 1,200 มม. ส่วนทางตอนล่างของลุ่มน้ำมีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 1,000 - 1,500 มม.

2.3.3 ปริมาณน้ำท่า

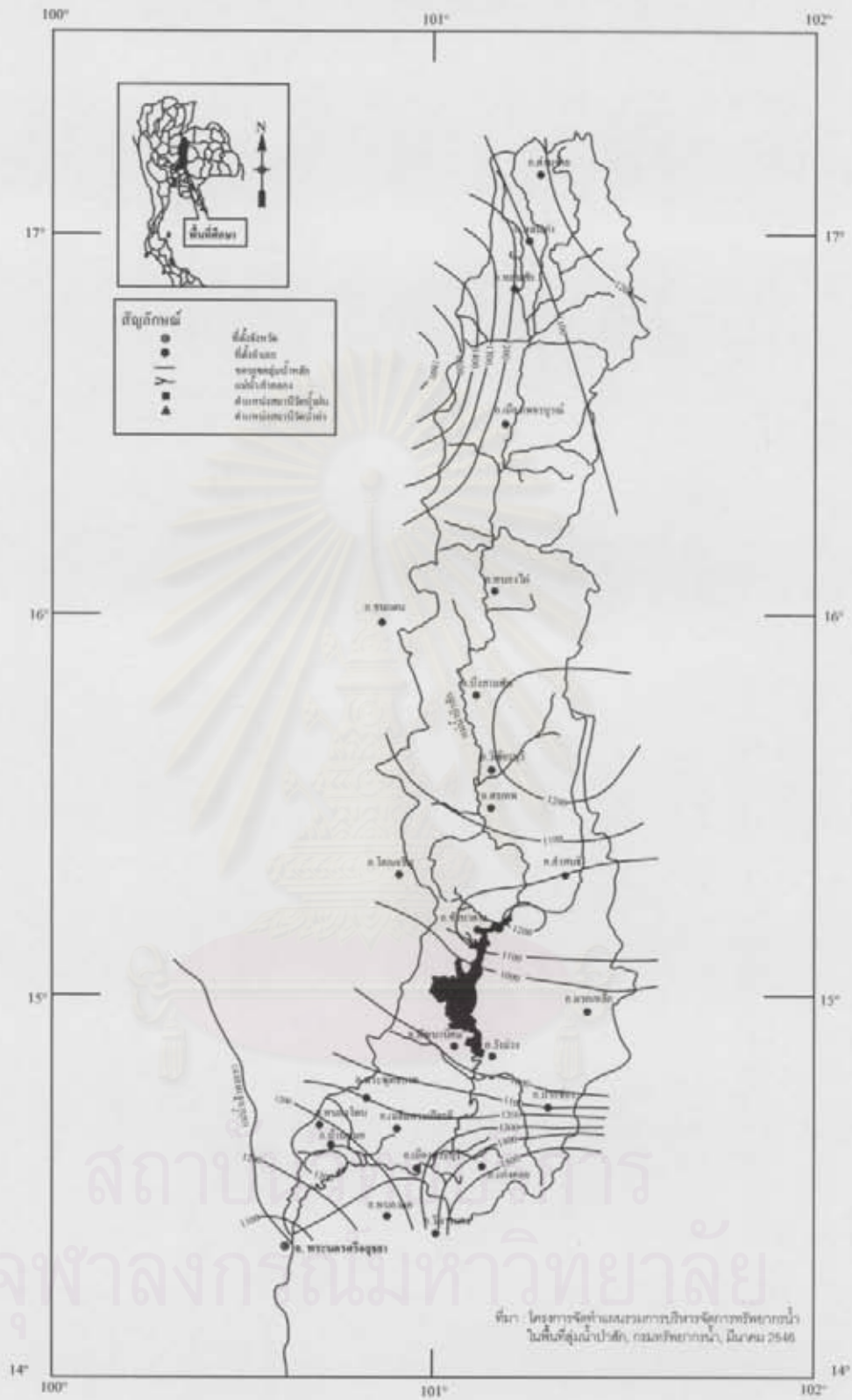
การกระจายตัวของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก จากแผนที่แสดงเส้นชั้นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก (โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก กรมทรัพยากรน้ำ, 2546) ดังแสดงในรูป 2-5 พบว่ามีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 4 - 15 ลิตร/วินาที/ตร.กม. โดยพื้นที่ทางตอนเหนือและบริเวณเทือกเขาทางทิศตะวันตกของลุ่มน้ำ มีค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝนสูงกว่าบริเวณอื่น คือมีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 10 - 15 ลิตร/วินาที/ตร.กม. เนื่องจากเป็นเขตป่าอนุรักษ์และมีฝนตกชุก ส่วนทางตอนกลางและตอนล่างของลุ่มน้ำมีค่าผันแปรอยู่ระหว่าง 4 - 10 ลิตร/วินาที/ตร.กม. ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝนสอดคล้องกับการกระจายตัวและปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย (รูป 2-4) โดยปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 5 สถานี ดังแสดงในตาราง 2-2 พบว่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนมีประมาณร้อยละ 85.3 และในช่วงฤดูแล้งมีประมาณร้อยละ 14.7

ตาราง 2-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย ของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

สถานีวัดน้ำท่า	ตำแหน่งที่ตั้ง	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย				รายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)
			ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)		ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)		
			(ล้าน ลบ.ม.)	(%)	(ล้าน ลบ.ม.)	(%)	
SM.1	อ.หล่มสัก	1,070	250.5	85.1	44.0	14.9	294.5
S.4B	อ.เมืองเพชรบูรณ์	3,566	513.6	78.7	139.4	21.3	653.0
SM.2	อ.วิเชียรบุรี	6,250	1,074.7	87.4	154.8	12.6	1,229.5
SM.3	อ.บัวชุม	9,500	1,415.4	88.5	183.8	11.5	1,599.2
S.9	อ.แก่งคอย	14,374	2,086.3	87.0	311.2	13.0	2,397.5
เฉลี่ย			-	85.3	-	14.7	-

ตาราง 2-3 อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

สถานีวัดน้ำท่า	ตำแหน่งที่ตั้ง	อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน (ลบ.ม./วินาที)							
		ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)				ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)			
		เฉลี่ย	เบี่ยงเบน	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	เบี่ยงเบน	สูงสุด	ต่ำสุด
SM.1	อ.หล่มสัก	15.5	25.5	215.7	0.0	4.0	3.4	35.7	0.0
S.4B	อ.เมืองเพชรบูรณ์	34.9	40.4	261.9	0.0	5.1	5.8	63.7	0.0
SM.2	อ.วิเชียรบุรี	70.4	84.6	335.7	0.0	10.4	13.2	154.6	0.0
SM.3	อ.บัวชุม	90.1	129.0	861.0	0.0	12.8	25.1	188.3	0.0
S.9	อ.แก่งคอย	138.3	214.4	3,206.0	0.7	19.6	33.5	320.4	0.3



รูป 2-4 แผนที่แสดงเส้นชั้นปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก

จากตาราง 2-3 พบว่าอัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่ตอนบนของลุ่มน้ำ (สถานี SM.1) ถึงตอนล่างของลุ่มน้ำ (สถานี S.9) ห่างจากหัวงานเขื่อนป่าสักฯ ไปทางท้ายน้ำประมาณ 49 กม. มีค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนประมาณ 15.5 - 138.3 ลบ.ม./วินาที และฤดูแล้งประมาณ 4.0 - 19.6 ลบ.ม./วินาที ส่วนค่าอัตราการไหลน้ำท่ารายวันมีความผันผวนค่อนข้างสูงเมื่อพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเทียบกับค่าเฉลี่ยทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำ

2.4 สภาพน้ำท่วมในอดีต

สภาพน้ำท่วมในอดีตของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักและบริเวณใกล้เคียง พบว่าน้ำหลากส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากอิทธิพลของลมพายุ ร่องความกดอากาศต่ำ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านพื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม โดยเหตุการณ์น้ำท่วมที่มีผลกระทบต่อพื้นที่ต่างๆ เป็นบริเวณกว้าง ที่ผ่านมามีในอดีตรูปเหตุการณ์สำคัญได้ดังนี้

สภาพน้ำท่วมปี พ.ศ. 2521 : เกิดจากพายุดีเปรสชัน "เบส" และ "คิท" พัดผ่านตอนบนของลุ่มน้ำ และส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำหลากสูงถึง 3,200 ลบ.ม./วินาที (อ.แก่งคอย จ.สระบุรี) โดยเมื่อน้ำไหลหลากผ่านเขื่อนพระราม 6 ลงสู่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งมีความสามารถของลำน้ำ ในการรองรับปริมาณน้ำเพียง 1,800 ลบ.ม./วินาที จึงส่งผลให้เกิดน้ำหลากไหลเข้าท่วมพื้นที่ทั้งฝั่งซ้ายและขวาของแม่น้ำป่าสักอย่างมาก และน้ำหลากดังกล่าวไหลป่าเข้าท่วมทุ่งทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่จังหวัดสระบุรีมาจนถึงกรุงเทพมหานคร ทำความเสียหายให้แก่พื้นที่เกษตรกรรม บ้านเรือน และที่อยู่อาศัย ตลอดจนทรัพย์สินของภาคเอกชน ในพื้นที่ดังกล่าว รวมทั้งได้ท่วมบางบริเวณในเขตป้องกันน้ำท่วมของกรุงเทพมหานคร

สภาพน้ำท่วมปี พ.ศ. 2538 : ตลอดช่วงฤดูฝนประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศต่ำ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อย่างสม่ำเสมอครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำเจ้าพระยา รวมทั้งได้รับอิทธิพลจากพายุทั้งทางตรงและทางอ้อม (พายุแกรี่, พายุเฮเลน, พายุโลอิส, และพายุไนนา) จนเป็นเหตุให้เกิดสภาวะอุทกภัยเป็นบริเวณกว้าง โดยสภาพน้ำหลากของแม่น้ำป่าสัก ที่เกิดจากปริมาณฝนที่ตกในลุ่มน้ำป่าสักอยู่ในเกณฑ์มากกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำป่าสักไหลล้นตลิ่งโดยปริมาณน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนไหลล้นตลิ่งตามแนวริมแม่น้ำป่าสัก ตั้งแต่จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดลพบุรี ลงมาถึงจังหวัดสระบุรี และปริมาณน้ำที่ระบายผ่านเขื่อนพระราม 6 มีประมาณ 1,480 ลบ.ม./วินาที ประกอบกับสภาพน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้ำสูงมากทำให้เกิดสภาพน้ำท่วมตั้งแต่ท้ายเขื่อนพระราม 6 ลงมาจนถึง จ. พระนครศรีอยุธยา

สภาพน้ำท่วมปี พ.ศ. 2539 : สภาพน้ำท่วมในปีนี้เกิดจากปริมาณฝนที่ตกหนักในพื้นที่มากกว่าสาเหตุอื่นๆ ซึ่งสภาพน้ำท่วมที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักไม่มากนัก

สภาพน้ำท่วมปี พ.ศ. 2545 : ในช่วงต้นฤดูฝน สภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักลดลงตามลำดับ และต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุม ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ต่อเนื่องจนถึงปลายเดือนสิงหาคม การระบายน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติ ระหว่าง 10 - 70 ลบ.ม./วินาที จากนั้นปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก เริ่มเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ช่วงปลายเดือนสิงหาคม ระหว่าง 50 - 170 ลบ.ม./วินาที และจากอิทธิพลของพายุโซนร้อน หว่างฟ่ง ในช่วงระหว่างวันที่ 18 - 21 สิงหาคม ทำให้พื้นที่รับน้ำมีปริมาณฝนตกเพิ่มมากขึ้น จนเป็นเหตุให้เกิดสภาพน้ำป่าไหลหลากแบบฉับพลันในวันที่ 21 สิงหาคม ตามลำห้วยน้ำก้อ ห้วยน้ำซุน และห้วยน้ำพุง ซึ่งอยู่ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนในเขต อ.หล่มสัก อ.หล่มเก่า และ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ มีผลทำให้ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เพิ่มมากขึ้น และมีค่าสูงสุดประมาณ 1,854 ลบ.ม./วินาที (160 ล้าน ลบ.ม./วัน) ทำให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มากกว่าเกณฑ์ควบคุมตั้งแต่วันที่ 4 กันยายน และสูงเกินกว่าระดับเก็บกักสูงสุด ในวันที่ 12 กันยายน ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วงสั้นๆ คิดเป็นปริมาณน้ำในช่วง Peak flood 7 วัน ประมาณ 950 ล้าน ลบ.ม.

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำเฉลี่ยกับปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ พบว่าในเดือนกันยายน มีปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ 2,238 ล้าน ลบ.ม. มากกว่าค่าเฉลี่ย ประมาณ 3 เท่า (ประมาณ 710 ล้าน ลบ.ม.) ทำให้ปีนี้มีสภาพน้ำท่วมที่รุนแรง จนอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ไม่สามารถรองรับปริมาณน้ำจำนวนดังกล่าวได้ เพื่อความปลอดภัยและความมั่นคงของเขื่อน จึงจำเป็นต้องระบายน้ำเพื่อพร่องน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ไว้รองรับปริมาณน้ำใหม่ ซึ่งยังไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ อย่างต่อเนื่องจาก 600, 800, 1,200 และ 1,500 ลบ.ม./วินาที มีผลทำให้พื้นที่ท้ายเขื่อนตามแนวแม่น้ำป่าสัก ซึ่งลำน้ำช่วงนี้สามารถรองรับน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ 600 ลบ.ม./วินาที ไม่สามารถรองรับได้ ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งไหลหลากท่วมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สูงสุดที่เกิดขึ้นในปีนี้จำนวน 1,073 ล้าน ลบ.ม. ที่ระดับ +43.61 ม.รทก.

2.5 ลักษณะโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

2.5.1 ความเป็นมาของโครงการ

โครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ได้ผ่านกระบวนการต่างๆ ตั้งแต่ขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมของโครงการจนถึงขั้นตอนการก่อสร้างจนแล้วเสร็จ และการบริหารงานโครงการ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 2-4

2.5.2 ข้อมูลทั่วไปของโครงการ

1) ที่ตั้ง

บ้านแก่งเสือเต้น ตำบลหนองบัว อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี และบ้านคำพราน อำเภอวังม่วง จังหวัดสระบุรี พิกัด 47PQS222 - 443 ระวาง 5238 IV

2) สภาพทั่วไปของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

โครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จัดเป็นโครงการชลประทานขนาดใหญ่ มีระบบและโครงสร้างอาคาร และอาคารประกอบต่างๆ รวมทั้งการก่อสร้างและการปรับปรุงแม่น้ำ ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 2-5

3) งบประมาณของโครงการ

งบประมาณในกิจกรรมการดำเนินงานด้านต่างๆ ของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จนแล้วเสร็จ ประกอบด้วย งานก่อสร้างด้านชลประทาน และงานแก้ไขและพัฒนาสิ่งแวดล้อม ดังแสดงรายละเอียดในตาราง 2-6

ตาราง 2-4 แสดงความเป็นมาของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

ช่วงเวลา	กิจกรรมการดำเนินงาน
พ.ศ. 2497	กรมชลประทานเริ่มก่อสร้างโครงการขนาดเล็ก (ฝาย / อ่างเก็บน้ำ) ตามลำน้ำสาขาของแม่น้ำป่าสัก
พ.ศ. 2508	กรมชลประทานเริ่มศึกษาโครงการฯ แต่เนื่องจากเป็นโครงการขนาดใหญ่ค่าใช้จ่ายสูง จึงได้ระงับโครงการฯ ไป
19 กุมภาพันธ์ 2532	พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว มีพระราชดำริให้ศึกษาโครงการฯ เพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งและอุทกภัย
1 กรกฎาคม 2535	กรมชลประทานได้ว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษา ศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการฯ
23 กุมภาพันธ์ 2537	คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เห็นชอบแผนการปฏิบัติการแก้ไขและพัฒนาสิ่งแวดล้อมของโครงการฯ
3 พฤษภาคม 2537	คณะรัฐมนตรีมีมติให้เปิดโครงการฯ
2 ธันวาคม 2537	เริ่มงานก่อสร้างโครงการฯ
15 มิถุนายน 2541	สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงประกอบพิธีเริ่มการเก็บกักน้ำเป็นปฐมฤกษ์
7 ตุลาคม 2541	พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว พระราชทานชื่อ "เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์"
30 กันยายน 2542	งานก่อสร้างเขื่อนหัวงานและอาคารประกอบพร้อมงานส่วนประกอบอื่น แล้วเสร็จ 100 %
25 พฤศจิกายน 2542	พระราชพิธีเปิดเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

ตาราง 2-5 สภาพทั่วไปของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก

คุณสมบัติอ่างเก็บน้ำและอาคารประกอบ	รายละเอียด	หน่วย
1) ลักษณะเขื่อน	เขื่อนดินแกนดินเหนียว	-
2) ความยาวสันเขื่อน	4,860.0	ม.
3) ระดับสันเขื่อน	+46.50	ม. รทก.
4) ระดับเก็บกักปกติ	+42.00	ม. รทก.
5) ระดับเก็บกักสูงสุด	+43.00	ม. รทก.
6) ความจุที่ระดับเก็บกักปกติ	785.0	ล้าน ลบ.ม.
7) ความจุที่ระดับเก็บกักสูงสุด	960.0	ล้าน ลบ.ม.
8) อาคารประกอบ		
8.1) อาคารระบายน้ำล้น	คอนกรีตเสริมเหล็ก มีประตูระบายน้ำ 7 ช่อง x 12.5 ม. ระบายน้ำได้สูงสุด 3,900 ลบ.ม./วินาที	-
8.2) ท่อระบายน้ำลงพื้นลำนน้ำเดิม	ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 ม. สามารถระบายน้ำได้สูงสุด 80 ลบ.ม./วินาที	-
8.3) ท่อระบายน้ำฉุกเฉิน	ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 เมตร สามารถระบายน้ำได้สูงสุด 65 ลบ.ม./วินาที	-
9) คันกันน้ำและงานปรับปรุงแม่น้ำ		
9.1) คันกันน้ำท่าหลวง	ตั้งอยู่ที่ ตำบลท่าหลวง อำเภอท่าหลวง จังหวัดลพบุรี ยาว 1,716 เมตร	-
9.2) คันกันน้ำโคกสูง	ตั้งอยู่ที่ ตำบลโคกสูง อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี ยาว 4,120 เมตร	-
9.3) งานปรับปรุงแม่น้ำป่าสัก	ความยาว 8.5 กม.	-

4) ผลประโยชน์ของโครงการตามการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ

- 4.1) เป็นแหล่งน้ำสำหรับอุปโภค - บริโภค ของชุมชนต่าง ๆ ในเขตจังหวัดลพบุรี และจังหวัดสระบุรี (ลำนารายณ์ พัฒนานิคม วังม่วง แก่งคอย และชุมชนขนาดย่อมใกล้เคียง)
- 4.2) เป็นแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรสำหรับพื้นที่ชลประทานที่จะเกิดขึ้นใหม่ ในเขตจังหวัดลพบุรี และสระบุรี 135,500 ไร่ (แก่งคอย - บ้านหม้อ 80,000 ไร่ พัฒนานิคม 35,500 ไร่ และพัฒนานิคม - แก่งคอย 20,000 ไร่)
- 4.3) เป็นแหล่งน้ำเพิ่มเติมสำหรับพื้นที่โครงการชลประทาน ในพื้นที่ทุ่งเจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนล่าง เนื้อที่ประมาณ 2,200,000 ไร่ ทำให้ลดการใช้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา และนำน้ำจากแม่น้ำป่าสักไปใช้ในบริเวณจังหวัดลพบุรีและสระบุรีโดยตรง

- 4.4) ช่วยป้องกันอุทกภัยให้พื้นที่ริมแม่น้ำป่าสัก ในเขตจังหวัดลพบุรีและสระบุรี ยังส่งผลช่วยบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ตอนล่างของแม่น้ำเจ้าพระยา รวมทั้งกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลด้วย
- 4.5) เป็นแหล่งน้ำช่วยเสริมเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภค - บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร
- 4.6) เป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมในเขตจังหวัดลพบุรี และสระบุรี
- 4.7) อ่างเก็บน้ำเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา และเป็นแหล่งประมงน้ำจืดขนาดใหญ่
- 4.8) ช่วยการคมนาคมทางน้ำในแม่น้ำป่าสักตอนล่าง และการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย
- 4.9) เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ

ตาราง 2-6 งบประมาณการดำเนินงานของโครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

กิจกรรมการดำเนินงาน	งบประมาณ (ล้านบาท)
1) งานก่อสร้างด้านชลประทาน	5,098.5173
1.1) เขื่อนหัวงานและอาคารประกอบ	2,656.0000
1.2) ระบบชลประทาน	1,267.5173
1.3) ก่อสร้างส่วนประกอบอื่นๆ	1,175.0000
2) งานแก้ไขและพัฒนาสิ่งแวดล้อม	14,132.2750
2.1) แผนกการประชาสัมพันธ์	5.5690
2.2) แผนกการจ่ายค่าทดแทนทรัพย์สิน	8,520.7900
2.3) แผนการจัดตั้งถิ่นฐานใหม่และการพัฒนาส่งเสริมอาชีพให้แก่ราษฎร	3,284.0000
2.4) แผนการป้องกันแก้ไขและพัฒนาเส้นทางคมนาคม	2,224.0280
- ทางรถไฟ	2,169.0280
- ทางหลวง	55.0000
2.5) แผนการแก้ไขและพัฒนาสิ่งแวดล้อมด้านอื่น ๆ	97.8880
- แผนงานด้านโบราณคดี	8.0000
- แผนน้ำไม้ดอกและผ้าดวงป่า	36.6360
- แผนการอพยพและอนุรักษ์สัตว์ป่า	9.7520
- แผนงานด้านทรัพยากรแร่	0.2000
- แผนการควบคุมคุณภาพน้ำ	14.2000
- แผนการเตรียมการด้านสาธารณสุข	19.5000
- การติดตามและประเมินผล	9.6000
รวมทั้งสิ้น	19,230.7900

บทที่ 3

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

3.1 การวิเคราะห์คาบการเกิดซ้ำของน้ำหลาก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางอุทกวิทยา โดยเฉพาะการวิเคราะห์คาบการเกิดซ้ำของน้ำหลากนั้น มีหลายวิธีด้วยกัน โดยในการศึกษาค้างนี้ใช้ วิธี Plotting Position โดยการแจกแจงความถี่แบบ Weibull และทดสอบวิธีการหาคาบการเกิดซ้ำของน้ำหลากด้วย วิธี Gumbel และวิธี Log Pearson Type III ซึ่งรายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังนี้

3.1.1 วิธี Plotting Position

1) จากข้อมูลอนุกรมน้ำท่าสูงสุดรายปี มาจัดเรียงข้อมูลตามลำดับขนาด (Magnitude) ของน้ำท่าจากมากไปน้อย และกำหนดค่าลำดับ m คือ $m = 1$ สำหรับน้ำท่าที่มีขนาดมากที่สุด และ $m = N$ สำหรับน้ำท่าที่มีขนาดน้อยที่สุด เมื่อ N คือจำนวนปีของข้อมูล

2) การหาค่าคาบการเกิดซ้ำ สำหรับน้ำท่าสูงสุดที่ได้จัดลำดับไว้แล้ว โดยวิธีของ Weibull สามารถหาได้จากสมการ 3-1

$$T_r = \frac{N+1}{m} \quad \text{.....(3-1)}$$

3) การหาค่าความถี่การเกิด (Exceedance Probability) คือส่วนกลับของค่า T_r ดังสมการ 3-2

$$P_r = \frac{m}{N+1} \quad \text{.....(3-2)}$$

4) นำค่าที่คำนวณได้ไปพล็อตในกระดาษกราฟ Gumbel และสามารถต่อขยายค่าที่ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำสูงๆ ได้ โดยการต่อขยายกราฟออกไป

3.1.2 วิธี Gumbel

วิธีการนี้ใช้ค่าสถิติอัตราการไหลสูงสุดแบบฉับพลัน (Momentary Peak Flow) มาหาค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งค่าอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ สามารถหาได้จากสมการ 3-3

$$Q_T = \bar{Q} - 0.45 S_Q - 0.7797 S_Q \ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

- เมื่อ Q_T คือค่าอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ
- \bar{Q} คือค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ของค่าอนุกรมน้ำท่าสูงสุดรายปี
- S_Q คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอนุกรมน้ำท่าสูงสุดรายปี

3.1.3 วิธี Log Pearson Type III

วิธีนี้ใช้ค่าสถิติจากข้อมูลอนุกรมน้ำท่าสูงสุดรายปี โดยคำนึงถึงสัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยว (Skew Coefficient, G) ด้วย สามารถหาค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ได้ดังสมการ 3-4

$$\log Q_T = \bar{X} + k S_Q \quad \dots\dots\dots(3-4)$$

เมื่อ $\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad ; \quad X = \log Q$

$$S_Q = \left[\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}}{N-1} \right]^{1/2}$$

และ $k = \frac{2}{G} \left[\left\{ \left(k_n - \frac{G}{6} \right) \frac{G}{6} + 1 \right\}^3 - 1 \right]$

โดยที่ $G = \frac{N^2(\sum X^3) - 3N(\sum X)(\sum X^2) + 2(\sum X)^3}{N(N-1)(N-2)S_Q^3}$

และ k_n คือ ค่า k ที่ค่าคาบความถี่การเกิดซ้ำๆ เมื่อ $G = 0$ (Standard Normal Deviation)

3.2 การพัฒนาเกณฑ์และวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ

3.2.1 ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต

1) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสม ในช่วงฤดูน้ำหลาก ได้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าบริเวณหัวงานอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2516 - 2545 มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสม - เวลา - ความถี่ของการเกิด

2) ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคงเหลือ ในช่วงฤดูน้ำหลาก คือปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสม วันสุดท้ายของฤดูน้ำหลากหักออกด้วยปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมในวันนั้นๆ มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคงเหลือ - เวลา - ความถี่ของการเกิด

จากข้อ 1 และ 2 ต้องการหาค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่เหลือ คือ ณ เวลาใดๆ ในช่วงฤดูน้ำหลากสามารถหาค่าปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมกับค่าความถี่การเกิด จากนั้นที่ค่าความถี่การเกิดและช่วงเวลาเดียวกัน สามารถหาค่าปริมาณที่คาดว่าจะไหลเข้าในช่วงเวลาที่เหลือได้

3.2.2 สมการการปล่อยน้ำ

สมการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการสร้างสมการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือในช่วงฤดูน้ำหลาก ใช้ร่วมกับสมการสมดุลน้ำ เพื่อการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมต่อไป โดยมีรายละเอียดดังสมการ 3-5 และ 3-6

สมการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือ :

$$Release = \frac{I_r - S_r}{T_r} \quad \dots\dots\dots(3-5)$$

เมื่อ

Release คือ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกต่อวัน (ล้าน ลบ.ม.)

I_r คือ ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่เหลือ โดยพิจารณาจากค่าสถิติน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมในอดีต (ล้าน ลบ.ม.)

S_r คือ ความจุอ่างเก็บน้ำส่วนที่เหลือ (ล้าน ลบ.ม.)

T_r คือ เวลาที่เหลือของการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก (วัน)

สมการสมดุลน้ำ :

$$Release = I - R - Evap - Se - \Delta S \quad \dots\dots\dots(3-6)$$

เมื่อ

- I คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวัน (ล้าน ลบ.ม.)
 R คือ ปริมาณน้ำฝนรายวัน (ล้าน ลบ.ม.)
 Evap คือ ปริมาณน้ำระเหยรายวัน (ล้าน ลบ.ม.)
 Se คือ ปริมาณน้ำซึมรายวัน (ล้าน ลบ.ม.)
 ΔS คือ ผลต่างปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำรายวัน (ล้าน ลบ.ม.)

3.2.3 การสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

การสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมาหลายวิธี แต่ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการพัฒนาวิธีการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ โดยในการสร้างได้ใช้สมการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือ (สมการ 3-5) และใช้สมการสมมูลน้ำ (สมการ 3-6) หากค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยอาศัยข้อมูลสถิติปริมาณน้ำท่าไหลเข้าในช่วงเวลาที่เหลือ ค่าความจุอ่างเก็บน้ำที่เหลือ ณ เวลาต่างๆ และกำหนดค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เริ่มต้นในช่วงต้นฤดูน้ำหลากที่ 300 400 และ 500 ล้าน ลบ.ม. โดยการควบคุมอัตราการปล่อยน้ำต่ำสุดไม่น้อยกว่าค่าความต้องการใช้น้ำด้านต่าง ๆ อัตราการปล่อยน้ำสูงสุดไม่เกินกว่าค่าความสามารถของลำน้ำด้านท้ายน้ำ คือ 600 ลบ.ม./วินาที และค่า Minimum Operation Volume ไม่ต่ำกว่า 200 ล้าน ลบ.ม.

3.2.4 การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำ

ที่ผ่านมารูปแบบของการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ คือค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับเวลา โดยใช้กับเหตุการณ์น้ำหลากทุกขนาด ทำให้การปล่อยน้ำไม่สอดคล้องกับสภาพน้ำหลากที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำให้สอดคล้องกับเหตุการณ์น้ำหลากที่เกิดขึ้น โดยขั้นตอนหลักได้อาศัยสมการ 3-5 และ 3-6 มารวมกันได้ ดังสมการ 3-7

$$S_{j+1} = \left[\{I - Evap - R - Se - S\}_j - \left\{ \frac{I_r - S_r}{Tr} \right\}_j \right] \dots\dots\dots (3-7)$$

จากสมการ 3-7 สามารถหาค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า 1 ช่วงเวลา และก่อนขั้นตอนของการปล่อยน้ำต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ เช่น ค่าปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด (Maximum Volume) ค่าปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุดของการบริหารน้ำ (Minimum Operation Volume) เป็นต้น หลังจากนั้นสามารถหาค่าอัตราการปล่อยน้ำได้จากสมการ 3-6 โดยรายละเอียดของขั้นตอนและวิธีการจะกล่าวในบทถัดไป

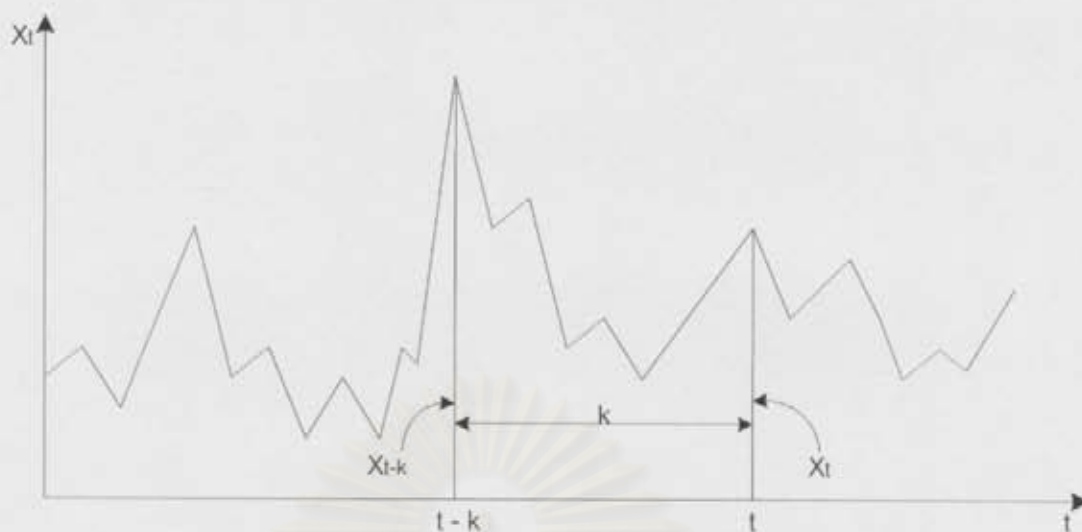
3.3 ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันและต่างกันเทียบกับเวลา(Correlation Function)

จากการศึกษาที่ผ่านมา (ธนพล 2545) ได้นำฟังก์ชันความสัมพันธ์ มาใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series) ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายวัน เพื่อใช้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่นำเข้าสู่แบบจำลองกับผลลัพธ์ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมสู่แบบจำลอง ANN สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า

ฟังก์ชันความสัมพันธ์แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันเทียบกับเวลา (Autocorrelation Function) ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลาของตัวแปรชนิดเดียวกัน เช่น ปริมาณน้ำท่าวันนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำท่าวันที่ผ่านมา มากน้อยขนาดไหน เป็นต้น ส่วนฟังก์ชันความสัมพันธ์อีกประเภท คือ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างชนิดกันเทียบกับเวลา (Cross Correlation Function) ใช้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลาต่างชนิดกัน 2 ชุด เช่น การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าวันนี้กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในวันที่แล้วๆ มา หรือพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าด้านท้ายน้ำกับปริมาณน้ำท่าด้านเหนือน้ำ เป็นต้น และนอกจากนี้ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันเทียบกับเวลายังสามารถแบ่งออกได้เป็น ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันในที่สุดท้ายเทียบกับเวลา (Partial Autocorrelation Function) ซึ่งรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์มีดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันเทียบกับเวลา (Autocorrelation Analysis)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันเทียบกับเวลา (Autocorrelation Analysis) เป็นการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรชนิดเดียวกันเทียบกับช่วงเวลาถัดไป k หน่วยเวลา (Lag Time) ดังแสดงในรูป 3-1 โดยการพิจารณาค่าความสัมพันธ์นั้น ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัวเดียวกัน แต่ช่วงเวลาการเกิดแตกต่างกัน ครั้งละ 2 ตัวแปร เช่น การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง X_t กับ X_{t+1} หรือ X_t กับ X_{t+2} เป็นต้น การวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์แบบนี้ไม่คำนึงถึงตัวแปร ณ เวลาอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเลย ดังนั้นค่าความสัมพันธ์ที่ได้ อาจจะไม่ใช่ค่าความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรทั้งสอง หากตัวแปรนั้นๆ มีอิทธิพลของตัวแปร ณ เวลาอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณาแฝงอยู่ด้วย เช่น ตัวแปร X_t นอกจากขึ้นอยู่กับหรือมีความสัมพันธ์กับ X_{t-1} แล้วนั้น ในความเป็นจริง X_t ยังอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นอีก เช่น X_{t-2} หรือ X_{t-3}



ที่มา : Yevjevich, 1972

รูป 3-1 นิยามค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation ของอนุกรมเวลาต่อเนื่องชุดหนึ่ง

ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation ที่ใช้วัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร X_t กับ X_{t+k} นั้นเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation เขียนแทนด้วย ρ_k สำหรับกลุ่มของตัวแปรทั้งหมด (Population) และ r_k สำหรับกลุ่มของตัวแปรตัวอย่าง (Sampling) ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยสมการ 3-8

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(X_t, X_{t+k})}{\text{var}(X_t)} = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu)}{\sum_{t=1}^N (X_t - \mu)^2} \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2}$$

เมื่อ $k = 1, 2, \dots$

ในกรณีที่อนุกรมเวลามีข้อมูลไม่มาก ($N < 30$) ในการหาค่า r_k ใช้ สมการ 3-9 แทน

$$r_k = \frac{\text{cov}(X_t, X_{t+k})}{(\text{var}(X_t) \times \text{var}(X_{t+k}))^{1/2}}$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X}_t)(X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})}{\left(\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})^2 \sum_{t=1}^{N-k} (X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})^2 \right)^{1/2}} \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

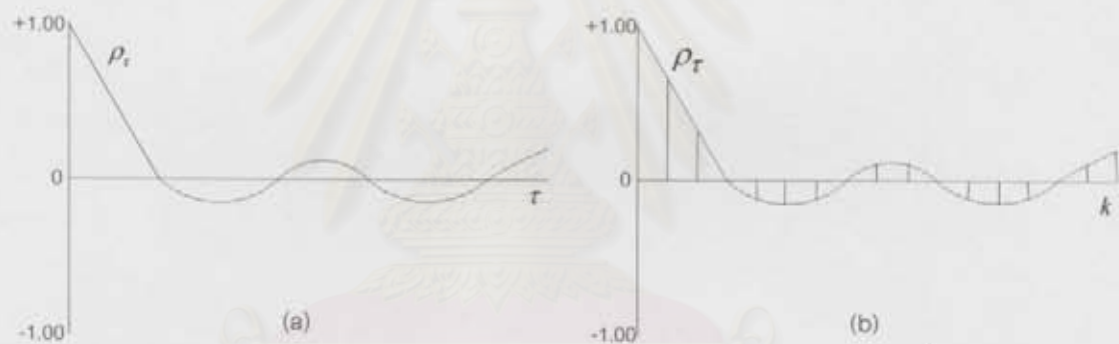
เมื่อ $\text{cov}(X_t, X_{t+k})$ คือ ค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปร X_t และ X_{t+k} (Covariance)

$\text{var}(X_t)$ คือ ค่าความแปรปรวนของตัวแปร X_t (Variance)

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation นี้มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง $+1$ ถ้า r_k มีค่าเป็นบวก แสดงว่าข้อมูลที่ห่างกันระยะเวลา k มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก นั่นคือถ้า X_t มาก X_{t+k} จะมีค่ามากด้วย แต่ถ้า r_k มีค่าเป็นลบ แสดงว่าข้อมูลที่ห่างกันระยะเวลา k มีความสัมพันธ์กันในทางลบ นั่นคือถ้า X_t มาก X_{t+k} จะมีค่าน้อยตาม และถ้า $r_k = 0$ แสดงว่าข้อมูลที่ห่างกันระยะเวลา k ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันเลย

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์กับ k ได้กราฟซึ่งเรียกว่า กราฟความสัมพันธ์ตัวแปรเดียวกัน (Correlogram) หรือ ฟังก์ชันความสัมพันธ์ของตัวแปรชนิดเดียวกันเทียบกับเวลา (Autocorrelation Function) ดังแสดงในรูป 3-2



ที่มา : Yevjevich, 1972

รูป 3-2 Correlogram ของอนุกรมเวลา (a) ต่อเนื่อง (b) ไม่ต่อเนื่อง

3.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันในส่วนสุดท้ายเทียบกับเวลา (Partial Autocorrelation Analysis)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Partial Autocorrelation นั้น เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรชนิดเดียวกัน เพื่อใช้ในการพิจารณาว่าตัวแปรชนิดเดียวกันมีความสัมพันธ์กันถึงอันดับจำกัด (Order) หรือช่วงเวลาถัดไป k กี่หน่วยเวลา

การวิเคราะห์โดยวิธีนี้นั้น ได้นำค่า ρ_k (เมื่อ $k=1,2,\dots,N$) ที่คำนวณได้จากหัวข้อ 3.3.1 มาเขียนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง ที่คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ρ_k กับค่า ρ_0 ถึง ρ_{k-1}

ดังเช่น :

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \phi_1(1)\rho_0 \\ \rho_2 &= \phi_1(2)\rho_0 + \phi_2(2)\rho_1 \\ &\vdots \\ \rho_k &= \phi_1(k)\rho_0 + \phi_2(k)\rho_1 + \dots + \phi_k(k)\rho_{k-1}\end{aligned}$$

โดยค่าความสัมพันธ์ในส่วนสุดท้าย ซึ่งพิจารณาถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ρ_k และ ρ_{k-1} นั้น เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันในส่วนสุดท้าย ณ เวลา k เขียนแทนด้วย $\phi_k(k)$ ในการหาค่า $\phi_k(k)$ นั้นสามารถพิจารณาได้จากสมการรูปทั่วไป ดังสมการ 3-10 (Salas et.al.,1980)

$$\rho_j = \phi_1(k)\rho_{j-1} + \phi_2(k)\rho_{j-2} + \dots + \phi_k(k)\rho_{j-k} \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

เมื่อ $j = 1, 2, \dots, k$

ตัวอย่างการหาค่า $\phi_k(k)$ เมื่อ $k = 1$ และ 2

สำหรับ $k = 1$ จะได้

$$\rho_1 = \phi_1(1)\rho_0 \quad \text{เมื่อ } \rho_0 = 1$$

$$\text{จะได้ } \phi_1(1) = \rho_1 \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

$$\text{และ } \phi_k(k) = 0 \quad \text{เมื่อ } k > 1$$

สำหรับ $k = 2$

$$\text{เมื่อ } j = 1 \text{ จะได้ } \rho_1 = \phi_1(2)\rho_0 + \phi_2(2)\rho_{-1}$$

โดยที่ $\rho_{-1} = \rho_1$ เนื่องจาก ρ_k มีความสมมาตรรอบแกน $k = 0$

$$\therefore \text{จะได้ } \rho_1 = \phi_1(2)\rho_0 + \phi_2(2)\rho_1 \quad \dots\dots\dots(3-12)$$

$$\text{เมื่อ } j = 2 \quad \rho_2 = \phi_1(2)\rho_0 + \phi_2(2)\rho_{-1} \quad \dots\dots\dots(3-13)$$

$$\text{และ } \phi_k(k) = 0 \quad \text{เมื่อ } k > 2$$

จากสมการ 3-12 และ 3-13 สามารถเขียนในรูปเมตริกได้เป็น

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \rho_0 & \rho_1 \\ \rho_1 & \rho_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1(2) \\ \phi_2(2) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 \\ \rho_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1(2) \\ \phi_2(2) \end{bmatrix}\end{aligned}$$

เมื่อ σ_k คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า r_k หรือ $\phi_k(k)$
 N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างชนิดกันเทียบกับเวลา (Cross Correlation)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation นั้นเป็นวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอนุกรมเวลา 2 ชุด (X_t, Y_t) เมื่อชุดหนึ่ง (Y_t) เป็นตัวแปรตามของอีกชุดหนึ่ง (X_t) ตัวอย่าง เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝน หรือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำกับปริมาณน้ำท่าเหนืออ่างเก็บน้ำขึ้นไป เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์แบบนี้แตกต่างจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเดียวกันเทียบกับเวลา คือพิจารณาความสัมพันธ์เฉพาะในอนุกรมเวลาชุดนั้นๆ เพียงอย่างเดียว (X_t, X_{t+k}) โดยค่าความสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมเวลา 2 ชุด นั้นๆ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation เขียนแทนด้วย ρ_{xy} หรือ r_{xy} ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 3-19

$$\begin{aligned} \rho_{xy} &= \frac{\text{cov}(X_t, Y_t)}{[\text{var}(X_t) \times \text{var}(Y_t)]^{1/2}} \\ &= \frac{\sum_{t=1}^N (X_t - \mu_x)(Y_t - \mu_y)}{\left[\sum_{t=1}^N (X_t - \mu_x)^2 \sum_{t=1}^N (Y_t - \mu_y)^2 \right]^{1/2}} \\ r_{xy} &= \frac{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\left[\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2 \sum_{t=1}^N (Y_t - \bar{Y})^2 \right]^{1/2}} \end{aligned} \quad \dots\dots(3-19)$$

สำหรับการวิเคราะห์ Lag-Cross Correlation สามารถวิเคราะห์ได้ดังสมการ 3-20

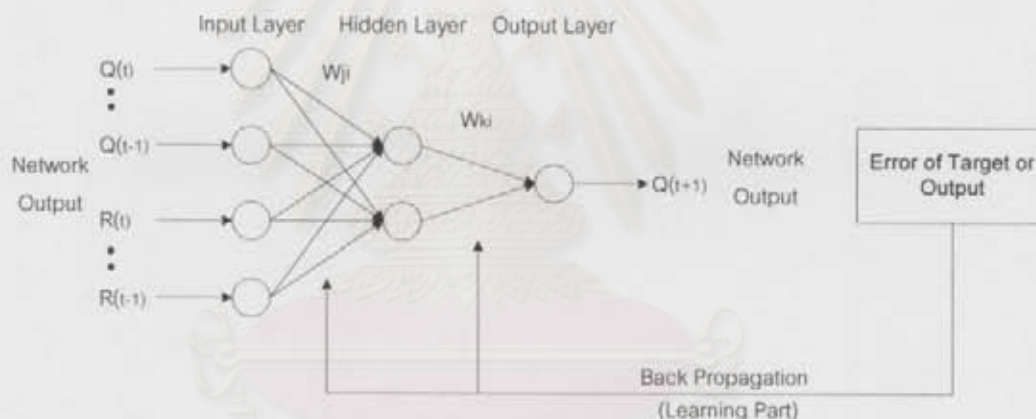
$$r_{X_t, Y_{t+k}} = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y}_{t+k})}{\left[\sum_{t=1}^{N-k} (X_t - \bar{X})^2 \sum_{t=1}^{N-k} (Y_{t+k} - \bar{Y}_{t+k})^2 \right]^{1/2}} \quad \dots\dots(3-20)$$

เมื่อ $k = 1, 2, \dots$

3.4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) แบบ Back Propagation Neural Network (BPNN)

3.4.1 ลักษณะโครงข่ายของแบบจำลอง ANN แบบ BPNN

แบบจำลอง ANN มีพัฒนาการมาจากการศึกษาระบบประสาทในทางชีววิทยา ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาลักษณะการทำงานดังกล่าว สำหรับการเรียนรู้ความต่อเนื่องของข้อมูลนำเข้าและข้อมูลออก คือแบบจำลอง BPNN ซึ่งพัฒนาโดย Rumelhart et. al. (1986) โครงสร้างทั่วไปของแบบจำลอง BPNN ประกอบด้วยชั้นหลายชั้น (Multilayer) อันได้แก่ ชั้นนำข้อมูลเข้า (Input Layer) ชั้นกลาง (Middle Layer) หรือชั้นแอบแฝง (Hidden Layer) ซึ่งอาจมีได้หลายชั้น และชั้นแสดงผลการคำนวณ (Output Layer) ดังแสดงในรูป 3-3 โดยแต่ละชั้นนั้นประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ (Nodes หรือ Neurons) ซึ่งหน่วยแต่ละหน่วยของแต่ละชั้นนั้นถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (Connection Weight, W_{ij}) กับหน่วยแต่ละหน่วยในชั้นถัดไป โดยโครงข่ายชนิดนี้จะมีการทำงานแบบเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Feed Forward) เพียงอย่างเดียว

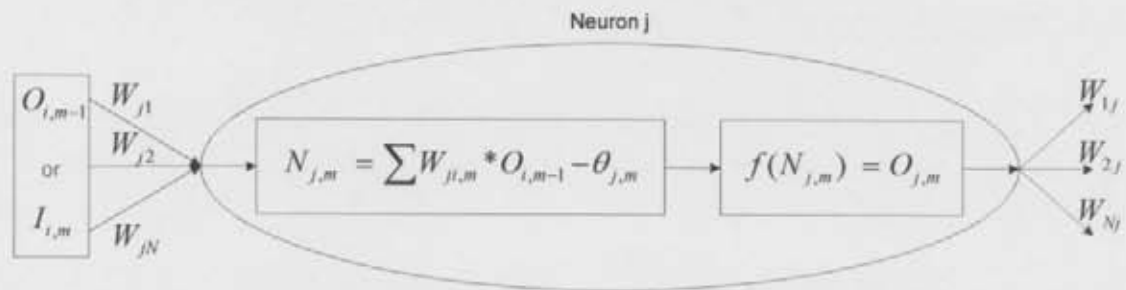


รูป 3-3 ลักษณะโครงข่ายของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BPNN

สำหรับกระบวนการย้อนกลับ หรือ Back Propagation นั้นจะใช้ในช่วงกระบวนการเรียนรู้หรือปรับเทียบแบบจำลอง (Learning or Training) เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองหรือโครงข่าย

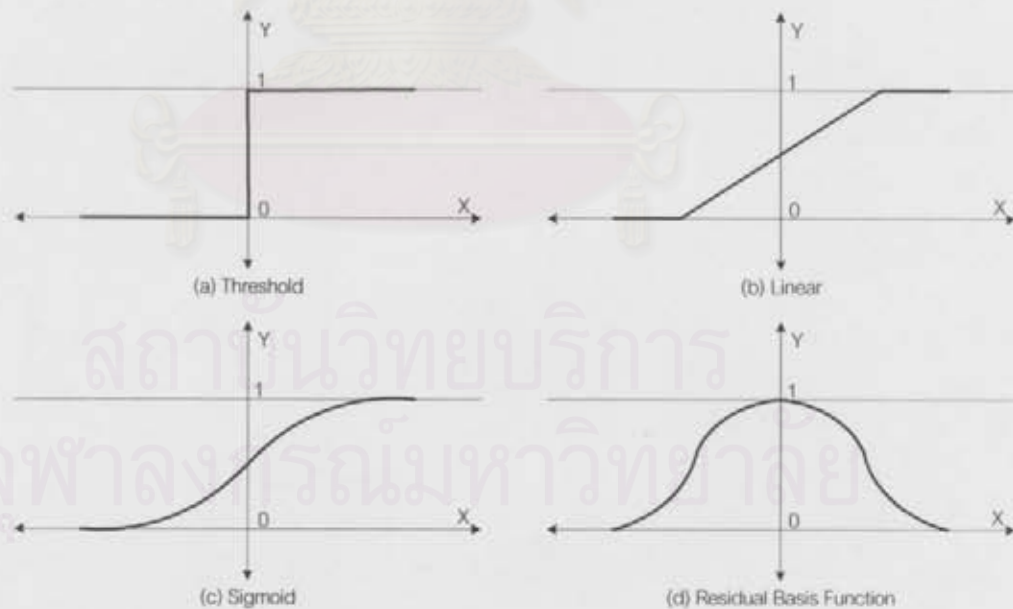
3.4.2 หลักการทำงานพื้นฐานของแบบจำลอง

สำหรับหลักการทำงานพื้นฐานของแบบจำลอง BPNN นั้น คือ การทำงานในแต่ละหน่วยย่อยของโครงข่าย ซึ่งมีลักษณะการทำงาน ดังแสดงในรูป 3-4 คือ



รูป 3-4 หลักการทำงานพื้นฐานของหน่วยย่อย ในแบบจำลอง BPNN

- 1) ข้อมูลป้อนเข้าที่ส่งมาจากชั้นที่ผ่านมาจะถูกนำมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก ที่เชื่อมอยู่กับหน่วยนั้นๆ
- 2) รวมผลคูณระหว่างข้อมูลที่เข้ามากับค่าถ่วงน้ำหนัก และบวกด้วยค่าเอนเอียง (Bias, θ)
- 3) ผลรวมจากข้อที่ 2 นั้นจะถูกแปลงค่าโดยผ่านฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีทั้งเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Function) และไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Function) ดังแสดงในรูป 3-5
- 4) ค่าที่ผ่านฟังก์ชันกระตุ้นมาแล้วจะกลายเป็นข้อมูลนำเข้า ให้กับหน่วยย่อยแต่ละตัวในชั้นถัดไป



รูป 3-5 รูปแบบต่างๆ ของฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)

3.4.3 ขั้นตอนการทำงานกระบวนการเรียนรู้ในแบบจำลอง

สำหรับขั้นตอนกระบวนการเรียนรู้ภายในแบบจำลอง BPNN นั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ การเรียนรู้ไปข้างหน้า (Forward Pass) และ การประมวลผลย้อนกลับ (Backward Pass) ซึ่งแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายรายละเอียดการทำงานได้ดังต่อไปนี้

การคำนวณไปข้างหน้า : มี 3 ขั้นตอนย่อย คือ

- 1) แปลงค่าข้อมูลนำเข้า และข้อมูลออก ให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Normalization) ซึ่งเป็นค่าไร้หน่วย โดยทั่วไปจะแปลงให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เมื่อเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้โปรแกรม Qnet2000 ในการทำ Normalization ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.85
- 2) สมมุติค่าเริ่มต้นของ ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
- 3) การคำนวณพื้นฐานในหน่วยแต่ละหน่วยย่อย (Neuron Process) มีดังต่อไปนี้

หน่วยย่อยแต่ละหน่วยของแต่ละชั้นนั้น มีการรวมค่าผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักกับข้อมูลนำเข้าของชั้นที่ผ่านมา ดังสมการ 3-21

$$N_{j,m} = \sum_{i=1}^{n_{m-1}} W_{j,m} O_{i,m-1} + \theta_{j,m} \quad \dots\dots\dots(3-21)$$

เมื่อ $N_{j,m}$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักกับข้อมูลนำเข้าของชั้นที่ผ่านมาบวกค่าเอนเอียง ในหน่วยที่ j^m ของชั้นที่ m^m

$W_{j,m}(n)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างหน่วยที่ j^m ของชั้นที่ m กับหน่วยที่ i^m ของชั้นที่ $m-1$ ในรอบที่ n^m

$O_{i,m-1}$ คือ ผลที่ออกจากหน่วยที่ i^m ของชั้นที่ $(m-1)^m$

$\theta_{j,m}$ คือ ค่าเอนเอียงในหน่วยที่ j^m ของชั้นที่ m^m

ค่าผลรวม $N_{j,m}$ ในขั้นตอนที่ 1 จะถูกแปลงค่าโดยผ่านฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ ดังสมการ 3-22 ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะนำออกเพื่อส่งผ่านไปชั้นถัดไป

$$O_{j,m} = f(N_{j,m}) = \frac{1}{1+e^{-N_{j,m}}} \quad ; j = 1,2,\dots,n_m \quad \dots\dots\dots(3-22)$$

การปรับแก้ย้อนหลัง : มี 2 ขั้นตอนย่อย คือ ชั้นตอนที่ 4 และ 5

- 4) เมื่อการคำนวณเคลื่อนที่มายังขั้นสุดท้าย หรือชั้นแสดงผลการคำนวณ จะมีการคำนวณพจน์ของค่าความผิดพลาดของแต่ละหน่วย ($\delta_{j,m}$) ในแต่ละชั้น ดังสมการ 3-23 เพื่อให้ค่าคลาดเคลื่อนลู่เข้าสู่ค่าต่ำสุด

$$\delta_{j,m} \left\{ \begin{array}{l} \delta_{j,m} = f'(N_{j,m})(t_j - O_{j,m}) \quad m : \text{for output layer} \\ \delta_{j,m} = f'(N_{j,m}) \sum_{k=1}^{n_{m+1}} W_{kj,m+1} \delta_{k,m+1} \quad m : \text{for hidden layer} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3-23)$$

เมื่อ

- $\delta_{j,m}$ คือ พจน์ของความผิดพลาดของหน่วย j^m ในชั้นที่ m
 t_j คือ ค่าที่ได้จากข้อมูลจริงของหน่วยที่ j^m ในชั้นแสดงผลออก
 f' คือ อนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ หาได้จากสมการ 3-24

$$f'(N_{j,m}) = O_{j,m} \cdot (1 - O_{j,m}) = f(N_{j,m}) \cdot (1 - f(N_{j,m})) \dots\dots\dots(3-24)$$

และคำนวณค่าปรับแก้หรือผลต่างค่าถ่วงน้ำหนัก ($\Delta W_{\mu,m}$) ในรอบที่ $n+1$ จากสมการ 3-25

$$\Delta W_{\mu,m}(n+1) = \eta \delta_{j,m} O_{i,m-1} + \alpha \Delta W_{\mu,m}(n) \dots\dots\dots(3-25)$$

เมื่อ

- $\Delta W_{\mu,m}(n+1)$ คือ ผลต่างค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างหน่วยที่ j^m ของชั้นที่ m กับหน่วยที่ i^m ของชั้นที่ $m-1$ ในรอบที่ $n+1$
 $\Delta W_{\mu,m}(n)$ คือ ผลต่างค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างหน่วยที่ j^m ของชั้นที่ m กับหน่วยที่ i^m ของชั้นที่ $m-1$ ในรอบที่ n
 η คือ ค่าอัตราการเรียนรู้ มีค่าระหว่าง 0-1
 α คือ ค่าโมเมนตัม มีค่าระหว่าง 0-1

- 5) ปรับค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ในแต่ละชั้นแบบย้อนกลับ (Back Propagation) เพื่อใช้ในการคำนวณใหม่ในรอบที่ $n+1$ โดยใช้สมการ 3-26 ซึ่งได้จาก กฎของเดลตา (Delta Rule)

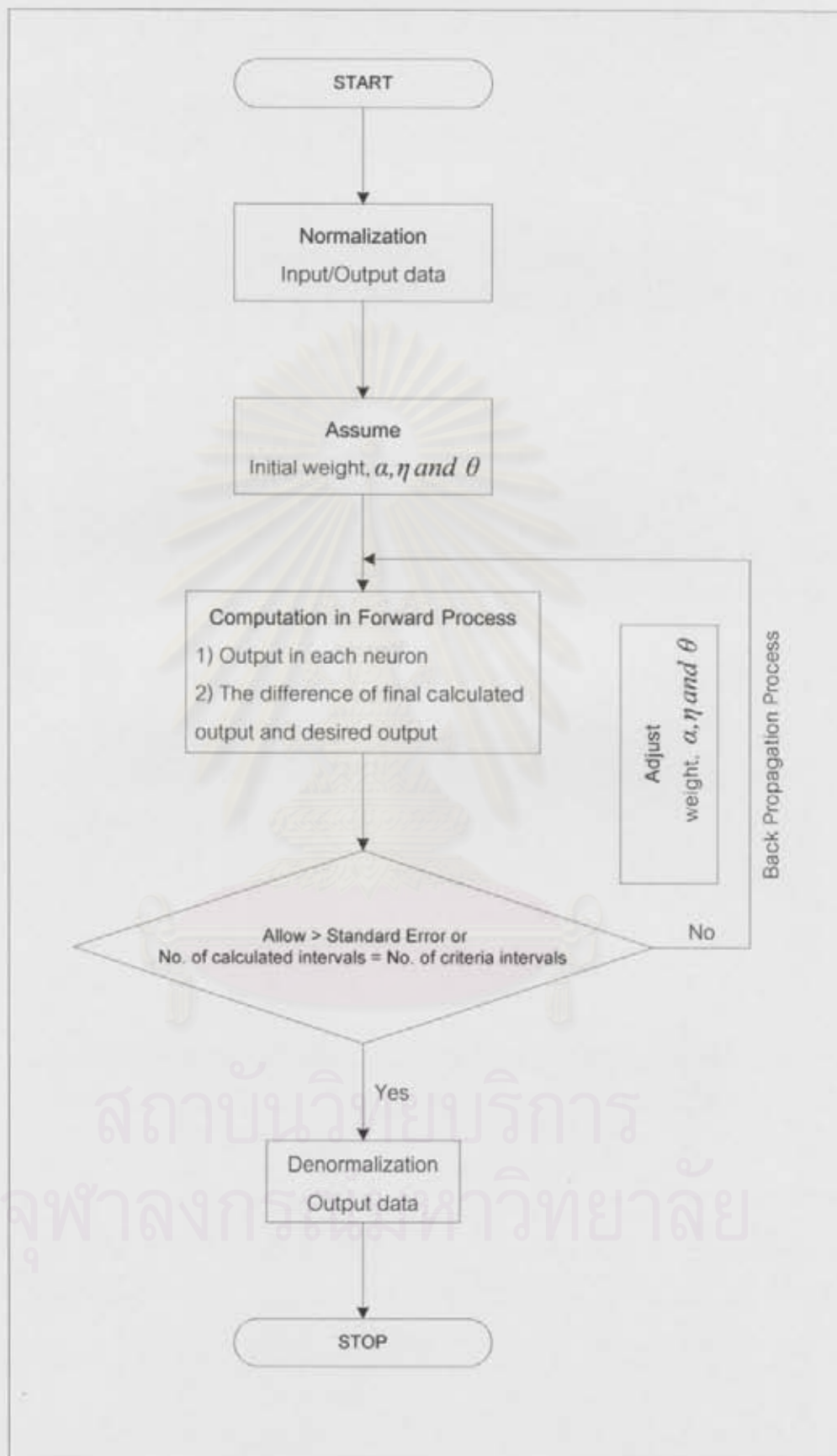
$$W_{\mu,m}(n+1) = W_{\mu,m}(n) + \Delta W_{\mu,m}(n+1) \dots\dots\dots(3-26)$$

- 6) ทำซ้ำจากข้อ 2 ถึงข้อ 5 จนได้ค่าระดับความผิดพลาดที่ต่ำกว่าที่กำหนด หรือจำนวนรอบที่คำนวณมีค่าเท่ากับจำนวนที่กำหนดไว้ จึงจะหยุดการทำงานของกระบวนการปรับแก้

- 7) แปลงค่าการคำนวณที่ได้ ให้กลับอยู่ในรูปทั่วไปที่มีหน่วย (Denormalization)

โดยขั้นตอนการทำงานต่างๆ ของแบบจำลอง BPNN ที่กล่าวมาในข้างต้นนั้นสามารถสรุปได้

ดังแสดงในรูป 3-6



รูป 3-6 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเรียนรู้ ในแบบจำลอง BPNN

3.4.4 ข้อพิจารณาในการพัฒนาแบบจำลอง ANN

ในการจัดสร้างแบบจำลอง ANN มีองค์ประกอบหลายประการที่ต้องพิจารณาและกำหนดให้เหมาะสม ดังต่อไปนี้

- 1) จำนวนหน่วยในชั้นแอบแฝงและจำนวนชั้นแอบแฝง (Number of Nodes and Layers of Hidden Layer)

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ผลจากการศึกษาที่ผ่านมา (ธนพล, 2545) ในการหาความเหมาะสมของจำนวนหน่วยในชั้นแอบแฝง และจำนวนชั้นแอบแฝงที่สัมพันธ์กับจำนวนข้อมูลนำเข้า กล่าวคือถ้าจำนวนข้อมูลนำเข้าไม่เกิน 5 ตัวแปร จำนวนชั้นแอบแฝงเท่ากับ 1 ชั้น และมีจำนวนหน่วยเท่ากับจำนวนข้อมูลนำเข้า หากข้อมูลนำเข้ามากกว่า 5 ตัวแปร จำนวนชั้นแอบแฝงเท่ากับ 2 ชั้น และมีจำนวนหน่วยในแต่ละชั้นเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนข้อมูลนำเข้า

- 2) ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)

จะเห็นได้ว่าฟังก์ชันกระตุ้นนั้นมีหลายชนิดด้วยกัน มีทั้งฟังก์ชันเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น เช่น ฟังก์ชัน Sigmoid ฟังก์ชัน Hyperbolic เป็นต้น สำหรับการเลือกฟังก์ชันกระตุ้นให้เหมาะสมกับโครงข่ายขึ้นอยู่กับปัญหาที่จะนำแบบจำลอง ANN มาประยุกต์ใช้ว่า มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอย่างไร สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อใช้ร่วมกับกระบวนการเรียนรู้แบบ Back Propagation ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ได้รับความนิยมที่สุด ในการใช้งานสำหรับการพยากรณ์ (เสรี, 2544)

- 3) กำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Initialization)

ในช่วงการเริ่มต้นของกระบวนการเรียนรู้ ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักที่เลือกจะมีผลต่อการลู่เข้า (Convergence) หากความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด ค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักสุดท้าย ย่อมทำให้อัตราการลู่เข้าหาคำตอบเร็วขึ้น ในทางตรงกันข้ามการเลือกค่าเริ่มต้นที่ไม่ดีจะทำให้การคำนวณซ้ำกันหลายรอบจึงจะหาคำตอบสุดท้าย และอาจจะล้มเหลวหรือไม่ลู่เข้าหาคำตอบสุดท้าย (Divergence) ก็เป็นไปได้

โดยการศึกษาที่ใช้โปรแกรม Qnet2000 การกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งจะกำหนดค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักโดยวิธีการสุ่ม (Random)

- 4) อัตราเร็วในการเรียนรู้ (Learning rate, η)

จากสมการ 3-18 จะเห็นได้ว่า ค่า η เป็นตัวกำหนดตัวหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงค่าปรับค่าถ่วงน้ำหนักในทุกๆ รอบของการคำนวณ ดังนั้นจึงมีผลต่ออัตราการลู่เข้าด้วย ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยจะกำหนดให้เป็นค่าคงที่ หรือกำหนดให้มันแปรตามจำนวนรอบของการคำนวณโดย

แปรผันตามค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบ และแปรผันตามความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละชุด อย่างไรก็ตามอย่างหนึ่ง ในกรณีที่ค่า η ที่เลือกมีค่ามากเกินไป จะทำให้การเดินทางไปหาความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดมีการแกว่งและอาจจะไม่มีการลู่ออกเข้าหาคำตอบ ในทางตรงกันข้ามการเลือกค่า η ที่น้อยเกินไป ก็เป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณ

จากคู่มือการใช้โปรแกรม Qnet2000 ได้แนะนำไว้ว่า ควรกำหนดค่า η ให้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.001 ถึง 0.1 ซึ่งเป็นการปลอดภัยกว่าในการป้องกันการลู่ออกของคำตอบ ในการศึกษาครั้งนี้จากการ Trial & Error เพื่อหาค่า η ที่เหมาะสมนั้น ได้เสนอค่า η มีค่าคงที่เท่ากับ 0.01

5) ค่าโมเมนตัม (Momentum, α)

โดยทั่วไปในกระบวนการเรียนรู้ ค่าโมเมนตัมอาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าโมเมนตัม จะช่วยป้องกันการแกว่ง (Oscillation) ของระบบ ซึ่งการเพิ่มค่าโมเมนตัมนั้น เป็นการเพิ่มสัดส่วนของค่าถ่วงน้ำหนัก ณ เวลา n ก่อน $\Delta W_{\mu,m}(n)$ ให้กับค่าถ่วงน้ำหนัก ณ เวลา $\Delta W_{\mu,m}(n+1)$ ดังสมการ 3-19 การเพิ่มสัดส่วนดังกล่าวช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักที่รุนแรงหรือที่ผิดปกติ โดยปกติค่าโมเมนตัม มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัมกับเวลาเหมือนกับอัตราเร็วการเรียนรู้เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพที่สุด

จากการ Trial & Error ในการศึกษาครั้งนี้ได้เสนอใช้ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.60 และ 0.95 เปลี่ยนที่ 5000 รอบ เนื่องจากในช่วงแรกถ้ากำหนดค่าโมเมนตัมมากไปทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นมากนัก ซึ่งทำให้การคำนวณไม่ลู่ออกเข้าสู่คำตอบ

6) ข้อกำหนดการหยุดกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN

สำหรับข้อกำหนดการหยุดกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN นั้น โดยทั่วไปมีวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ 2 วิธีคือ พิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดซึ่งใช้ตัววัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง หรือ กำหนดโดยจำนวนรอบในการคำนวณ โดยตัววัดประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้นนิยมใช้ค่าทางสถิติเป็นตัวแทนในการวัดซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.6 และในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อกำหนดการหยุดโดยใช้จำนวนรอบในการคำนวณ ซึ่งพบว่าจำนวนรอบในการคำนวณที่ 10,000 รอบนั้น มีค่ามากพอที่จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าสู่จุดต่ำสุด

3.5 แบบจำลองอนุกรมเวลา

แบบจำลองอนุกรมเวลาจัดสร้างขึ้นเพื่ออธิบายกระบวนการที่ก่อให้เกิดอนุกรมเวลา แต่ละชุดนั้น โดยเมื่อจัดสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนั้นๆ ได้แล้ว จึงนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการพยากรณ์ (Forecasting) หรือสังเคราะห์ (Generation) ค่าของตัวแปรต่อไปเนื่องจากแบบจำลองอนุกรมเวลาถูกสร้างขึ้นมาโดยอาศัยข้อมูลในช่วงเวลาที่ผ่านมา ดังนั้นพึงระลึกไว้เสมอว่าการพยากรณ์

ค่าของตัวแปรโดยใช้แบบจำลองอนุกรมเวลานี้ จะอยู่ภายใต้ข้อสมมติที่ว่าสถานการณ์ในอนาคตมีแนวโน้มที่จะเหมือนสถานการณ์ในอดีต

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้แบบจำลองอนุกรมเวลาเพื่ออธิบายและพยากรณ์อนุกรมของค่าความผิดพลาดที่ยังอธิบายได้ (Residuals) ที่เกิดจากแบบจำลอง ANN เพื่อปรับแก้ผลการพยากรณ์ให้มีความถูกต้อง และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ปัจจุบันแบบจำลองอนุกรมเวลาสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภท คือแบบจำลอง Autoregressive (AR), Moving Average (MA), Autoregressive-Moving Average (ARMA) และ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบจำลองอนุกรมเวลาที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป อันได้แก่แบบจำลอง AR, MA และ ARMA

3.5.1 แบบจำลอง Autoregressive (AR Model)

แบบจำลอง AR มีลักษณะที่สำคัญคือ ค่าของตัวแปร ณ เวลาใดก็ตาม มีความสัมพันธ์หรือขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปรนั้นในช่วงเวลาที่ผ่านมาแล้ว แสดงได้ดังสมการ 3-27

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + e_t \quad \dots\dots\dots(3-27)$$

- เมื่อ p คือ อันดับจำกัดของแบบจำลอง AR
 ϕ คือ พารามิเตอร์ของแบบจำลอง AR
 e_t คือ ตัวแปรสุ่ม

เรียกสมการ 3-27 นี้ว่า แบบจำลอง AR อันดับจำกัด p หรือ AR(p) Salas และคณะ (1980) ได้อธิบายถึงการหาค่า ϕ ของแบบจำลอง AR ไว้ดังนี้

สำหรับแบบจำลอง AR(1) จากสมการ 3-27 สามารถเขียนได้เป็น

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + e_t$$

เมื่อกำหนดให้ $\phi_1 = \rho_1 \quad \dots\dots\dots(3-28)$

โดยค่าที่ $|\phi_1| \leq 1$ เพื่อให้แบบจำลองมีคุณสมบัติเป็น Stationary Process

สำหรับแบบจำลอง AR(2) จากสมการ 3-27

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + e_t$$

เมื่อกำหนดให้ $\phi_1 = \frac{\rho_1(1-\rho_2)}{1-\rho_1^2} \quad \dots\dots\dots(3-29)$

และ $\phi_2 = \frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1-\rho_1^2} \quad \dots\dots\dots(3-30)$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ค่า} \quad & \phi_1 + \phi_2 < 1 \\ & \phi_2 - \phi_1 < 1 \\ & -1 < \phi_2 < 1 \end{aligned}$$

เพื่อให้แบบจำลองมีคุณสมบัติเป็น Stationary Process

3.5.2 แบบจำลอง Moving Average (MA Model)

แบบจำลอง MA มีลักษณะสำคัญคือ ค่าของตัวแปร ณ เวลาใด ก็ตามจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับเทอมของตัวแปรสุ่มในช่วงเวลาที่ผ่านมาแล้ว ซึ่งสามารถเขียนแสดงได้ดังสมการ 3-31

$$X_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad \dots\dots\dots (3-31)$$

เมื่อ q คือ อันดับจำกัดของแบบจำลอง MA
 θ คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MA
 e_t คือ ค่าของตัวแปรสุ่ม ณ เวลา t

สมการ 3-31 เรียกว่า แบบจำลอง MA อันดับจำกัด q หรือ MA(q) ในการหาค่า θ ในแบบจำลอง MA(1) และ MA(2) นั้น สามารถหาได้จากสมการ 3-32 ถึงสมการ 3-35 (ชัยพันธุ์, 2529)

สำหรับ MA(1) จากสมการ 3-31 จะได้

$$X_t = e_t - \theta_1 e_{t-1}$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อกำหนดให้} \quad \rho_1 &= \frac{-\theta_1}{1 + \theta_1^2} \quad \text{หรือ} \\ \rho_1 + \rho_1 \theta_1^2 + \theta_1 &= 0 \quad \dots\dots\dots (3-32) \end{aligned}$$

โดยที่ค่า $|\theta_1| \leq 1$ เพื่อให้แบบจำลองมีคุณสมบัติเป็น Stationary Process

สำหรับ MA(2) จากสมการ 3-31 จะได้

$$X_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} \quad \dots\dots\dots (3-33)$$

$$\text{เมื่อกำหนดให้} \quad \rho_1 = \frac{-\theta_1(1 - \theta_2)}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} \quad \dots\dots\dots (3-34)$$

$$\text{และ } \rho_2 = \frac{-\theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} \quad \dots\dots\dots (3-35)$$

โดยค่า θ_1 และ θ_2 สามารถหาได้โดยวิธี Trial & Error

และค่า $\theta_1 + \theta_2 \leq 1$, $\theta_2 - \theta_1 \leq 1$, $-1 \leq \theta_2 \leq 1$ เพื่อให้แบบจำลองมีคุณสมบัติเป็น Stationary Process

3.5.3 แบบจำลอง Autoregressive – Moving Average (ARMA Model)

เป็นแบบจำลองที่นำลักษณะสำคัญของแบบจำลอง AR และ MA มารวมกัน คือ ค่าของตัวแปร ณ เวลาใดก็ตามมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าของตัวแปรนั้น และเทอมตัวแปรสุ่มในช่วงเวลาที่ผ่านมาแล้ว ดังสมการ 3-36

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q} \quad \dots\dots\dots (3-36)$$

- เมื่อ ϕ คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง AR
 θ คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง MA
 p คือ อันดับจำกัดของแบบจำลอง AR
 q คือ อันดับจำกัดของแบบจำลอง MA
 e_t คือ ค่าของตัวแปรสุ่ม ณ เวลา t

เรียกสมการ 3-36 นี้ว่า แบบจำลอง ARMA อันดับจำกัด p หรือ q หรือ ARMA(p,q)

สำหรับ ARMA (1,1) จากสมการ 3-36 สามารถเขียนได้เป็น

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1}$$

เมื่อค่าพารามิเตอร์ ϕ_1 และ θ_1 นั้นสามารถได้จากสมการ 3-37 และ 3-38 ตามลำดับ (ชัยพันธุ์, 2529)

$$\phi_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad \dots\dots\dots (3.37)$$

$$\text{และ } \rho_1 = \frac{(1 - \phi_1 \theta_1)(\phi_1 - \theta_1)}{1 + \theta_1^2 - 2\phi_1 \theta_1} \quad \dots\dots\dots (3.38)$$

โดยค่า θ_1 สามารถหาได้จากวิธีการ Trial & Error

และมีเงื่อนไขว่า $|\phi_1| \leq 1$ และ $|\theta_1| \leq 1$

3.5.4 การเลือกชนิดและอันดับของแบบจำลองอนุกรมเวลา

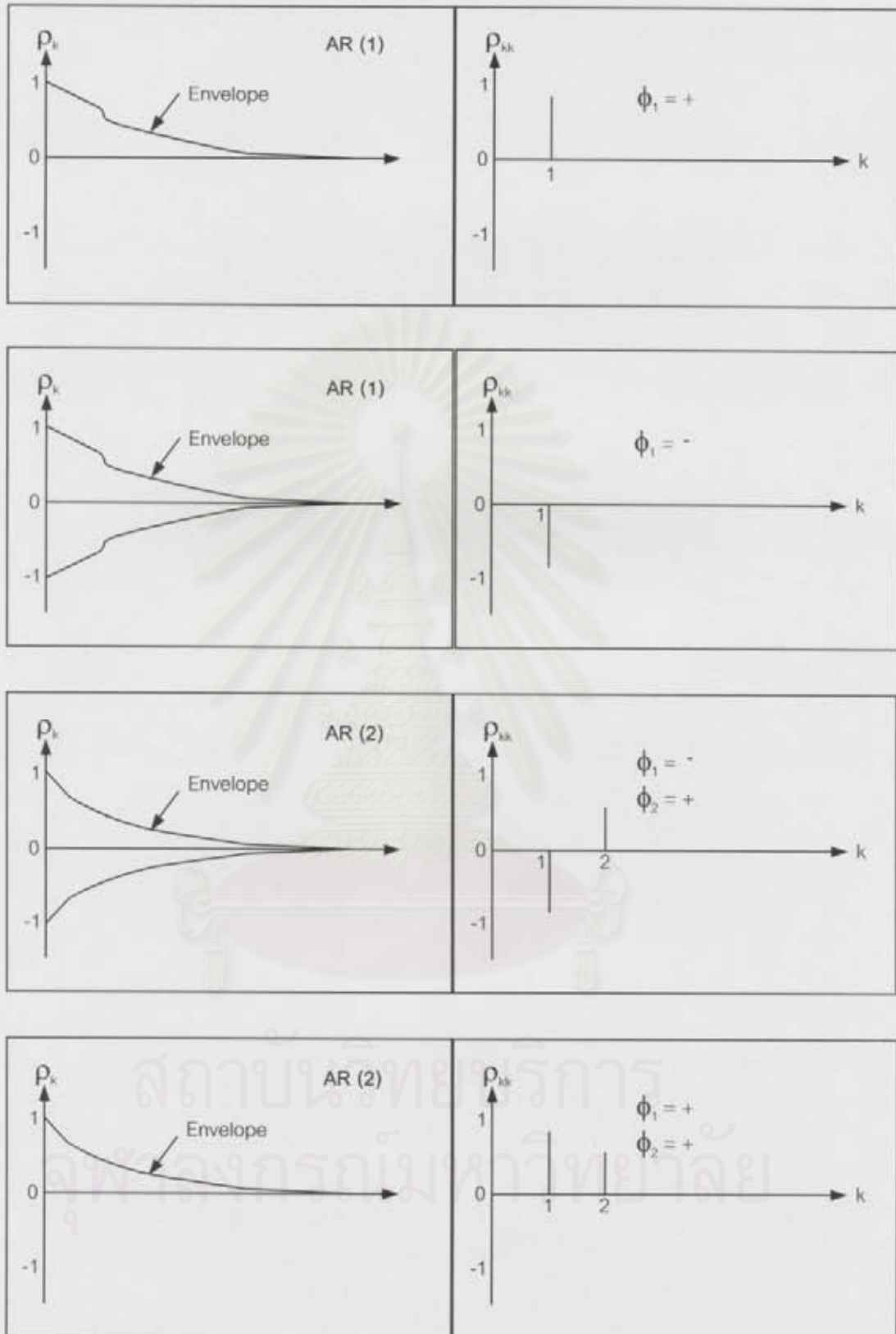
การเลือกชนิดและอันดับของแบบจำลองอนุกรมเวลา สามารถพิจารณาได้จากลักษณะกราฟ Correlogram และ Partial Correlogram และต้องอาศัยประสบการณ์หรือเปรียบเทียบกับตัวอย่างต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาผ่านมา ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังแสดงในตาราง 3-1

ตาราง 3-1 ลักษณะของฟังก์ชันความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation เพื่อใช้คัดเลือกแบบจำลองอนุกรมเวลา

แบบจำลอง	ฟังก์ชันความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation	ฟังก์ชันความสัมพันธ์แบบ Partial Autocorrelation
AR(p)	มีค่าค่อยๆ ลดลง และ/หรือลดลงเป็นลักษณะคลื่น	มีค่าเข้าใกล้หรือเป็นศูนย์ หลังจากเวลา p
MA(q)	มีค่าเข้าใกล้หรือเป็นศูนย์ หลังจากเวลา q	มีค่าค่อยๆ ลดลง และ/หรือลดลงเป็นลักษณะคลื่น
ARMA(p,q)	อันดับเวลา p,q แรกลดลงไม่สม่ำเสมอ หลังจากนั้นค่อยลดลง และ/หรือลดลงเป็นลักษณะคลื่น	อันดับเวลา p,q แรกลดลงไม่สม่ำเสมอ หลังจากนั้นค่อยลดลง

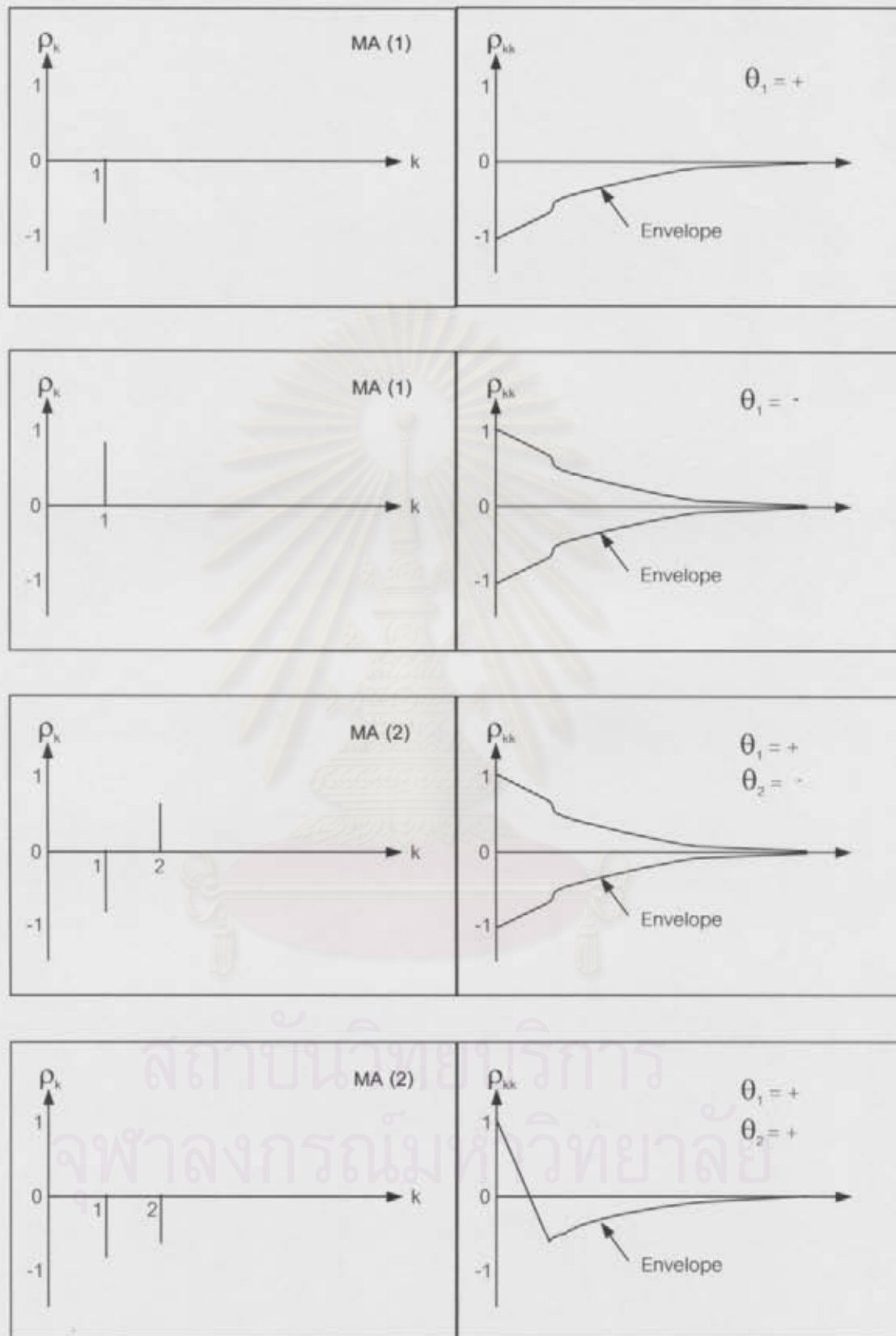
หรือสามารถพิจารณาได้จากตัวอย่างกราฟ Correlogram ดังแสดงในรูป 3-7 ถึงรูป 3-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



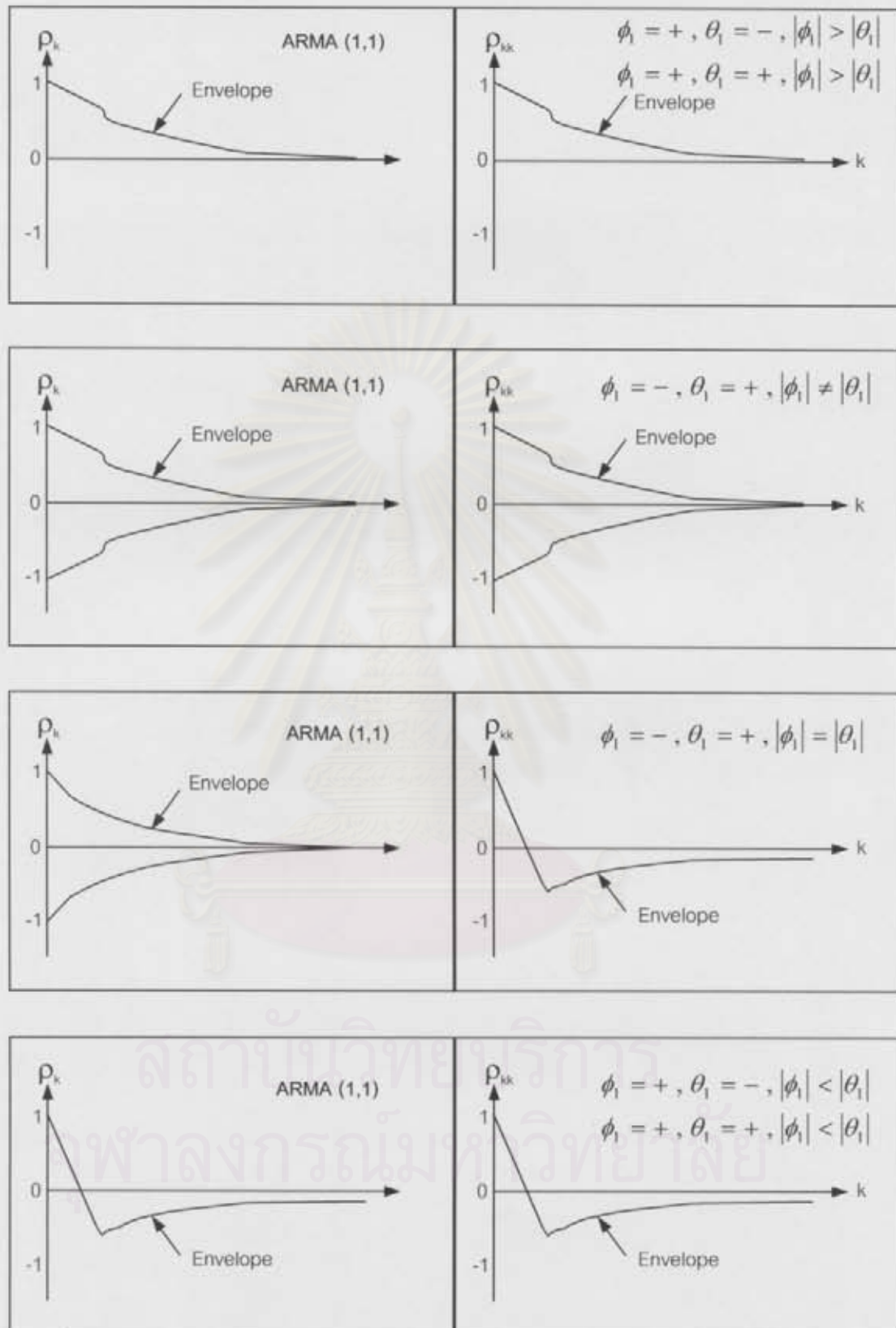
ที่มา : Salas et al., 1980

รูป 3-7 กราฟ Correlogram ของความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation สำหรับแบบจำลอง Autoregressive (AR)



ที่มา : Salas et al., 1980

รูป 3-8 กราฟ Correlogram ของความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation สำหรับแบบจำลอง Moving Average (MA)



ที่มา : Salas et al., 1980

รูป 3-9 กราฟ Correlogram ของความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation สำหรับแบบจำลอง Autoregressive Moving Average (ARMA)

3.6 ตัวแปรที่ใช้วัดประสิทธิภาพของค่าการพยากรณ์จากแบบจำลอง

วัตถุประสงค์หลักในการพยากรณ์ คือ ต้องการผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและมีความแม่นยำใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด โดยใช้ตัวแปรทางสถิติในการวัดประสิทธิภาพและค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ตัวแปรที่นิยมใช้ ดังสมการ 3-39 ถึง 3-42 มีดังนี้

1) ดัชนีวัดประสิทธิภาพ (Efficiency Index, EI)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} = \frac{SST - SSE}{SST} \quad \dots\dots\dots (3-39)$$

เมื่อ	SST	คือ ค่าความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปร Q
	SSE	คือ ผลรวมของผลต่างยกกำลังสองระหว่างตัวแปร Q และ F
	Q_i	คือ ค่าจริงหรือค่าเป้าหมายของตัวแปร Q ณ เวลา i
	\bar{Q}	คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร Q โดยที่ $\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$
	F_i	คือ ผลการคำนวณที่ได้ ณ เวลา i
	N	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (Stand Error, Se) หรือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE)

$$S_e = RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2} \quad \dots\dots\dots (3-40)$$

3) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation, MAD)

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - F_i| \quad \dots\dots\dots (3-41)$$

4) ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุด (Maximum Absolute Error)

$$Max. Absolute Error = Max |Q_i - F_i| \quad \dots\dots\dots (3-42)$$

บทที่ 4

ข้อมูลและวิธีการดำเนินการศึกษา

4.1 ข้อมูล

4.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1) ข้อมูลที่ใช้สำหรับพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำ

ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ประกอบด้วย ข้อมูลอัตราการไหลเข้า ข้อมูลอัตราการระเหย ข้อมูลอัตราการรั่วซึม ข้อมูลความต้องการน้ำด้านต่างๆ ข้อมูลคุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำ (ระดับน้ำ - ความจุ - พื้นที่ผิวน้ำ) เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมา ค่าความสามารถของลำน้ำด้านท้ายน้ำ ข้อมูลค่าระดับควบคุมต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดของข้อมูลต่างๆ มีดังนี้

1.1) ข้อมูลอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือช่วงก่อนและหลัง การสร้างอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ โดยข้อมูลอัตราการไหลเข้าก่อนการสร้างเขื่อนป่าสักฯ ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ในพื้นที่ศึกษากับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า และใช้ข้อมูลน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า S.9 คูณกับแฟคเตอร์ปรับค่า (Area Reduction Factor, F) อัตราการไหลเข้า เป็นค่าการประเมินปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ซึ่งในการหาแฟคเตอร์ปรับค่ารายละเอียดแสดงในขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนข้อมูลอัตราการไหลเข้าหลังการก่อสร้างเขื่อนป่าสักฯ ใช้ข้อมูลที่ได้ตรวจวัดจากโครงการ

1.2) ข้อมูลอัตราการระเหย

ข้อมูลอัตราการระเหย ได้จากข้อมูลของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศที่อยู่ใกล้อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ คือสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ อ.บัวชุม จ.ลพบุรี ดังแสดงในตาราง 4-1

ตาราง 4-1 อัตราการระเหย ณ สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศ อ.บัวชุม จ.ลพบุรี

เดือน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
น้ำระเหย (มม./วัน)	4.8	4.0	3.6	3.3	3.0	2.7	2.8	3.2	3.3	3.5	4.2	4.8

ที่มา : ข้อมูลภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ย้อนหลัง (พ.ศ. 2514 - 2543) กรมอุตุนิยมวิทยา

1.3) ข้อมูลอัตราการรั่วซึม

อัตราการรั่วซึม โดยทั่วไปจะใช้ค่าประเมินโดยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ คือ ปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยทั้งปี ($Seepage = \frac{Storage \times 0.10}{365}$)

1.4) ความต้องการใช้น้ำ

ความต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ประกอบด้วย ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคและอุตสาหกรรม ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานของโครงการชลประทานต่างๆ และความต้องการน้ำเพื่อรักษาสมดุลระบบนิเวศท้ายน้ำ จากการศึกษาที่ผ่านมา (อรอนงค์ 2546) ได้มีการรวบรวมและประเมินความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ และจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ในภาคสนาม ซึ่งในที่นี้ได้้นำค่าอัตราความต้องการน้ำรายเดือนเฉลี่ย เฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก ดังแสดงในตาราง 4-2

ตาราง 4-2 อัตราความต้องการใช้น้ำรายเดือนเฉลี่ย เพื่อการใช้น้ำด้านต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

ประเภทความต้องการน้ำ	ความต้องการน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก (ลบ.ม./วินาที)			
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน
1. การอุปโภค-บริโภคและอุตสาหกรรม ¹⁾	1.1	1.1	1.1	1.1
2. โครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า จังหวัดลพบุรี ²⁾	0.3	0.2	0.4	0.6
3. โครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า จังหวัดสระบุรี ²⁾	1.4	0.8	0.8	0.4
4. โครงการคลองเพรียว-เสาไห้ ³⁾	9.1	3.7	10.9	5.1
5. โครงการเจ้าพระยาฝั่งตะวันออก ³⁾	0.0	0.0	0.0	0.0
6. โครงการสูบน้ำพัฒนามนิคม ³⁾	2.1	1.4	1.3	0.8
7. โครงการสูบน้ำพัฒนามนิคม-แก่งค้อ ³⁾	1.1	0.7	1.0	1.2
8. โครงการสูบน้ำแก่งค้อ-บ้านหม้อ ³⁾	4.0	1.0	1.5	2.4
9. รักษาสมดุลระบบนิเวศ ³⁾	10.0	10.0	10.0	10.0
รวม	29.1	18.9	26.8	21.5

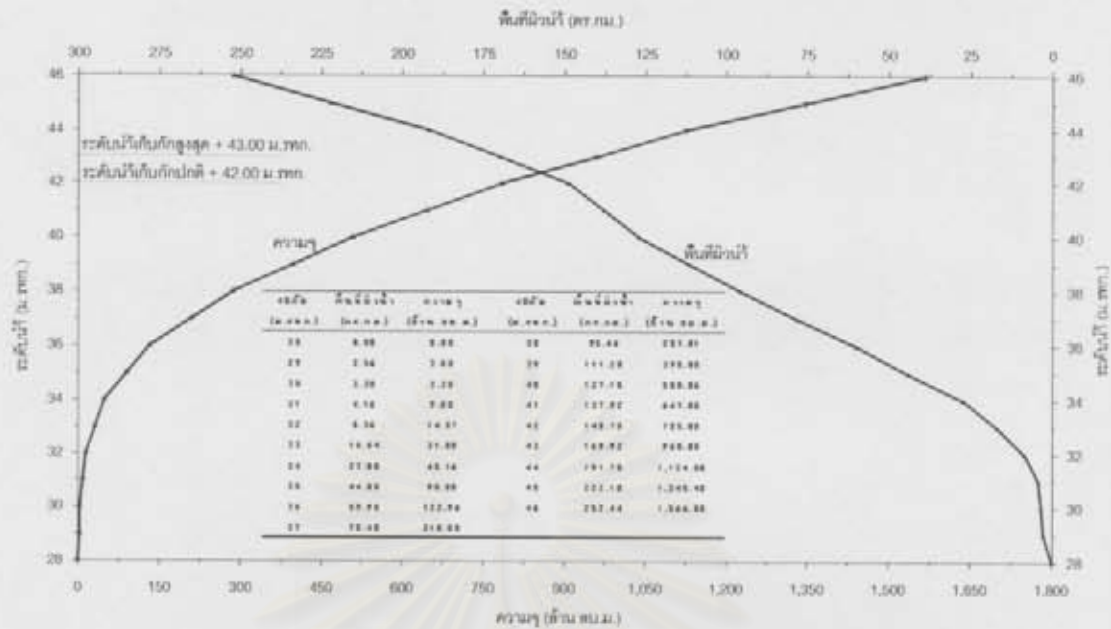
ที่มา : 1/ รายงานการศึกษาเกณฑ์การเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ กรมชลประทาน พฤษภาคม 2546

2/ การศึกษาของ อรอนงค์ วรรณราช โดยโปรแกรม Mwsim05 วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2546

3/ จากการสอบถามเจ้าหน้าที่โครงการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

1.5) ข้อมูลคุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

ข้อมูลคุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำ คือข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ ความจุและพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ซึ่งมีรายละเอียด ดังแสดงในรูป 4-1



รูป 4-1 กราฟคุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

1.6) เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมา

ที่ผ่านมา ในการบริหารอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มีการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โดยเมื่อเริ่มบริหารโครงการ (25 พ.ย. 2542) ได้ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ พ.ศ. 2542 (RC2542) แต่จนกระทั่งปี พ.ศ. 2545 ได้เกิดสภาวะฝนตกหนักขึ้นในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำป่าสัก เป็นเหตุให้เกิดสภาพน้ำหลากในปริมาณมากและสูงไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ทำให้น้ำเต็มอ่างเก็บน้ำในเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นจึงได้มีการปรับเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ขึ้นใหม่ คือเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ พ.ศ. 2546 (RC2546) โดยเกณฑ์ทั้ง 2 แบบที่ใช้ศึกษาผลการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก ดังแสดงในรูป 4-2

1.7) ค่าความสามารถของลำน้ำด้านท้ายน้ำ

ค่าความสามารถของลำน้ำด้านท้ายน้ำในการรองรับปริมาณน้ำหลาก จากการรวบรวมเอกสารและการสอบถามเจ้าหน้าที่ในภาคสนาม สรุปได้ว่าความสามารถของแม่น้ำป่าสักด้านท้ายเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลากโดยไม่ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่ง มีค่าประมาณ 600 ลบ.ม./วินาที

1.8) ค่าระดับควบคุมต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

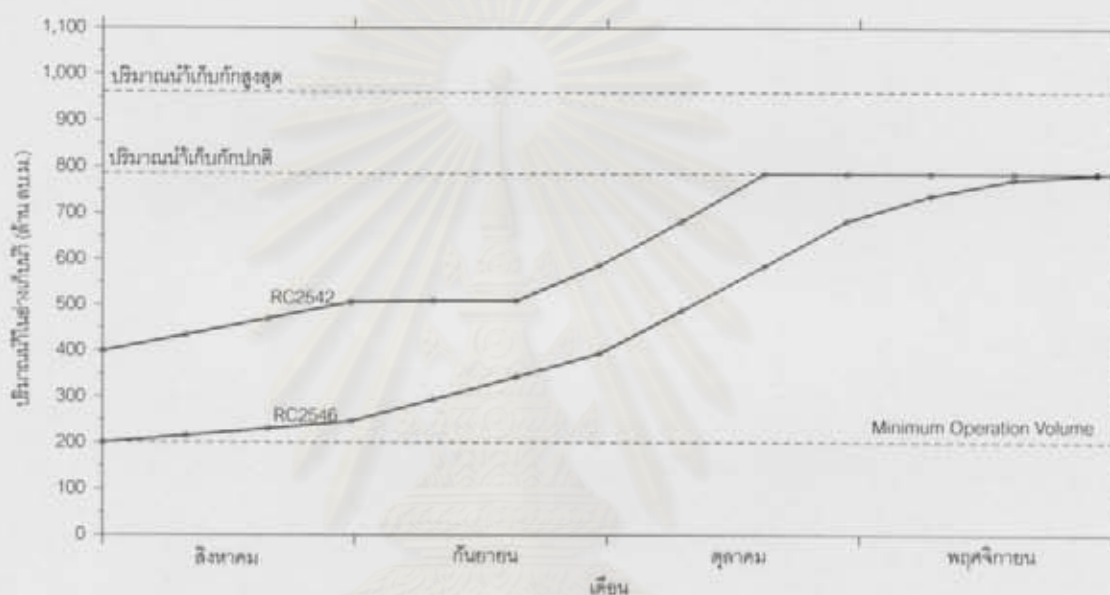
1) ค่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุด คือ + 43.00 ม. รทก. โดยมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ระดับนี้เท่ากับ 960 ล้าน ลบ.ม.

2) ค่าระดับน้ำเก็บกักปกติ คือ + 42.00 ม. รทก. โดยมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ระดับนี้เท่ากับ 785 ล้าน ลบ.ม.

3) ค่าระดับน้ำเก็บกักที่ระดับสันอาคารระบายน้ำสัน คือ + 34.50 ม. รทก. โดยมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ระดับนี้ เท่ากับ 69 ล้าน ลบ.ม.

4) ค่าระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด คือ + 29.00 ม. รทก. โดยมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ระดับนี้ เท่ากับ 3 ล้าน ลบ.ม.

แต่ค่าระดับน้ำเก็บกักต่ำสุดหรือค่าระดับต่ำสุดของการบริหารน้ำ (Minimum Operation Level) ที่ควรจะเป็น จากการสอบถามเจ้าหน้าที่และการศึกษาด้านประมง พบว่าค่าระดับนี้ควรอยู่ที่ + 36.87 ม. รทก. โดยมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ระดับนี้ เท่ากับ 200 ล้าน ลบ.ม.



รูป 4-2 เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากที่ผ่านมาของกรมชลประทาน

2) ข้อมูลที่ใช้สำหรับพัฒนาแบบจำลอง ANN

ข้อมูลอุตุวิทยา - อุทกวิทยา ที่ใช้สำหรับการพัฒนาการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน และข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวัน เนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละสถานีมีช่วงเวลาการเก็บข้อมูลและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นต้องมีการคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่า โดยผลการคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าที่ใช้การศึกษาครั้งนี้ ดังแสดงในรูป 4-3 สรุปได้ดังนี้

2.1) ข้อมูลน้ำฝน

การคัดเลือกจำนวนสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีความสมบูรณ์ในการจัดบันทึกข้อมูล ความยาวของข้อมูล และการกระจายตัวของสถานีวัดน้ำฝนต้องกระจายทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา รวมทั้งพิจารณาสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณใกล้เคียง ได้จำนวน 19 สถานี สามารถสรุปตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งที่มา และช่วงเวลาของข้อมูล ของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา ดังแสดงในตาราง 4-3

2.2) ข้อมูลน้ำท่า

การคัดเลือกจำนวนสถานีวัดน้ำท่าในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีความสมบูรณ์ในการจัดบันทึก และอยู่ในแม่น้ำป่าสักเป็นหลัก จำนวนสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาได้จำนวน 4 สถานี และบริเวณ ทำอย่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จำนวน 1 สถานี (เพื่อเป็นสถานีตัวแทนสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่า ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อไป) ซึ่งสรุปตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งที่มา และช่วงเวลาของข้อมูล ของ สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา ดังแสดงในตาราง 4-4

จากตาราง 4-3 และตาราง 4-4 พบว่าช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล ที่รวบรวมมาได้มีความ ยาวไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากการเริ่มเก็บหรือจัดบันทึกข้อมูลที่แตกต่างกัน และข้อมูลบางปีขาดหายไป อาจจะเป็นเนื่องมาจากเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดชำรุดเสียหาย ดังนั้นในการศึกษาคครั้งนี้ จึงได้คัดเลือก ข้อมูลที่ช่วงเวลาของการเก็บรวบรวมอย่างสมบูรณ์ และเลือกช่วงความยาวของข้อมูลในแต่ละสถานีให้มีความยาวเท่ากัน คือช่วงข้อมูลปี พ.ศ. 2516 - 2526 และปี พ.ศ. 2536 - 2543 จำนวน 19 ปี เพื่อใช้ในการ ศึกษาต่อไป

2.3) การคัดเลือกช่วงเวลาของการพยากรณ์

เนื่องจากการศึกษานี้ เน้นเฉพาะช่วงเหตุการณ์ที่มีปริมาณน้ำท่ามากเป็นหลัก ดังนั้น เพื่อให้เหตุการณ์ที่ศึกษาครอบคลุมเหตุการณ์ดังกล่าว จึงต้องมีการหาช่วงเวลาสำหรับการพยากรณ์น้ำ ท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ล่วงหน้ารายวัน โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของสถานี วัดน้ำท่า S.9 อ.แก่งคอย (พ.ศ.2513 - 2543) เป็นสถานีตัวแทนในการหาช่วงของการพยากรณ์ ดัง แสดงในรูป 4-4

จากรูป 4-4 จะเห็นว่าปริมาณน้ำท่าส่วนใหญ่เกิดในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคมคือ ประมาณร้อยละ 65 ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย แต่อย่างไรก็ตามยังมีน้ำท่าอีกส่วนหนึ่งที่มีปริมาณ มากพอสมควรที่เกิดเดือนก่อนและหลังช่วง 2 เดือนที่กล่าวมา ดังนั้นในการศึกษาคครั้งนี้จึงได้คัดเลือก ช่วงเวลาสำหรับการพยากรณ์น้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในระหว่างเดือนสิงหาคมถึง พฤศจิกายน โดยในการศึกษานี้ได้นิยามช่วงเวลานี้ว่า "ช่วงฤดูน้ำหลาก" ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าถึงร้อยละ 83 ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์น้ำท่าล่วงหน้ารายวัน ต่อไป



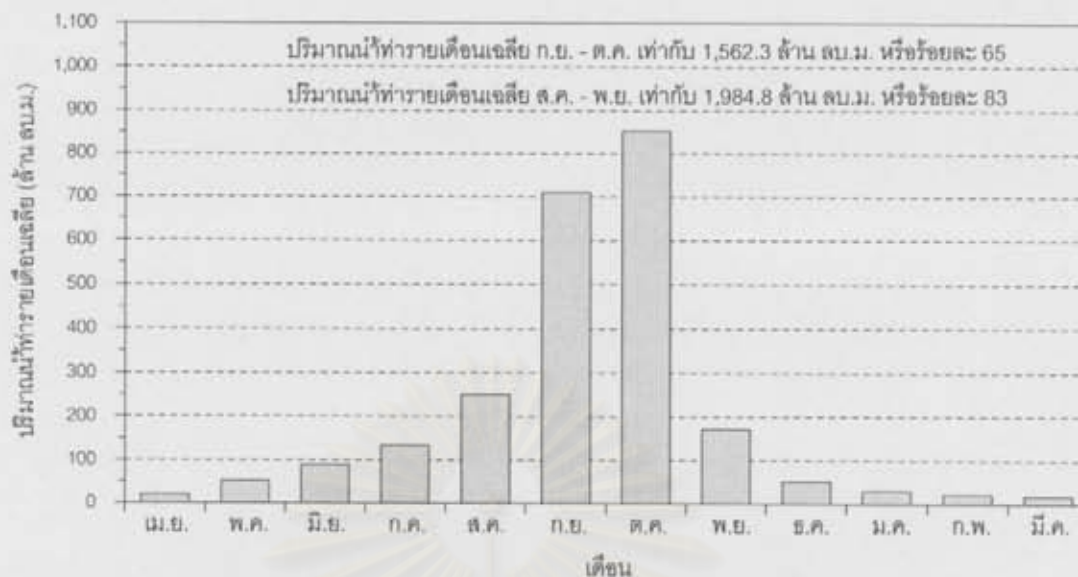
รูป 4-3 ที่ตั้งสถานีวัดน้ำผืนและสถานีวัดน้ำท่า ที่ใช้ในการศึกษา

ตาราง 4-3 ตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งที่มา และช่วงเวลาของข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รหัสสถานี	ที่ตั้งสถานี	แหล่งที่มา	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)	หมายเหตุ
1	18032	อ.ลำซ้าย จ.เลย	กรมชลประทาน	2495-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
2	18042	อ.วังสะพุง จ.เลย	กรมชลประทาน	2495-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
3	19052	อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี	กรมชลประทาน	2495-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
4	19092	อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี	กรมชลประทาน	2510-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
5	25541	อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา	กรมชลประทาน	2506-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
6	36013	อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2495-2543	-
7	36023	อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2495-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
8	36043	อ.วิเชียรบุรี จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2495-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
9	36052	อ.ชนแดน จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2498-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
10	36082	อ.ศรีเทพ จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2508-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
11	36092	อ.หนองไผ่ จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2508-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
12	36104	อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2515-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
13	36122	อ.วิเชียรบุรี จ.เพชรบูรณ์	กรมชลประทาน	2513-2543	ข้อมูลขาดหายบางช่วง
14	379401	อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์	กรมอุตุนิยมวิทยา	2513-2543	-
15	379201	อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์	กรมอุตุนิยมวิทยา	2495-2543	-
16	379001	อ.หนองไผ่ จ.เพชรบูรณ์	กรมอุตุนิยมวิทยา	2513-2543	-
17	379402	อ.วิเชียรบุรี จ.เพชรบูรณ์	กรมอุตุนิยมวิทยา	2513-2543	-
18	426401	อ.บัวชุม จ.ลพบุรี	กรมอุตุนิยมวิทยา	2513-2543	-
19	426006	อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี	กรมอุตุนิยมวิทยา	2499-2543	-

ตาราง 4-4 ตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งที่มา และช่วงเวลาของข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รหัสสถานี	แหล่งที่มา	ลำน้ำ	ตำแหน่ง			พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)	
				ที่ตั้ง		ลองติจูด (° , ' , ")			
				อำเภอ	จังหวัด				
1	SM.1	กรมอุตุนิยมวิทยา	ป่าสัก	หล่มสัก	เพชรบูรณ์	16 46 25	101 14 58	1,070	2513 - 2528 2532 2534 - 2543
2	S.4B	กรมชลประทาน	ป่าสัก	เมืองเพชรบูรณ์	เพชรบูรณ์	16 25 12	101 10 13	3,566	2509 - 2518 2521 - 2526 2538 - 2543
3	SM.2	กรมอุตุนิยมวิทยา	ป่าสัก	วิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์	15 39 25	101 06 30	6,250	2513 - 2526 2534 2536 - 2543
4	SM.3	กรมอุตุนิยมวิทยา	ป่าสัก	บัวชุม	ลพบุรี	15 15 50	101 11 30	9,500	2513 - 2526 2532 2534 - 2543
5	S.9	กรมชลประทาน	ป่าสัก	แก่งคอย	สระบุรี	14 37 33	101 01 00	14,374	2516 - 2543



รูป 4-4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่า S.9

4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนรายวันที่ขาดหายไป

เมื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันของสถานีต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา มาตรวจสอบข้อมูลตามช่วงเวลาข้อมูลที่ได้คัดเลือกในหัวข้อ 4.1.1 พบว่ามีข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในช่วงฤดูน้ำหลากของสถานี 18042 19052 19092 36052 36082 36092 36104 และ 36122 บางช่วงเวลาขาดหายไป ดังนั้นต้องเติมข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันที่ขาดหายไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความต่อเนื่องและสมบูรณ์มากที่สุด ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

ในการศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธี Inverse Distance Method ซึ่งหน่วยงานภูมิอากาศแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (U.S. National Weather Service) แนะนำให้ใช้สำหรับประมาณค่าปริมาณน้ำฝนรายวันของแต่ละสถานีที่ขาดหายไป โดยวิธีนี้ให้ปริมาณน้ำฝนรายวันที่ประมาณขึ้นมานั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนรายวันของสถานีต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงในวันเดียวกันและระยะทางระหว่างสถานีที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีที่ต้องการประมาณค่าข้อมูลน้ำฝนรายวันที่ขาดหายไป ดังแสดงในสมการ 4-1

$$P_x = W_1 P_1 + W_2 P_2 + \dots + W_i P_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad \dots \dots \dots (4-1)$$

$$\text{โดยที่ } W_i = \frac{1/D_i^2}{\sum_{i=1}^n (1/D_i^2)}$$

- เมื่อ P_x คือ ปริมาณน้ำฝนที่ต้องการประมาณค่า
 P_i คือ ปริมาณน้ำฝนของสถานีใกล้เคียง
 W_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Factor) ของแต่ละสถานีใกล้เคียง
 D_i คือ ระยะทางระหว่างสถานีต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีที่ต้องการประมาณค่า
 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ขาดหายไป
 n คือ จำนวนสถานีที่อยู่ใกล้เคียงที่นำมาใช้ในการประมาณค่า

การเลือกสถานีที่อยู่ใกล้เคียงนั้น พิจารณาจากสภาพภูมิประเทศที่มีความคล้ายคลึงกันของที่ตั้งสถานี ระยะทางระหว่างสถานี และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation) ของปริมาณน้ำฝนรายวันระหว่างสถานีต่างๆ บนสมมุติฐานที่ว่าปริมาณน้ำฝนของสถานีที่อยู่ใกล้เคียงกัน ควรมีความสัมพันธ์ที่ตึกว่าสถานีที่อยู่ไกลออกไป และได้แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ใน ตาราง ค-1 ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มสถานีวัดน้ำฝนที่ต้องเติมข้อมูลที่ขาดหายไป ออกได้เป็น 4 กลุ่ม และเมื่อพิจารณาระยะทางระหว่างสถานีในแต่ละกลุ่ม และหาค่า Weight Factor ของกลุ่มต่างๆ แสดงได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1

ระยะทางระหว่างสถานี (D km.)					Weight Factor				
สถานี	379401	36023	18042	36104	สถานี	379401	36023	18042	36104
379401	0	15.913	62.621	25.321	379401	0	0.701	0.420	0.495
36023	15.913	0	66.712	26.171	36023	0.685	0	0.370	0.464
18042	62.621	66.712	0	88.614	18042	0.044	0.040	0	0.041
36104	25.321	26.171	88.614	0	36104	0.271	0.259	0.210	0
$\Sigma (1/D_i^2)$	0.0058	0.0056	0.0006	0.0031	รวม	1.0	1.0	1.0	1.0

กลุ่มที่ 2

ระยะทางระหว่างสถานี (D km.)						Weight Factor					
สถานี	36013	379201	36052	379001	36092	สถานี	36013	379201	36052	379001	36092
36013	0	14.269	38.665	32.882	43.121	36013	0	0.815	0.205	0.106	0.065
379201	14.269	0	51.345	47.628	58.184	379201	0.697	0	0.117	0.051	0.035
36052	38.665	51.345	0	31.145	29.112	36052	0.095	0.063	0	0.118	0.142
379001	32.882	47.628	31.145	0	12.588	379001	0.132	0.073	0.316	0	0.758
36092	43.121	58.184	29.112	12.588	0	36092	0.076	0.049	0.362	0.725	0
$\Sigma (1/D_i^2)$	0.0070	0.0060	0.0033	0.0087	0.0083	รวม	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

กลุ่มที่ 3

ระยะทางระหว่างสถานี (D km.)

สถานี	379402	36122	36043	36082
379402	0	18.968	16.560	13.793
36122	18.968	0	17.115	32.608
36043	16.560	17.115	0	25.925
36082	13.793	32.608	25.925	0
$\Sigma (1/D_i^2)$	0.0117	0.0071	0.0085	0.0077

Weight Factor

สถานี	379402	36122	36043	36082
379402	0	0.390	0.427	0.684
36122	0.238	0	0.399	0.122
36043	0.312	0.478	0	0.194
36082	0.450	0.132	0.174	0
รวม	1.0	1.0	1.0	1.0

กลุ่มที่ 4

ระยะทางระหว่างสถานี (D km.)

สถานี	426401	426006	19052	19092
426401	0	21.159	9.542	55.672
426006	21.159	0	16.141	34.981
19052	9.542	16.141	0	50.814
19092	55.672	34.981	50.814	0
$\Sigma (1/D_i^2)$	0.0135	0.0069	0.0152	0.0015

Weight Factor

สถานี	426401	426006	19052	19092
426401	0	0.324	0.722	0.211
426006	0.165	0	0.252	0.535
19052	0.811	0.557	0	0.254
19092	0.024	0.119	0.026	0
รวม	1.0	1.0	1.0	1.0

ตัวอย่าง การหาค่าปริมาณน้ำฝนที่ขาดหายไป ณ สถานี 36092 วันที่ 4 กรกฎาคม 2542 เมื่อสถานีที่อยู่ใกล้เคียงวัดค่าปริมาณน้ำฝนได้ดังนี้ สถานี 36013 ($W = 0.065$) = 2.0 มม. สถานี 379201 ($W = 0.035$) = 2.0 มม. สถานี 36052 ($W = 0.142$) = 32.6 มม. และสถานี 379001 ($W = 0.758$) = 10.2 มม. โดยใช้สมการ 4-1 แสดงได้ดังนี้

$$P_{36092} = (0.065 \times 2.0) + (0.035 \times 2.0) + (0.142 \times 32.6) + (0.758 \times 10.2) = 12.6 \text{ มม.}$$

โดยผลการเติมข้อมูลปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ แสดงในตาราง ค-2

2) การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล

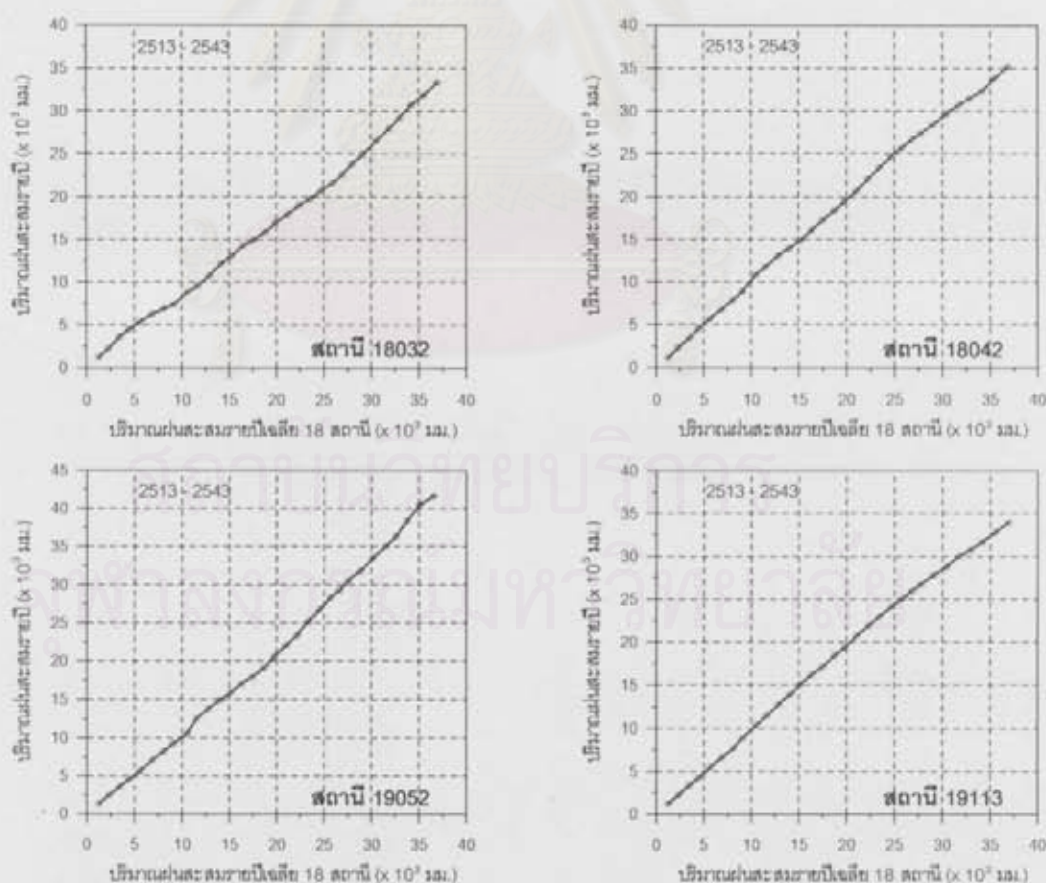
การตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล (Consistency) เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีระยะเวลาที่ยาวนานพอสมควรซึ่งในระหว่างนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องมือวัด การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ตั้งเครื่องมือวัดหรือมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมรอบๆ สถานีวัด ดังนั้นต้องมีตรวจสอบความคงตัวของข้อมูล ในช่วงเวลาดังกล่าวเบื้องต้นว่าไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยวิธีที่นิยมคือ Double Mass Curve ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าสะสมปริมาณน้ำฝนหรือน้ำท่ารายปีของสถานีวัดน้ำฝน

หรือน้ำท่า ที่ต้องการตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลกับค่าสะสมของปริมาณน้ำฝน หรือน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของสถานีต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียงหรือในพื้นที่ลุ่มน้ำเดียวกัน

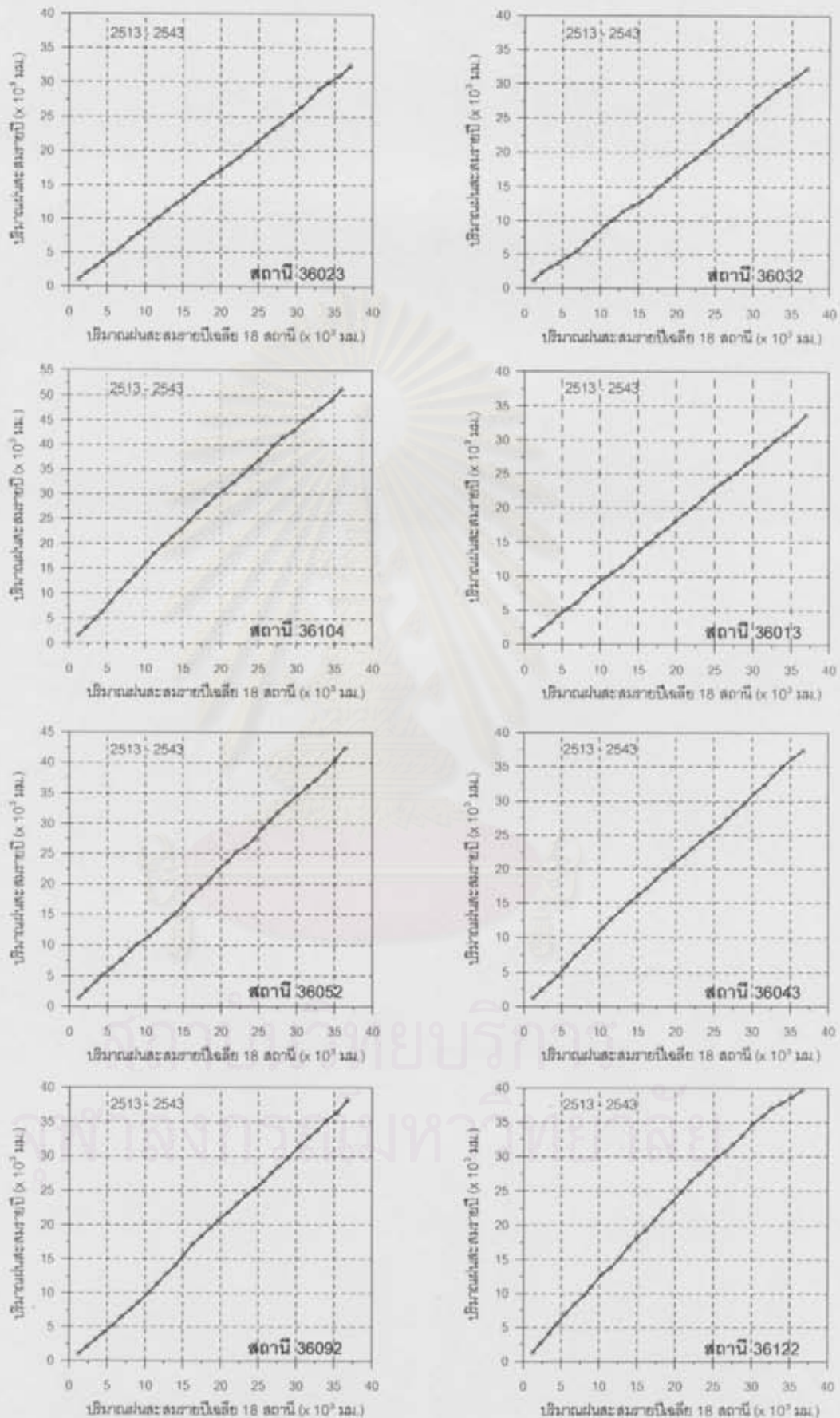
สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีเฉลี่ยจำนวน 18 สถานี และปริมาณน้ำท่าสะสมรายปีเฉลี่ยจำนวน 4 สถานี เพื่อใช้ตรวจสอบความคงตัวของข้อมูลน้ำฝน และน้ำท่าของสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่าต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งผลการศึกษาของข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า โดยวิธี Double Mass Curve ดังแสดงในรูป 4-5 และรูป 4-6 ตามลำดับ

จากรูป 4-5 พบว่าข้อมูลฝนรายปีสะสมของสถานีวัดน้ำฝนส่วนใหญ่มีความสอดคล้องและมีความคงตัวไปในทิศทางเดียวกัน มีเพียงบางสถานีที่ความคงตัวของข้อมูลไม่ไปในทิศทางเดียวกัน แต่ไม่ชัดเจนมากนัก เช่น สถานี 426006 (อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี) เหตุการณ์ช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2519 - 2521 ที่ปริมาณฝนสะสมรายปีเฉลี่ยของ 18 สถานี มีค่ามากกว่าสถานี 426006 เล็กน้อย

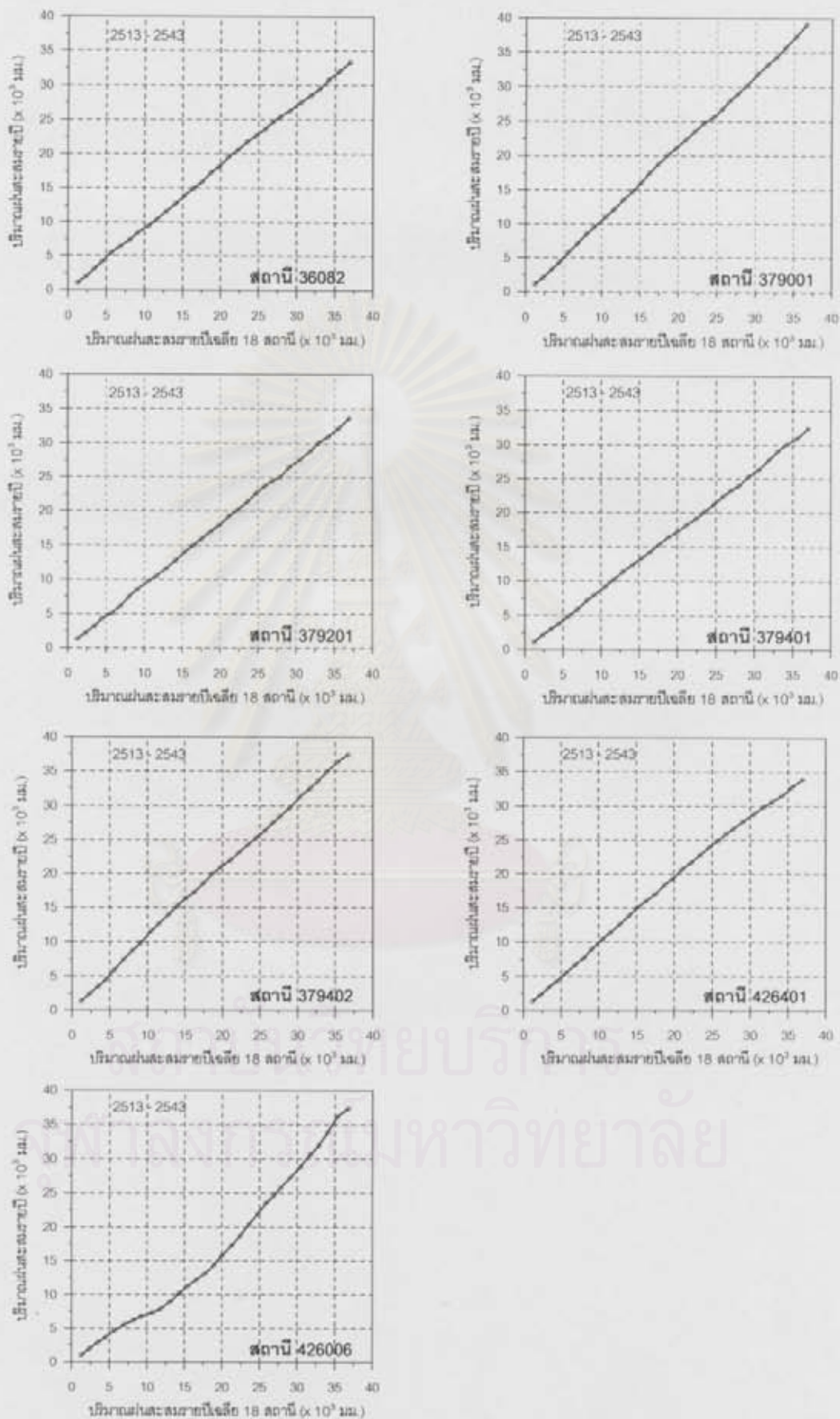
จากรูป 4-6 พบว่าข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายปีสะสมของสถานีวัดน้ำท่าส่วนใหญ่มีความสอดคล้องและมีความคงตัวไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าข้อมูลน้ำท่ามีความคงตัวพอที่จะนำไปใช้งานต่อไป



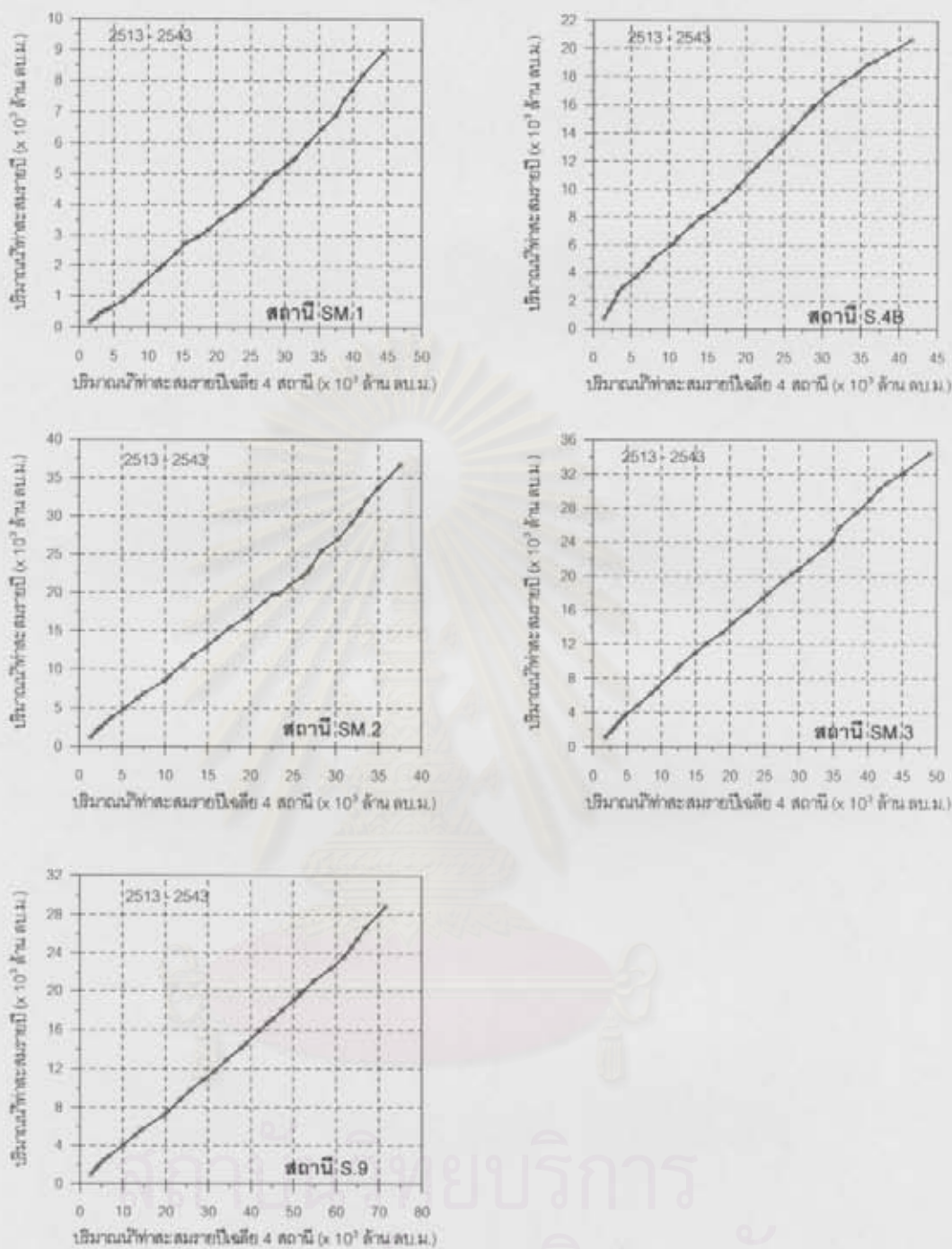
รูป 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนรายปีสถานีต่างๆ กับฝนสะสมรายปีเฉลี่ย 18 สถานี



รูป 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตปีสถานีต่างๆ กับผลผลิตธัญญาปีเฉลี่ย 18 สถานี (ต่อ)



รูป 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผู้สำเร็จการศึกษาปีกับปริมาณผู้ลงทะเบียนปีเฉลี่ย 18 สถาบัน (ต่อ)



รูป 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีสถานีต่างๆ กับปริมาณน้ำท่าสะสมรายปีเฉลี่ย 4 สถานี

4.2 การศึกษาสถิติน้ำฝนรายวันสูงสุดและสภาพน้ำหลากในพื้นที่ศึกษา

หัวข้อนี้กล่าวถึงการศึกษาค่าสถิติของการเกิดปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำหลาก เพื่ออธิบายถึงลักษณะทางอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษา โดยรายละเอียดและขั้นตอนของการวิเคราะห์ ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายวัน

จากสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาที่ได้คัดเลือก จำนวน 19 สถานี นำมาหาค่าปริมาณฝนสูงสุดรายวัน 1 2 และ 3 วัน หลังจากนั้นใช้วิธีของ Gumbel วิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำของแต่ละสถานี เพื่อใช้ในการตรวจสอบโอกาสการเกิดสภาพน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักต่อไป รวมทั้งการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายตัวของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย

4.2.2 การวิเคราะห์สภาพน้ำหลาก

การศึกษาสภาพน้ำหลากที่เกิดในพื้นที่ศึกษา ใช้ข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดแบบจับปล้นรายปีของสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำป่าสัก คือสถานี SM.1 S.4B SM.2 SM.3 และ S.9 รวมทั้งสถานีวัดน้ำท่าในลำสนธิ คือสถานี S.14 มาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือวิธี Plotting Position, Gumbel และ Log Pearson Type III โดยผลที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการประเมินโอกาสการเกิดสภาพน้ำหลากขนาดต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก ต่อไป

4.3 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

ที่ผ่านมา อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก มีการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำมาแล้ว 2 รูปแบบ คือเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน พ.ศ. 2542 (RC2542) และเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน พ.ศ. 2546 (RC2546) โดยลักษณะของการสร้างเกณฑ์ที่ผ่านมา เป็นการสมมุติเส้นเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ ขึ้นมา หลังจากนั้นใช้โปรแกรม HEC-3 สำหรับประเมินเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำระยะยาวเป็นรายเดือน และการประเมินเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเป็นรายวันในระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม โดยใช้โปรแกรม Reservoir Routing โดยการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ที่ผ่านมายังไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์น้ำหลากขนาดใหญ่

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ ได้มีการพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าสถิติน้ำท่าในอดีตในช่วงฤดูน้ำหลาก ร่วมกับสมการการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือและสมการสมมูลน้ำ เพื่อนำมาสร้างเป็นเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมกับสภาพเหตุการณ์น้ำหลากแต่ละขนาดของพื้นที่ศึกษา ต่อไป

4.3.1 ขั้นตอนของการพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

ขั้นตอนของการพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ มีลำดับของขั้นตอนดังนี้

1) จากข้อมูลอัตราการใช้น้ำทำรายวันไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ที่ได้จากการประเมินข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2541 และข้อมูลจากโครงการระหว่างปี พ.ศ. 2542 – 2545 รวม 30 ปี ย้อนหลังนำมาหาค่าปริมาณน้ำท่าสะสมในช่วงฤดูน้ำหลากทุกช่วง 1 วัน จากนั้นนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของการเกิดตามขนาดของปริมาณน้ำท่าสะสมและช่วงเวลาที่เกิด

2) นำค่าปริมาณน้ำท่าสะสมเมื่อสิ้นสุดฤดูน้ำหลากหักออกด้วยปริมาณน้ำท่าสะสมในช่วงเวลานั้น เพื่อหาค่าปริมาณน้ำท่าคงเหลือในช่วงเวลาที่เหลือทุกช่วง 1 วัน จากนั้นนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของการเกิดตามขนาดของปริมาณน้ำท่าคงเหลือและช่วงเวลาที่เกิด

3) เนื่องจากการสร้างเกณฑ์พิจารณาเฉพาะช่วงฤดูน้ำหลากจึงได้กำหนดค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นเท่ากับ 300 400 และ 500 ล้าน ลบ.ม. (RC2542 และ RC2546 ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 200 และ 398 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ)

4) จากค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นที่กำหนด และวิธีการปล่อยน้ำใช้สมการการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือ โดยการคัดเลือกค่าสถิติปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมและปริมาณน้ำท่าคงเหลือที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของการเกิด 20% 50% และ 80% ตามลำดับ มาปล่อยน้ำที่ค่าปริมาณน้ำเริ่มต้นในอ่างเก็บน้ำขนาดต่างๆ โดยกำหนดช่วงเวลาของการวิเคราะห์ทุกช่วง 10 วัน เริ่มวันที่ 1 ส.ค.

5) ใช้สมการสมดุลน้ำในการคำนวณค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำใหม่ โดยใช้ข้อมูลต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.1

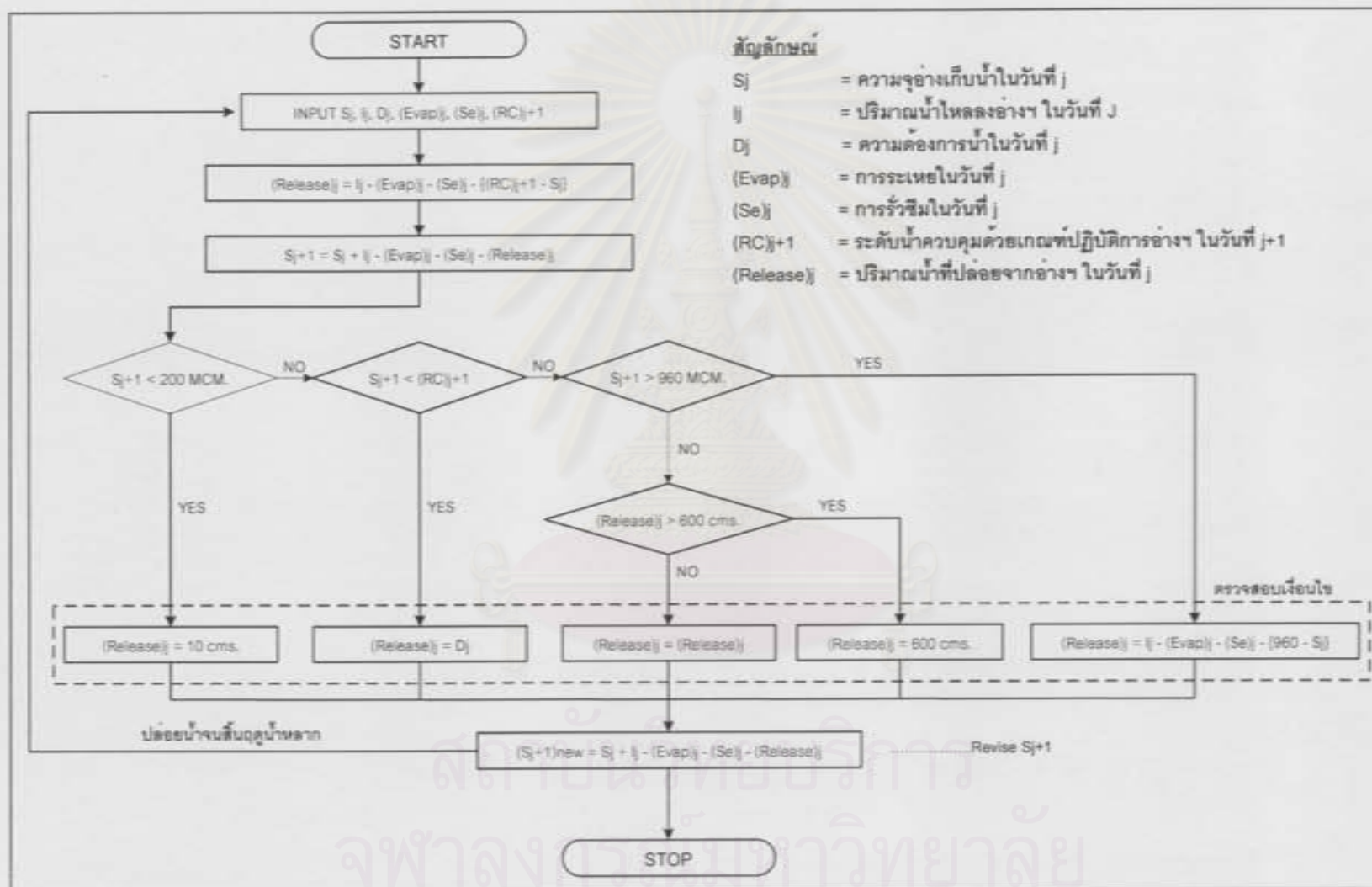
6) ทำซ้ำข้อ 4 และข้อ 5 จนสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก

7) จากนั้นนำผลการหาค่าเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากที่ได้มาปรับแต่งเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น คือค่าเกณฑ์เฉลี่ย (RC0400) ค่าเกณฑ์สูงสุด (RC0500) และค่าเกณฑ์ต่ำสุด (RC0300) โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่ต่ำกว่า 200 ล้าน ลบ.ม. เนื่องจากแนวโน้มการเก็บกักน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จะเก็บกักน้ำในช่วงปลายฤดูน้ำหลากที่ค่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุด ดังนั้นในการศึกษานี้ ได้กำหนดค่าปริมาณน้ำสูงสุดตามเกณฑ์เท่ากับ 960 ล้าน ลบ.ม.

4.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

การศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลอง ได้นำเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ได้ศึกษา 3 รูปแบบ และเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานอีก 2 รูปแบบ มาทดสอบการปล่อยน้ำเป็นรายวันในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยใช้สมการสมดุลน้ำร่วมกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งขั้นตอนของปล่อยน้ำ ดังแสดงในรูป 4-7

กรณีศึกษาได้ใช้เหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2545 โดยมีรายละเอียดของการประเมินประสิทธิผลของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ประกอบด้วย



รูป 4-7 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูแล้ง (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติการปล่อยน้ำของกรมชลประทาน

- 1) ผลการลดลงของยอดน้ำหลากสูงสุด
- 2) จำนวนวันที่ปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที
- 3) ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมกรณีปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที
- 4) ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ วันสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก

4.4 การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก

เนื่องจากความผันแปรของปริมาณน้ำท่าและอัตราการไหลสูงสุดไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมีค่าค่อนข้างสูง รวมทั้งขนาดของอ่างเก็บน้ำมีขนาดเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย ดังนั้นการศึกษาในส่วนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับขนาดและช่วงเวลาการเกิดน้ำหลากสูงสุดได้มากน้อยเพียงใด โดยขั้นตอนของการศึกษามีดังนี้

4.4.1 การสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ (Design Flood Hydrograph)

การสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบใช้ข้อมูลอัตราไหลน้ำท่ารายวันบริเวณหัวงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยการคัดเลือกเหตุการณ์น้ำหลากที่สำคัญในอดีต คือปี พ.ศ. 2521 2523 2530 2538 2539 และ 2545 จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเหตุการณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) วันที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด
- 2) วันเริ่มต้นการเกิดสภาพน้ำหลาก
- 3) วันสิ้นสุดการเกิดสภาพน้ำหลาก
- 4) ช่วงเวลาการเกิดน้ำหลาก (Time Base)

นำค่าอัตราการไหลในแต่ละวันของเหตุการณ์ต่างๆ มารดด้วยอัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์นั้นๆ (Q/Q_p) เพื่อปรับค่าสูงสุดให้เท่ากับ 1 จากนั้นหาค่า Q/Q_p เฉลี่ย มาสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบไว้หน่วย โดยกำหนดจุดสำคัญของแกนตามข้อ 1 ถึงข้อ 3 โดยมีการปรับรูปร่างของชลภาพให้สอดคล้องกับอัตราการไหลสูงสุดและปริมาณน้ำหลากที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ

ขั้นตอนต่อไปคือการนำค่าอัตราการไหลสูงสุดและปริมาณน้ำหลากสะสมในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ ตำแหน่งหัวงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ที่คาบการเกิดซ้ำ (วิเคราะห์โดยวิธีของ Gumbel) 2 5 8 10 15 20 50 100 200 500 และ 1,000 ปี สร้างเป็นชลภาพน้ำหลากออกแบบ โดยศึกษาถึงผลของการเกิดยอดน้ำหลากสูงสุดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันต่อผลของการควบคุมการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ จึงได้กำหนดให้อัตราการไหลสูงสุดเกิดวันที่ 10 กันยายน 20 กันยายน 30 กันยายน 10 ตุลาคม และ 20 ตุลาคม ตามลำดับ (จากการศึกษาสถิติน้ำหลากสูงสุดในอดีตส่วนใหญ่เกิดขึ้นช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม)

4.4.2 เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษา

เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการศึกษาคือ

- 1) เกณฑ์ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ คือ RC0300 RC0400 และ RC0500
- 2) เกณฑ์ของกรมชลประทาน คือ RC2542 และ RC2546

4.4.3 ข้อจำกัดและค่าควบคุมการปล่อยน้ำ

การปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ใช้สมการสมมูลน้ำในการควบคุมค่าปริมาณการปล่อยน้ำ ออกจากอ่างเก็บน้ำรายวัน โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

1) ค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่น้อยกว่า 200 ล้าน ลบ.ม. (การศึกษาของอรอนงค์ควบคุมที่ 69 ล้าน ลบ.ม.) และไม่เกิน 960 ล้าน ลบ.ม. (การศึกษาของอรอนงค์ควบคุมที่ 785 ล้าน ลบ.ม.)

2) การปล่อยน้ำต้องเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ และความต้องการน้ำเพื่อรักษาสมดุลระบบนิเวศ โดยในกรณีที่ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อยกว่า 200 ล้าน ลบ.ม. จะปล่อยน้ำเพื่อการรักษาสมดุลระบบนิเวศเท่านั้น

3) ความสามารถของลำน้ำด้านท้ายน้ำเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที กรณีที่ปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยออกที่ได้จากสมการสมมูลน้ำมากกว่าค่านี้ จะปล่อยน้ำด้วยค่านี้จนกว่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำถึงค่าสูงสุด โดยการปล่อยน้ำหลังจากปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำอยู่ที่ระดับสูงสุดจะควบคุมอัตราการปล่อยน้ำที่ไม่ทำให้เกิดปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงกว่าปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด

4.5 การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

ที่ผ่านมาการบริหารงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากไม่เป็นไปตามเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ใช้ควบคุมการปล่อยและเก็บกักน้ำ (รูป ง-1) ดังนั้นในการศึกษานี้มุ่งเน้น พัฒนาวิธีการปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับเหตุการณ์น้ำหลากขนาดต่างๆ (ใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต) ที่เกิดขึ้นเป็นรายวันและมีการตรวจค่าอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ทุกวัน โดยเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้กับวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน พ.ศ. 2546

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย ข้อมูลคุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ข้อมูลอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำท่าเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่า S.9) ข้อมูลอัตราการซึม ข้อมูลอัตราการระเหย ข้อมูลค่าระดับควบคุมต่างๆ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (ไม่มีการคิดเนื่องจากประเมินปริมาณน้ำท่าบริเวณหัวงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ) ข้อมูลความต้องการน้ำด้านต่างๆ และรักษาสมดุลระบบนิเวศ ข้อมูลค่าอัตราการไหลที่ไม่ทำให้เกิดการล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำคือประมาณ 600 ลบ.ม./วินาที ข้อมูลเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (กรมชลประทาน พ.ศ. 2546)

จากการศึกษาค่าสถิติน้ำหลากในอดีตได้วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมและปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคงเหลือในช่วงฤดูน้ำหลากในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าไหลเข้าและคงเหลือสะสม - เวลา - ความถี่ของการเกิด ดังแสดงในรูป 4-8 และรูป 4-9 โดยข้อสมมุติฐานเกี่ยวกับเกณฑ์การใช้คาบความถี่การเกิด (Probability of Exceedance) มีการกำหนดดังนี้

1) ขนาดของน้ำหลากในช่วงฤดูน้ำหลาก กำหนดให้อยู่ในรูปของคาบความถี่การเกิด โดยเหตุการณ์น้ำหลากที่มีขนาดใหญ่มีคาบความถี่การเกิดต่ำและเหตุการณ์น้ำหลากขนาดเล็กมีคาบความถี่การเกิดสูง

2) ในช่วงเวลาของฤดูน้ำหลาก 4 เดือน คือระหว่างวันที่ 1 สิงหาคม ถึง 30 พฤศจิกายน เป็นช่วงเวลาของการพิจารณารการปล่อยน้ำ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงจากวันเริ่มต้นจนถึงวันสิ้นสุด และเวลานี้ ใช้ในการแบ่งช่วงเวลาน้ำหลากออกเป็น 2 ส่วน คือช่วงเวลาน้ำหลากที่ผ่านมา กับช่วงเวลาน้ำหลากที่เหลือ ซึ่ง

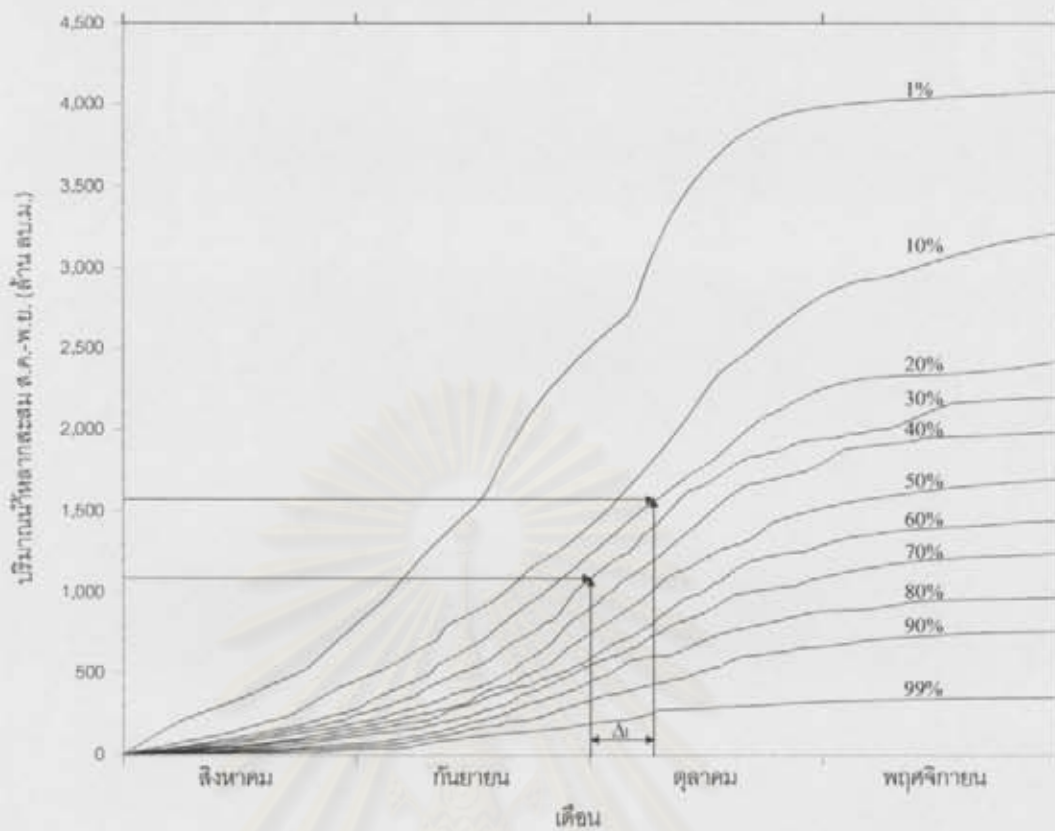
2.1) ช่วงเวลาน้ำหลากที่ผ่านมา มีการประเมินถึงปริมาณน้ำท่าสะสม โดยจะใช้ในการหาขนาดของเหตุการณ์ในรูปของคาบความถี่การเกิด

2.2) ช่วงเวลาน้ำหลากที่เหลืออยู่ จะใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่เหลือ โดยกำหนดจากขนาดหรือคาบความถี่ของการเกิดปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสะสมในช่วงเวลาที่ผ่านมา

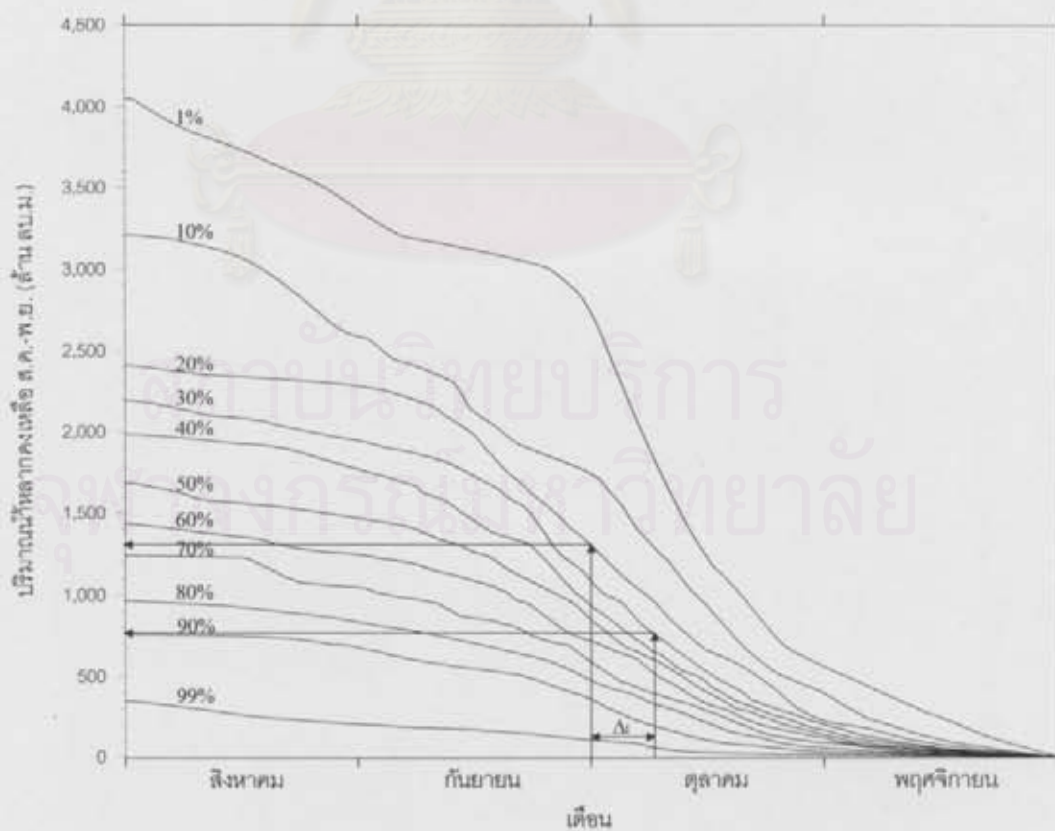
3) กำหนดให้คาบความถี่ของการเกิดปริมาณน้ำท่าสะสมในช่วงเวลาที่ผ่านมาเท่ากับคาบความถี่ของการเกิดปริมาณน้ำท่าสะสมในช่วงเวลาที่เหลือ โดยอยู่บนสมมุติฐานว่าเหตุการณ์ตลอดช่วงฤดูน้ำหลากมีคาบความถี่ของการเกิดเดียวกัน

4) เมื่อเวลาผ่านไป ค่าปริมาณน้ำท่าสะสมที่เพิ่มขึ้นตามเวลา อาจจะมีคาบความถี่ของการเกิดที่เปลี่ยนแปลงไปจากช่วงเวลาก่อนหน้านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ค่าคาบความถี่ของปริมาณน้ำท่าสะสมในช่วงเวลาที่เหลือให้เป็นค่าปัจจุบันทันเหตุการณ์ของข้อมูล ณ ขณะนั้น

จากข้อสมมุติฐาน คือใช้รูป 4-8 ในการประเมินหาค่าความถี่ของการเกิดปริมาณน้ำท่าสะสมในช่วงเวลาที่เหลือ โดยพิจารณาปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสม ณ เวลาหนึ่งๆ จะได้คาบความถี่ของการเกิด หลังจากนั้นนำค่าคาบความถี่ของการเกิดเดียวกันนั้น ไปหาค่าปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาที่เหลือในรูป 4-9 และมีการปรับค่าคาบความถี่ของการเกิดใหม่ทุกช่วงเวลาตามปริมาณน้ำท่าสะสมที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย) และใช้สมการและข้อกำหนดต่างๆ ในการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำดังนี้



รูป 4-8 ปริมาณน้ำที่สะสมที่ค่าความถี่ต่างๆ



รูป 4-9 ปริมาณน้ำที่คั่งเหลือที่ค่าความถี่ต่างๆ

สมการที่ใช้ในการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำรายวัน ในช่วงฤดูน้ำหลาก มีดังนี้

$$\text{Release} = \frac{I_r - S_r}{T_r}$$

เมื่อ

- Release คือ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกต่อวัน (ล้าน ลบ.ม.)
 I_r คือ ปริมาณน้ำหลากคงเหลือ (ล้าน ลบ.ม.)
 S_r คือ ความจุส่วนที่เหลือ (ล้าน ลบ.ม.)
 T_r คือ เวลาที่เหลือของการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก (วัน)

สมการสมดุลน้ำ :

$$\text{Release} = I - R - \text{Evap} - \text{Se} - \Delta S$$

เมื่อ

- I คือ ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)
 R คือ ปริมาณน้ำฝน (ล้าน ลบ.ม.) => (ไม่คิดเนื่องจากมีการประเมินน้ำท่าบริเวณอ่างเก็บน้ำ)
 Evap คือ ปริมาณการระเหย (ล้าน ลบ.ม.)
 Se คือ ปริมาณการซึม (ล้าน ลบ.ม.)
 ΔS คือ ผลต่างปริมาณน้ำในอ่าง (ล้าน ลบ.ม.)

รวมสมการการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือและสมการสมดุลน้ำ ทำให้ได้ค่า

$$S_{j+1} = \left[\{I - \text{Evap} - \text{Se} - S\}_j - \left\{ \frac{I_r - S_r}{T_r} \right\}_j \right]$$

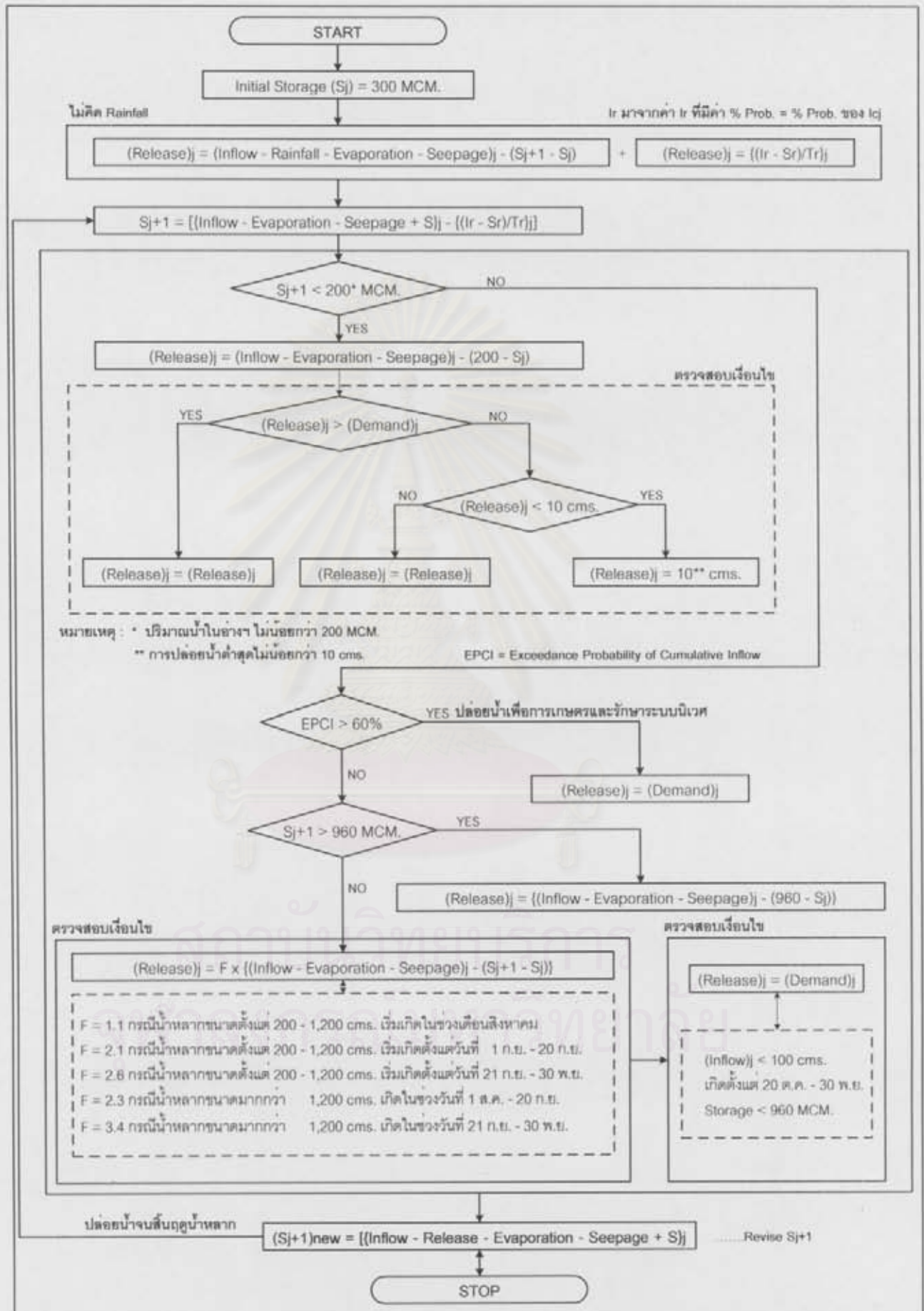
จากสมการข้างต้น สามารถหาค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า 1 ช่วงเวลา (1 วัน) จากนั้นสามารถหาค่าอัตราการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำได้จากสมการสมดุลน้ำ

การเปรียบเทียบผลการศึกษา ได้ใช้เหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2516 – 2545 มาทดสอบวิธีการปล่อยน้ำ (ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายน) ที่พัฒนาขึ้น โดยในการศึกษาได้เปรียบเทียบวิธีการปล่อยน้ำที่เสนอกับการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ศึกษาโดยกรมชลประทาน พ.ศ. 2546

เนื่องจากการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มีค่าที่ต้องมีการตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ ประกอบด้วย ค่าระดับควบคุมต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำ ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร และความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศและค่าפקเตอร์คุณธรรมาการปล่อยน้ำที่คำนวณได้ ดังนั้นในปล่อยน้ำจึงได้มีการพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้ในวิธีการปล่อยน้ำด้วย

โดยขั้นตอนของการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ พ.ศ. 2546 ของกรมชลประทาน (รูป 4 - 7) และวิธีการปล่อยน้ำที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีตและการหารูปแบบของการปล่อยน้ำที่เหมาะสมกับน้ำหลากขนาดต่าง ๆ โดยอาศัยข้อมูลสภาพน้ำหลากในอดีต 30 ปีย้อนหลัง (พ.ศ. 2516 – 2545) และมีการปรับค่าอัตราการปล่อยน้ำของสภาพน้ำหลากที่มีความผันแปรสูงเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ มีการปรับค่าפקเตอร์ F ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและช่วงเวลาการเกิดน้ำหลากที่แตกต่างกัน ให้สามารถควบคุมน้ำหลากขนาดต่าง ๆ ที่ผ่านมาได้เหมาะสม (จากการ Trial & Error) ดังแสดงในรูป 4-10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4-10 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต

4.6 การพัฒนาวิธีการพยากรณ์น้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ รายวันล่วงหน้า

4.6.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาในการศึกษาคครั้งนี้ คือ พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักบริเวณเหนือห้วงงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มีขนาดพื้นที่รับน้ำประมาณ 12,600 ตร.กม. โดยแบ่งพื้นที่ในการศึกษาด้านการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ออกเป็นพื้นที่ย่อย 5 ส่วน โดยเกณฑ์การแบ่งพื้นที่ย่อยได้ใช้สถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในแม่น้ำป่าสัก ที่มีข้อมูลทางอุทกวิทยาที่มีความน่าเชื่อถือและมีความยาวของการเก็บข้อมูลพอเพียงสำหรับการวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งแต่ละพื้นที่ย่อยมีรายละเอียดดังนี้

พื้นที่ย่อย 1 อยู่ทางตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูง คือพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่า SM.1 มีพื้นที่ประมาณ 1,070 ตร.กม.

พื้นที่ย่อย 2 อยู่ทางตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูงและมีที่ราบลุ่มอยู่ตอนกลางของลุ่มน้ำ คือพื้นที่รับน้ำฝนระหว่างสถานีวัดน้ำท่า SM.1 กับสถานีวัดน้ำท่า S.4B มีพื้นที่ประมาณ 2,496 ตร.กม.

พื้นที่ย่อย 3 อยู่ทางตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสลับเนินเขาและที่ราบ คือพื้นที่รับน้ำฝนระหว่างสถานีวัดน้ำท่า S.4B กับสถานีวัดน้ำท่า SM.2 มีพื้นที่ประมาณ 2,684 ตร.กม.

พื้นที่ย่อย 4 อยู่ทางตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสลับเนินเขาและที่ราบ คือพื้นที่รับน้ำฝนระหว่างสถานีวัดน้ำท่า SM.2 กับสถานีวัดน้ำท่า SM.3 มีพื้นที่ประมาณ 3,250 ตร.กม.

พื้นที่ย่อย 5 อยู่ทางตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก บริเวณเหนือห้วงงานเขื่อนป่าสักฯ สภาพพื้นที่เป็นเนินเขาและที่ราบ คือพื้นที่รับน้ำฝนระหว่างสถานีวัดน้ำท่า SM.3 กับห้วงงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มีพื้นที่ประมาณ 3,100 ตร.กม.

จากการแบ่งพื้นที่ย่อยในพื้นที่ศึกษา สามารถแสดงเส้นแบ่งขอบเขตพื้นที่ย่อยตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน ที่ใช้ในการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ รายวันล่วงหน้าตามตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในแม่น้ำป่าสัก และที่ตำแหน่งห้วงงานเขื่อนป่าสักฯ ดังแสดงในรูป 4-11

4.6.2 สัดส่วนพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อย

เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้นำข้อมูลฝนรายวันเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ย่อย ซึ่งมีจำนวนและการกระจายตัวของสถานีวัดน้ำฝนไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องหาสัดส่วนพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยใช้วิธีการสร้างรูปเหลี่ยมมีเอสเซน (Thiessen Polygon)

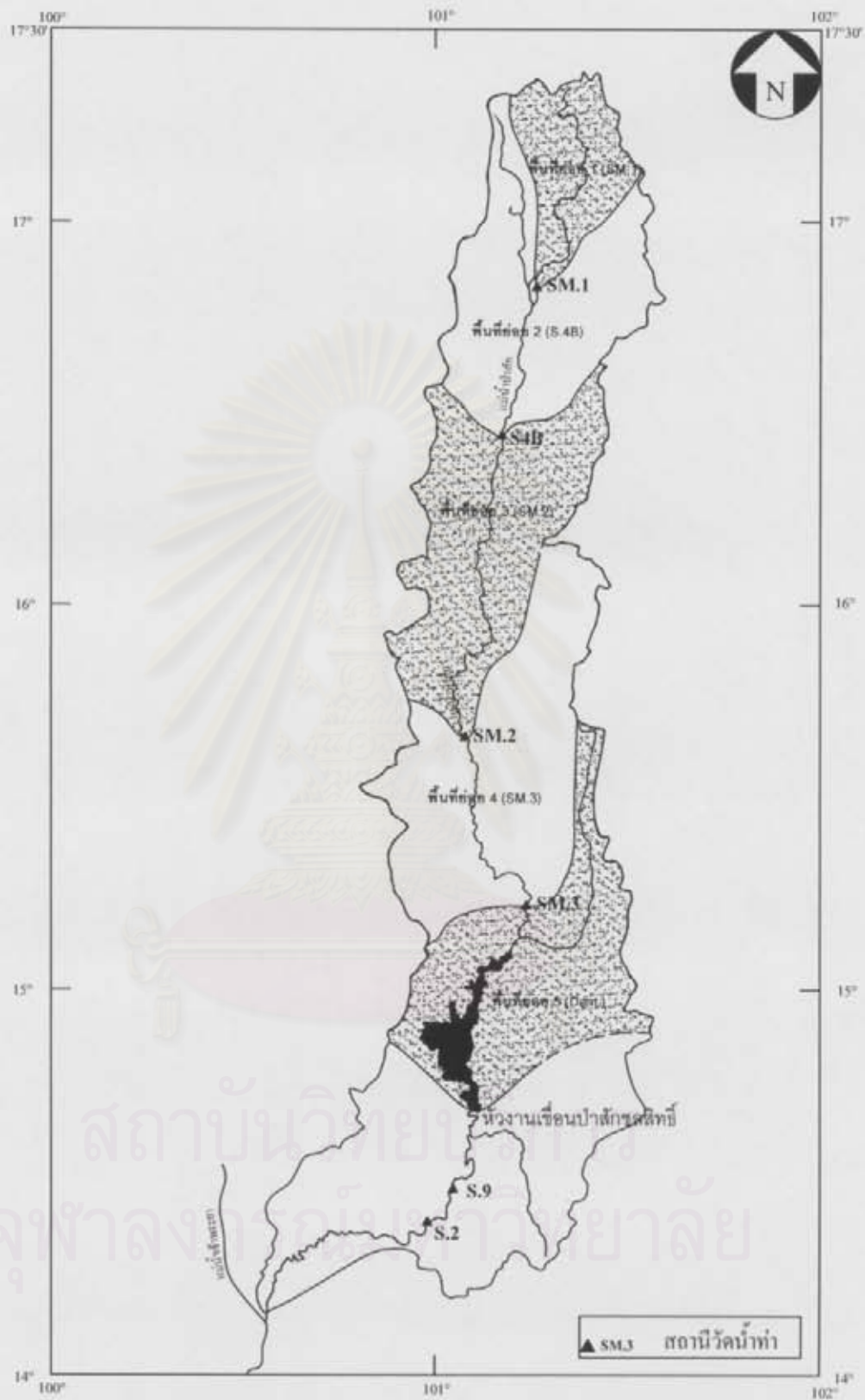
การสร้างรูปเหลี่ยมมีเอสเซนมีจุดประสงค์เพื่อคำนวณความลึกสม่ำเสมอเทียบเท่าของปริมาณฝน ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถลดปัญหาความไม่สม่ำเสมอในการกระจายตัวของสถานีวัดน้ำฝน โดยคำนึงถึง

ขนาดพื้นที่ซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของแต่ละสถานี ซึ่งกระทำได้โดยการสร้างรูปเหลี่ยมมีเอสเซนล้อมรอบ สถานีวัดน้ำฝนเป็นขอบเขตไว้ ในการเลือกสถานีวัดน้ำฝนเพื่อนำมาสร้างรูปเหลี่ยมมีเอสเซนนั้นได้ พิจารณาสถานีวัดน้ำฝนที่มีช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลที่ยาวนานพอสมควร ตลอดจนต้องมีการกระจาย ตัวทั่วทั้งพื้นที่ โดยจากสถานีวัดน้ำฝนในเขตพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง ที่ได้พิจารณาคัดเลือกมา จำนวน 19 สถานี นำมาสร้างรูปเหลี่ยมมีเอสเซน ดังแสดงในรูป 4-12

จากรูป 4-12 สามารถหาค่าสัดส่วนพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อย ดังแสดง ในตาราง 4-5

ตาราง 4-5 สัดส่วนพื้นที่ของสถานีวัดน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยวิธี Thiessen Polygon

พื้นที่ย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	สถานี วัดน้ำฝน	สัดส่วน พื้นที่	พื้นที่ย่อย	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	สถานี วัดน้ำฝน	สัดส่วน พื้นที่
1 (SM.1)	1,070	18032	0.472	4 (SM.3)	3,250	19052	0.080
		18042	0.047			36043	0.120
		36023	0.341			36082	0.215
		379401	0.140			36122	0.206
2 (S.4B)	2,490	18032	0.054	5 (Dam.)	3,100	379001	0.126
		36013	0.072			379402	0.142
		36023	0.418			426401	0.111
		36104	0.120			19052	0.029
		379201	0.189			19092	0.150
		379401	0.147			25541	0.064
3 (SM.2)	2,690	36013	0.320	36122	0.036		
		36043	0.086	379402	0.021		
		36052	0.063	426006	0.448		
		36092	0.208	426401	0.251		
		379001	0.253				
		379201	0.071				



รูป 4-11 การแบ่งพื้นที่ย่อยตามสถานีวัดน้ำท่าและตำแหน่งห้วงงานเขื่อนป่าสัก ที่ใช้ในการศึกษา



รูป 4-12 การแบ่งสัดส่วนพื้นที่สถานีวัดน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ย่อยโดยวิธี Thiessen Polygon

4.6.3 การประเมินปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

เนื่องจากไม่มีการตรวจวัดปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ (พื้นที่ย่อย 5) โดยตรง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ใช้วิธีการประเมินปริมาณน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำท่าใกล้เคียงที่อยู่ท้ายน้ำ ที่ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และระยะเวลาในการเก็บยาวนานพอสมควร คือสถานีวัดน้ำท่าบ้านเมืองเหนือ อ.แก่งคอย (S.9)

โดยในเบื้องต้น ได้ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่อยู่ใกล้ป่าสัก ซึ่งเป็นสมการถดถอย โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = aA^b$$

- เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)
 A คือ พื้นที่รับน้ำฝนของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า (ตร.กม.)
 a, b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย

ซึ่งผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน ดังแสดงในรูป 4-13 ให้ค่าความสัมพันธ์ในลักษณะสมการถดถอย ดังนี้

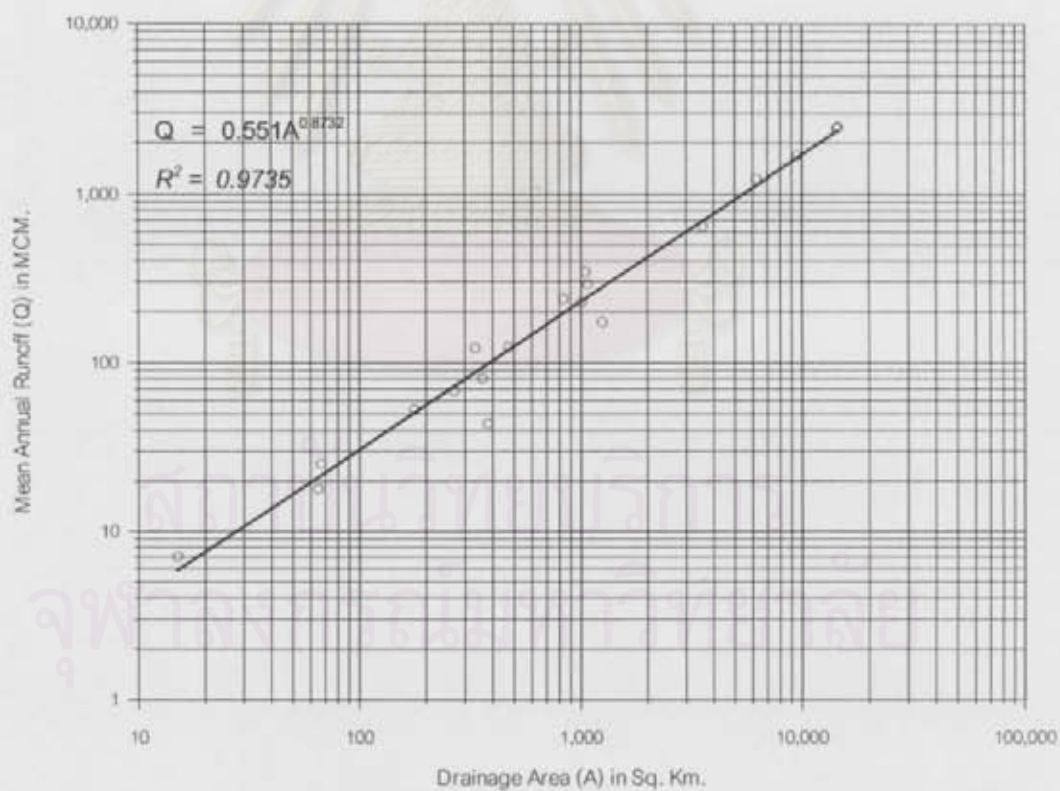
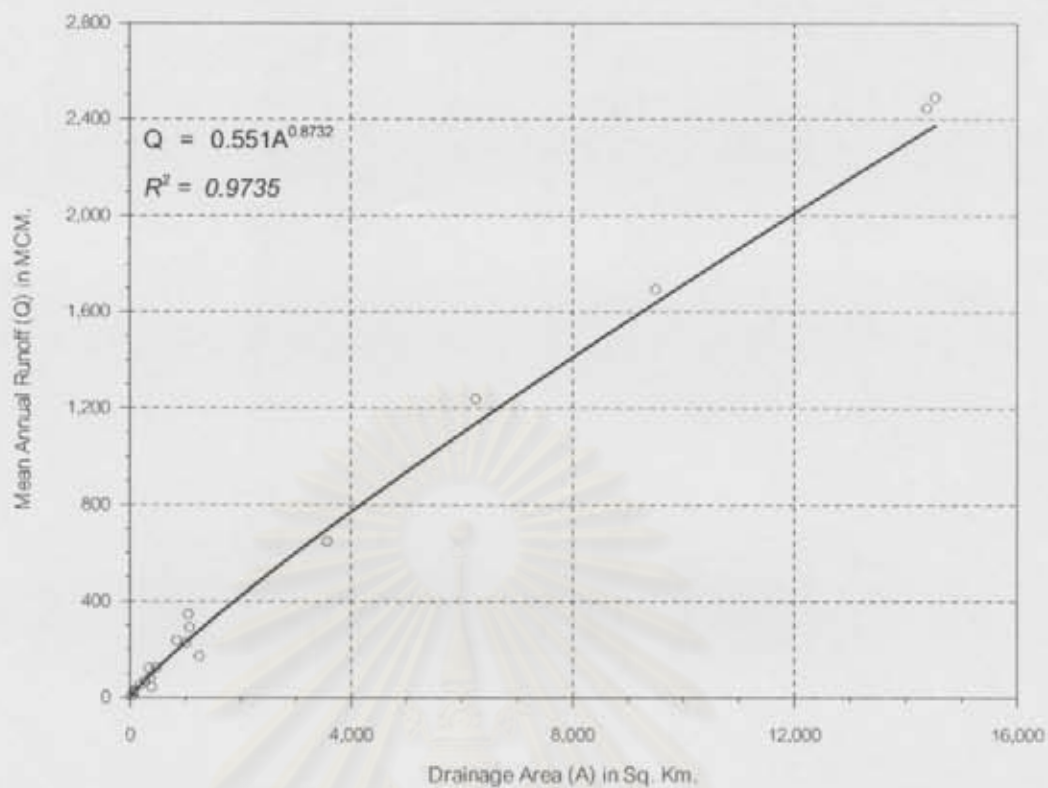
$$Q = 0.551A^{0.8732}$$

จากค่าความสัมพันธ์ข้างต้น สามารถประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ (พื้นที่รับน้ำเหนือเขื่อนป่าสักฯ ประมาณ 12,600 ตร.กม.) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า S.9 (พื้นที่รับน้ำ 14,374 ตร.กม.) คูณกับแฟคเตอร์ลดทอน (Reduction Factor, RF) ซึ่งค่าแฟคเตอร์ลดทอนที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเขื่อนป่าสักฯ หาได้ดังนี้

$$RF = \left(\frac{A_{Dam}}{A_{S.9}} \right)^{0.8732}$$

- เมื่อ A_{Dam} คือ พื้นที่รับน้ำฝนเหนืออ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ (ตร.กม.)
 $A_{S.9}$ คือ พื้นที่รับน้ำฝนเหนือสถานีวัดน้ำท่า S.9 (ตร.กม.)

จะได้
$$RF = \left(\frac{12,600}{14,374} \right)^{0.8732} = 0.891$$



รูป 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่า
ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก

4.6.4 ตัวแปรสำหรับการพยากรณ์

ตัวแปรที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาตัวแปรทางอุทกวิทยาที่สำคัญ 2 ตัวแปร คืออัตราการไหลน้ำท่ารายวันและปริมาณน้ำฝนรายวัน มีรายละเอียดดังนี้

1) อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน

จากสถานีวัดน้ำท่าที่ได้คัดเลือกในเบื้องต้น คือ สถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 SM.3 และปริมาณน้ำท่าบริเวณห้วยเขื่อนป่าสักฯ (Dam.) ที่ได้จากแฟคเตอร์ลดทอนของความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน คู่กับข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่า S.9 ซึ่งตัวแปรอัตราการไหลน้ำท่ารายวัน มีดังนี้

QSM.1 คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.1

QS.4B คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า S.4B

QSM.2 คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.2

QSM.3 คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3

QDam. คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ณ ตำแหน่งห้วยเขื่อนป่าสักฯ

2) ปริมาณน้ำฝนรายวัน

จากสถานีวัดน้ำฝนที่ได้คัดเลือกและเติมข้อมูลที่ขาดหายไปแล้วในเบื้องต้น ได้มีการหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ย่อย โดยการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันสถานีต่างๆ แยกตามพื้นที่ย่อย คู่กับสัดส่วนพื้นที่ ที่ได้จากวิธี Thiessen Polygon ซึ่งตัวแปรปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ย มีดังนี้

RSM.1 คือ ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย 1

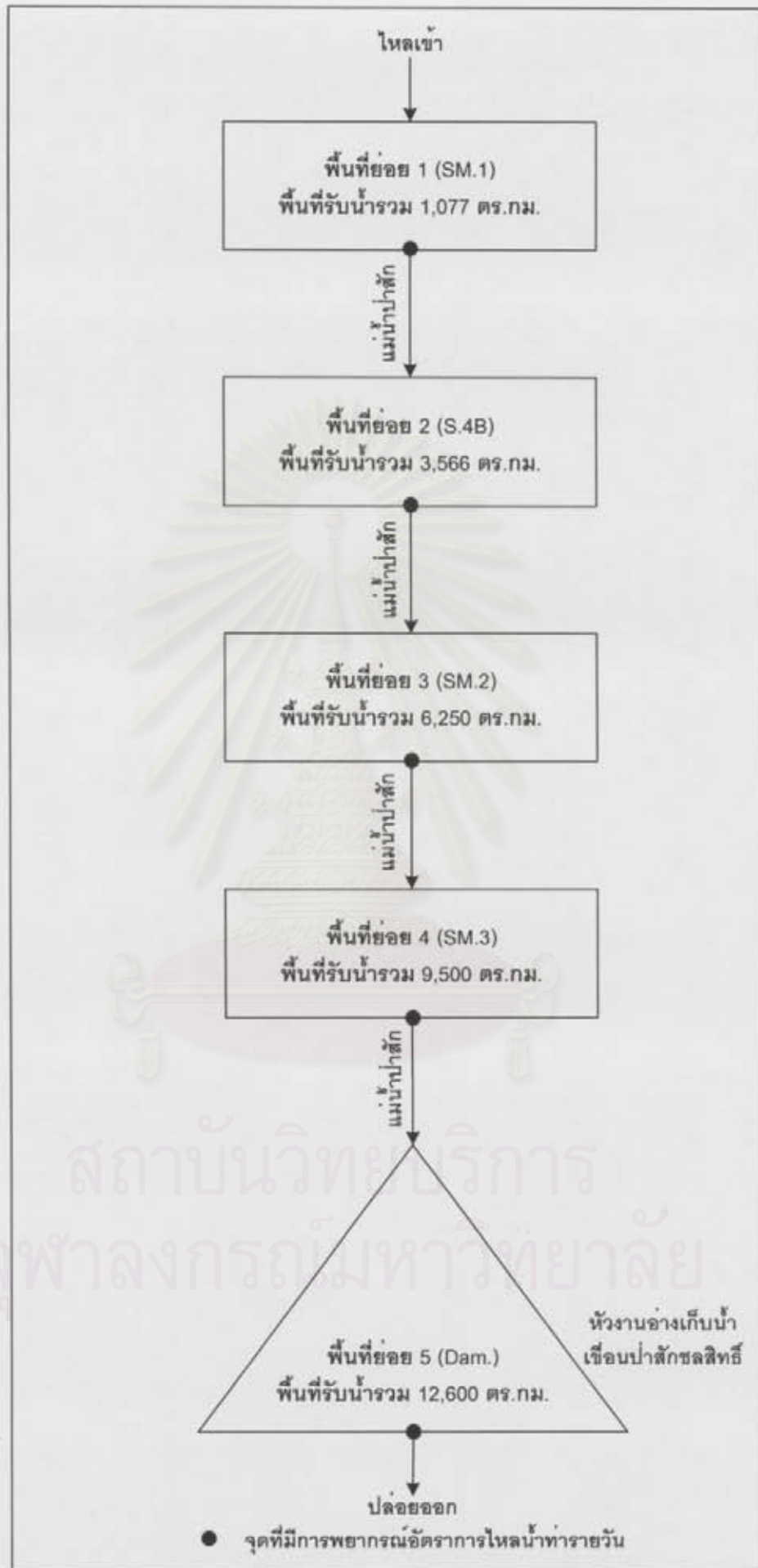
RS.4B คือ ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย 2

RSM.2 คือ ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย 3

RSM.3 คือ ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย 4

RDam. คือ ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย 5

จากตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง ANN เพื่อใช้ในการพยากรณ์น้ำท่าของจุดพิจารณาต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังของพื้นที่ย่อยและจุดที่มีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ดังแสดงในรูป 4-14



รูป 4-14 แผนผังพื้นที่ย่อยในการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า

4.6.5 การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล

การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับปรับเทียบ (Calibration, Training) สอบทาน (Verification, Testing) เป็นการแบ่งช่วงข้อมูลเพื่อให้เหตุการณ์ต่างๆ ครอบคลุมเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต และเพื่อตรวจสอบค่าตัวแปรนำเข้าต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการพยากรณ์ และการรับรองผล (Validation) ควรเป็นข้อมูลที่เป็นสภาพปัจจุบัน ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด โดยการคัดเลือกชุดข้อมูลสำหรับสอบทานนั้น ได้จากการแจกแจงความถี่แบบ Weibull (ตาราง ค-3) ซึ่งสามารถแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) ชุดข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง จำนวน 15 ปี ประกอบด้วย ปี พ.ศ. 2517 – 2526 2536 และ 2539 – 2542
- 2) ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสอบทานแบบจำลอง จำนวน 3 ปี โดยต้องเลือกเหตุการณ์ที่ค่าความถี่ 80 50 และ 10% ประกอบด้วย ปี พ.ศ. 2516 (ปีน้ำน้อย) 2537 (ปีน้ำปกติ) และ 2538 (ปีน้ำมาก)
- 3) ชุดข้อมูลที่ใช้ในการรับรองผลแบบจำลอง จำนวน 1 ปี คือ ปี พ.ศ. 2543

4.6.6 การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าและผลลัพธ์สำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน

การคัดเลือกชุดข้อมูลน้ำเข้าแบบจำลองประกอบด้วยตัวแปรหลัก 2 ค่า ส่วนแรกคือข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ณ สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ได้แก่ QSM.1 QS.4B QSM.2 QSM.3 และ QDam. ส่วนที่ 2 คือข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ย่อยต่างๆ ได้แก่ RSM.1 RS.4B RSM.2 RSM.3 และ RDam.

การศึกษาในครั้งนี้ได้แบ่งการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าออกเป็นพื้นที่ย่อยตามสถานีวัดน้ำท่าที่ได้คัดเลือก ดังนั้นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อผลการพยากรณ์ของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ตอนล่าง ต้องใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่เหนือขึ้นไป มาร่วมด้วย โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา (ธนพล 2545) ได้เสนอวิธีการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญในเบื้องต้นในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ไว้ดังนี้

- 1) การคัดเลือกอัตราการไหลน้ำรายวันย้อนหลังที่มีผลต่อค่าการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำรายวันล่วงหน้า โดยใช้กราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation โดยพิจารณาค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation ที่มีค่าสูงและค่าความสัมพันธ์แบบ Partial Autocorrelation ที่มีค่าอยู่นอกขอบเขตความเป็นอิสระของตัวแปรที่ความเชื่อมั่น $\pm 95\%$
- 2) การคัดเลือกปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยย้อนหลังมากที่สุดในแต่ละพื้นที่ย่อย ที่มีผลต่อค่าการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยใช้กราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน – น้ำท่า

3) การคัดเลือกอัตราการใช้ให้น้ำทำรายวันย้อนหลังของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่เหนือสถานีวัดน้ำท่าที่ต้องการพยากรณ์อัตราการใช้ให้น้ำทำรายวันล่วงหน้า โดยกราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation พิจารณาที่ค่าความสัมพันธ์ย้อนหลังมากที่สุด

ผลลัพธ์ของการพยากรณ์ในเบื้องต้น ใช้ค่าอัตราการใช้ให้น้ำทำรายวันในวันที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้าของสถานีวัดน้ำท่าที่ต้องการพยากรณ์

4.6.7 วิธีการพยากรณ์อัตราการใช้ให้น้ำทำรายวันล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน

การศึกษาในครั้งนี้ใช้วิธีการคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน โดยวิธี Standard Step คือการใช้ชุดตัวแปรนำเข้าแบบเคลื่อนไปข้างหน้า เพื่อพยายามรักษาความหมายของชุดตัวแปรนำเข้า ให้อย่างมีความหมายเหมือนกับการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน โดยการนำผลการพยากรณ์ล่วงหน้าที่ผ่านมาเป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้าในวันถัดไป และตัดตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ย้อนหลังอันดับสุดท้ายออก (โดยใช้ข้อมูลอัตราการใช้ให้น้ำทำรายวันย้อนหลังจริงร่วมกับค่าการพยากรณ์ และไม่มีผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยล่วงหน้า) เช่น

$$\text{เมื่อ } FQ_{t+1} = f(Q_{t-1}, Q_t, R_{t-1}, R_t)$$

$$\text{จะได้ } FQ_{t+2} = f(FQ_{t+1}, Q_t, R_t)$$

โดย FQ_{t+1} และ FQ_{t+2} คือค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 และ 2 วัน

4.6.8 การปรับเทียบ สอบทานและรับรองผลแบบจำลอง (Training, Testing and Validation Model)

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม นอกจากมีการแบ่งชุดข้อมูลนำเข้าและการคัดเลือกชุดข้อมูลนำเข้าที่มีนัยสำคัญแล้ว ในการจัดสร้างและปรับเทียบสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการพิจารณา คือค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่เหมาะสม (ค่า α และ η) ต่อระยะเวลาและผลการพยากรณ์ รวมทั้งลักษณะโครงข่ายของแบบจำลอง

1) การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง

การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง ANN ได้ใช้การคัดเลือกและทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับชุดตัวแปรนำเข้า ซึ่งผลของการทดสอบ แสดงในตาราง 4-6 สำหรับผลและขั้นตอนการคัดเลือกจะแสดงในบทถัดไป

ตาราง 4-6 การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง ANN

ค่าพารามิเตอร์	ค่าที่ใช้ในการศึกษา	วิธีการคัดเลือก
1. ฟังก์ชันกระตุ้น	Sigmoid Function	จากการศึกษาที่ผ่านมา
2. อัตราการเรียนรู้ (η)	0.01	Trial and Error
3. โมเมนตัม (α)	0.60 และ 0.95 (เปลี่ยนที่ 5,000 รอบ)	Trial and Error

2) โครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง

จากที่กล่าวมาแล้ว คือโครงข่ายในแบบจำลอง ANN ประกอบด้วย 3 ชั้นหลักๆ คือชั้นนำตัวแปรเข้า ชั้นซ่อนหรือชั้นแอบแฝง และชั้นนำผลลัพธ์ออก โดยชั้นตัวแปรนำเข้านั้นขึ้นอยู่กับผลการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ และชั้นนำผลลัพธ์ออกนั้นขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ ซึ่งในการศึกษานี้คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าเพียงอย่างเดียว ส่วนชั้นแอบแฝงนั้น จากผลการศึกษาที่ผ่านมา (ธนพล 2545) สามารถกำหนดเป็นกรณีต่างๆ ตามชุดตัวแปรนำเข้า ได้ดังนี้

กรณีชุดตัวแปรนำเข้าไม่เกิน 5 ตัว กำหนดให้ใช้ชั้นแอบแฝงเท่ากับ 1 ชั้น และจำนวนหน่วยเท่ากับจำนวนตัวแปรนำเข้า

กรณีชุดตัวแปรนำเข้ามากกว่า 5 ตัว กำหนดให้ใช้ชั้นแอบแฝงเท่ากับ 2 ชั้น และจำนวนหน่วยในแต่ละชั้นเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนตัวแปรนำเข้า

3) การจัดสร้างแบบจำลองและกระบวนการเรียนรู้

ในการจัดสร้างแบบจำลองได้นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีการตรวจสอบและคัดเลือกตามความเหมาะสม จำนวนชั้นแอบแฝง รวมทั้งชุดตัวแปรนำเข้าที่ผ่านการคัดเลือกในเบื้องต้น นำมาจัดสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าของสถานีการวัดน้ำท่าต่างๆ ตามพื้นที่ย่อย

ในส่วนของกระบวนการเรียนรู้ เป็นการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลองที่ได้จากชุดข้อมูลปรับเทียบแบบจำลอง โดยกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้ในการศึกษานี้ คือกระบวนการเรียนรู้แบบคำนวณย้อนกลับ (Back Propagation)

4) ขั้นตอนการสอบทานแบบจำลอง

เป็นการนำเอาลักษณะโครงข่าย ชุดตัวแปรนำเข้าและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองมาทดสอบกับชุดข้อมูลที่เตรียมไว้สำหรับการสอบทานแบบจำลอง เพื่อศึกษาถึงศักยภาพของแบบจำลองว่าสามารถใช้ได้กับเหตุการณ์ที่มีความแตกต่างกันไปได้มากน้อยเพียงใด

5) ขั้นตอนการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง

มีการคำนวณค่าความผิดพลาดและการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการพยากรณ์กับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง โดยค่าที่ใช้ตรวจสอบ ประกอบด้วยค่า RMSE MAD Maximum Absolute Error และประสิทธิภาพแบบจำลอง (EI) รวมทั้งในขั้นตอนการคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองที่เหมาะสม มีการพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (Rate of Improvement) เพื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงแต่ละแบบจำลอง โดยคำนวณจากสมการ 4-2

$$\text{Rate of Improvement, RI (\%)} = \left(\frac{EI_{NEW} (\%) - EI_{OLD} (\%)}{100 - EI_{OLD} (\%)} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

เมื่อ $EI_{NEW} (\%) - EI_{OLD} (\%)$ คือค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของแบบจำลองใหม่ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากแบบจำลองเดิม

$100 - EI_{OLD} (\%)$ คือค่าเปอร์เซ็นต์ปรากฏการณ์ที่เหลือที่แบบจำลองเดิมยังไม่สามารถอธิบายได้

6) การนำแบบจำลองไปใช้งานหรือการรับรองผลแบบจำลอง

เป็นการนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบและสอบทาน การคัดเลือกลักษณะโครงข่ายชุดตัวแปรนำเข้า และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมมาประเมินผล โดยการนำมาประยุกต์ใช้งานกับเหตุการณ์ที่เกิดในสภาพปัจจุบันเพื่อทดสอบแบบจำลอง และเป็นการรับรองผลแต่ละแบบจำลองว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับเหตุการณ์ในปัจจุบัน

4.6.9 การปรับปรุงผลการพยากรณ์ (Residual Adjustment)

การปรับปรุงผลที่ได้จากการพยากรณ์ในเบื้องต้น โดยการนำค่าอนุกรมค่าความผิดพลาด (Residual Series) ที่เกิดจากแบบจำลอง ANN คือผลต่างของค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ANN มาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่าอนุกรมชุดนี้มีความเป็นอิสระกันหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation มาสร้างเป็นกราฟ Correlogram และ Partial Correlogram เพื่อใช้พิจารณาค่าอนุกรมค่าความผิดพลาด

ถ้าอนุกรมค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent Series) แสดงว่าอนุกรมชุดนั้นมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม (Random Series) ซึ่งเป็นตัวชี้ว่าแบบจำลองนั้น ไม่สามารถที่จะปรับปรุงผลการพยากรณ์ได้อีก แต่ถ้าอนุกรมค่าความผิดพลาดไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent Series) หรือพบความสัมพันธ์ภายในที่มีนัยสำคัญ แสดงว่าอนุกรมชุดนั้นมีความเหมาะสมในการนำไป

จัดสร้างแบบจำลองค่าความผิดพลาดล่วงหน้า โดยเลือกใช้แบบจำลองอนุกรมเวลา ประกอบด้วยแบบจำลอง AR MA หรือ ARMA ที่มีความเหมาะสมต่ออนุกรมค่าความผิดพลาดนั้นๆ

เมื่อนำผลการพยากรณ์ล่วงหน้าจากแบบจำลอง ANN มารวมกับผลการพยากรณ์ค่าความผิดพลาดล่วงหน้าจากแบบจำลองอนุกรมเวลา (AR Model) ดังแสดงในสมการ 4-3 จึงทำให้ได้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำขึ้น หรือแบบจำลองมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

$$QF_{(t+L)} = QE_{(t+L)} + \sum_{k=1}^p \phi_k (Q_{(t+L)-k} - QE_{(t+L)-k}) \quad \dots\dots\dots(4-3)$$

- เมื่อ QF_{t+L} คือ ผลการปรับปรุงค่าอัตราการไหลที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า L วัน โดยแบบจำลอง ANN และแบบจำลองอนุกรมเวลา
- $QE_{(t+L)}$ คือ ค่าอัตราการไหลที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า L วัน โดยแบบจำลอง ANN
- $Q_{(t+L)-k}$ คือ ค่าอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัด ที่เวลา L-k
- $QE_{(t+L)-k}$ คือ ค่าอัตราการไหลที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า L-k วัน โดยแบบจำลอง ANN
- ϕ_k คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอนุกรมเวลาแบบ AR ($k = 1, 2, \dots, p$)
- p คือ อันดับของอนุกรมเวลาแบบ AR

ค่า ϕ_k ใช้สมการ 3-8 ในการหาค่า โดยใช้วิธีการแก้สมการ Gauss Seidel ในการหาค่า ϕ_k ที่อันดับของอนุกรมเวลาต่าง ๆ ดังตัวอย่างการหาค่า ϕ_k ของแบบจำลอง AR(5) ในรูป ง-1 และ ง-2

4.6.10 รูปแบบของการพยากรณ์น้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

ในการศึกษานี้ได้พิจารณารูปแบบของการพยากรณ์ เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง โดยการแบ่งการพยากรณ์ออกเป็นพื้นที่ย่อย และระยะเวลาของการพยากรณ์ล่วงหน้าในแต่ละพื้นที่ย่อย ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการรวมตัวของน้ำจนถึงจุดพิจารณา (ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน - น้ำท่า)

การพยากรณ์ในแต่ละพื้นที่ย่อย มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองที่แตกต่างกัน ดังนี้

แบบที่ 1 คือการใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีที่ต้องการพยากรณ์และสถานีที่อยู่เหนือขึ้นไป รวมทั้งปริมาณฝนในพื้นที่ย่อย

แบบที่ 2 คือการใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีที่ต้องการพยากรณ์และสถานีที่อยู่เหนือขึ้นไป

4.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

4.7.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN

ขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์ใช้ผลพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง ANN และแบบจำลองอนุกรมเวลา จากการศึกษาในช่วงต้น มาทดสอบการปล่อยน้ำ โดยการศึกษานี้ได้เปรียบเทียบกรณีของการปล่อยน้ำออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 คือการใช้ผลที่ได้จากการพยากรณ์ร่วมกับการปล่อยน้ำโดยเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน พ.ศ. 2546 โดยขั้นตอนการปล่อยน้ำเมื่อใช้แบบจำลองพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ดังแสดงในรูป 4-15 และแบบจำลองพยากรณ์ล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน ดังแสดงในรูป 4-16

รูปแบบที่ 2 คือการใช้ผลที่ได้จากการพยากรณ์ร่วมกับวิธีการปล่อยน้ำที่ได้พัฒนาขึ้นจากการศึกษาครั้งนี้ โดยขั้นตอนการปล่อยน้ำเมื่อใช้แบบจำลองพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ดังแสดงในรูป 4-17 และแบบจำลองพยากรณ์ล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน ดังแสดงในรูป 4-18

จากรูป 4 -15 ถึงรูป 4 - 18 จะเห็นว่าขั้นตอนของการปล่อยน้ำส่วนใหญ่เหมือนกับขั้นตอนของการปล่อยน้ำโดยไม่ใช้ค่าพยากรณ์ แต่มีข้อแตกต่างกันในส่วนของอัตราการไหลเข้า ได้ใช้อัตราการไหลเข้าจากผลการพยากรณ์ล่วงหน้า และในการศึกษาครั้งนี้วิธีการปล่อยน้ำยอมให้ค่าปริมาณน้ำต่ำสุดในอ่างเก็บน้ำจาก 200 ล้าน ลบ.ม. เป็น 69 ล้าน ลบ.ม. (การศึกษาของอรอนงค์ ควบคุมค่าการเก็บกักสูงสุดที่ 785 ล้าน ลบ.ม. และต่ำสุดที่ 3 ล้าน ลบ.ม.) เนื่องจากมีการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ล่วงหน้า

การนำผลของการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน มาใช้ในการปล่อยน้ำรายวัน โดยการนำค่าพยากรณ์ล่วงหน้า n วัน ที่ได้จากแบบจำลอง แบบเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ทุกช่วงเวลา 1 วัน มาหาค่าเฉลี่ย และสามารถหาค่าอัตราไหลเข้าเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลองพยากรณ์ล่วงหน้า n วัน ได้ดังนี้คือ

$$FC_n = \frac{\sum_{i=1}^n FC_i}{n}$$

เมื่อ FC_n คือ ค่าพยากรณ์อัตราไหลเข้าเฉลี่ย จากผลการพยากรณ์ล่วงหน้า n วัน

FC_i คือ ค่าพยากรณ์ล่วงหน้าวันที่ i

n คือ จำนวนวันที่พยากรณ์ล่วงหน้า (วัน)

4.7.2 การประเมินประสิทธิผลของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปล่อยน้ำ

เกณฑ์การประเมินประสิทธิผลของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปล่อยน้ำได้คำนึงถึงปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้แบบจำลอง ANN มีดังต่อไปนี้

- 1) ผลการลดลงของขนาดน้ำหลากสูงสุด
- 2) เปอร์เซ็นต์ผลต่างของการลดลงของขนาดน้ำหลากสูงสุด
- 3) จำนวนวันที่อัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที
- 4) ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมกรณีปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที
- 5) เปอร์เซ็นต์ผลต่างของปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมกรณีปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที

โดย

$$\text{ผลต่างการลดขนาดยอดน้ำหลากสูงสุด (\%)} = \left(\frac{\text{Release}_{FC} - \text{Release}_{w/o ANN}}{\text{Release}_{w/o ANN}} \right) \times 100$$

เมื่อ Release_{FC} คืออัตราการปล่อยน้ำสูงสุดเมื่อใช้แบบจำลอง ANN

$\text{Release}_{w/o ANN}$ คืออัตราการปล่อยน้ำสูงสุดเมื่อไม่ใช้แบบจำลอง ANN

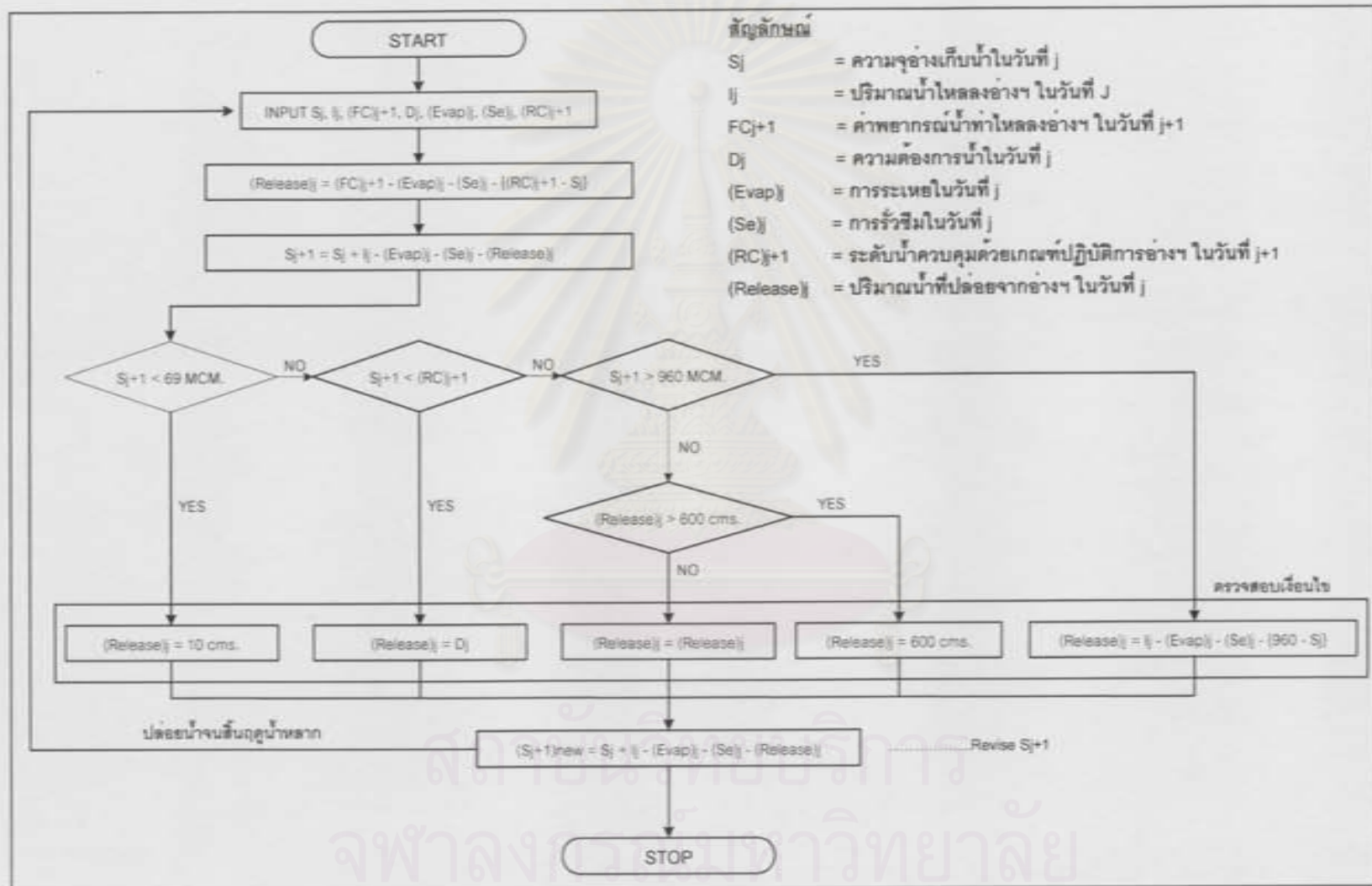
และ

$$\text{ผลต่างปริมาณปล่อยน้ำออกสะสม (\%)} = \left(\frac{\sum \text{Spill}_{FC} - \sum \text{Spill}_{w/o ANN}}{\sum \text{Spill}_{w/o ANN}} \right) \times 100$$

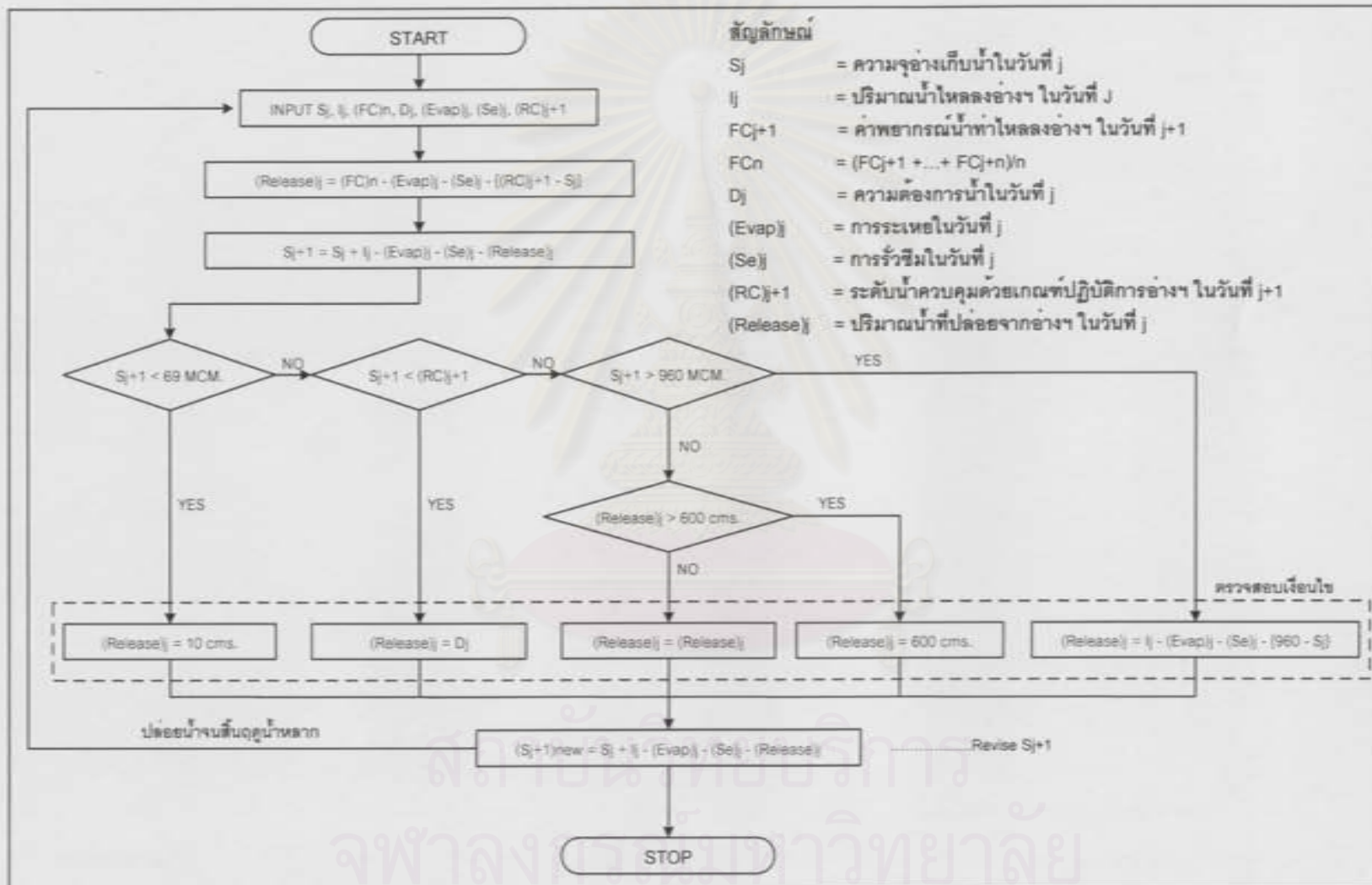
เมื่อ $\sum \text{Spill}_{FC}$ คือ ปริมาณน้ำปล่อยออกที่มีค่ามากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที สะสมเมื่อใช้แบบจำลอง ANN

$\sum \text{Spill}_{w/o ANN}$ คือ ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อไม่ใช้แบบจำลอง ANN

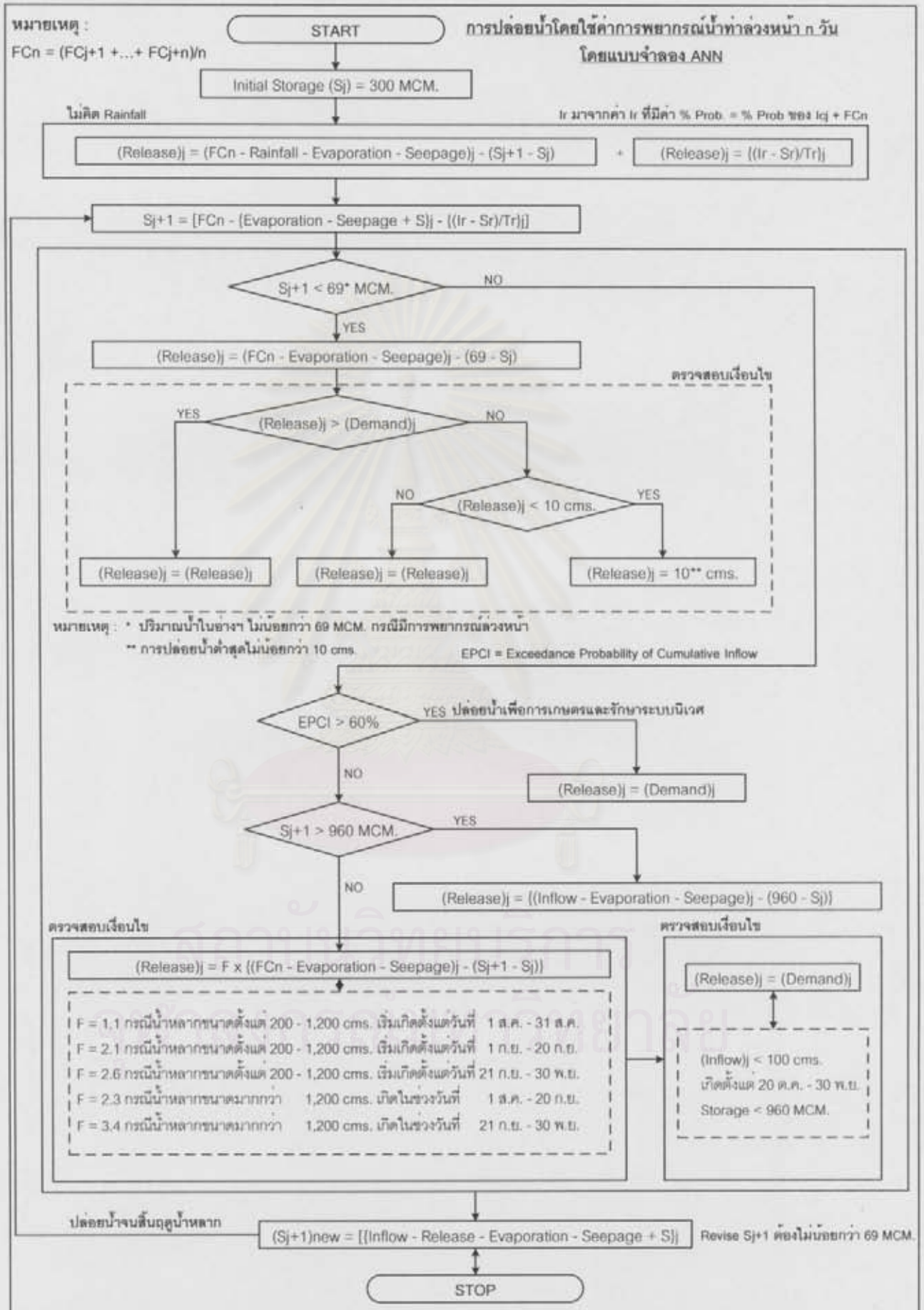
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4-15 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ศ. - พ.ย.) โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ร่วมกับเกณฑ์ปฏิบัติการปล่อยน้ำของกรมชลประทาน



รูป 4-16 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า n วัน ร่วมกับเกณฑ์ปฏิบัติการปล่อยน้ำของกรมชลประทาน



รูป 4-18 ขั้นตอนการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนป่าสักฯ โดยใช้ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า n วัน ในช่วงฤดูน้ำหลาก (ส.ค. - พ.ย.) ร่วมกับค่าสถิติน้ำหลากในอดีต

บทที่ 5

ผลการศึกษา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มุ่งเน้นแนวทางการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก เพื่อบรรเทาปัญหาน้ำท่วมด้านท้ายเขื่อนป่าสัก และสามารถเก็บกักน้ำให้เพียงพอกับการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ของโครงการในช่วงฤดูแล้ง รวมทั้งศึกษาสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูน้ำหลากของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก และการศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ในการรองรับน้ำหลากและการพัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ให้มีความแม่นยำของผลการพยากรณ์มากขึ้น

ผลการศึกษสามารถแยกกล่าวได้เป็น 6 ส่วน หลักๆ ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 คือ การศึกษาสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูน้ำหลาก

ส่วนที่ 2 คือ การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

ส่วนที่ 3 คือ การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ในการรองรับน้ำหลาก

ส่วนที่ 4 คือ การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก

ส่วนที่ 5 คือ การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ล่วงหน้า โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม

ส่วนที่ 6 คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก

5.1 การศึกษาสภาพอุตุ - อุทกวิทยา ที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูน้ำหลาก

5.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน ได้หาเปอร์เซ็นต์การแพร่กระจายของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย ของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา จำนวน 19 สถานี ดังแสดงในตาราง 5-1 พบว่าปริมาณฝนส่วนใหญ่เกิดในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ประมาณร้อยละ 84.3

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนสูงสุด 1 2 และ 3 วัน ของสถานีสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษา จำนวน 19 สถานี โดยการแจกแจงความถี่ด้วยวิธีของ Gumbel เพื่อศึกษาปริมาณฝนสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ 2 5 10 20 50 100 200 และ 1,000 ปี ผลที่ได้ ดังแสดงในตาราง 5-2

จากตาราง 5-2 เมื่อนำเหตุการณ์ที่เกิดสภาพฝนตกหนัก เช่น ในปี พ.ศ. 2545 ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ของสถานีวัดน้ำฝน 379401 (อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์) พบว่าค่าปริมาณฝนสูงสุด 1 วัน คือ 105.0 มม. (19 ส.ค.) มีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 25 ปี ค่าปริมาณฝนสูงสุด 2 วัน คือ 161.0 มม. (19 - 20 ส.ค.)

มีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 50 ปี และค่าปริมาณฝนสูงสุด 3 วัน คือ 220.8 มม. (19 - 21 ส.ค.) มีคาบการเกิดซ้ำประมาณ 90 ปี ซึ่งถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่มีปริมาณฝนตกสูงมาก เป็นเหตุให้เกิดน้ำหลากแบบจับพลังบริเวณหัวน้ำก้อ หัวน้ำซุน และหัวน้ำพุง ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก และทำให้เกิดสภาพน้ำหลากสูงตลอดแม่น้ำป่าสักจนถึงเขื่อนป่าสักฯ

ตาราง 5-1 เปอร์เซนต์การแพร่กระจายของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย ของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ

ลำดับ	รหัสสถานี	เปอร์เซนต์การแพร่กระจายของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย (%)											
		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	18032	9.8	14.3	11.1	13.6	15.2	17.8	7.7	1.5	0.4	0.3	1.9	6.4
2	18042	7.0	16.8	13.0	12.1	14.2	18.7	9.8	1.9	0.5	0.4	1.6	3.9
3	19052	9.5	14.8	9.5	10.0	15.6	21.0	11.0	1.7	0.2	0.4	1.9	4.5
4	19092	7.3	15.1	10.4	10.8	14.8	22.5	9.8	2.9	0.2	0.6	1.6	3.9
5	25541	8.1	12.9	7.0	8.0	12.3	25.8	14.7	3.2	0.3	0.4	2.7	4.7
6	36013	6.3	14.1	13.1	14.3	18.3	19.2	7.7	1.0	0.5	0.5	1.5	3.5
7	36023	6.2	14.2	13.3	13.4	19.0	18.5	6.7	1.8	0.5	0.4	2.5	3.6
8	36043	7.6	14.2	11.2	14.9	16.3	20.1	9.2	1.4	0.3	0.4	1.3	3.1
9	36052	6.1	13.7	14.2	13.5	18.6	18.5	8.5	1.6	0.1	0.4	1.3	3.5
10	36082	9.7	13.8	10.3	12.9	16.3	21.3	8.6	2.2	0.3	0.2	1.0	3.4
11	36092	6.6	13.7	12.5	14.3	19.9	18.9	7.3	1.5	0.3	0.3	1.1	3.7
12	36104	10.5	15.5	12.8	12.5	14.7	18.0	7.1	1.7	0.4	0.5	1.9	4.3
13	36122	6.3	12.6	12.0	15.1	17.7	20.0	8.6	1.9	0.3	0.7	1.6	3.3
14	379001	6.4	14.0	12.4	14.4	20.3	18.4	7.1	1.3	0.3	0.4	1.4	3.6
15	379201	6.4	14.0	13.1	14.3	18.3	19.2	7.6	1.0	0.5	0.5	1.5	3.5
16	379401	6.2	14.1	13.3	13.4	18.9	18.5	6.7	1.7	0.5	0.4	2.6	3.8
17	379402	7.6	14.2	11.3	14.9	16.3	20.1	9.2	1.4	0.3	0.3	1.3	3.0
18	426006	10.2	14.1	9.3	10.0	15.4	21.4	11.6	1.9	0.3	0.4	1.3	4.1
19	426401	8.9	12.6	9.9	10.5	16.3	24.4	11.0	1.3	0.3	0.2	1.4	3.1
	เฉลี่ย	7.7	14.1	11.6	12.8	16.8	20.1	8.9	1.7	0.3	0.4	1.7	3.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5-2 ปริมาณน้ำฝนสูงสุดราย 1 2 และ 3 วัน ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ (ปี) ของสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รหัสสถานี	ปริมาณฝนสูงสุด 1 วัน (มม.)							ปริมาณฝนสูงสุด 2 วัน (มม.)							ปริมาณฝนสูงสุด 3 วัน (มม.)						
		2	5	10	50	200	500	1,000	2	5	10	50	200	500	1,000	2	5	10	50	200	500	1,000
1	18032	77.5	103.5	120.7	158.6	190.6	211.7	227.6	97.2	126.9	146.5	189.8	226.3	250.3	268.5	112.0	142.8	163.2	208.1	246.0	270.9	289.8
2	18042	84.5	119.3	142.3	193.0	235.8	264.0	285.2	106.0	145.3	171.3	228.5	276.8	308.6	332.6	120.2	164.1	193.2	257.1	311.1	346.7	373.6
3	19052	103.6	130.0	147.6	186.2	218.7	240.2	256.4	128.5	158.4	178.3	222.0	258.9	283.2	301.5	144.6	184.4	210.8	269.0	318.0	350.3	374.7
4	19092	74.3	101.7	119.9	159.9	193.7	215.9	232.7	94.4	133.5	159.5	216.5	264.6	296.2	320.2	104.3	143.4	169.3	226.2	274.3	305.9	329.8
5	25541	71.3	89.6	101.8	128.5	151.0	165.9	177.1	91.1	115.7	132.1	168.0	198.3	218.3	233.3	109.7	136.6	154.5	193.7	226.8	248.6	265.1
6	36013	71.5	91.7	105.1	134.6	159.5	175.9	188.2	88.1	119.2	139.7	185.0	223.2	248.4	267.4	104.4	136.0	156.9	203.0	241.9	267.5	286.8
7	36023	69.4	83.1	92.2	112.1	129.0	140.1	148.5	90.1	112.9	128.1	161.3	189.4	207.9	221.8	105.1	136.5	157.4	203.3	242.0	267.5	286.8
8	36043	83.6	108.3	124.7	160.7	191.1	211.1	226.2	108.3	135.8	154.1	194.2	228.0	250.3	267.2	124.3	152.5	171.2	212.2	246.9	269.7	286.9
9	36052	80.4	104.9	121.2	156.9	187.1	206.9	222.0	106.6	153.0	183.7	251.3	308.4	345.9	374.3	120.9	167.1	197.6	264.9	321.7	359.1	387.3
10	36082	85.9	116.4	136.5	180.9	218.4	243.1	261.8	111.3	145.1	167.5	216.7	258.3	285.6	306.3	126.2	165.7	191.8	249.4	297.9	329.9	354.1
11	36092	86.1	114.2	132.8	173.8	208.4	231.2	248.5	109.9	149.7	176.1	234.1	283.0	315.2	339.6	120.8	158.2	182.9	237.4	283.3	313.6	336.5
12	36104	78.6	99.5	113.3	143.7	169.4	186.4	199.2	109.6	135.2	152.2	189.5	221.1	241.8	257.5	129.1	162.0	183.7	231.7	272.2	298.8	319.0
13	36122	89.3	133.1	162.1	225.9	279.7	315.2	342.0	119.4	161.5	189.4	250.9	302.7	336.9	362.7	135.2	178.4	207.0	270.0	323.1	358.1	384.5
14	379001	86.7	119.7	141.6	189.8	230.5	257.2	277.5	109.6	153.2	181.9	245.2	298.5	333.7	360.3	120.6	162.5	190.3	251.5	303.1	337.1	362.8
15	379201	70.6	91.0	104.5	134.3	159.4	175.9	188.4	87.5	119.1	140.0	186.1	225.0	250.6	269.9	103.9	135.4	156.3	202.2	241.0	266.5	285.8
16	379401	68.2	82.9	92.6	114.1	132.2	144.1	153.2	89.8	112.9	128.2	161.9	190.3	209.0	223.1	104.9	136.5	157.4	203.4	242.2	267.8	287.1
17	379402	84.4	108.9	125.1	160.8	191.0	210.8	225.8	108.3	135.8	154.1	194.2	228.0	250.3	267.2	122.7	151.0	169.7	210.9	245.7	268.6	286.0
18	426006	86.0	119.9	142.4	191.7	233.4	260.9	281.6	104.0	147.7	176.6	240.3	294.0	329.4	356.2	121.0	170.0	202.5	274.0	334.4	374.1	404.2
19	426401	84.2	107.3	122.5	156.2	184.6	203.3	217.4	107.1	133.8	151.5	190.4	223.2	244.9	261.2	124.8	159.5	182.5	233.1	275.9	304.0	325.3
เฉลี่ย		80.8	106.6	123.6	161.2	192.8	213.7	229.4	103.5	136.6	158.5	206.6	247.3	274.0	294.3	118.7	154.9	178.9	231.6	276.2	305.5	327.7

5.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า

สภาพน้ำหลากในแม่น้ำป่าสัก ณ บริเวณห้วงงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2545 จำนวน 30 ปี ดังแสดงในตาราง 5-3

ตาราง 5-3 สภาพน้ำหลากในแม่น้ำป่าสัก ณ บริเวณห้วงงานเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก 30 ปี ย้อนหลัง ระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2545

ช่วงเหตุการณ์	จำนวนครั้งการเกิดเมื่อ อัตราการไหลเข้า > 600 ลบ.ม./วินาที	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการไหลเข้าเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)
1 ส.ค. - 10 ส.ค.	0	344.4	83.2
11 ส.ค. - 20 ส.ค.	0	377.9	102.7
21 ส.ค. - 31 ส.ค.	7	689.8	177.9
1 ก.ย. - 10 ก.ย.	9	1,854.2	244.9
11 ก.ย. - 20 ก.ย.	26	1,849.1	425.6
21 ก.ย. - 30 ก.ย.	49	1,246.1	542.0
1 ต.ค. - 10 ต.ค.	34	2,857.7	613.1
11 ต.ค. - 20 ต.ค.	21	980.9	416.3
21 ต.ค. - 31 ต.ค.	0	547.2	241.9
1 พ.ย. - 10 พ.ย.	0	294.1	120.3
11 พ.ย. - 20 พ.ย.	0	262.1	75.8
21 พ.ย. - 30 พ.ย.	0	148.7	48.0

จากตาราง 5-3 เหตุการณ์ที่เกิดอัตราการไหลน้ำท่ารายวันสูงกว่า 600 ลบ.ม./วินาที ของสภาพน้ำหลากในช่วงฤดูน้ำหลาก 30 ปีย้อนหลัง พบว่าเกิดในช่วงวันที่ 21 สิงหาคม ถึง 20 ตุลาคม และอัตราการไหลสูงสุดในช่วงฤดูน้ำหลากมีค่าอยู่ระหว่าง 148.7 - 2,857.2 ลบ.ม./วินาที และอัตราการไหลเฉลี่ยทุกช่วง 10 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 48.0 – 613.1 ลบ.ม./วินาที

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า เพื่อศึกษาถึงโอกาสการเกิดสภาพอัตราการไหลน้ำท่าแบบฉับพลัน (Momentary Peak Flow) สูงสุดรายปี กับคาบการเกิดซ้ำต่างๆ โดยศึกษาสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำป่าสัก คือสถานี SM.1 S.4B SM.2 SM.3 และ S.9 และในลำสนธิ คือสถานี S.14 วิเคราะห์โดยวิธี Plotting Position (วิธีของ Weibull) และโดยวิธี Gumbel และ Log Pearson Type III ซึ่งผลของการศึกษา ดังแสดงในตาราง 5-4 และรูป 5-1 ถึงรูป 5-6

ตาราง 5-4 ปริมาณน้ำหลากสูงสุดและรอบปีการเกิดซ้ำที่สถานีต่างๆ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ โดย
ปริมาณน้ำหลากสูงสุด หน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

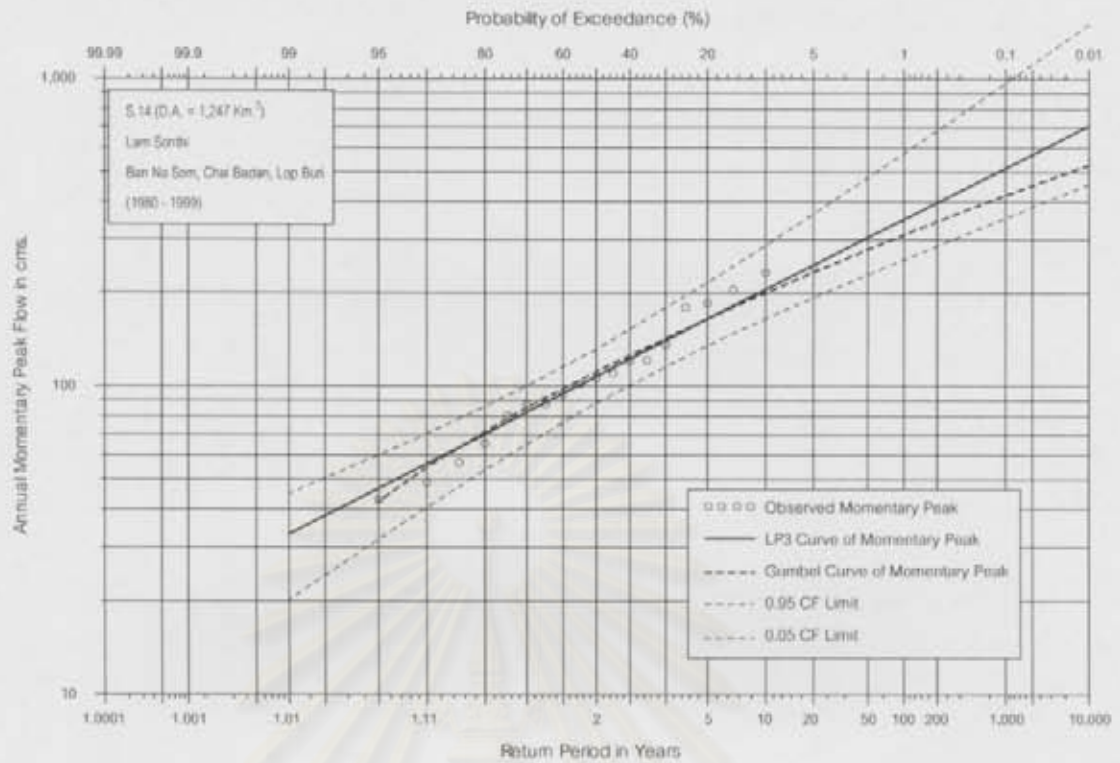
Station:	S.14				SM.1				S.48			
River:	Lam Sonthi				Pasak				Pasak			
Location:	Ban Na Som, Chai Badan, Lop Buri				Lomsak, A. Lomkao, Phetchabun				Phetchabun, Muang, Phetchabun			
D.A. (km. ²):	1,247				1,070				3,500			
Period:	(1980 - 1999)				(1970 - 2000)				(1966 - 2000)			
Return Period (Year)	Gumbel	LP3	CF. Limit		Gumbel	LP3	CF. Limit		Gumbel	LP3	CF. Limit	
			0.95	0.05			0.95	0.05			0.95	0.05
10,000	529	709	457	1,494	342	338	279	452	359	400	312	597
1,000	420	516	354	970	287	288	245	369	299	331	268	465
500	387	463	324	839	270	273	234	345	281	310	254	427
200	344	397	286	682	248	253	220	313	257	283	235	379
100	311	350	258	576	232	237	208	289	239	263	221	343
50	278	305	230	479	215	222	196	265	221	242	206	308
20	234	248	193	364	193	200	180	233	197	214	186	263
10	200	206	165	287	176	182	166	208	178	191	169	229
5	165	165	135	216	158	163	150	182	159	168	150	194
2	111	108	88	132	131	132	122	143	130	130	117	145
1.43	85	83	65	100	118	116	105	125	115	111	98	123
1.25	72	70	54	86	111	107	96	116	108	101	87	113
1.11	55	56	41	70	102	95	84	105	98	88	74	100
1.05	42	47	32	60	96	87	75	97	92	79	64	91
1.01	22	33	20	45	85	73	60	84	80	64	49	76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

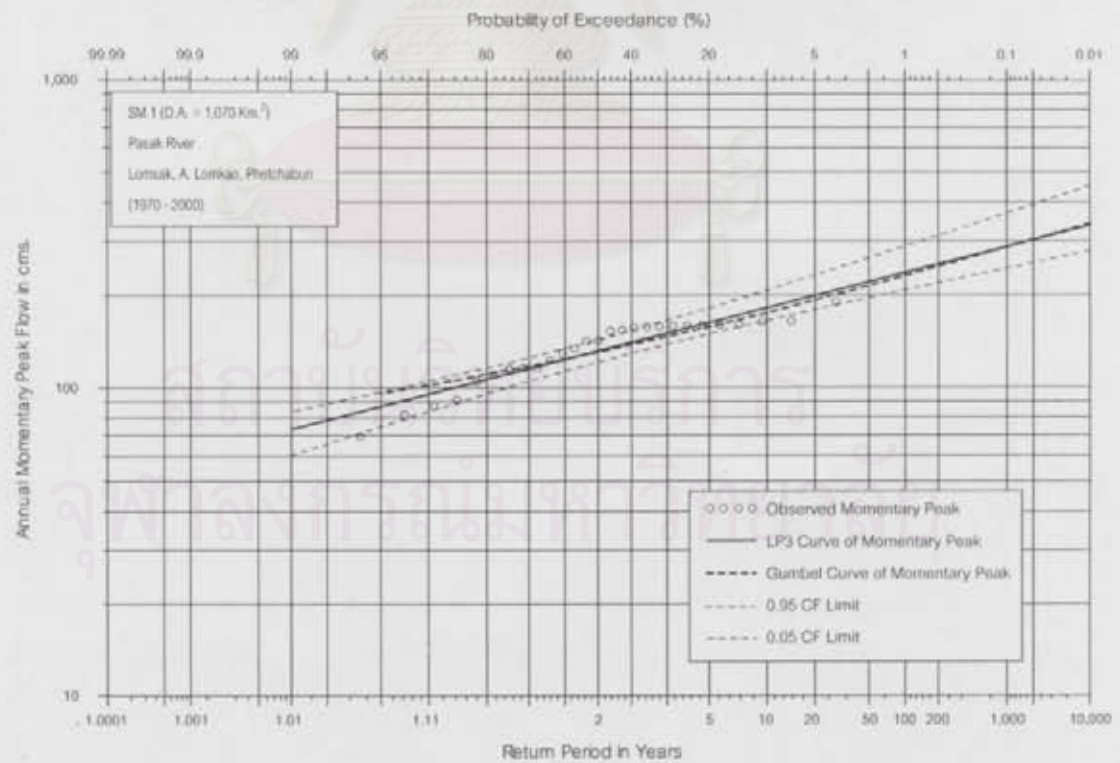
ตาราง 5-4 ปริมาณน้ำหลากสูงสุดและรอบปีการเกิดน้ำที่สถานีต่างๆ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ โดย
ปริมาณน้ำหลากสูงสุด หน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที (ต่อ)

Station:	SM.2				SM.3				S.9			
River:	Pasak				Pasak				Pasak			
Location:	Vichianburi, A. Vichianburi, Phetchabun				Buachum, Chai Badan, Lop Buri				Ban Muang Nua, Kaeng Khoi, Saraburi			
D.A. (km. ²):	6,250				9,500				14,374			
Period:	(1970 - 2000)				(1970 - 1999)				(1973 - 1998)			
Return Period (Year)	Gumbel	LP3	CF. Limit		Gumbel	LP3	CF. Limit		Gumbel	LP3	CF. Limit	
			0.95	0.05			0.95	0.05			0.95	0.05
10,000	552	495	410	665	1,370	1,782	1,276	2,988	4,616	6,243	3,784	13,537
1,000	459	424	360	544	1,103	1,345	1,010	2,086	3,560	4,099	2,667	7,904
500	430	402	345	508	1,023	1,224	933	1,849	3,241	3,556	2,369	6,596
200	393	373	324	462	917	1,069	833	1,557	2,820	2,905	1,999	5,101
100	365	350	307	427	836	956	758	1,352	2,501	2,458	1,736	4,129
50	337	327	290	392	755	846	683	1,160	2,181	2,048	1,486	3,281
20	299	296	266	345	647	705	584	923	1,753	1,558	1,174	2,331
10	270	270	246	308	564	599	506	756	1,423	1,221	949	1,728
5	240	242	222	270	477	492	424	596	1,079	910	726	1,213
2	194	197	181	213	345	338	292	391	559	518	417	644
1.43	172	172	157	187	281	267	226	308	306	365	283	452
1.25	160	159	143	174	248	232	191	270	173	295	221	369
1.11	145	143	125	157	206	191	151	226	-	220	155	283
1.05	135	131	112	145	176	162	124	196	-	172	115	228
1.01	117	110	90	126	126	119	84	151	-	109	65	155

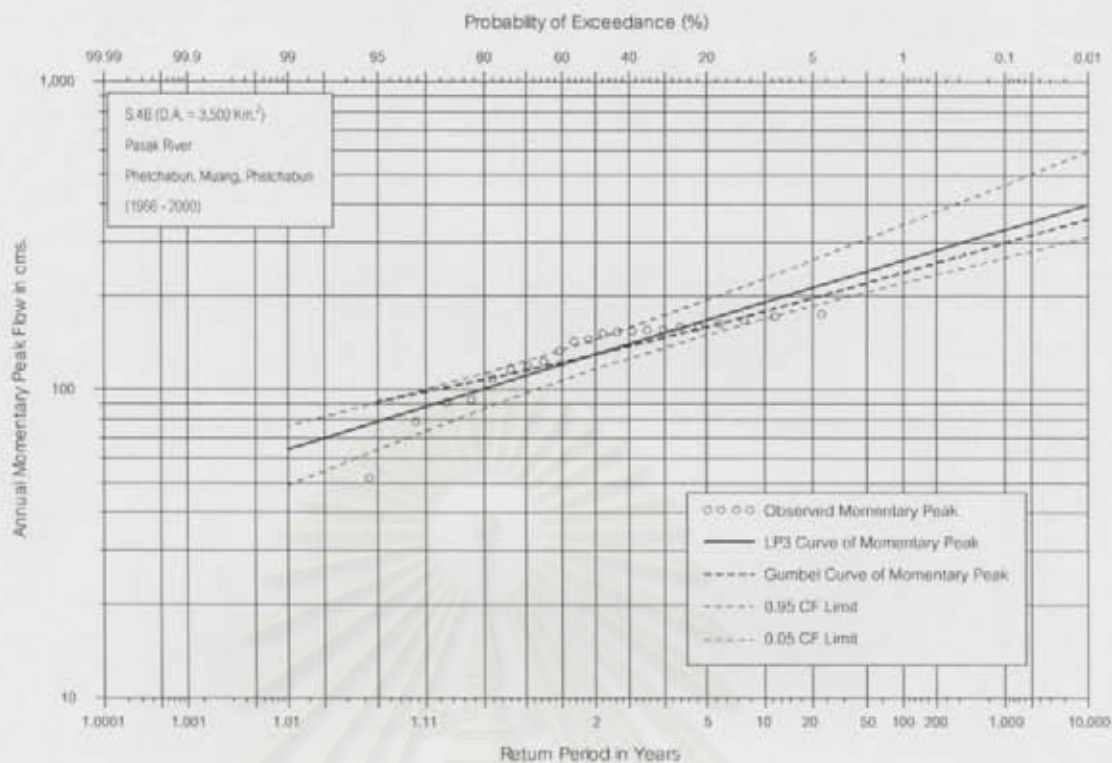
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



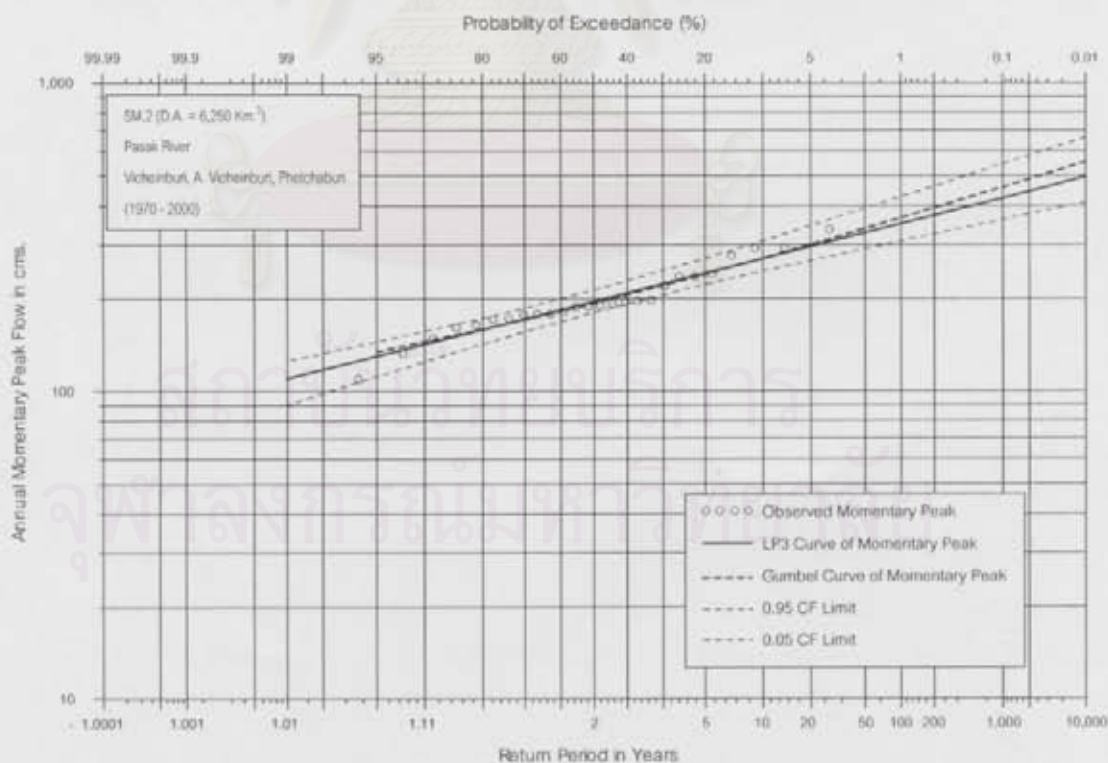
รูป 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า S.14



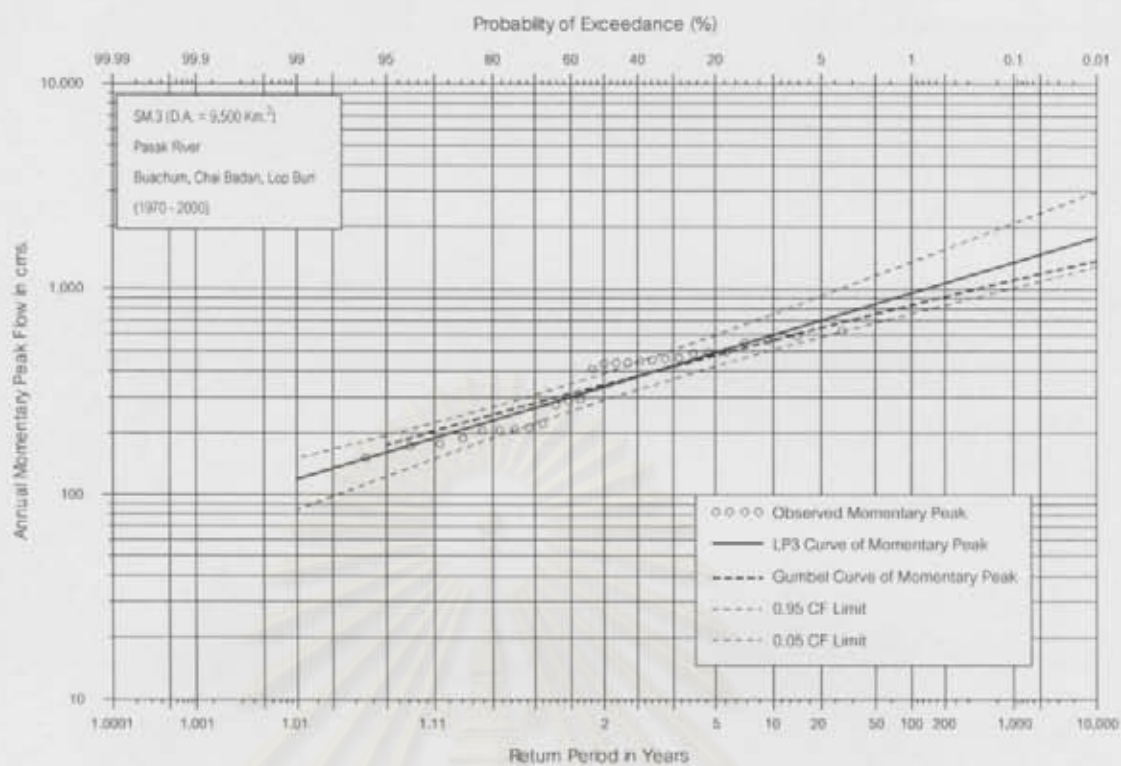
รูป 5-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า SM.1



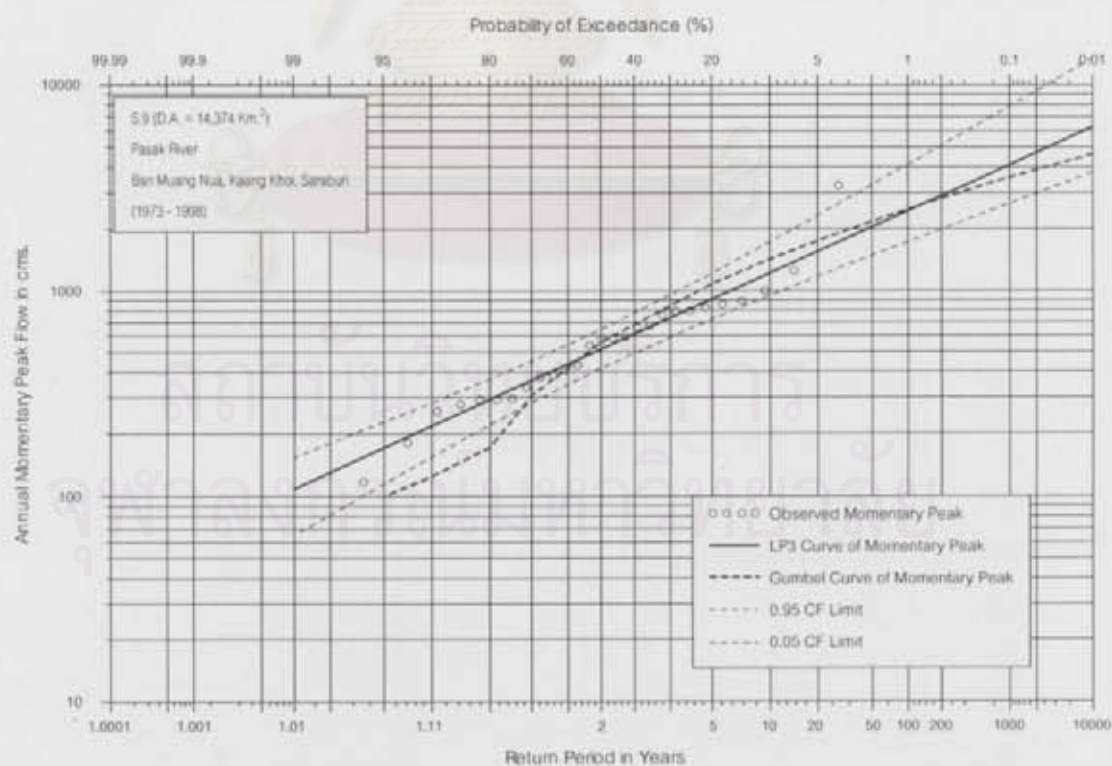
รูป 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า S.4B



รูป 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า SM.2



รูป 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า SM.3



รูป 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดกับคาบการเกิดซ้ำ ของสถานีวัดน้ำท่า S.9

5.2 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลค่าสถิติน้ำหลากในอดีต โดยพิจารณาปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมในช่วงฤดูน้ำหลาก ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ 20% 50% และ 80% และใช้ปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาที่เหลือที่ค่าความถี่เดียวกัน โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ วันที่ 1 สิงหาคม เท่ากับ 300 400 และ 500 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ

การปล่อยน้ำได้ควบคุมค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่น้อยกว่า 200 ล้าน ลบ.ม. และปล่อยน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ รวมทั้งควบคุมค่าการปล่อยน้ำไม่เกินกว่าค่าความสามารถของลำน้ำด้านท้ายน้ำ (600 ลบ.ม./วินาที) ขั้นตอนของการปล่อยน้ำได้ใช้สมการการปล่อยน้ำในช่วงเวลาที่เหลือ โดยการหาอัตราการปล่อยน้ำเฉลี่ยทุกช่วง 10 วัน และใช้สมการสมดุลน้ำ คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ผลการศึกษาที่ได้ คือเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก อยู่ในรูปของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเทียบกับเวลาทั้งหมด 9 เกณฑ์ และจากทั้ง 9 เกณฑ์ ได้มีการปรับเปลี่ยนค่าบางช่วงเพื่อความเหมาะสม เพื่อสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเป็นเกณฑ์เฉลี่ย (RC0400) เกณฑ์สูงสุด (RC0500) และเกณฑ์ต่ำสุด (RC0300) ซึ่งในการปรับเกณฑ์ได้กำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำปกติจาก 785 ล้าน ลบ.ม. เป็น 960 ล้าน ลบ.ม. เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำสำรองในช่วงฤดูแล้ง และต่ำสุดไม่น้อยกว่า 200 ล้าน ลบ.ม. สามารถสรุปผลการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในตาราง 5-5 และผลการปรับเปลี่ยนเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในรูป 5-7

จากเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้ง 3 รูปแบบ ที่พัฒนาขึ้น คือเกณฑ์เฉลี่ย เกณฑ์สูงสุด เกณฑ์ต่ำสุด และเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานอีก 2 รูปแบบ คือ RC2542 และ RC2546 (รูป ก-1) นำมาทดสอบปล่อยน้ำ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละแบบ ถึงความเหมาะสมต่อการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยใช้เหตุการณ์จำนวน 30 ปี ย้อนหลัง ระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 และมีลำดับขั้นตอนของการปล่อยน้ำ ดังแสดงในรูป 4-7

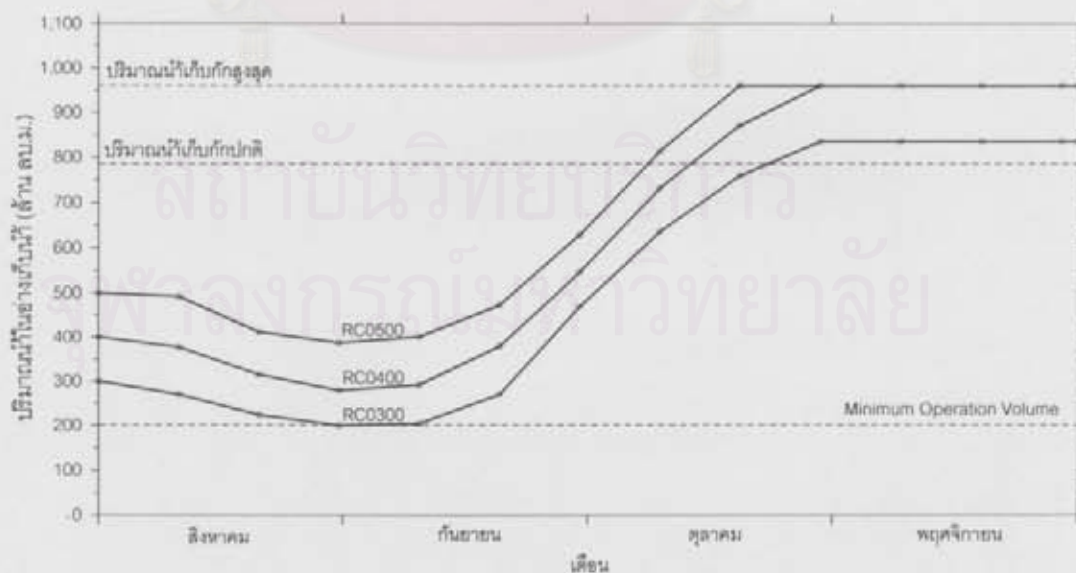
ผลการศึกษาความเหมาะสมของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแต่ละแบบ ของเหตุการณ์ 30 ปี ย้อนหลัง ดังแสดงในตาราง ก-1 ถึงตาราง ก-5 และสามารถสรุปค่าเปรียบเทียบต่างๆ ได้ ดังแสดงในตาราง 5-6 และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเมื่อสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก 30 ปี ย้อนหลัง ของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแต่ละแบบ ดังแสดงในรูป 5-8

จากตาราง 5-6 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300 และ RC2546 เห็นได้ว่าเกณฑ์ RC0300 ให้ค่าการปล่อยน้ำออกสูงสุดเฉลี่ย จำนวนวันปล่อยน้ำออกเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที จำนวนวันปล่อยน้ำออกมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที และปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่ออัตราการปล่อยน้ำออกมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที น้อยกว่าเกณฑ์ RC2546 และเห็นได้ว่าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักปกติจาก 785 ล้าน ลบ.ม. เป็น 960 ล้าน ลบ.ม. ได้

ตาราง 5-5 ผลการสร้างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุด

วันที่	จำนวน วัน (วัน)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สะสม									เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
		80%			50%			20%					
		ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเริ่มต้น (ล้าน ลบ.ม.)											
300	400	500	300	400	500	300	400	500					
31 ก.ค.	0	300.0	400.0	500.0	300.0	400.0	500.0	300.0	400.0	500.0	400.0	500.0	300.0
10 ส.ค.	10	269.4	360.5	451.6	278.9	370.0	461.2	310.1	401.2	492.4	377.3	492.4	269.4
20 ส.ค.	20	247.4	329.7	412.0	223.6	305.9	388.2	226.2	308.5	390.9	314.7	412.0	223.6
30 ส.ค.	30	240.0	313.6	387.2	206.8	280.3	354.0	168.5	242.0	315.7	278.7	387.2	200.0
9 ก.ย.	40	271.0	335.9	401.1	204.5	269.4	334.6	204.1	269.0	334.1	291.5	401.1	204.1
19 ก.ย.	50	359.3	415.8	472.6	269.8	326.2	382.9	339.7	396.1	452.8	379.5	472.6	269.8
29 ก.ย.	60	493.9	542.2	690.8	470.2	518.3	566.8	532.3	580.5	628.9	547.1	628.9	470.2
9 ต.ค.	70	634.8	675.0	715.5	706.7	746.7	787.2	732.6	772.8	813.2	731.6	813.2	634.8
19 ต.ค.	80	758.5	790.8	823.3	845.0	877.1	909.6	911.2	943.5	975.8	870.5	960.0*	758.5
29 ต.ค.	90	832.3	856.8	881.3	963.6	987.9	1,012.4	1,021.9	1,046.2	1,070.7	960.0*	960.0*	835.0*
8 พ.ย.	100	832.7	849.3	866.0	939.4	955.9	972.6	964.2	980.8	997.5	960.0*	960.0*	835.0*
18 พ.ย.	110	830.6	839.6	848.6	892.6	901.5	910.5	833.8	842.8	851.7	960.0*	960.0*	835.0*
28 พ.ย.	120	784.7	786.1	787.5	807.9	809.3	810.7	795.2	796.7	798.1	960.0*	960.0*	835.0*
30 พ.ย.	122	782.9	784.3	784.6	785.0	785.0	785.0	790.8	790.8	790.8	960.0*	960.0*	835.0*

หมายเหตุ * คือค่าที่มีการปรับเนื่องจากค่าควบคุมปริมาณน้ำสูงสุดและเพื่อความเหมาะสม



รูป 5-7 เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุด

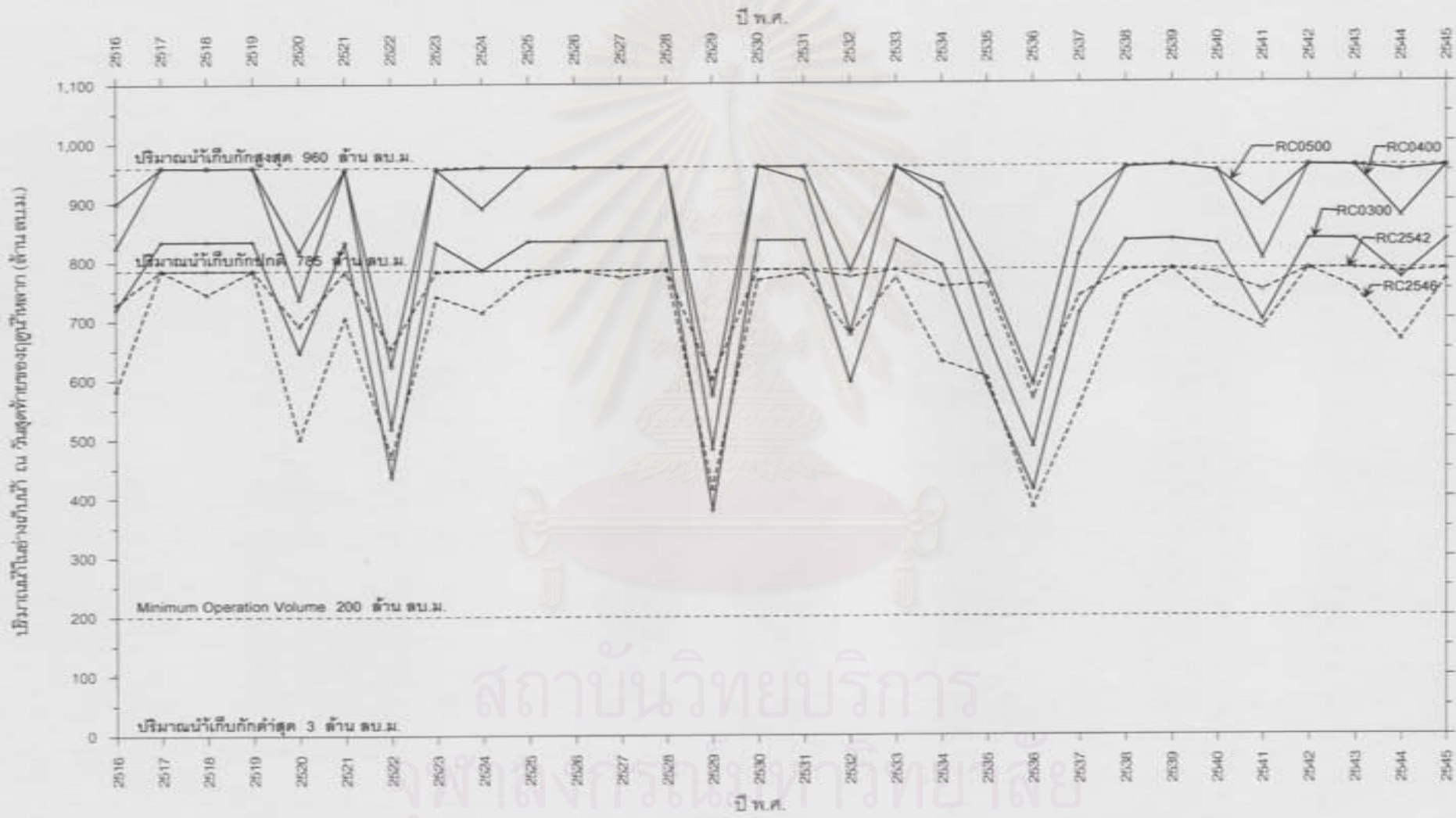
ตาราง 5-6 ผลการทดสอบการปล่อยน้ำ ของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก ระหว่างปี พ.ศ. 2516 -2545

เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ	อัตราการไหลเข้าสูงสุดเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการปล่อยน้ำสูงสุดเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)	เปอร์เซ็นต์ผลต่างยอดน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ย (%)
RC0300	636.8	441.6	28.9*
RC0400	636.8	440.6	28.0*
RC0500	636.8	475.5	22.7
RC2542	636.8	504.9	23.9
RC2546	636.8	453.6	31.3*

หมายเหตุ * คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ผลต่างยอดน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ย ของเกณฑ์ RC0300 และ RC0400 น้อยกว่า RC2546 เนื่องจากในช่วงแรกของเกณฑ์ RC0300 และ RC0400 มีการลดปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำลง และแสดงว่าการปล่อยน้ำในช่วงแรกสูงกว่าอัตราการไหลเข้าสูงสุดของปีเหตุการณ์นั้นๆ ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลต่างมีค่าติดลบ (ตาราง ค-1 ค-2 และ ค-3)

ตาราง 5-6 ผลการทดสอบการปล่อยน้ำ ของเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก ระหว่างปี พ.ศ. 2516 -2545 (ต่อ)

เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ	จำนวนวันปล่อยน้ำออก = 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก > 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่ออัตราการปล่อยน้ำ > 600 ลบ.ม./วินาที (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)
RC0300	94	22	935.11	751.66
RC0400	85	27	1,102.29	864.04
RC0500	76	33	1,288.22	898.10
RC2542	129	33	1,371.17	756.51
RC2546	140	27	974.59	687.68



รูป 5-8 ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ณ วันที่ 30 พฤศจิกายน เมื่อบริหารการปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0500 และ RC2542 เห็นได้ว่าเกณฑ์ RC0500 ให้ค่าการปล่อยน้ำออกสูงสุดเฉลี่ย จำนวนวันปล่อยน้ำออกเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที และปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่ออัตราการปล่อยน้ำออกมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที นั้น น้อยกว่าเกณฑ์ RC2542 และจำนวนวันปล่อยน้ำออกมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าเท่ากัน และเห็นได้ว่าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักปกติจาก 785 ล้าน ลบ.ม. เป็น 960 ล้าน ลบ.ม. ได้

5.3 ผลการศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำในการรองรับน้ำหลาก

เนื่องจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มีขนาดเก็บกักสูงสุดเพื่อรองรับน้ำหลากประมาณ 760 ล้าน ลบ.ม. แต่ปริมาณน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากของปีน้ำมาก มีค่าประมาณ 3,332.3 – 4,078.7 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นประมาณ 4.38 – 5.37 เท่าของขนาดเก็บกักสูงสุด ดังนั้นในปีเหตุการณ์ที่เกิดสภาพน้ำหลากสูง น้ำจะเต็มความจุของอ่างเก็บน้ำในระยะเวลาอันสั้น การศึกษาครั้งนี้ จึงได้จำลองเหตุการณ์น้ำหลาก โดยการสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ (รายละเอียดการสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ แสดงในภาคผนวก ค) ที่คาบการเกิดซ้ำ 2 5 8 10 15 20 50 100 200 500 และ 1,000 ปี และช่วงการเกิดอัตราการไหลสูงสุด ที่มีผลต่อการควบคุมอัตราการปล่อยน้ำ โดยกำหนดให้เกิดในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือเกิดวันที่ 10 ก.ย. 20 ก.ย. 30 ก.ย. 10 ต.ค. และ 20 ต.ค. มาปล่อยน้ำ โดยให้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300 RC0400 RC0500 RC2542 และ RC2546 ซึ่งได้ผลการศึกษา ดังแสดงในตาราง 5-7 ถึงตาราง 5-16 และรูป 5-9 ถึงรูป 5-18

จากตาราง 5-7 ถึงตาราง 5-16 และรูป 5-9 ถึงรูป 5-18 สามารถสรุปผลการปล่อยน้ำตามช่วงเวลาการเกิดอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุด ดังนี้

เมื่อเกิดประมาณวันที่ 10 กันยายน พบว่า จากการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทุกรูปแบบ อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถรองรับอัตราการไหลเข้าน้ำหลากสูงสุด โดยควบคุมอัตราการปล่อยน้ำที่ไม่ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำได้ประมาณ 1,300 ลบ.ม./วินาที แต่มีกรณีการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการปล่อยน้ำ RC2546 RC0300 และ RC0400 สามารถรองรับอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ 1,489 ลบ.ม./วินาที และไม่สามารถลดขนาดอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ถ้ามีขนาดเกิน 2,950 ลบ.ม./วินาที

เมื่อเกิดประมาณวันที่ 20 กันยายน พบว่าความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เหมือนกับกรณีอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดเกิดประมาณวันที่ 10 กันยายน

เมื่อเกิดประมาณวันที่ 30 กันยายน พบว่า จากการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทุกรูปแบบยกเว้น RC0500 อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถรองรับอัตราการไหลเข้าน้ำหลากสูงสุด โดยควบคุมอัตราการปล่อยน้ำที่ไม่ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำได้ประมาณ 1,300 ลบ.ม./วินาที และกรณีการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการปล่อยน้ำ RC0500 สามารถรองรับอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ

1,216 ลบ.ม./วินาที และไม่สามารถลดขนาดอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ถ้ามีขนาดเกิน 2,950 ลบ.ม./วินาที

เมื่อเกิดประมาณวันที่ 10 ตุลาคม พบว่า จากการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทุกรูปแบบยกเว้น RC0400 และ RC0500 อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถรองรับอัตราการไหลเข้าน้ำหลากสูงสุด โดยควบคุมอัตราการปล่อยน้ำที่ไม่ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำได้ประมาณ 1,300 ลบ.ม./วินาที และกรณีการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0400 และ RC0500 สามารถรองรับอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ 1,000 ลบ.ม./วินาที และไม่สามารถลดขนาดอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ถ้ามีขนาดเกิน 2,570 ลบ.ม./วินาที

เมื่อเกิดประมาณวันที่ 20 ตุลาคม พบว่า จากการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทุกรูปแบบยกเว้น RC0400 และ RC0500 อ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถรองรับอัตราการไหลเข้าน้ำหลากสูงสุด โดยควบคุมอัตราการปล่อยน้ำที่ไม่ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำได้ประมาณ 1,000 ลบ.ม./วินาที แต่กรณีการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 สามารถรองรับอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ 1,300 ลบ.ม./วินาที และกรณีการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการปล่อยน้ำ RC0400 และ RC0500 ไม่สามารถควบคุมการเกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำเมื่อขนาดอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ถ้ามีขนาดเกิน 750 ลบ.ม./วินาที และไม่สามารถลดขนาดอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดได้ถ้ามีขนาดเกิน 2,280 ลบ.ม./วินาที

จากผลการปล่อยน้ำพบว่าเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแต่ละแบบในช่วงฤดูน้ำหลาก ถ้าไม่คำนึงถึงช่วงเวลาการเกิด พบว่ามีขีดความสามารถในการควบคุมขนาดน้ำหลากไหลเข้าสูงสุด ได้ดังนี้

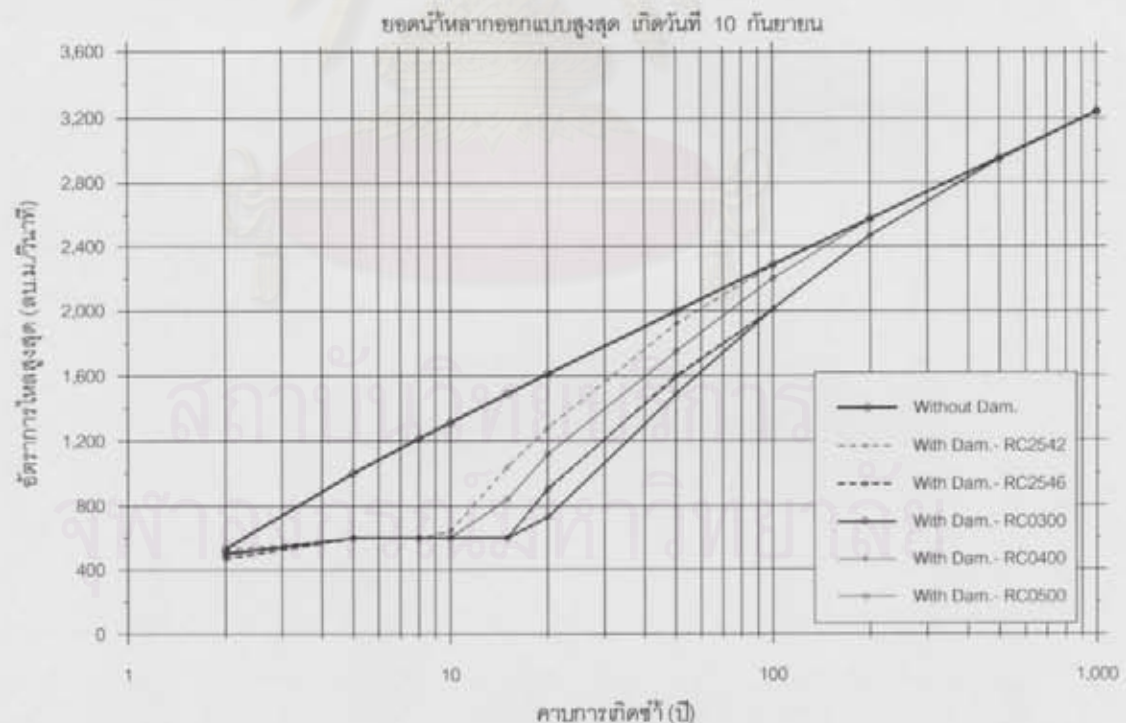
RC2542	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,000 ลบ.ม./วินาที
RC2546	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,200 ลบ.ม./วินาที
RC0300	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,000 ลบ.ม./วินาที
RC0400	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	850 ลบ.ม./วินาที
RC0500	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	750 ลบ.ม./วินาที

แต่ถ้าอัตราการไหลน้ำหลากสูงสุดเกิดก่อนวันที่ 20 ตุลาคม พบว่าเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแต่ละแบบมีขีดความสามารถในการควบคุมขนาดน้ำหลากไหลเข้าสูงสุดเพิ่มขึ้น ได้ดังนี้

RC2542	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,300 ลบ.ม./วินาที
RC2546	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,300 ลบ.ม./วินาที
RC0300	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,300 ลบ.ม./วินาที
RC0400	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,000 ลบ.ม./วินาที
RC0500	สามารถรองรับขนาดน้ำหลากสูงสุดได้ประมาณ	1,000 ลบ.ม./วินาที

ตาราง 5-7 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 กันยายน

คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		RC2542	RC2546	RC0300	RC0400	RC0500
2	534	528	471	505	494	492
5	1,003	600	600	600	600	600
8	1,216	600	600	600	600	600
10	1,314	640	600	600	600	600
15	1,489	1,040	600	600	600	840
20	1,612	1,280	900	730	910	1,120
50	1,997	1,920	1,600	1,490	1,590	1,750
100	2,286	2,280	2,010	2,010	2,010	2,200
200	2,574	2,570	2,470	2,470	2,470	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240

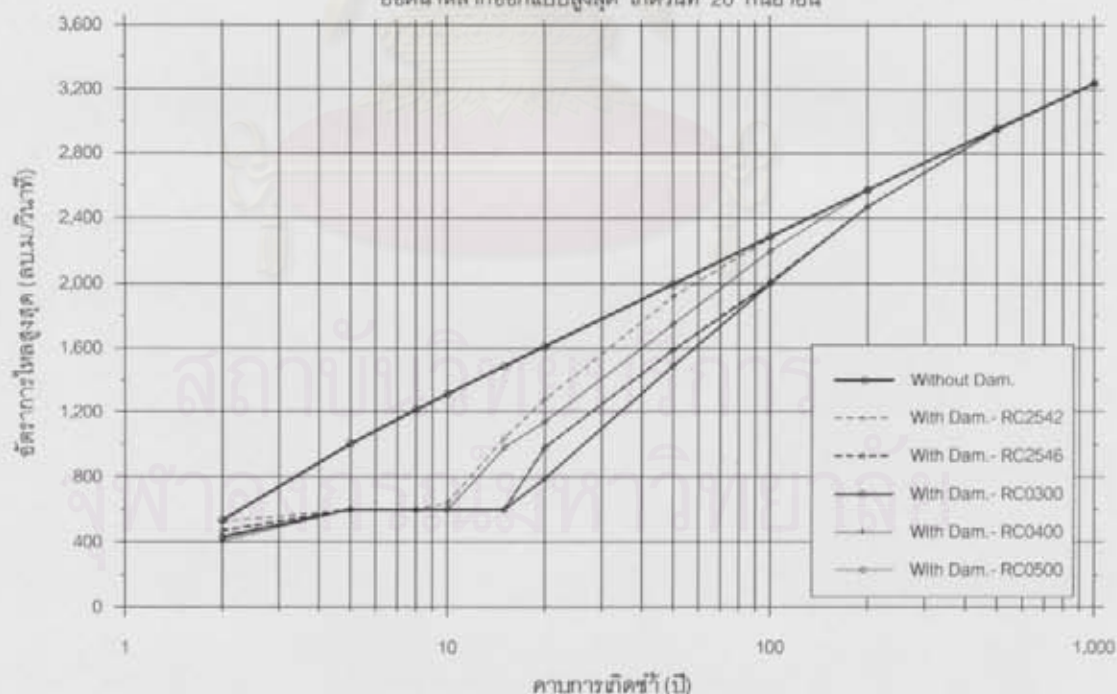


รูป 5-9 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 กันยายน

ตาราง 5-8 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20 กันยายน

คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		RC2542	RC2546	RC0300	RC0400	RC0500
2	534	528	471	433	406	425
5	1,003	600	600	600	600	600
8	1,216	600	600	600	600	600
10	1,314	640	600	600	600	600
15	1,489	1,040	600	600	600	980
20	1,612	1,280	980	790	980	1,140
50	1,997	1,920	1,590	1,490	1,590	1,750
100	2,286	2,280	2,010	2,000	2,000	2,200
200	2,574	2,570	2,470	2,470	2,470	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240

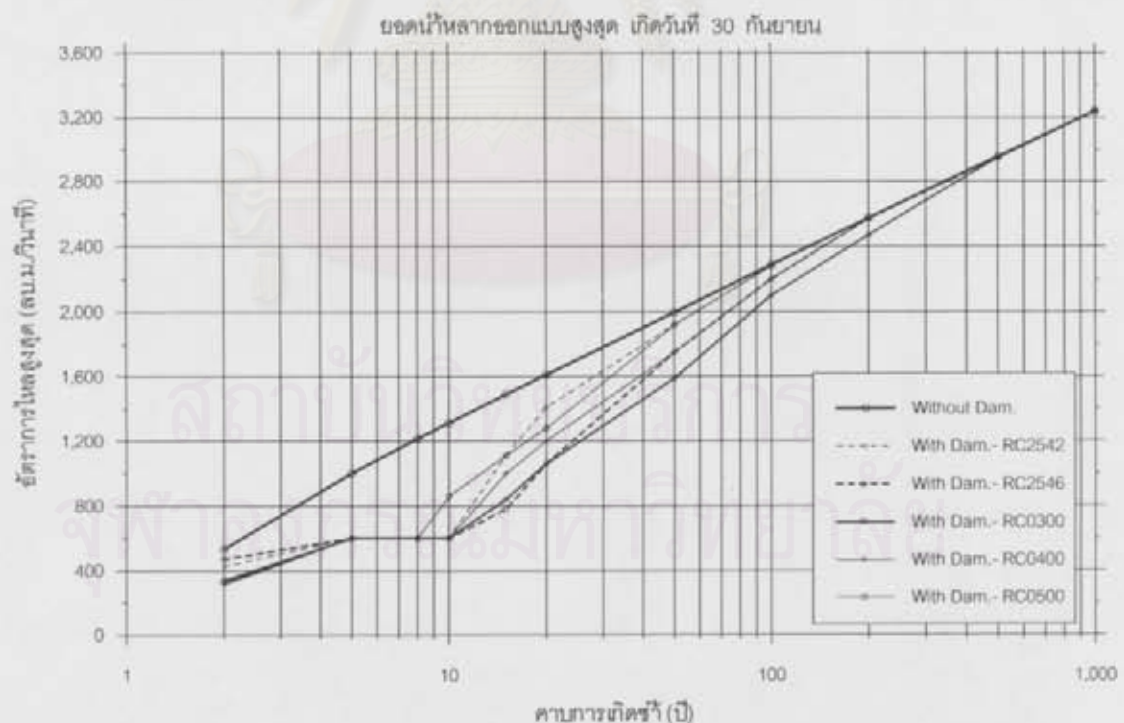
ยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เกิดวันที่ 20 กันยายน



รูป 5-10 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20 กันยายน

ตาราง 5-9 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหล
เข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 30 กันยายน

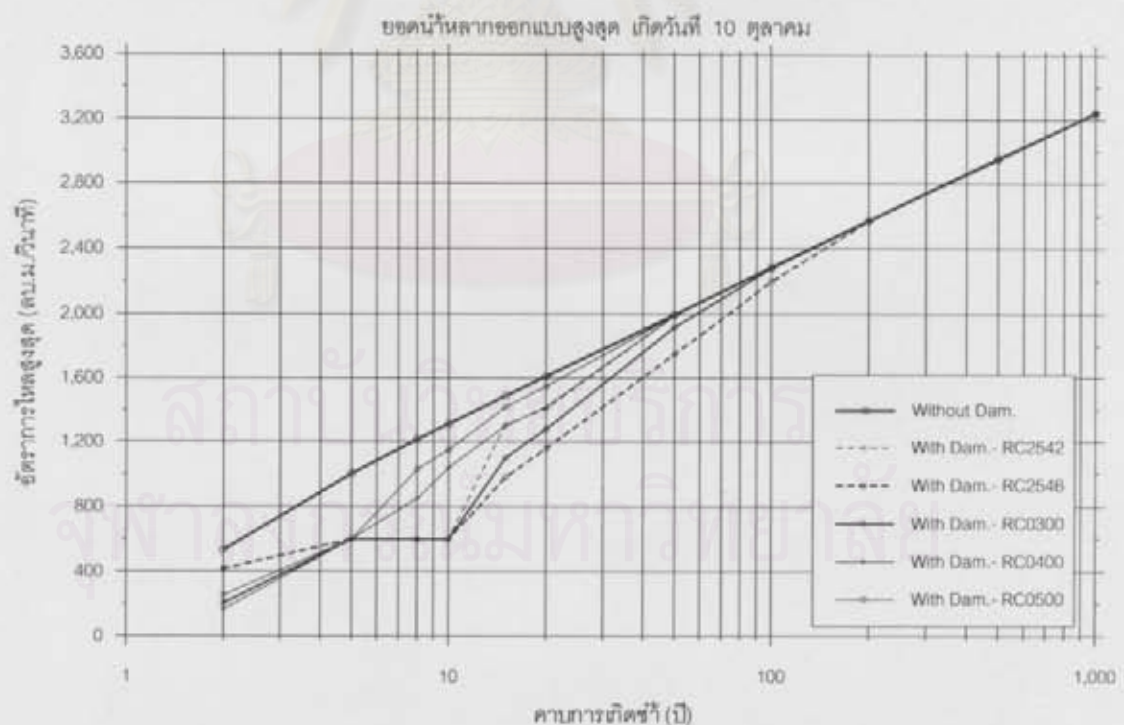
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		RC2542	RC2546	RC0300	RC0400	RC0500
2	534	428	471	338	315	326
5	1,003	600	600	600	600	600
8	1,216	600	600	600	600	600
10	1,314	600	600	600	600	860
15	1,489	1,110	780	840	1,000	1,110
20	1,612	1,410	1,060	1,060	1,200	1,280
50	1,997	1,920	1,750	1,590	1,750	1,920
100	2,286	2,280	2,200	2,100	2,200	2,280
200	2,574	2,570	2,570	2,470	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-11 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้
เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 30
กันยายน

ตาราง 5-10 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 ตุลาคม

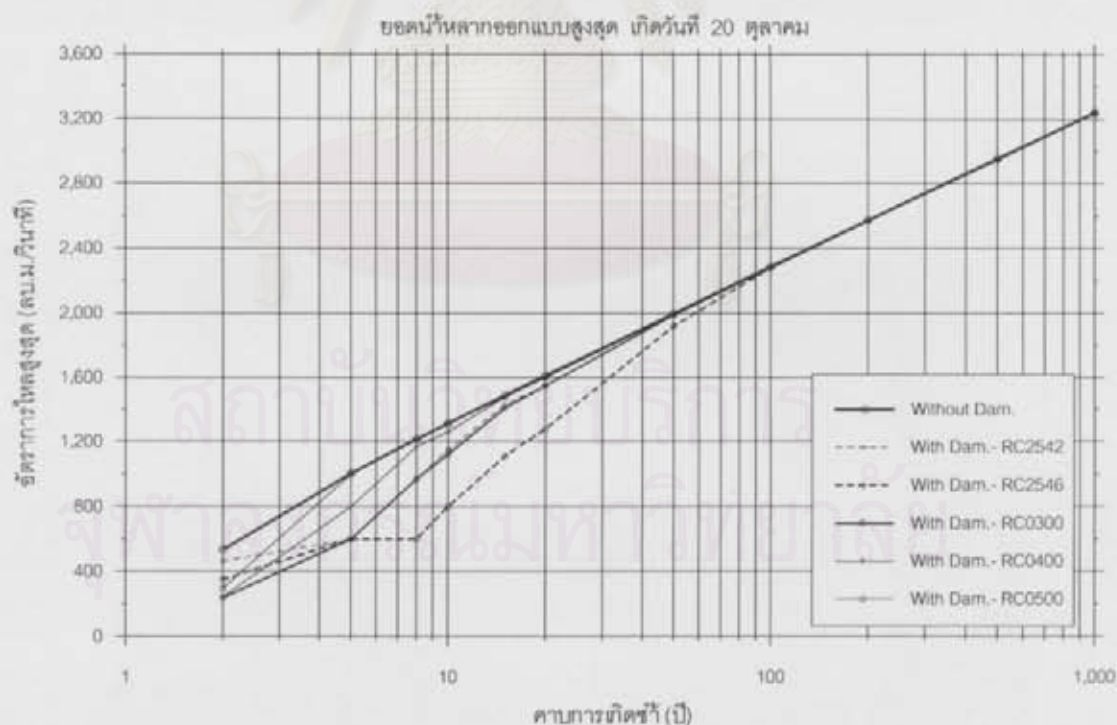
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		RC2542	RC2546	RC0300	RC0400	RC0500
2	534	415	416	202	165	254
5	1,003	600	600	600	600	600
8	1,216	600	600	600	850	1,030
10	1,314	600	600	600	1,040	1,150
15	1,489	1,310	980	1,100	1,300	1,420
20	1,612	1,410	1,160	1,280	1,420	1,550
50	1,997	1,990	1,750	1,920	1,990	1,990
100	2,286	2,280	2,200	2,280	2,280	2,280
200	2,574	2,570	2,570	2,570	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-12 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 10 ตุลาคม

ตาราง 5-11 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่ออัตราการไหล
เข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20 ตุลาคม

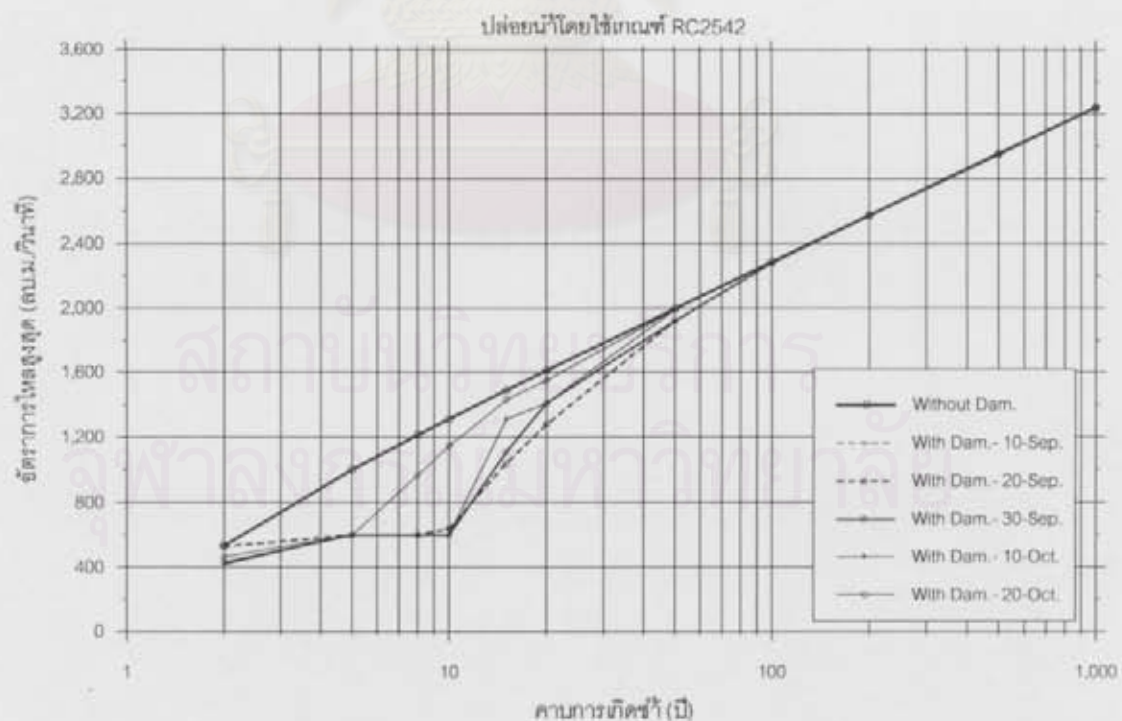
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		RC2542	RC2546	RC0300	RC0400	RC0500
2	534	463	351	236	242	296
5	1,003	600	600	600	800	1,000
8	1,216	970	600	970	1,170	1,210
10	1,314	1,150	800	1,120	1,260	1,310
15	1,489	1,430	1,110	1,410	1,480	1,480
20	1,612	1,550	1,280	1,550	1,600	1,600
50	1,997	1,990	1,920	1,990	1,990	1,990
100	2,286	2,280	2,280	2,280	2,280	2,280
200	2,574	2,570	2,570	2,570	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-13 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้
เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ และอัตราการไหลเข้าสูงสุด เกิดประมาณวันที่ 20
ตุลาคม

ตาราง 5-12 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2542 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

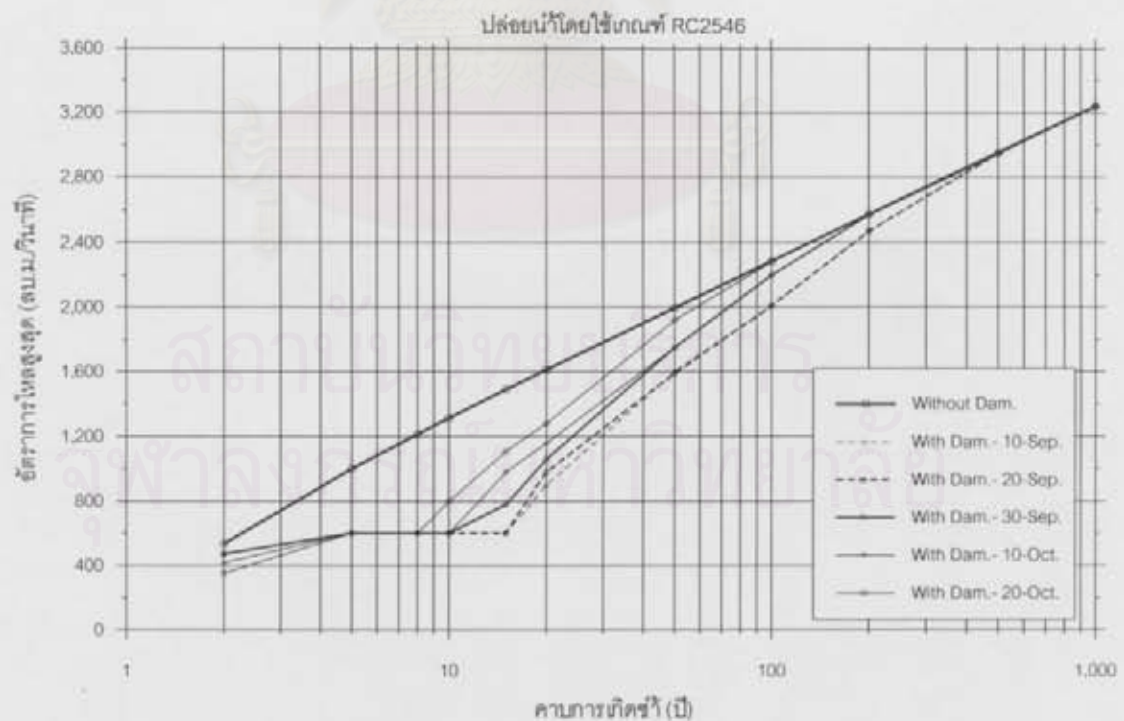
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		10 ก.ย.	20 ก.ย.	30 ก.ย.	10 ต.ค.	20 ต.ค.
2	534	528	528	428	415	463
5	1,003	600	600	600	600	600
8	1,216	600	600	600	600	970
10	1,314	640	640	600	600	1,150
15	1,489	1,040	1,040	1,110	1,310	1,430
20	1,612	1,280	1,280	1,410	1,410	1,550
50	1,997	1,920	1,920	1,920	1,990	1,990
100	2,286	2,280	2,280	2,280	2,280	2,280
200	2,574	2,570	2,570	2,570	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-14 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2542 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ตาราง 5-13 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

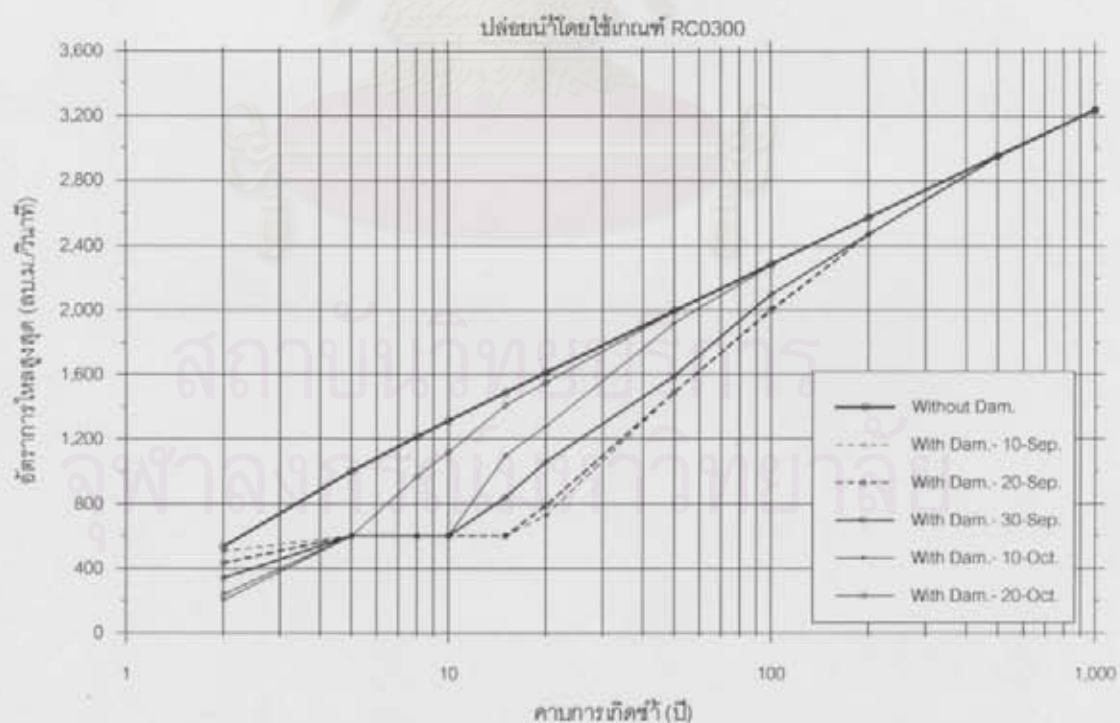
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		10 ก.ย.	20 ก.ย.	30 ก.ย.	10 ต.ค.	20 ต.ค.
2	534	471	471	471	416	351
5	1,003	600	600	600	600	600
8	1,216	600	600	600	600	600
10	1,314	600	600	600	600	800
15	1,489	600	600	780	980	1,110
20	1,612	900	980	1,060	1,160	1,280
50	1,997	1,600	1,590	1,750	1,750	1,920
100	2,286	2,010	2,010	2,200	2,200	2,280
200	2,574	2,470	2,470	2,570	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-15 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ตาราง 5-14 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

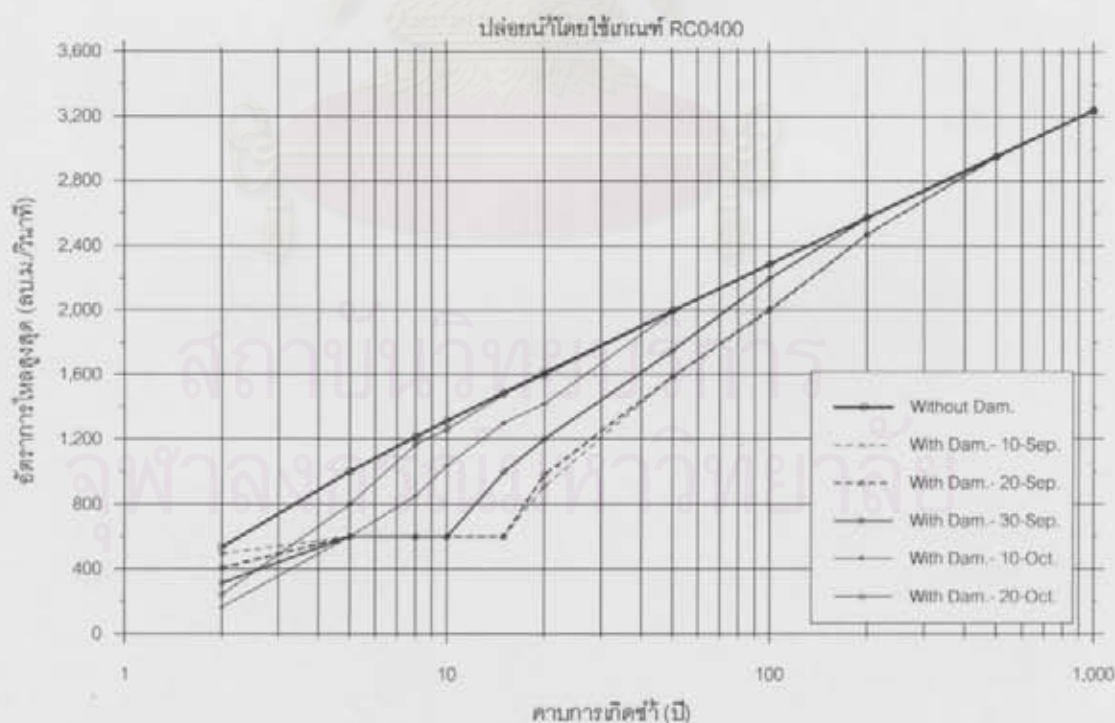
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		10 ก.ย.	20 ก.ย.	30 ก.ย.	10 ต.ค.	20 ต.ค.
2	534	505	433	338	202	236
5	1,003	600	600	600	600	600
8	1,216	600	600	600	600	970
10	1,314	600	600	600	600	1,120
15	1,489	600	600	840	1,100	1,410
20	1,612	730	790	1,060	1,280	1,550
50	1,997	1,490	1,490	1,590	1,920	1,990
100	2,286	2,010	2,000	2,100	2,280	2,280
200	2,574	2,470	2,470	2,470	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-16 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ตาราง 5-15 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0400 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

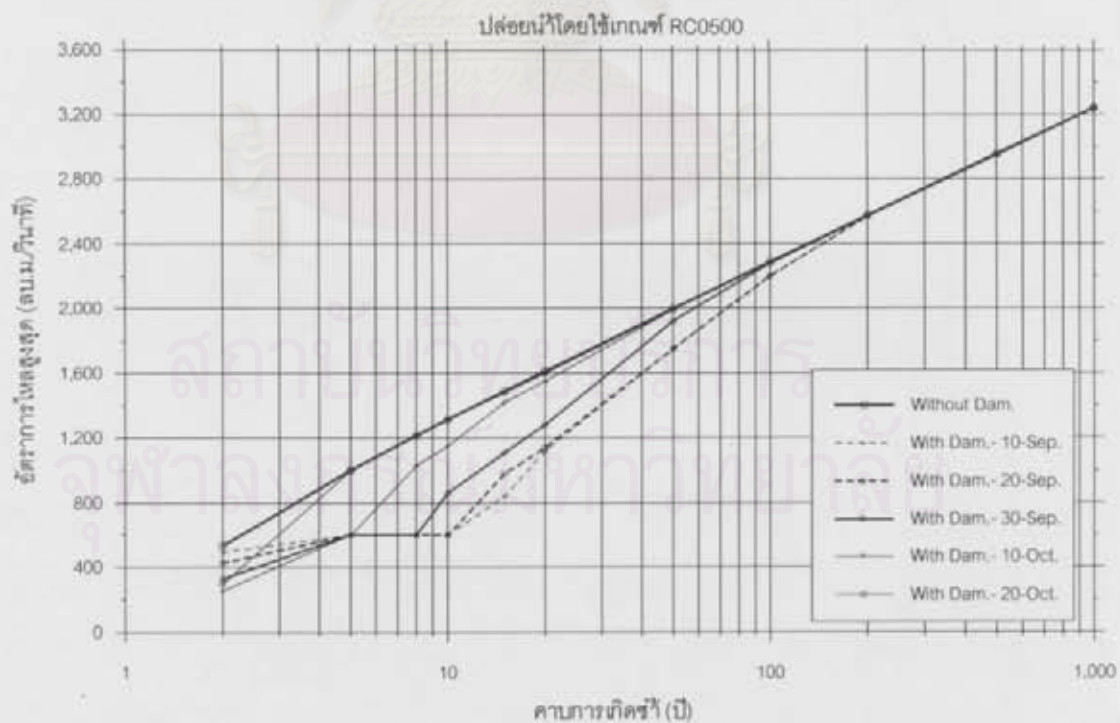
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		10 ก.ย.	20 ก.ย.	30 ก.ย.	10 ต.ค.	20 ต.ค.
2	534	494	406	315	165	242
5	1,003	600	600	600	600	800
8	1,216	600	600	600	850	1,170
10	1,314	600	600	600	1,040	1,260
15	1,489	600	600	1,000	1,300	1,480
20	1,612	910	980	1,200	1,420	1,600
50	1,997	1,590	1,590	1,750	1,990	1,990
100	2,286	2,010	2,000	2,200	2,280	2,280
200	2,574	2,470	2,470	2,570	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-17 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0400 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

ตาราง 5-16 ผลของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0500 และยอดน้ำหลากสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลเข้าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)				
		10 ก.ย.	20 ก.ย.	30 ก.ย.	10 ต.ค.	20 ต.ค.
2	534	492	425	326	254	298
5	1,003	600	600	600	600	1,000
8	1,216	600	600	600	1,030	1,210
10	1,314	600	600	860	1,150	1,310
15	1,489	840	980	1,110	1,420	1,480
20	1,612	1,120	1,140	1,280	1,550	1,600
50	1,997	1,750	1,750	1,920	1,990	1,990
100	2,286	2,200	2,200	2,280	2,280	2,280
200	2,574	2,570	2,570	2,570	2,570	2,570
500	2,954	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
1,000	3,241	3,240	3,240	3,240	3,240	3,240



รูป 5-18 ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ต่อการลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด เมื่อใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0500 และอัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

5.4 ผลการพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เพื่อศึกษาถึงวิธีการปล่อยน้ำที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับสภาพน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ หรืออีกนัยหนึ่ง คือวิธีการปล่อยน้ำสามารถใช้ครอบคลุมลักษณะของการเกิดเหตุการณ์ได้ทุกรูปแบบ โดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลาก ทั้งในกรณีปีน้ำมาก ปีน้ำปกติ และปีน้ำน้อย ซึ่งการแบ่งกรณีเหตุการณ์ได้มีการวิเคราะห์ โดยการแจกแจงความถี่แบบ Weibull และใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดและข้อมูลปริมาณน้ำท่าสะสม มาแบ่งช่วงเหตุการณ์ปีน้ำ ซึ่งผลการแบ่งช่วงเหตุการณ์ในเบื้องต้น ดังแสดงในตาราง ข-1 และตาราง ข-2

จากตาราง ข-1 และตาราง ข-2 เห็นว่าได้มีการแบ่งช่วงเหตุการณ์ออกเป็น 5 ช่วง ตามสภาพน้ำหลาก คือกรณี

น้อยกว่า (ค่าเฉลี่ย - ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	สภาพน้ำหลากคือ ต่ำมาก
น้อยกว่า (ค่าเฉลี่ย - ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหารสอง)	สภาพน้ำหลากคือ ต่ำ
อยู่ในช่วง (ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหารสอง)	สภาพน้ำหลากคือ ปกติ
มากกว่า (ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหารสอง)	สภาพน้ำหลากคือ สูง
มากกว่า (ค่าเฉลี่ย + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	สภาพน้ำหลากคือ สูงมาก

โดยจากการแบ่งช่วงเหตุการณ์น้ำหลากดังกล่าว ได้แบ่งปีเหตุการณ์น้ำหลากออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

- กรณีปีน้ำมาก คือ ค่าช่วงเหตุการณ์อยู่ระหว่างสูงถึงสูงมาก
- กรณีปีน้ำปกติ คือ ค่าช่วงเหตุการณ์อยู่ระหว่างต่ำถึงสูง
- กรณีปีน้ำน้อย คือ ค่าช่วงเหตุการณ์อยู่ระหว่างต่ำมากถึงต่ำ

ซึ่งผลการแบ่งปีเหตุการณ์ต่างๆ ตามสภาพน้ำหลากระหว่างปีพ.ศ. 2516 - 2545 ดังแสดงในตาราง 5-17

ผลการศึกษาได้เปรียบเทียบค่าการลดขนาดน้ำหลากสูงสุด และการลดปริมาณน้ำล้นตลิ่งหรือลดระดับความรุนแรงของน้ำท่วมด้านท้ายน้ำ จากขั้นตอนการปล่อยน้ำโดยใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต (รูป 4-10) ได้มีการทดสอบการปล่อยน้ำของเหตุการณ์ต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 โดยตัวอย่างการหาอัตราการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากตามขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างการหาอัตราการปล่อยน้ำของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538 ในตาราง 5-18 และสามารถสรุปผลการปล่อยน้ำของเหตุการณ์ 30 ปีย้อนหลัง ดังแสดงในตาราง 5-19

จากตาราง 5-19 พบว่าผลการปล่อยน้ำของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก 30 ปีย้อนหลัง ตามวิธีการปล่อยน้ำของกรณีศึกษา ซึ่งมีค่าอัตราการไหลเข้าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 636.8 ลบ.ม./วินาที ทำให้

ค่าการปล่อยน้ำออกสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 332.8 ลบ.ม./วินาที และค่าเปอร์เซ็นต์การลดยอดน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 47.2 %

ตาราง 5-17 ผลการแบ่งเหตุการณ์ปีน้ำมาก ปีน้ำปกติ และปีน้ำน้อย

ปี พ.ศ.	อัตราการไหลสูงสุด ณ ที่ตั้งเขื่อนป่าสัก (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำท่าสะสมช่วงฤดูน้ำหลาก ณ ที่ตั้งเขื่อนป่าสัก (ล้าน ลบ.ม.)	ปีเหตุการณ์น้ำหลาก
2516	261.6	852.7	ปีน้ำน้อย
2517	333.1	966.9	ปีน้ำน้อย
2522	256.7	574.0	ปีน้ำน้อย
2529	155.5	699.5	ปีน้ำน้อย
2532	148.7	788.1	ปีน้ำน้อย
2535	262.2	952.6	ปีน้ำน้อย
2536	211.1	484.5	ปีน้ำน้อย
2541	228.3	973.8	ปีน้ำน้อย
2518	591.9	2,467.2	ปีน้ำปกติ
2519	480.4	2,274.9	ปีน้ำปกติ
2520	527.6	1,075.8	ปีน้ำปกติ
2523	789.3	2,197.1	ปีน้ำปกติ
2524	292.5	1,681.3	ปีน้ำปกติ
2525	708.8	2,339.3	ปีน้ำปกติ
2526	758.9	2,105.4	ปีน้ำปกติ
2527	513.0	1,990.0	ปีน้ำปกติ
2528	702.1	2,672.8	ปีน้ำปกติ
2530	887.5	2,478.2	ปีน้ำปกติ
2531	373.8	1,042.3	ปีน้ำปกติ
2533	651.1	1,481.2	ปีน้ำปกติ
2534	586.5	2,312.7	ปีน้ำปกติ
2537	521.0	1,920.3	ปีน้ำปกติ
2539	736.7	2,300.7	ปีน้ำปกติ
2540	364.9	1,409.1	ปีน้ำปกติ
2542	512.0	2,074.6	ปีน้ำปกติ
2544	310.6	1,413.9	ปีน้ำปกติ
2521	2,857.7	4,078.7	ปีน้ำมาก
2538	1,110.1	3,348.0	ปีน้ำมาก
2543	1,116.2	3,449.4	ปีน้ำมาก
2545	1,854.2	3,332.3	ปีน้ำมาก

ตาราง 5-18 การบริหารจัดการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538

Date	Residual Time (day)	Inflow (mcm.)	Cumulative Inflow (mcm.)	% EPCI	Inflow (cms.)	Demand (cms.)	Loss		Residual Inflow (mcm.)	Residual Storage (mcm.)	S ₁₁ (mcm.)	Release (cms.)	Minimum Release (cms.)	Storage (mcm.)	Water Level (m.MSL)	Area (sq.km.)	Evap (mm/day)
							Evap (cms.)	Seepage (cms.)									
-	122.0	-	0.0	90.0	-	-	-	-	967.0	485.0	-	-	-	300.0	38.12	97.32	3.0
1-Aug	121.0	12.7	12.7	8.0	147.3	29.1	3.4	1.0	3,325.2	476.6	308.4	45.7	45.7	308.4	38.19	98.52	3.0
2-Aug	120.0	13.8	26.5	7.0	159.4	29.1	3.4	1.0	3,324.2	486.8	298.2	272.5	272.5	298.2	38.10	97.06	3.0
3-Aug	119.0	14.4	40.9	7.0	166.5	29.1	3.4	0.9	3,315.5	496.4	288.6	273.7	273.7	288.6	38.01	95.69	3.0
4-Aug	118.0	14.7	55.6	5.0	170.1	29.1	3.3	0.9	3,337.6	505.7	279.3	274.2	274.2	279.3	37.90	93.67	3.0
5-Aug	117.0	15.3	70.8	5.0	176.8	29.1	3.3	0.9	3,333.7	514.8	270.2	277.8	277.8	270.2	37.78	91.58	3.0
6-Aug	116.0	15.4	86.2	4.0	178.3	29.1	3.2	0.8	3,349.3	523.9	261.1	278.9	278.9	261.1	37.66	89.50	3.0
7-Aug	115.0	15.7	101.9	4.0	181.3	29.1	3.1	0.8	3,343.4	532.9	252.1	281.9	281.9	252.1	37.55	87.41	3.0
8-Aug	114.0	15.5	117.4	4.0	179.0	29.1	3.0	0.8	3,340.8	542.2	242.8	282.9	282.9	242.8	37.43	85.27	3.0
9-Aug	113.0	14.4	131.8	5.0	166.5	29.1	3.0	0.8	3,319.6	552.7	232.3	284.1	284.1	232.3	37.29	82.85	3.0
10-Aug	112.0	14.4	146.2	5.0	167.2	29.1	2.9	0.7	3,316.5	563.0	222.0	283.4	283.4	222.0	37.16	80.47	3.0
11-Aug	111.0	15.1	161.3	5.0	174.4	29.1	2.8	0.7	3,313.3	572.9	212.1	284.5	284.5	212.1	37.03	78.21	3.0
12-Aug	110.0	15.4	176.7	5.0	178.3	29.1	2.7	0.7	3,310.5	582.4	202.6	285.8	285.8	202.6	36.90	76.00	3.0
13-Aug	109.0	17.4	194.1	5.0	201.6	29.1	2.6	0.6	3,307.9	585.0	194.9	227.9	227.9	200.0	36.87	75.41	3.0
14-Aug	108.0	20.3	214.4	5.0	235.3	29.1	2.6	0.6	3,305.2	585.0	195.1	232.1	232.1	200.0	36.87	75.41	3.0
15-Aug	107.0	21.9	236.3	5.0	253.1	29.1	2.6	0.6	3,298.6	585.0	196.4	249.9	249.9	200.0	36.87	75.41	3.0
16-Aug	106.0	23.3	259.6	5.0	269.2	29.1	2.6	0.6	3,285.0	585.0	197.6	265.9	265.9	200.0	36.87	75.41	3.0
17-Aug	105.0	24.9	284.4	5.0	287.9	29.1	2.6	0.6	3,279.8	585.0	199.1	284.7	284.7	200.0	36.87	75.41	3.0
18-Aug	104.0	26.0	310.5	5.0	301.3	29.1	2.6	0.6	3,274.5	584.9	200.1	297.0	297.0	200.1	36.87	75.43	3.0
19-Aug	103.0	29.3	339.8	5.0	339.4	29.1	2.6	0.6	3,264.6	581.7	203.3	299.3	299.3	203.3	36.91	76.16	3.0
20-Aug	102.0	32.7	372.4	5.0	377.9	29.1	2.6	0.6	3,253.9	575.4	209.6	301.5	301.5	209.6	36.89	77.62	3.0
21-Aug	101.0	35.7	408.2	4.0	413.2	29.1	2.7	0.7	3,288.7	588.9	218.7	303.9	334.3	216.1	37.08	79.12	3.0
22-Aug	100.0	38.1	446.3	4.0	441.0	29.1	2.7	0.7	3,264.2	560.5	227.2	309.4	340.3	224.5	37.19	81.06	3.0
23-Aug	99.0	39.7	485.9	4.0	459.2	29.1	2.8	0.7	3,260.1	550.8	236.9	312.9	344.2	234.2	37.31	83.26	3.0
24-Aug	98.0	41.4	527.3	1.0	478.8	29.1	2.9	0.7	3,555.7	539.9	247.8	316.7	348.4	245.1	37.46	85.80	3.0
25-Aug	97.0	42.3	569.6	2.0	489.3	29.1	3.0	0.8	3,485.1	531.8	256.3	356.2	391.8	253.2	37.56	87.67	3.0
26-Aug	96.0	44.8	614.4	2.0	518.2	29.1	3.0	0.8	3,445.3	520.8	267.4	350.0	385.0	264.4	37.71	90.25	3.0
27-Aug	95.0	44.0	658.3	1.0	509.0	29.1	3.1	0.8	3,480.3	510.8	277.5	352.6	387.9	274.5	37.84	92.58	3.0
28-Aug	94.0	43.1	701.4	2.0	498.5	29.1	3.2	0.9	3,399.4	502.2	286.0	361.8	398.0	282.8	37.95	94.50	3.0
29-Aug	93.0	42.6	744.0	2.0	492.7	29.1	3.3	0.9	3,374.3	493.9	294.2	356.7	392.4	291.1	38.04	96.05	3.0
30-Aug	92.0	42.2	786.1	1.0	488.1	29.1	3.3	0.9	3,385.4	486.1	302.0	358.5	394.3	298.9	38.11	97.16	3.0
31-Aug	91.0	41.7	827.8	1.0	482.3	29.1	3.4	0.9	3,353.2	479.5	308.7	364.7	401.2	305.5	38.17	98.10	3.0
1-Sep	90.0	41.5	869.3	2.0	480.0	18.9	3.4	1.0	3,298.4	473.1	315.0	365.5	402.1	311.9	38.22	99.01	2.7
2-Sep	89.0	41.0	910.3	2.0	474.2	18.9	3.1	1.0	3,274.2	467.0	321.1	363.3	399.7	318.0	38.28	99.88	2.7
3-Sep	88.0	40.2	950.5	2.0	465.6	18.9	3.1	1.0	3,251.1	461.9	326.3	365.1	401.6	323.1	38.33	100.62	2.7
4-Sep	87.0	40.8	991.3	4.0	472.1	18.9	3.1	1.0	3,146.5	456.3	331.9	366.9	403.5	328.7	38.38	101.41	2.7
5-Sep	86.0	41.2	1,032.4	4.0	476.5	18.9	3.2	1.0	3,129.7	449.5	338.6	357.9	393.7	335.5	38.44	102.36	2.7
6-Sep	85.0	38.9	1,071.4	4.0	450.7	18.9	3.2	1.1	3,108.0	445.2	342.9	360.7	396.8	339.8	38.48	103.09	2.7
7-Sep	84.0	36.9	1,108.3	4.0	427.1	18.9	3.2	1.1	3,077.5	443.2	345.0	362.6	398.8	341.8	38.49	103.29	2.7
8-Sep	83.0	34.9	1,143.2	4.0	403.6	18.9	3.2	1.1	3,041.5	443.2	345.0	363.0	399.3	341.8	38.49	103.29	2.7
9-Sep	82.0	33.1	1,176.3	4.0	383.3	18.9	3.2	1.1	2,988.6	444.8	343.3	362.3	398.6	340.2	38.48	103.05	2.7
10-Sep	81.0	31.9	1,208.2	4.0	369.4	18.9	3.2	1.1	2,896.8	447.4	340.7	359.0	394.9	337.6	38.46	102.68	2.7
11-Sep	80.0	32.0	1,240.2	4.0	370.4	18.9	3.2	1.1	2,861.1	449.1	339.0	350.0	385.0	335.9	38.44	102.45	2.7
12-Sep	79.0	33.2	1,273.4	4.0	384.3	18.9	3.2	1.1	2,839.0	449.4	338.6	349.0	383.9	335.6	38.44	102.40	2.7
13-Sep	78.0	35.3	1,308.7	4.0	408.9	18.9	3.2	1.1	2,816.5	447.7	340.3	350.1	385.1	337.3	38.45	102.65	2.7
14-Sep	77.0	38.5	1,347.2	4.0	445.3	18.9	3.2	1.1	2,793.6	443.0	345.0	351.5	386.6	342.0	38.50	103.32	2.7
15-Sep	76.0	42.3	1,389.5	4.0	489.3	18.9	3.2	1.1	2,770.8	434.7	353.4	353.3	388.7	350.3	38.57	104.51	2.7
16-Sep	75.0	50.7	1,440.2	4.0	586.6	18.9	3.3	1.1	2,747.4	418.2	369.9	355.8	391.4	366.8	38.72	106.86	2.7
17-Sep	74.0	54.5	1,494.7	4.0	630.7	18.9	3.3	1.2	2,723.0	398.2	389.9	359.4	395.4	386.8	38.90	109.71	2.7
18-Sep	73.0	54.9	1,549.6	5.0	635.7	18.9	3.4	1.2	2,436.6	378.3	409.9	363.6	400.0	406.7	39.08	112.56	2.7
19-Sep	72.0	57.7	1,607.3	5.0	668.2	18.9	3.5	1.3	2,408.4	352.0	435.8	326.4	359.0	433.0	39.32	116.32	2.7
20-Sep	71.0	71.2	1,678.5	5.0	823.6	18.9	3.6	1.4	2,378.1	312.7	475.2	330.6	363.6	472.3	39.67	121.93	2.7
21-Sep	70.0	86.2	1,764.6	4.0	897.4	18.9	3.8	1.5	2,815.5	258.9	529.0	336.7	370.4	526.1	40.12	128.50	2.7
22-Sep	69.0	93.9	1,858.5	4.0	1,086.4	18.9	4.0	1.7	2,585.1	202.8	585.8	389.6	428.6	582.4	40.53	132.91	2.7
23-Sep	68.0	95.9	1,954.4	4.0	1,110.1	18.9	4.2	1.8	2,583.8	145.2	643.3	399.6	439.6	639.8	40.86	137.41	2.7
24-Sep	67.0	92.8	2,047.3	4.0	1,074.5	18.9	4.3	2.0	2,517.6	91.9	696.7	410.0	451.0	693.1	41.34	141.59	2.7
25-Sep	66.0	85.9	2,133.2	4.0	994.7	18.9	4.4	2.2	2,473.7	46.3	742.3	419.0	460.9	738.7	41.67	145.16	2.7
26-Sep	65.0	79.4	2,212.6	4.0	918.5	18.9	4.5	2.3	2,428.0	8.0	780.7	425.7	468.3	777.0	41.95	148.16	2.7
27-Sep	64.0	74.9	2,287.4	4.0	866.4	18.9	4.6	2.5	2,381.1	-26.3	814.0	430.9	474.0	810.3	42.15	152.02	2.7
28-Sep	63.0	68.8	2,356.3	4.0	796.9	18.9	4.8	2.6	2,332.1	-62.1	840.9	435.2	478.7	837.1	42.31	155.42	2.7
29-Sep	62.0	62.6	2,418.9	4.0	724.7	18.9	4.9	2.7	2,275.4	-72.5	861.3	438.0	481.8	857.5	42.43	157.99	2.7
30-Sep	61.0	56.9	2,475.7	4.0	658.2	18.9	4.9	2.7	2,200.5	-87.0	875.8	438.3	482.1	872.0	42.52	159.83	2.7

ตาราง 5-18 การหาอัตราการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538 (ต่อ)

Date	Residual Time (day)	Inflow (mcm.)	Cumulative Inflow (mcm.)	% EPCI	Inflow (cms.)	Demand (cms.)	Loss		Residual Inflow (mcm.)	Residual Storage (mcm.)	S _{p1} (mcm.)	Release (cms.)	Minimum Release (cms.)	Storage (mcm.)	Water Level (m MSL.)	Area (sq km.)	Evap (mm/day)
							Evap (cms.)	Seepage (cms.)									
1-Oct	60.0	52.6	2,528.3	4.0	608.6	26.8	5.0	2.8	2,095.5	-97.7	886.4	434.0	477.4	862.7	42.58	161.18	2.8
2-Oct	59.0	46.8	2,577.1	4.0	564.6	26.8	5.2	2.8	1,958.7	-105.6	894.2	423.1	465.4	890.6	42.62	162.18	2.8
3-Oct	58.0	44.9	2,622.0	4.0	519.4	26.8	5.3	2.8	1,813.3	-111.3	899.8	405.0	445.5	896.3	42.66	162.90	2.8
4-Oct	57.0	40.7	2,662.7	4.0	471.0	26.8	5.3	2.8	1,687.0	-114.7	903.1	384.0	422.5	899.7	42.68	163.34	2.8
5-Oct	56.0	37.6	2,700.3	4.0	435.7	26.8	5.3	2.9	1,637.4	-116.9	905.1	365.9	402.4	901.9	42.69	163.62	2.8
6-Oct	55.0	35.1	2,735.4	5.0	405.7	26.8	5.3	2.9	1,551.6	-116.8	904.9	362.6	398.8	901.8	42.69	163.61	2.8
7-Oct	54.0	32.2	2,767.6	5.0	372.6	26.8	5.3	2.9	1,514.1	-114.9	903.0	351.1	386.2	899.9	42.68	163.37	2.8
8-Oct	53.0	29.3	2,796.9	5.0	339.4	26.8	5.3	2.9	1,472.6	-110.4	898.4	349.2	384.1	895.4	42.65	162.70	2.8
9-Oct	52.0	26.8	2,823.7	5.0	310.5	26.8	5.3	2.8	1,411.3	-103.6	891.6	345.7	380.3	888.8	42.61	161.94	2.8
10-Oct	51.0	24.3	2,848.1	5.0	281.7	26.8	5.2	2.8	1,348.9	-95.7	883.1	337.2	370.9	880.2	42.56	160.67	2.8
11-Oct	50.0	22.9	2,870.9	5.0	264.7	26.8	5.2	2.8	1,284.4	-86.3	874.1	327.7	360.5	871.3	42.51	159.74	2.8
12-Oct	49.0	20.2	2,891.1	5.0	233.5	26.8	5.2	2.8	1,219.4	-75.0	863.3	317.3	349.0	860.8	42.45	158.39	2.8
13-Oct	48.0	17.9	2,909.1	5.0	207.7	26.8	5.1	2.7	1,153.3	-63.8	851.4	305.9	336.5	848.8	42.38	156.89	2.8
14-Oct	47.0	16.9	2,926.0	5.0	195.7	26.8	5.1	2.7	1,089.0	-54.7	839.7	293.5	293.5	839.7	42.33	155.74	2.8
15-Oct	46.0	16.1	2,942.0	7.0	186.1	26.8	5.0	2.7	989.9	-45.8	830.8	281.6	281.6	830.8	42.27	154.61	2.8
16-Oct	45.0	16.4	2,958.4	7.0	169.3	26.8	5.0	2.6	940.2	-36.9	823.9	260.6	260.6	823.9	42.23	153.75	2.8
17-Oct	44.0	16.5	2,976.9	7.0	213.9	26.8	5.0	2.6	896.5	-35.0	820.0	251.8	251.8	820.0	42.21	153.25	2.8
18-Oct	43.0	21.6	2,996.5	7.0	250.5	26.8	5.0	2.6	853.9	-34.8	819.8	245.0	245.0	819.8	42.21	153.22	2.8
19-Oct	42.0	22.9	3,021.5	7.0	265.6	26.8	5.0	2.6	813.7	-36.4	821.4	239.2	239.2	821.4	42.22	153.43	2.8
20-Oct	41.0	23.2	3,044.7	7.0	268.3	26.8	5.0	2.6	772.5	-36.7	823.7	234.3	234.3	823.7	42.23	153.72	2.8
21-Oct	40.0	23.0	3,067.7	5.0	266.5	26.8	5.0	2.6	806.9	-41.3	826.3	229.0	229.0	826.3	42.25	154.05	2.8
22-Oct	39.0	21.9	3,089.6	5.0	253.1	26.8	5.0	2.6	776.1	-41.3	826.3	246.0	246.0	826.3	42.25	154.04	2.8
23-Oct	38.0	20.3	3,109.9	5.0	235.3	26.8	5.0	2.6	741.2	-40.0	825.0	242.6	242.6	825.0	42.24	153.88	2.8
24-Oct	37.0	18.7	3,128.6	5.0	216.8	26.8	5.0	2.6	690.5	-37.5	822.5	237.9	237.9	822.5	42.22	153.56	2.8
25-Oct	36.0	17.1	3,145.7	5.0	197.3	26.8	5.0	2.6	641.6	-34.2	819.2	227.7	227.7	819.2	42.20	153.15	2.8
26-Oct	35.0	15.3	3,161.0	5.0	177.5	26.8	5.0	2.6	594.8	-30.1	815.1	217.3	217.3	815.1	42.18	152.63	2.8
27-Oct	34.0	14.3	3,175.3	5.0	165.1	26.8	4.9	2.6	549.5	-25.9	810.9	206.6	206.6	810.9	42.16	152.09	2.8
28-Oct	33.0	13.4	3,188.7	5.0	155.1	26.8	4.9	2.6	506.8	-21.7	806.7	195.9	195.9	806.7	42.13	151.56	2.8
29-Oct	32.0	12.8	3,201.4	5.0	148.0	26.8	4.9	2.6	472.7	-17.8	802.8	185.3	185.3	802.8	42.11	151.07	2.8
30-Oct	31.0	12.4	3,213.8	5.0	143.7	26.8	4.9	2.5	441.8	-14.3	799.3	177.4	177.4	799.3	42.09	150.62	2.8
31-Oct	30.0	12.0	3,225.8	5.0	138.7	26.8	4.9	2.5	416.1	-10.9	795.9	170.3	170.3	795.9	42.07	150.20	2.8
1-Nov	29.0	11.4	3,237.3	5.0	132.3	21.5	4.9	2.5	392.5	-7.5	792.5	164.7	164.7	792.5	42.05	149.76	3.2
2-Nov	28.0	10.0	3,247.3	5.0	115.9	21.5	5.5	2.5	378.3	-14.9	788.0	159.6	21.5	799.9	42.09	150.71	3.2
3-Nov	27.0	8.6	3,255.9	5.0	99.5	21.5	5.6	2.5	364.7	-21.0	793.8	162.5	21.5	806.0	42.13	151.47	3.2
4-Nov	26.0	7.4	3,263.2	5.0	85.2	21.5	5.6	2.6	351.7	-25.8	798.3	165.3	21.5	810.8	42.15	152.08	3.2
5-Nov	25.0	6.1	3,269.4	5.0	71.0	21.5	5.6	2.6	339.5	-29.3	801.7	168.0	21.5	814.3	42.18	152.53	3.2
6-Nov	24.0	5.5	3,274.9	5.0	64.1	21.5	5.6	2.6	328.2	-32.3	804.4	170.8	21.5	817.3	42.19	152.90	3.2
7-Nov	23.0	4.9	3,279.8	5.0	57.2	21.5	5.7	2.6	317.4	-34.7	806.5	173.9	21.5	819.7	42.21	153.21	3.2
8-Nov	22.0	4.6	3,284.4	5.0	52.9	21.5	5.7	2.6	301.5	-36.7	808.2	177.2	21.5	821.7	42.22	153.46	3.2
9-Nov	21.0	4.2	3,288.7	5.0	49.1	21.5	5.7	2.6	278.9	-38.3	809.8	177.9	21.5	823.3	42.23	153.67	3.2
10-Nov	20.0	4.0	3,292.6	5.0	46.0	21.5	5.7	2.6	256.8	-39.7	811.5	174.9	21.5	824.7	42.24	153.85	3.2
11-Nov	19.0	3.7	3,296.3	5.0	42.9	21.5	5.7	2.6	234.4	-40.9	812.9	171.5	21.5	825.9	42.24	153.99	3.2
12-Nov	18.0	3.6	3,299.9	5.0	41.6	21.5	5.7	2.6	213.1	-41.9	814.2	167.7	21.5	826.9	42.25	154.12	3.2
13-Nov	17.0	3.5	3,303.4	5.0	40.5	21.5	5.7	2.6	193.1	-42.8	815.5	164.0	21.5	827.8	42.26	154.23	3.2
14-Nov	16.0	3.5	3,306.8	5.0	39.9	21.5	5.7	2.6	174.3	-43.7	816.6	160.6	21.5	828.7	42.26	154.34	3.2
15-Nov	15.0	3.4	3,310.2	5.0	38.9	21.5	5.7	2.6	156.7	-44.4	817.7	157.7	21.5	829.4	42.26	154.44	3.2
16-Nov	14.0	3.0	3,313.3	5.0	35.2	21.5	5.7	2.6	140.1	-44.9	818.4	155.2	21.5	829.9	42.27	154.50	3.2
17-Nov	13.0	2.9	3,316.2	5.0	33.4	21.5	5.7	2.6	124.4	-45.2	818.9	152.9	21.5	830.2	42.27	154.54	3.2
18-Nov	12.0	2.8	3,318.9	5.0	32.1	21.5	5.7	2.6	109.5	-45.4	819.2	151.0	21.5	830.4	42.27	154.57	3.2
19-Nov	11.0	2.7	3,321.7	5.0	31.6	21.5	5.7	2.6	96.0	-45.6	819.5	149.4	21.5	830.6	42.27	154.59	3.2
20-Nov	10.0	2.7	3,324.3	5.0	30.8	21.5	5.7	2.6	83.0	-45.6	819.6	148.9	21.5	830.6	42.27	154.60	3.2
21-Nov	9.0	2.7	3,327.0	7.0	30.8	21.5	5.7	2.6	59.2	-45.7	819.7	148.9	21.5	830.7	42.27	154.60	3.2
22-Nov	8.0	2.6	3,329.6	7.0	30.3	21.5	5.7	2.6	51.1	-45.8	821.0	134.9	21.5	830.8	42.27	154.61	3.2
23-Nov	7.0	2.6	3,332.2	7.0	29.9	21.5	5.7	2.6	43.5	-45.8	820.5	140.1	21.5	830.8	42.27	154.61	3.2
24-Nov	6.0	2.5	3,334.7	7.0	29.0	21.5	5.7	2.6	36.3	-45.7	819.8	147.6	21.5	830.7	42.27	154.60	3.2
25-Nov	5.0	2.4	3,337.1	7.0	28.1	21.5	5.7	2.6	29.4	-45.5	818.7	158.1	21.5	830.5	42.27	154.58	3.2
26-Nov	4.0	2.4	3,339.5	7.0	27.6	21.5	5.7	2.6	22.8	-45.3	817.2	173.3	21.5	830.3	42.27	154.56	3.2
27-Nov	3.0	2.3	3,341.8	7.0	26.7	21.5	5.7	2.6	16.3	-45.1	814.9	196.6	21.5	830.1	42.27	154.52	3.2
28-Nov	2.0	2.2	3,344.0	7.0	25.0	21.5	5.7	2.6	10.5	-44.6	811.1	236.6	21.5	829.6	42.27	154.47	3.2
29-Nov	1.0	2.0	3,346.0	7.0	23.6	21.5	5.7	2.6	5.1	-44.1	803.4	319.1	21.5	829.1	42.26	154.40	3.2
30-Nov	0.0	2.0	3,348.0	7.0	23.2	21.5	5.7	2.6	0.0	-43.5	781.2	569.0	21.5	828.5	42.26	154.33	3.2

ตาราง 5-19 ผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 โดยใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต

ปี พ.ศ.	อัตราไหลเข้า สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราปล่อยน้ำออก สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เปอร์เซ็นต์ผลต่าง ยอดน้ำหลากสูงสุด (%)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก เท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก มากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ จัดวางปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำใบอ่างฯ ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)
2516	261.6	29.1	88.9	0	0	0.00	834.12
2517	333.1	29.1	91.3	0	0	0.00	951.05
2518	591.9	384.1	35.1	0	0	0.00	820.08
2519	480.4	316.0	34.2	0	0	0.00	953.71
2520	527.6	157.7	70.1	0	0	0.00	903.91
2521	2,857.7	1,497.2	47.6	0	13	673.00	892.00
2522	256.7	29.1	88.7	0	0	0.00	562.77
2523	789.3	327.3	58.5	0	0	0.00	917.79
2524	292.5	303.9	-3.9	0	0	0.00	722.68
2525	708.8	477.1	32.7	0	0	0.00	957.64
2526	758.9	353.6	53.4	0	0	0.00	960.00
2527	513.0	269.0	47.6	0	0	0.00	960.00
2528	702.1	419.4	40.3	0	0	0.00	909.97
2529	155.5	184.3	-25.0	0	0	0.00	388.87
2530	887.5	600.0	32.4	5	0	0.00	846.72
2531	373.8	136.8	63.4	0	0	0.00	879.71
2532	148.7	29.1	80.4	0	0	0.00	772.51
2533	651.1	193.3	70.3	0	0	0.00	922.18
2534	586.5	383.0	34.7	0	0	0.00	885.00
2535	262.2	201.5	23.2	0	0	0.00	556.45
2536	211.1	29.1	86.2	0	0	0.00	505.52
2537	521.0	242.9	53.4	0	0	0.00	761.63
2538	1,110.1	482.1	56.6	0	0	0.00	828.53
2539	736.7	446.2	39.4	0	0	0.00	928.91
2540	364.9	207.6	43.1	0	0	0.00	886.19
2541	228.3	173.0	24.2	0	0	0.00	868.90
2542	512.0	261.4	49.0	0	0	0.00	990.00
2543	1,116.2	593.1	46.9	0	0	0.00	893.30
2544	310.6	297.4	4.3	0	0	0.00	767.92
2545	1,854.2	920.3	50.4	0	14	378.80	941.15
เฉลี่ย	636.8	332.8	47.2	-	-	-	830.31
รวม	-	-	-	5	27	1,051.80	-

จำนวนวันของปล่อยน้ำออกเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที มีจำนวน 5 วัน จำนวนวันของปล่อยน้ำออกมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีจำนวน 27 วัน ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่ออัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าเท่ากับ 1,051.80 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย เมื่อสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก เท่ากับ 830.31 ล้าน ลบ.ม.

ได้มีการนำเหตุการณ์สำคัญๆ ของเหตุการณ์ 30 ปีย้อนหลัง คือในกรณีปีน้ำมาก (พ.ศ. 2521 2538 2543 และ 2545) กรณีปีน้ำปกติ (พ.ศ. 2523 2525 2526 และ 2528) และกรณีปีน้ำน้อย (พ.ศ. 2516 2517 2522 และ 2532) มาสร้างเป็นกราฟเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษากับวิธีการปล่อยน้ำที่ใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน พ.ศ. 2546 (RC2546) ซึ่งผลการศึกษา ดังแสดงในรูป 5-19 ถึงรูป 5-30

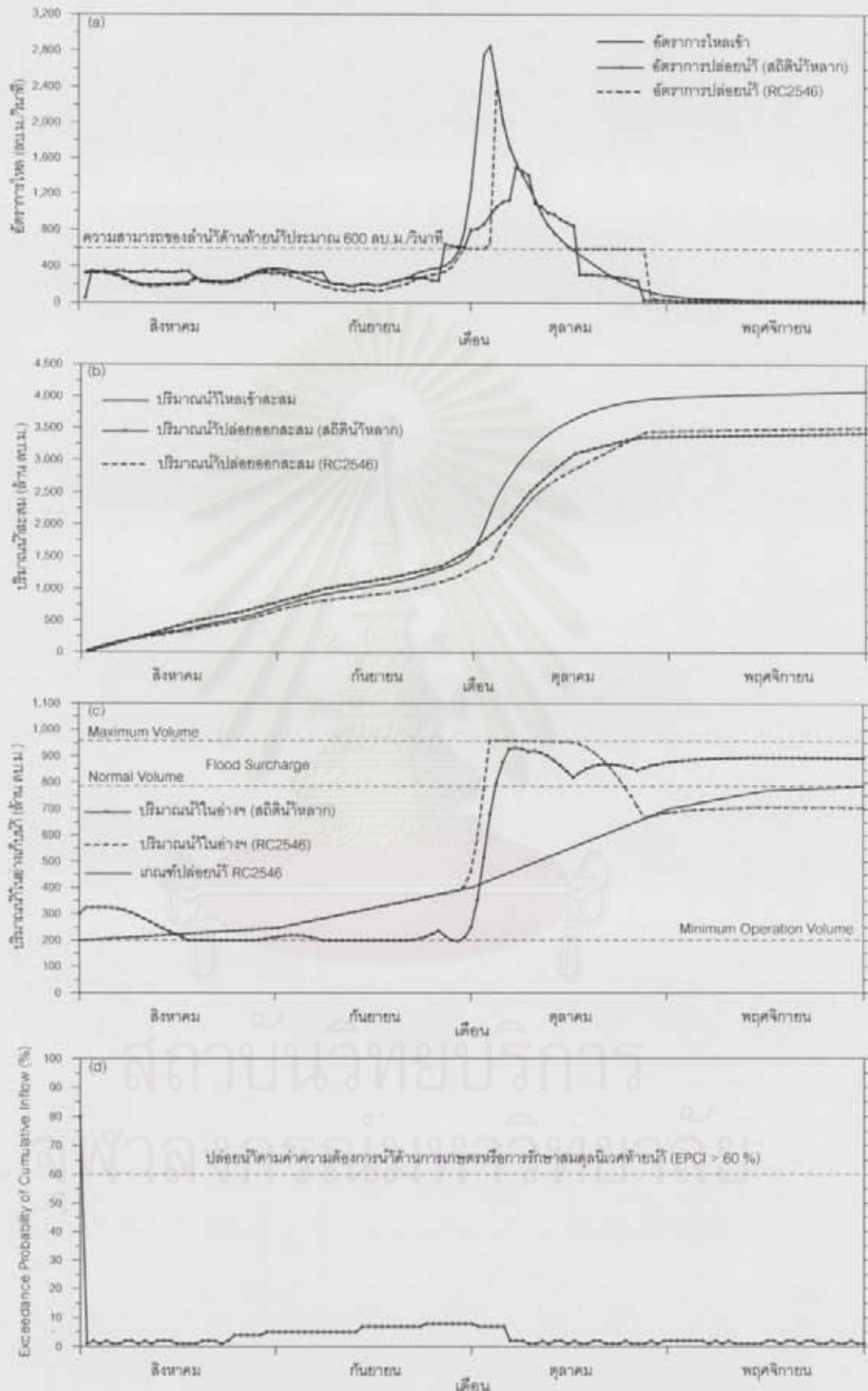
- โดยที่ รูป a แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสภาพของอัตราการไหลเข้าและอัตราการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก
- รูป b แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหลากไหลเข้าและปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สะสม ในช่วงฤดูน้ำหลาก
- รูป c แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก
- รูป d แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของปริมาณน้ำหลากสะสมตามสถานการณ์น้ำหลาก ในช่วงฤดูน้ำหลาก

ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำในช่วงเวลาที่เหลือที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากค่าสถิติน้ำหลากในอดีต ของเหตุการณ์ปีน้ำมาก ปีน้ำปกติ และปีน้ำน้อย ดังแสดงในรูป ข-2 จะเห็นว่าค่าจากการประเมินในช่วงแรกนั้นมีค่าแตกต่างจากสภาพจริงบ้าง แต่หลังจากนั้นค่าได้ปรับเข้าหาค่าจริงหรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบมากขึ้น

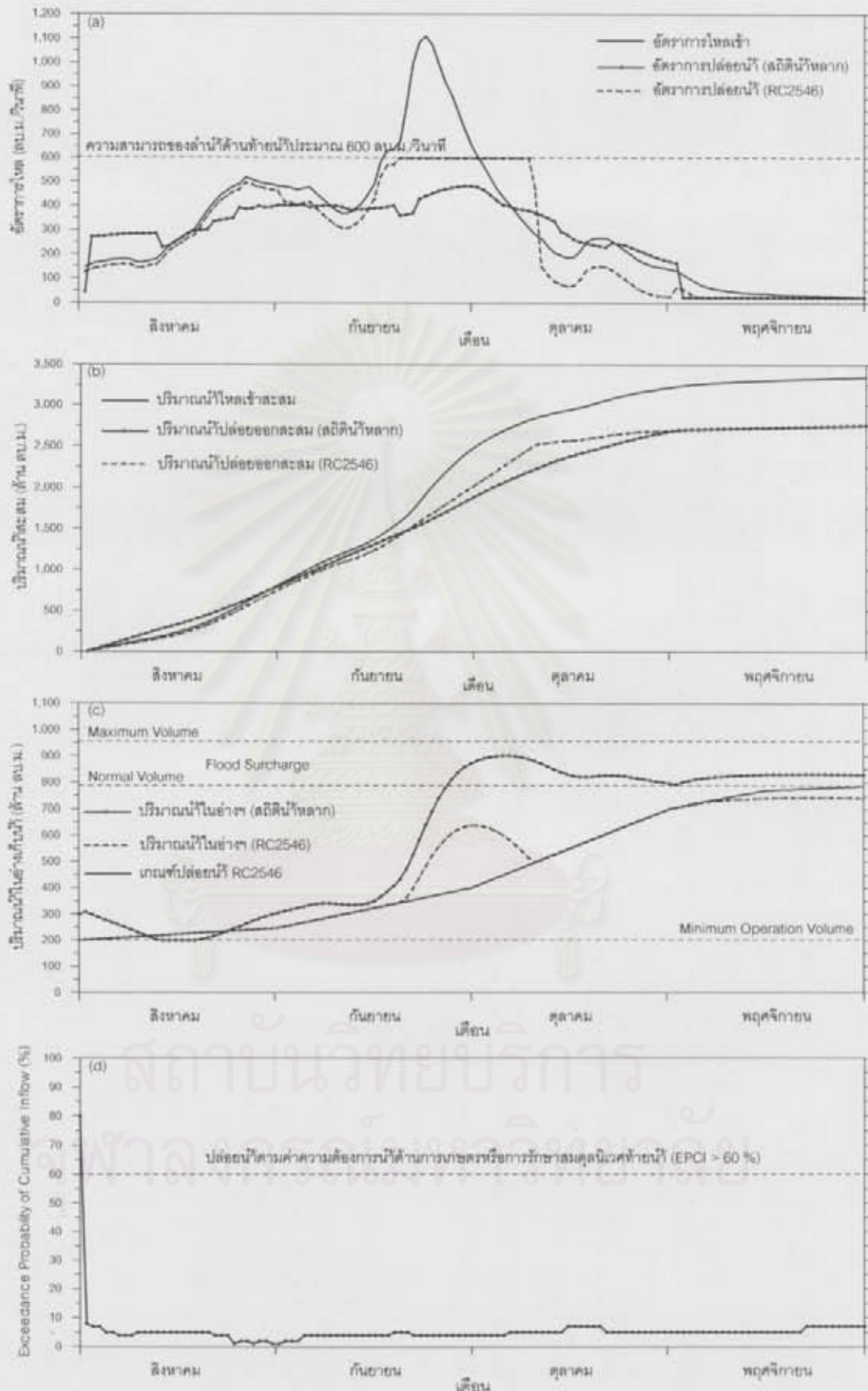
จากรูป 5-19 ถึงรูป 5-30 เป็นการเปรียบเทียบผลของวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และใช้สถิติน้ำหลากในอดีต โดยผลที่ได้มีดังนี้

รูป a เห็นว่าวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้สถิติน้ำหลากในอดีตให้ผลของการลดยอดน้ำหลากสูงสุดได้มากกว่าวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และการลดยอดน้ำหลากมีลักษณะเป็นกระจายค่าอัตราการปล่อยน้ำหรือกระจายความรุนแรงตามสภาพของน้ำหลาก โดยไม่คำนึงถึงค่าการปล่อยน้ำที่ทำให้เกิดสภาพน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำ

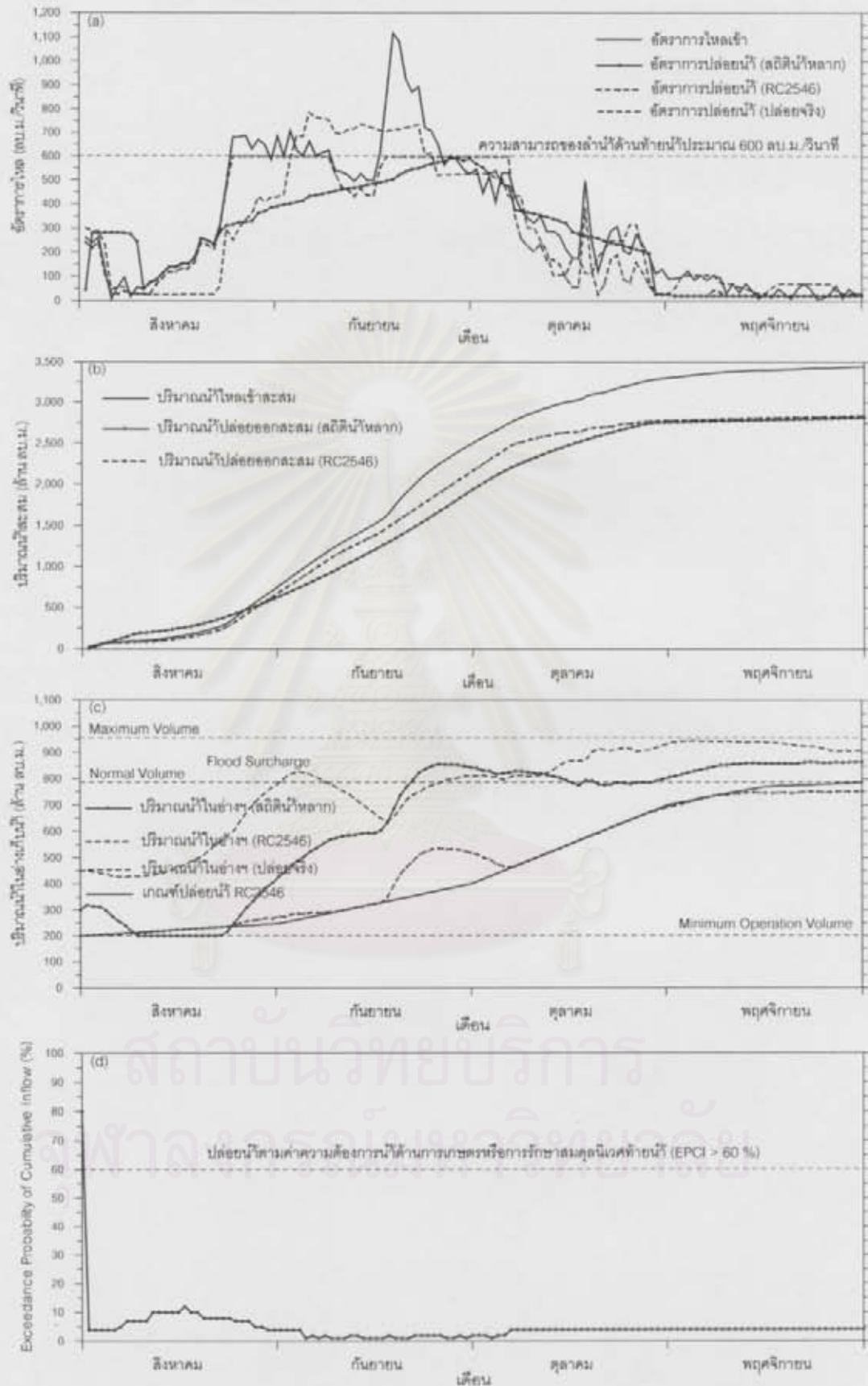
รูป b เป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำหลากไหลเข้าและปล่อยออกสะสม ในช่วงฤดูน้ำหลาก เห็นว่าวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้สถิติน้ำหลากในอดีตมีการปล่อยน้ำออกในปริมาณที่สูงกว่าในช่วงแรก หลังจากนั้นจะพยายามปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และเก็บกักน้ำให้ได้มากที่สุดในช่วงท้ายฤดูน้ำหลาก



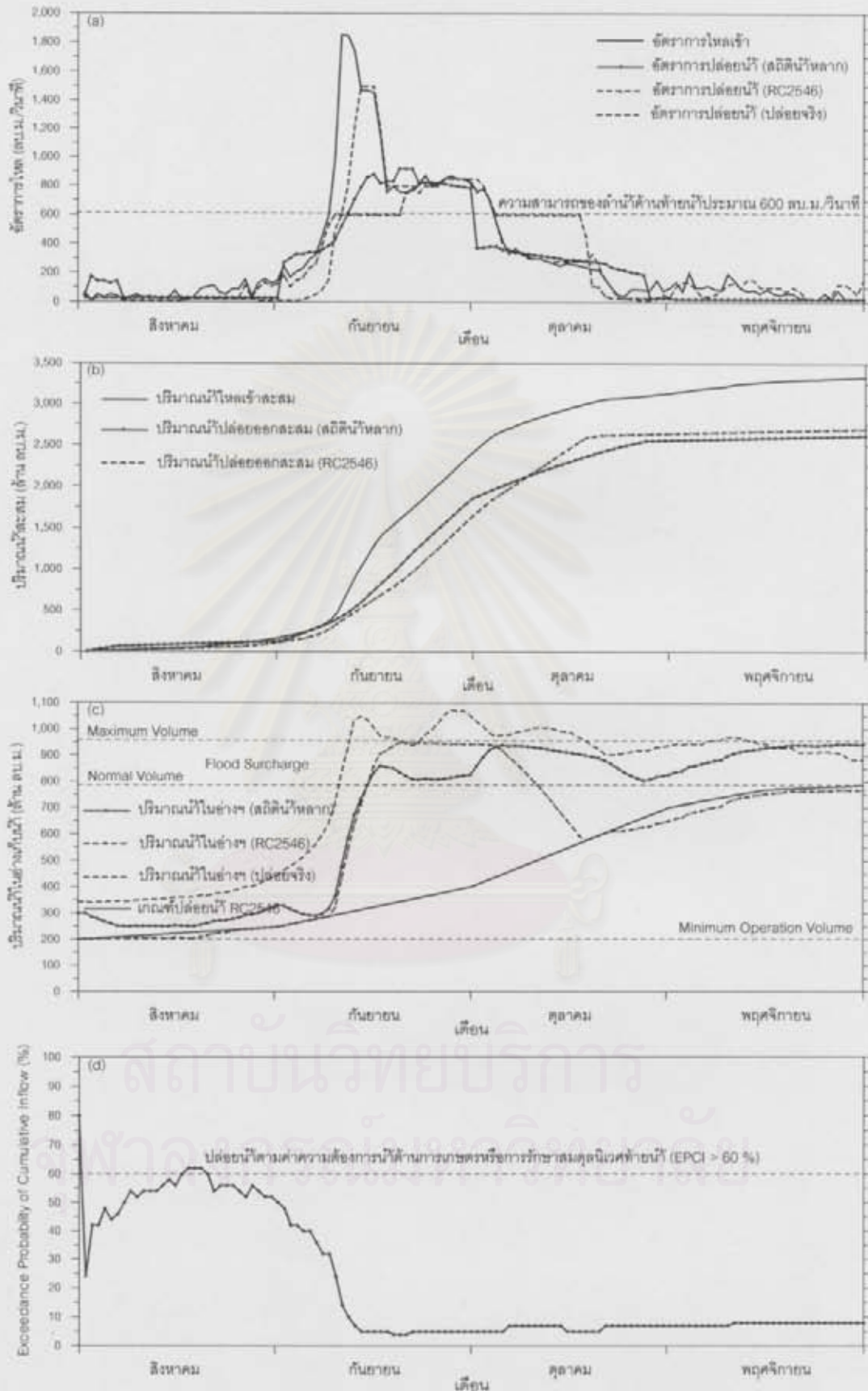
รูป 5-19 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2521 (ปีน้ำมาก)



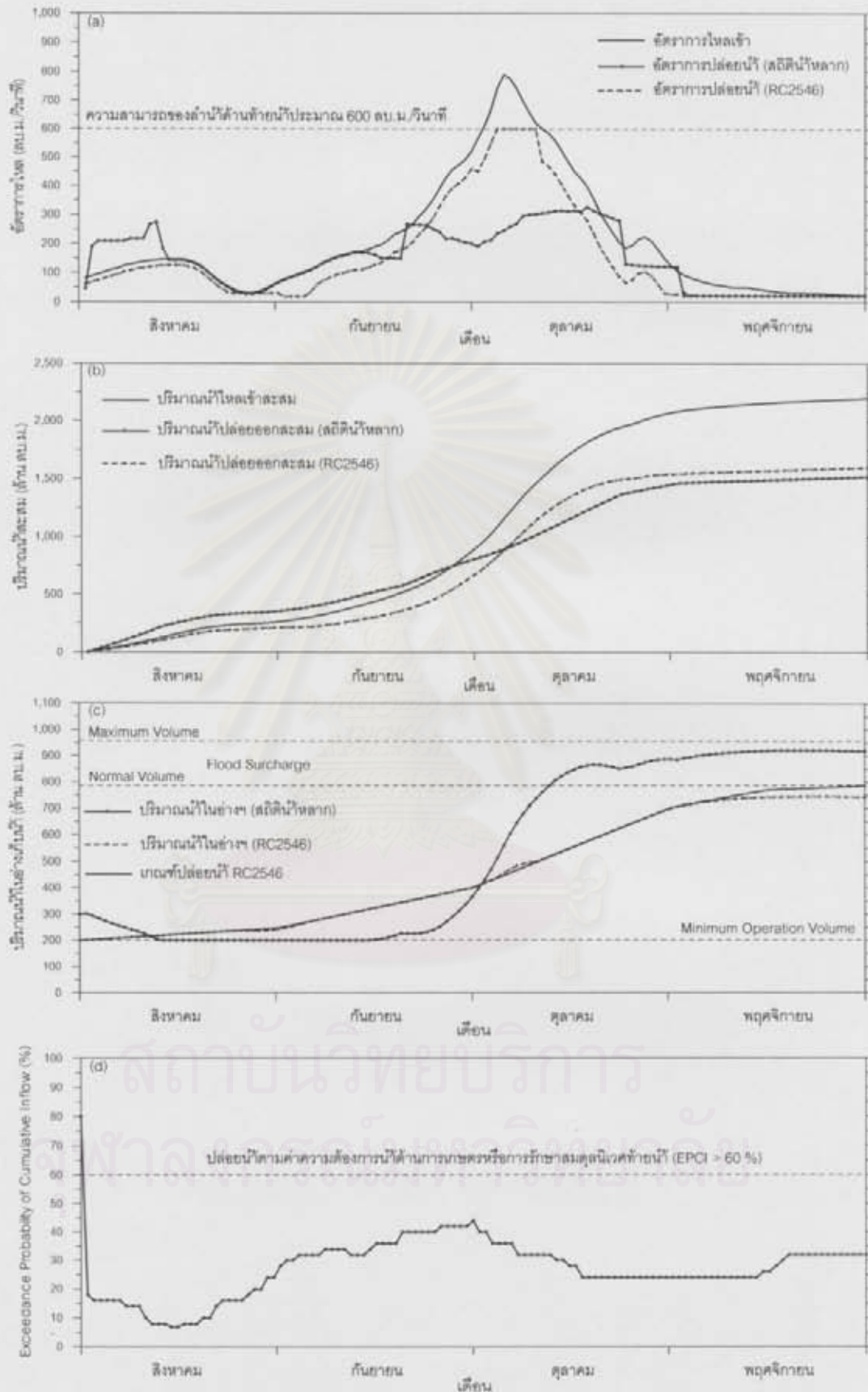
รูป 5-20 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2538 (ปีน้ำมาก)



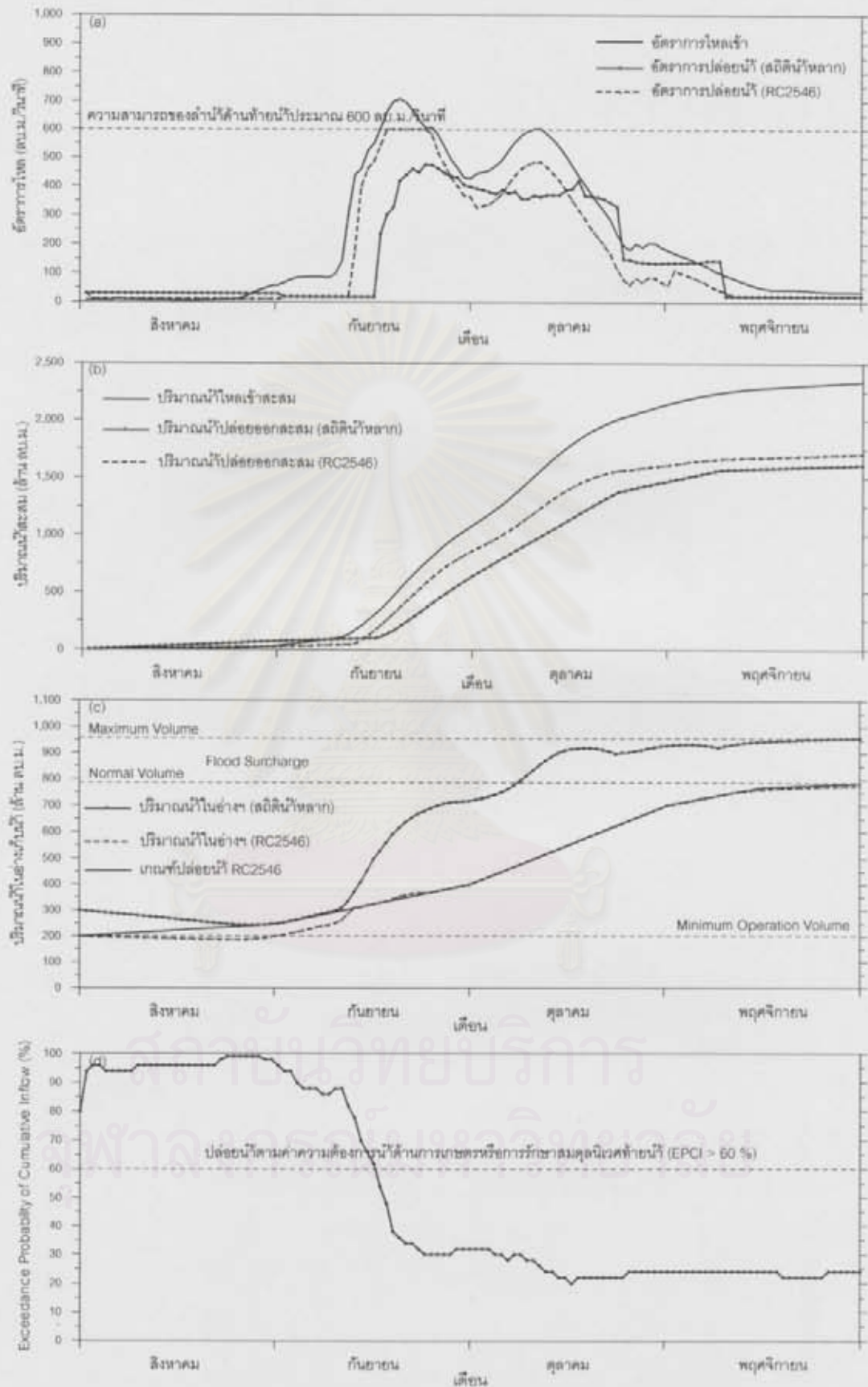
รูป 5-21 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2543 (ปีน้ำมาก)



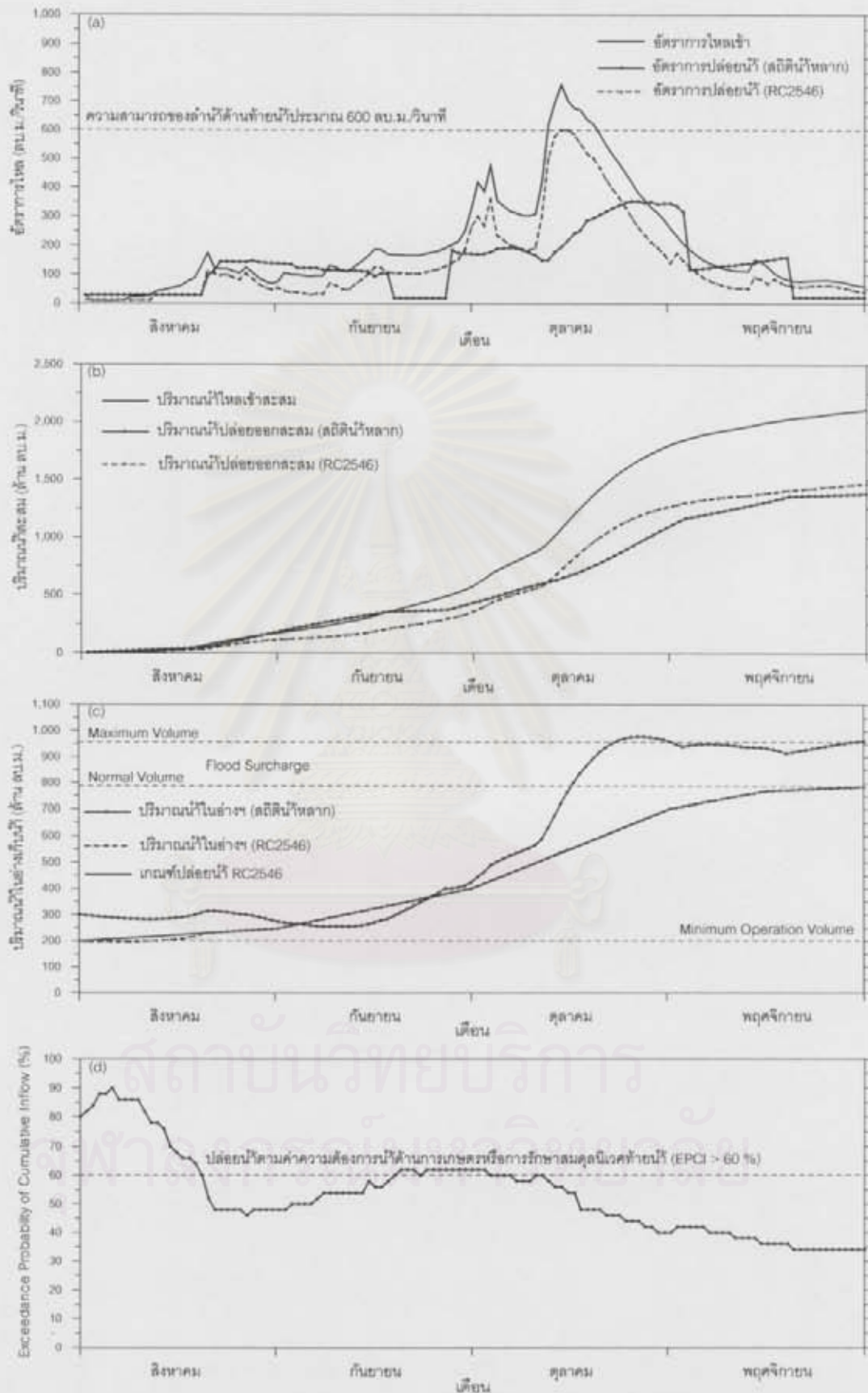
รูป 5-22 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2545 (ปีน้ำมาก)



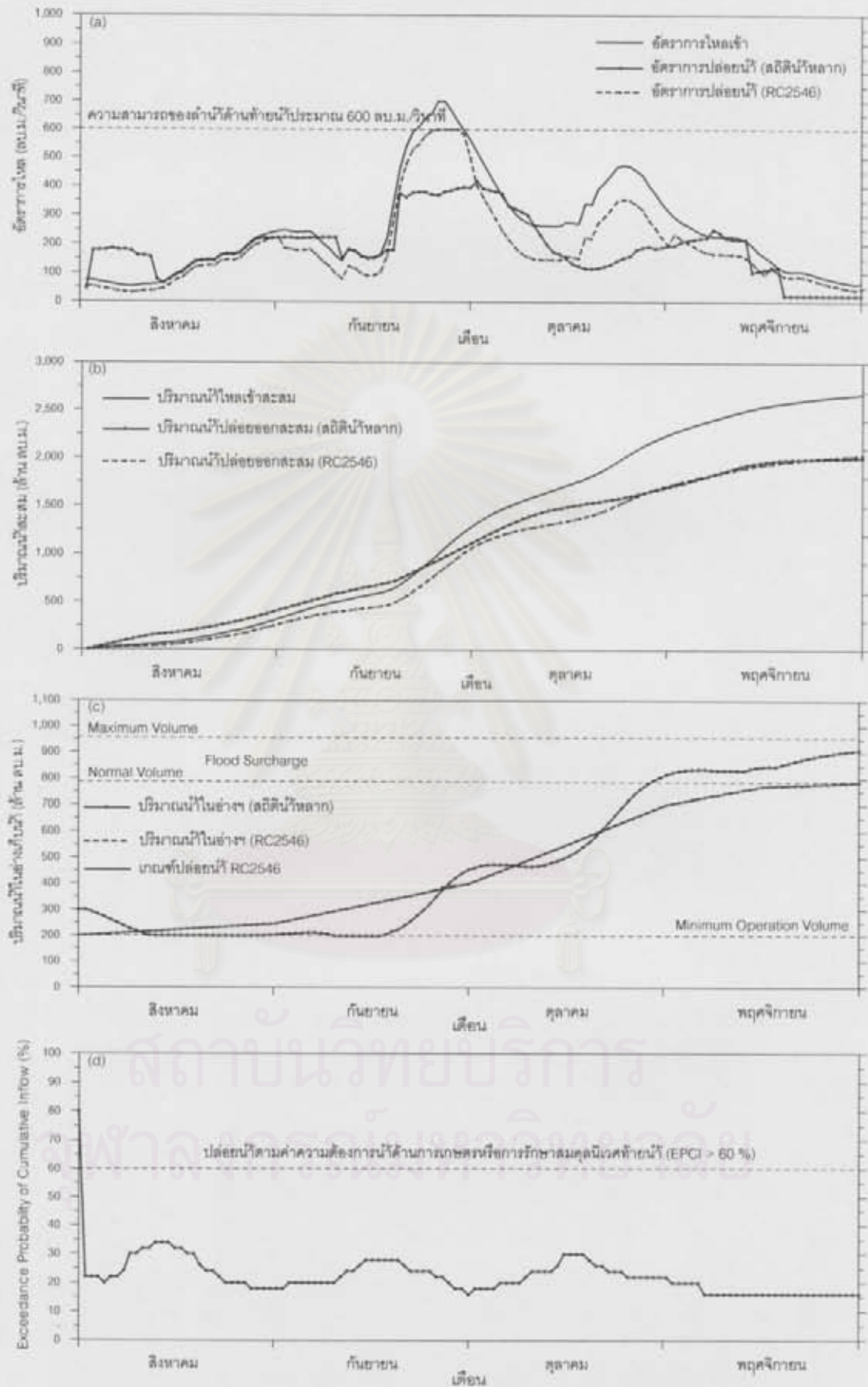
รูป 5-23 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2523 (ปีน้ำปกติ)



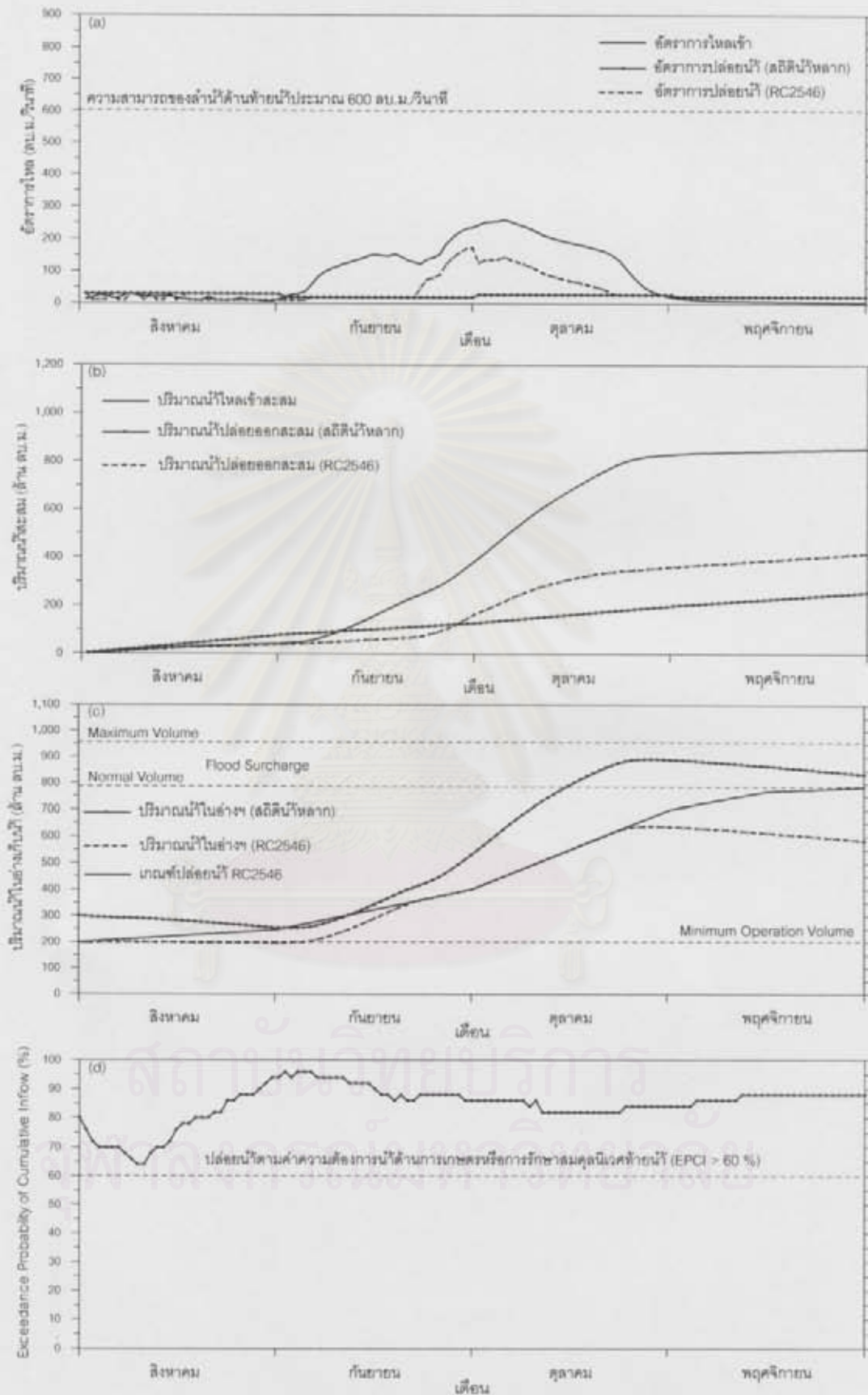
รูป 5-24 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2525 (ปีน้ำปกติ)



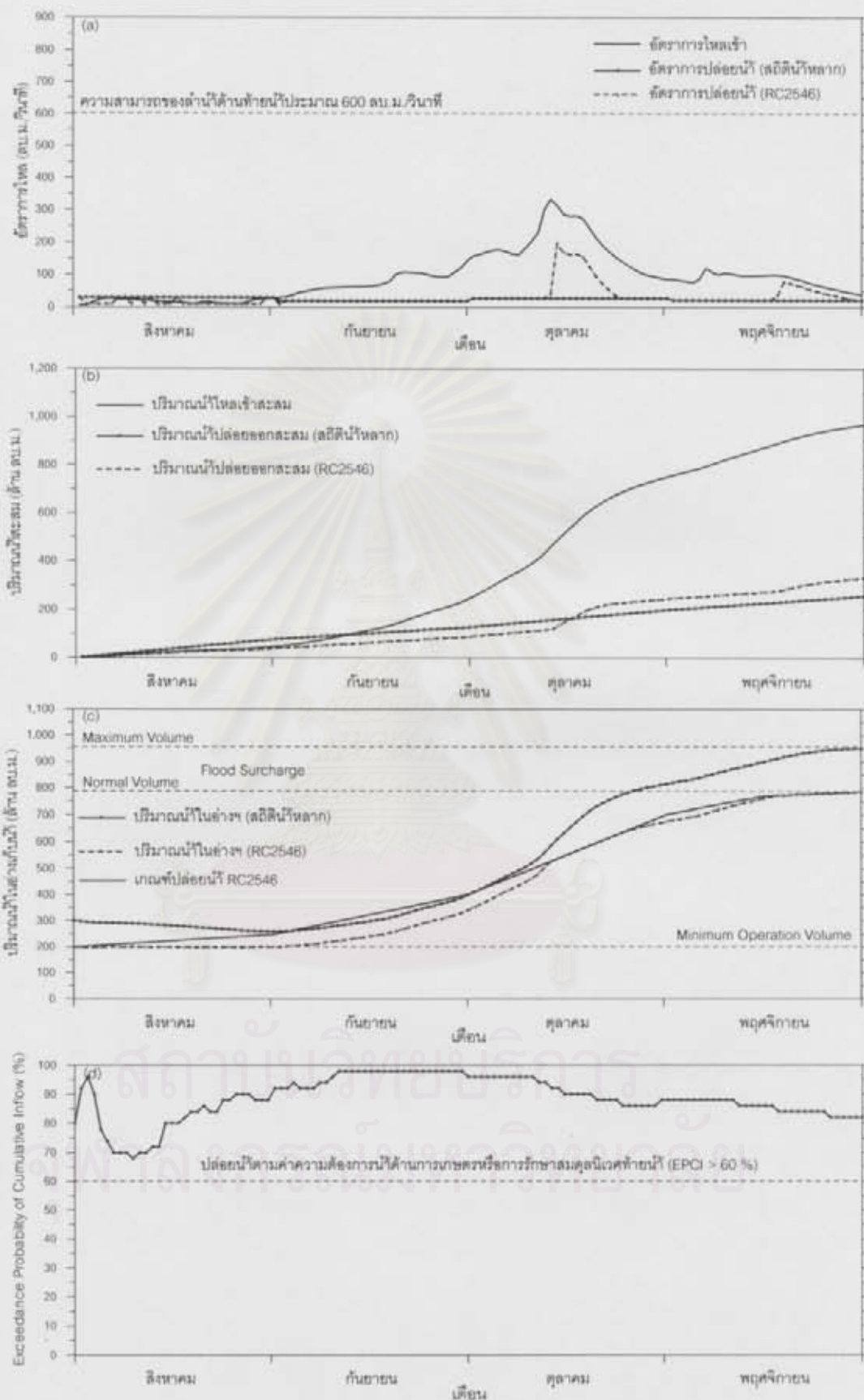
รูป 5-25 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2526 (ปีน้ำปกติ)



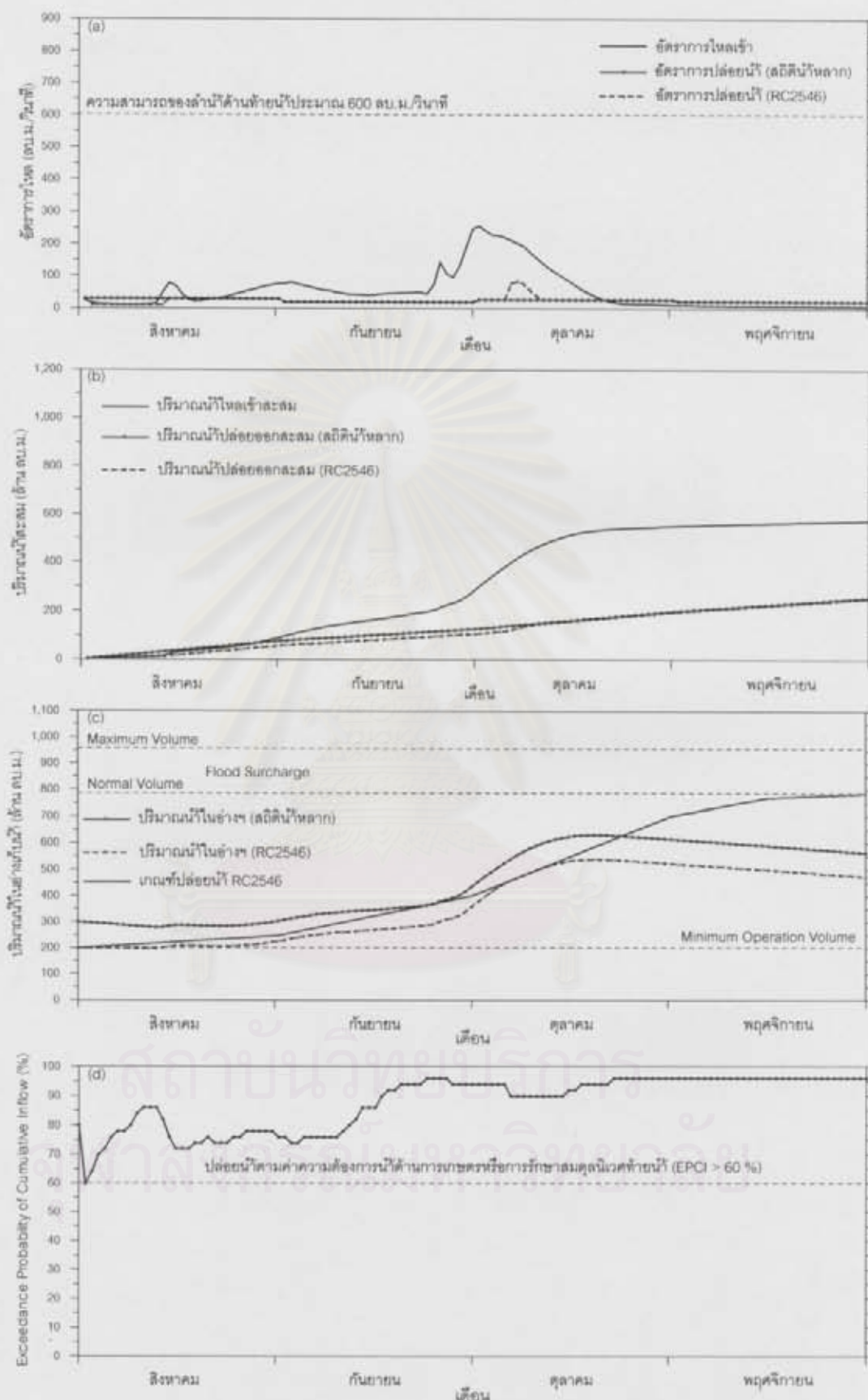
รูป 5-26 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2528 (ปีน้ำปกติ)



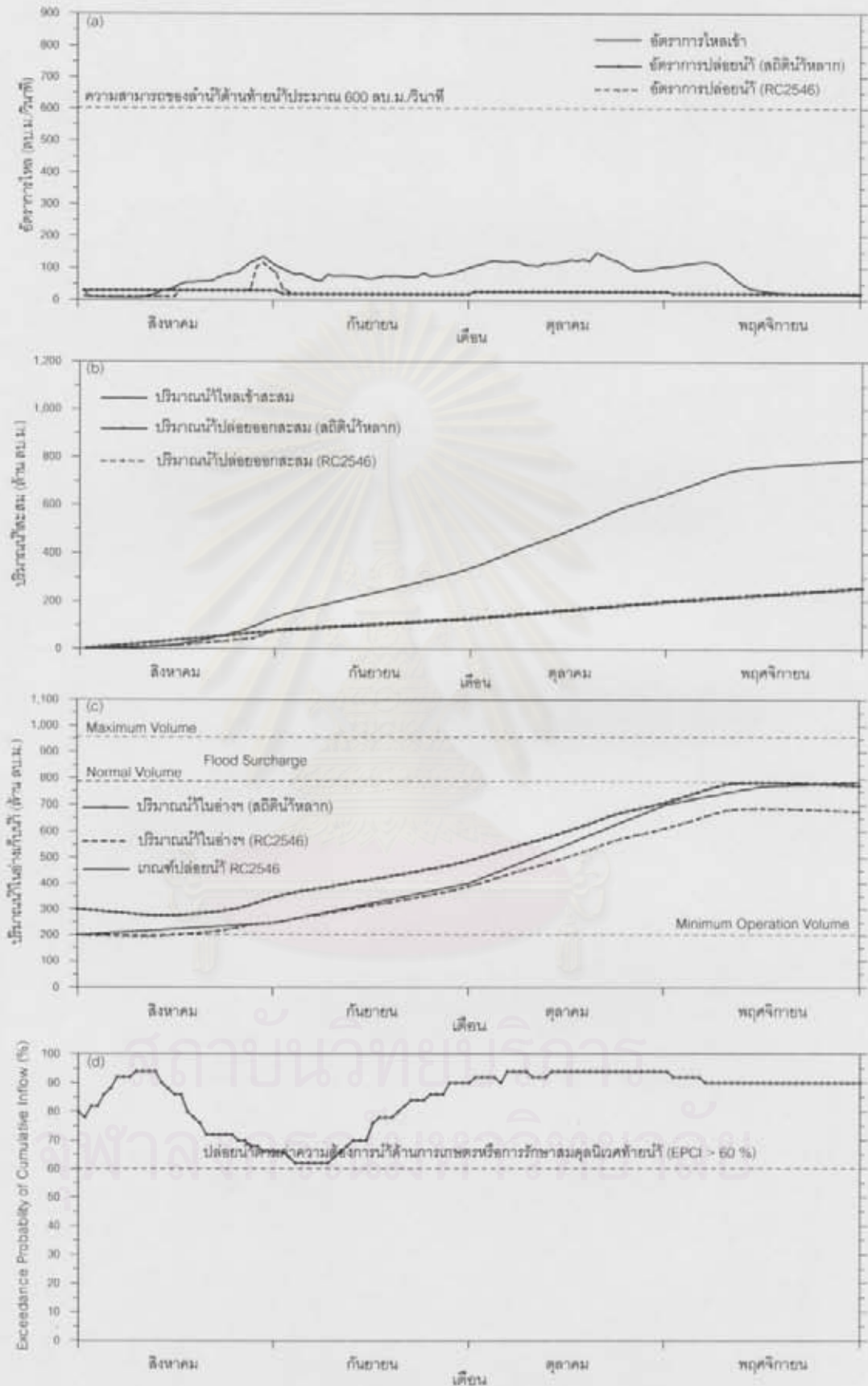
รูป 5-27 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2516 (ปีน้ำน้อย)



รูป 5-28 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2517 (ปีน้ำน้อย)



รูป 5-29 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2522 (ปีน้ำน้อย)



รูป 5-30 เปรียบเทียบผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของ เหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2532 (ปีน้ำน้อย)

รูป c เห็นได้ว่าในกรณีปีน้ำมาก ไม่ว่าจะเป็วิธีกาการปล่อยน้ำโดยใช้สถิติน้ำหลากในอดีตหรือใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่สอดคล้องกับรูปแบบเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าในกรณีปีน้ำมากเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำเป็นเพียงมาตรการเสริมในการปล่อยน้ำเท่านั้น แต่การหาวิธีกาการปล่อยน้ำที่สอดคล้องกับสภาพน้ำหลากของเหตุการณ์นั้นๆ มีความจำเป็นยิ่งกว่า

รูป d เป็นการตรวจสอบสภาพน้ำหลากของเหตุการณ์ปัจจุบัน โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์จากสภาพน้ำหลากในอดีต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดค่าอัตราการปล่อยน้ำที่สอดคล้องและมีความเหมาะสมกับน้ำหลากขนาดต่างๆ

5.5 การพัฒนาวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ล่วงหน้า โดยแบบจำลอง ANN

ผลการพัฒนาวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ รายงานล่วงหน้า แบ่งตามขั้นตอนของการพัฒนาแบบจำลอง ดังนี้

5.5.1 การเตรียมข้อมูลและรูปแบบของการพยากรณ์

การเตรียมข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ ประกอบด้วย การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล (หัวข้อ 4.6.5) การเตรียมชุดข้อมูลนำเข้า คืออัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ย่อย

รูปแบบของการพยากรณ์ ได้มีการพยากรณ์ล่วงหน้าทุก 1 วัน และการศึกษาครั้งนี้แยกการพยากรณ์เป็นรายพื้นที่ย่อย โดยจำนวนวันพยากรณ์ล่วงหน้าของแต่ละสถานี ขึ้นอยู่กับค่าระยะเวลาการรวมตัวของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ย่อยจนถึงจุดออก Tc นอกจากนี้ได้มีการเปรียบเทียบกรณีศึกษาของการใช้ข้อมูลนำเข้าเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันและปริมาณฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และ
- กรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันเพียงอย่างเดียว

5.5.2 การคัดเลือกตัวแปรสำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าล่วงหน้า 1 วัน

การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าสู่แบบจำลอง ANN ที่มีนัยสำคัญต่อการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน ในช่วงฤดูน้ำหลาก มีแนวทางในการคัดเลือก 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าเบื้องต้น และขั้นตอนการทดสอบตัวแปรที่มีความเหมาะสมต่อการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน มีรายละเอียดดังนี้

1) การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าเบื้องต้น

คือ การคัดเลือกตัวแปรที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (FQ_{t+1}) จากการตรวจสอบการศึกษาที่ผ่านมา (ธนพล 2545) ได้พิจารณาวิธีในการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าเบื้องต้น โดยใช้กราฟความสัมพันธ์แบบต่างๆ ประกอบด้วย กราฟ Autocorrelation กราฟ Partial Autocorrelation กราฟ Cross Correlation และกราฟน้ำฝน - น้ำท่า ซึ่งผลของการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าเบื้องต้น สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน แยกแสดงเป็นสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ และตำแหน่งอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ดังแสดงในรูป 5-31 ถึงรูป 5-35

จากรูป 5-31 ถึงรูป 5-35 คือรูปแสดงค่าความสัมพันธ์แบบต่างๆ โดยรูป a b c และ d คือ กราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation Partial Autocorrelation Cross Correlation และกราฟน้ำฝน - น้ำท่า ตามลำดับ รวมทั้งกราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation ของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่เหนือขึ้นไปกับสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ท้ายน้ำที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

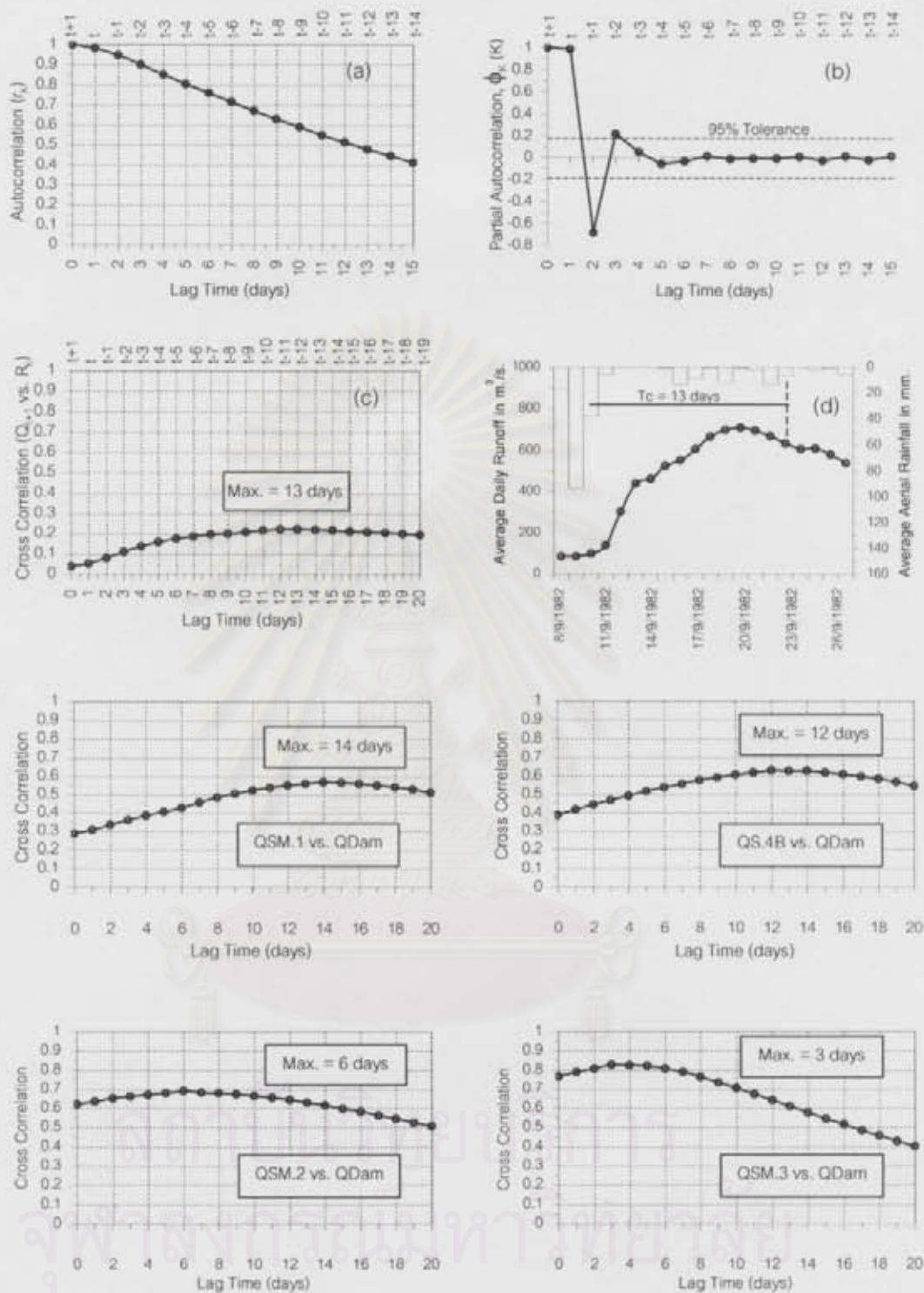
สำหรับเกณฑ์การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าแบบจำลองในเบื้องต้น โดยใช้กราฟ a - d และกราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation ของสถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำนั้น สามารถสรุปวิธีการคัดเลือกได้ดังนี้

กราฟ a และ b ใช้สำหรับคัดเลือกตัวแปรชนิดเดียวกัน คืออัตราการไหลน้ำท่ารายวันย้อนหลัง ที่มีค่าความสัมพันธ์สูง (มีความสัมพันธ์มากกว่าขอบเขตความเป็นอิสระของตัวแปร $\pm 95\%$ Tolerance) ต่อผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

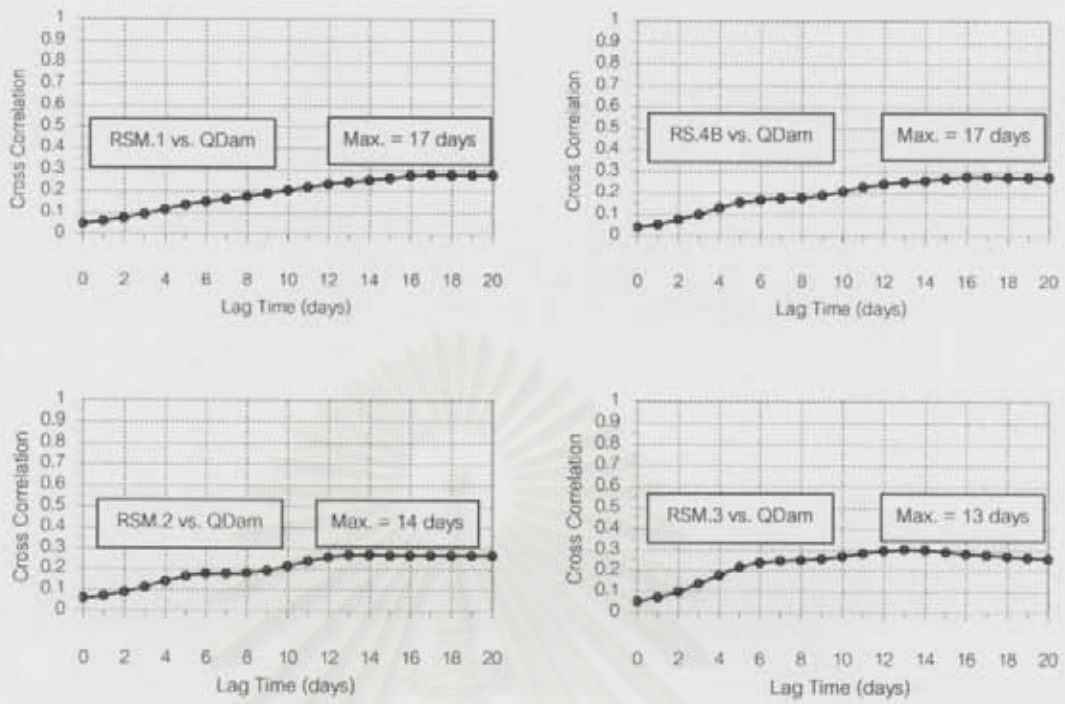
กราฟ c และ d ใช้สำหรับการคัดเลือกตัวแปรต่างชนิดกัน คือปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยย้อนหลังที่มีความสัมพันธ์สูงต่อผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ของสถานีที่มีการพยากรณ์ล่วงหน้า และพิจารณาจากค่า T_c ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน - น้ำท่า ด้วย

กราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation ใช้สำหรับการคัดเลือกอัตราการไหลย้อนหลังของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่เหนือสถานีวัดน้ำท่าที่ต้องการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า

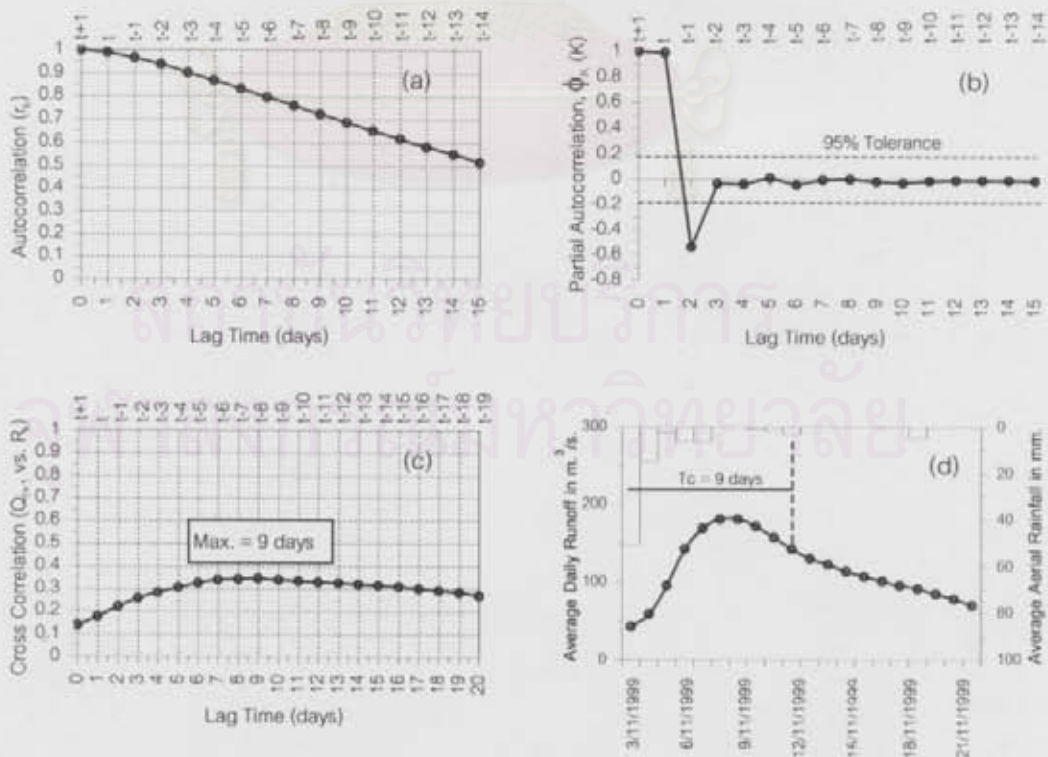
ผลจากรูป 5-31 ถึงรูป 5-35 สามารถสรุปค่าความสัมพันธ์แบบต่างๆ ของสถานีวัดน้ำท่าที่ต้องการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ดังแสดงในตาราง 5-20 ถึงตาราง 5-23



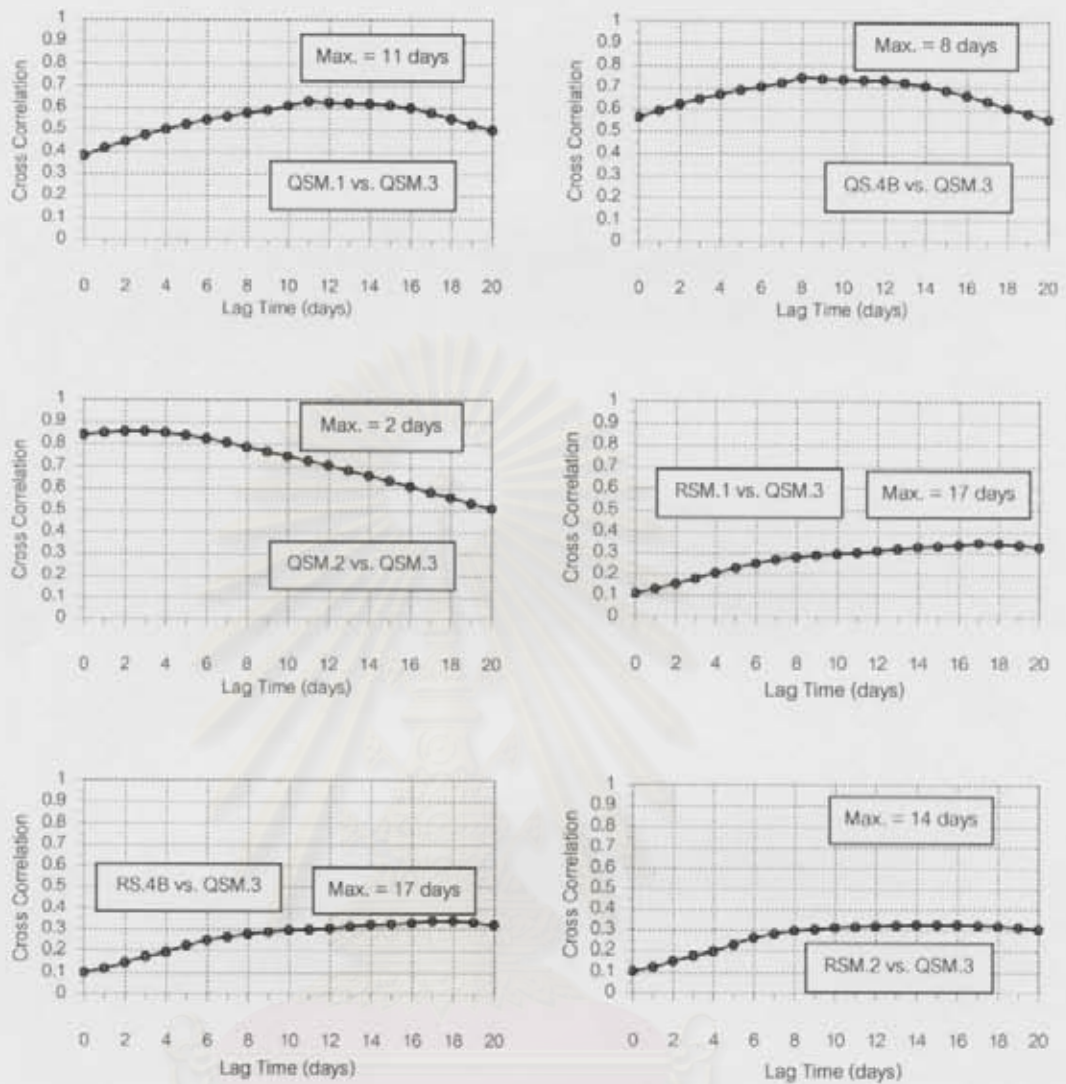
รูป 5-31 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QDam, , สถานี Dam.



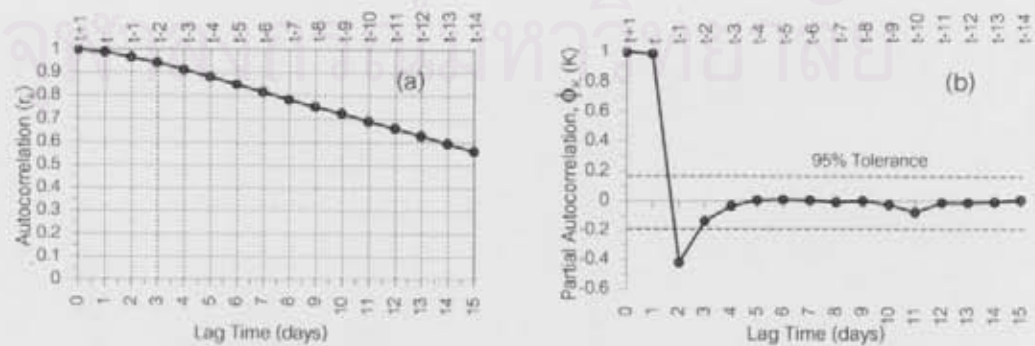
รูป 5-31 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QDam_{1,1} สถานี Dam.
(ต่อ)



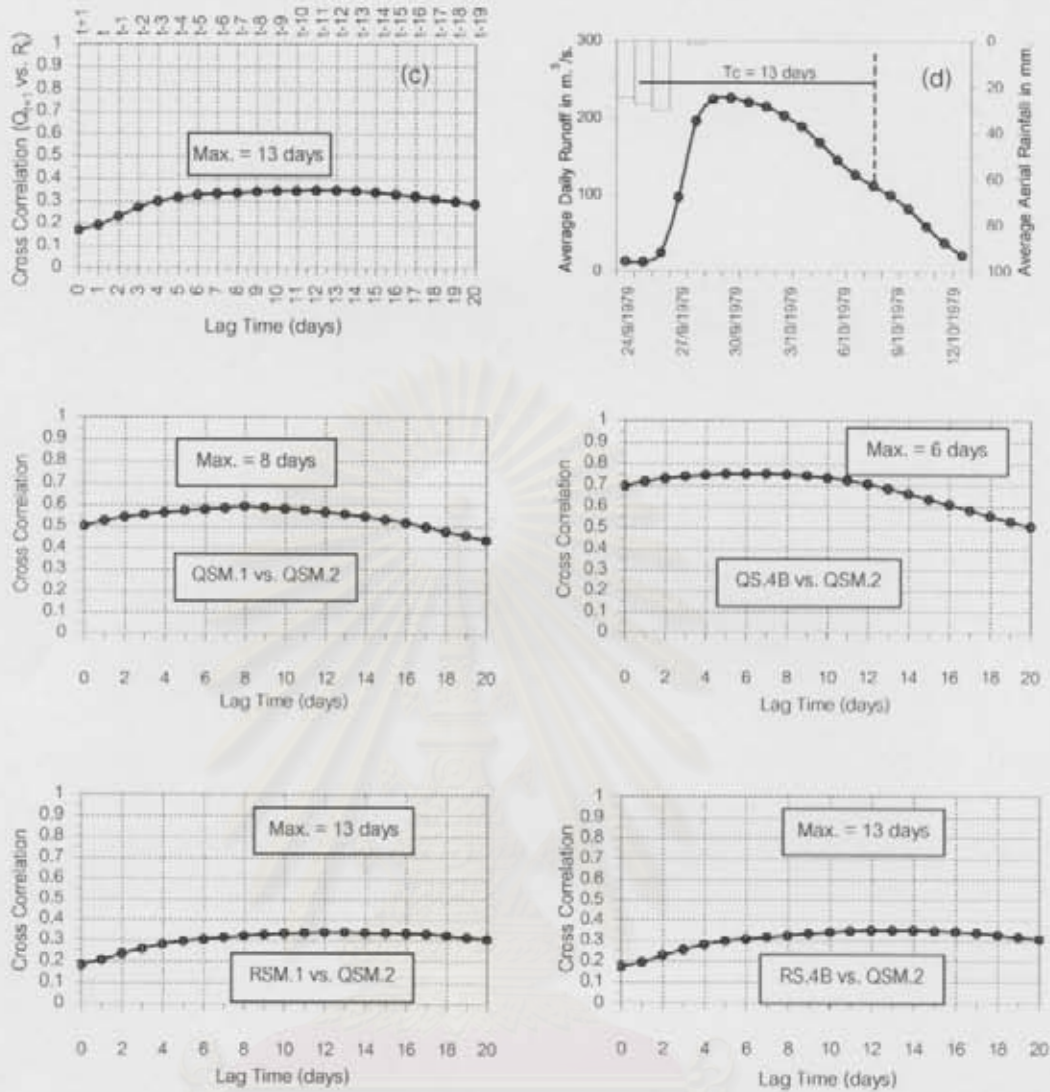
รูป 5-32 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QSM.3_{1,1} สถานี SM.3



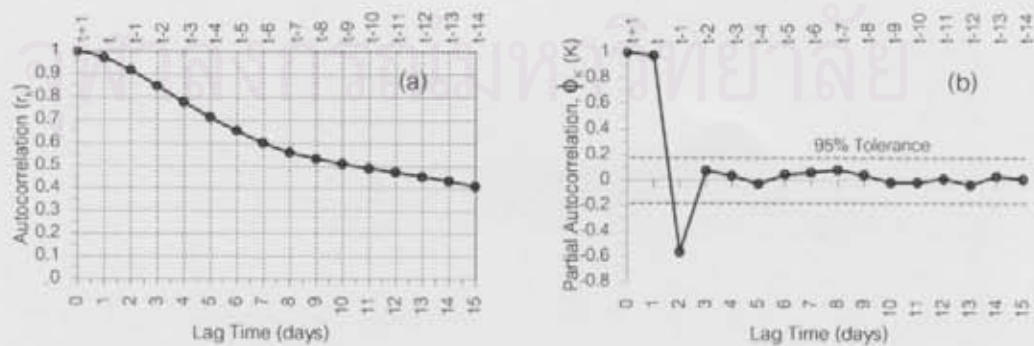
รูป 5-32 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QSM.3_t, สถานี SM.3 (ต่อ)



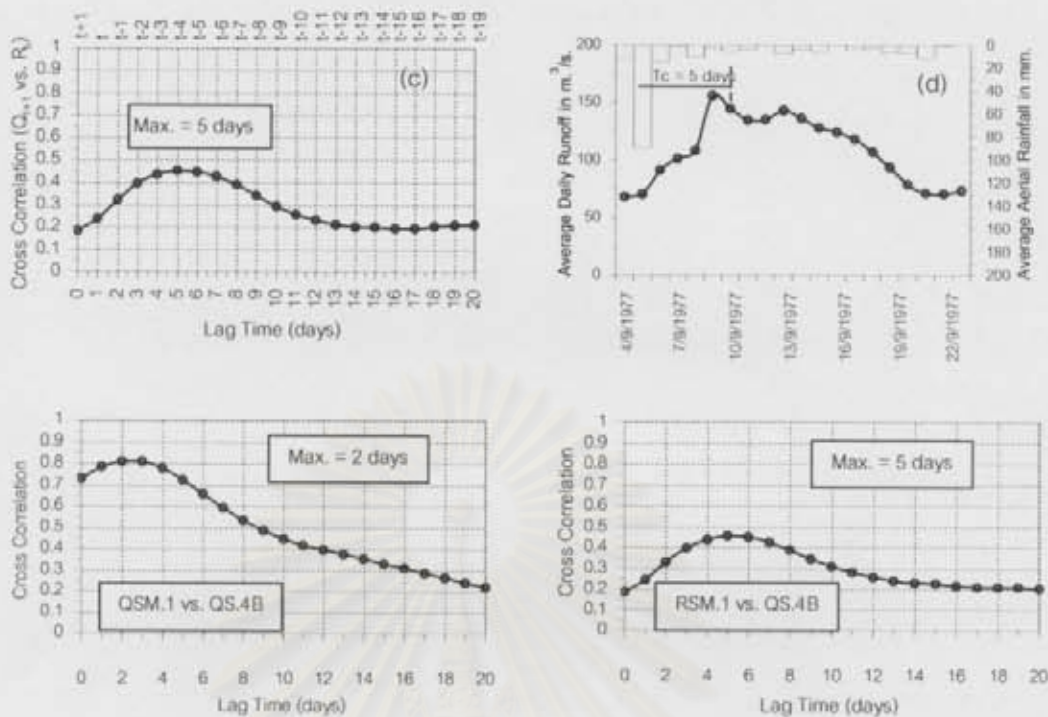
รูป 5-33 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QSM.2_t, สถานี SM.2



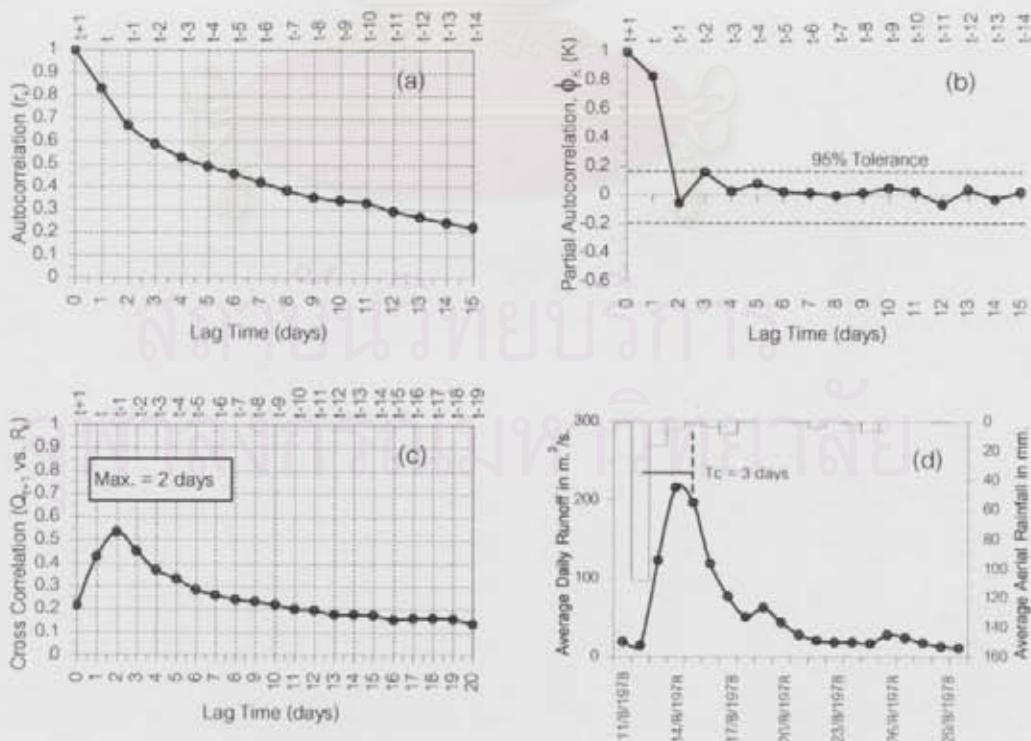
รูป 5-33 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ $QSM.2_{t+1}$ สถานี SM.2 (ต่อ)



รูป 5-34 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ $QS.4B_{t+1}$ สถานี S.4B



รูป 5-34 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QS.4B_{t-1} สถานี S.4B (ต่อ)



รูป 5-35 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ QSM.1_{t-1} สถานี SM.1

ตาราง 5-20 ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation Partial Autocorrelation และ Cross Correlation ระหว่างสถานี Dam. กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป

Lag Time (days)	Autocorrelation QDam. vs. QDam.	Partial Autocorrelation QDam. vs. QDam.	Cross Correlation QDam. vs.								
			QSM.3	QSM.2	QS.4B	QSM.1	RDam.	RSM.3	RSM.2	RS.4B	RSM.1
			0	1.000	1.000	0.767	0.621	0.388	0.285	0.038	0.053
1	0.984	0.984	0.790	0.637	0.416	0.308	0.051	0.069	0.070	0.052	0.059
2	0.947	-0.685	0.809	0.652	0.443	0.334	0.079	0.098	0.089	0.074	0.074
3	0.901	0.216	0.827*	0.663	0.469	0.362	0.111	0.136	0.114	0.099	0.092
4	0.852	0.053	0.825	0.672	0.493	0.386	0.137	0.177	0.141	0.127	0.112
5	0.805	-0.058	0.821	0.678	0.516	0.406	0.160	0.215	0.166	0.154	0.134
6	0.759	-0.036	0.808	0.692*	0.537	0.429	0.176	0.238	0.176	0.168	0.150
7	0.715	0.014	0.789	0.682	0.557	0.457	0.188	0.246	0.177	0.172	0.162
8	0.672	-0.010	0.765	0.680	0.576	0.484	0.197	0.249	0.180	0.176	0.173
9	0.630	-0.008	0.736	0.674	0.593	0.506	0.201	0.256	0.192	0.188	0.188
10	0.590	-0.010	0.706	0.666	0.608	0.525	0.209	0.269	0.214	0.205	0.204
11	0.552	0.005	0.674	0.655	0.619	0.540	0.217	0.284	0.238	0.227	0.219
12	0.515	-0.029	0.642	0.643	0.630*	0.550	0.222	0.297	0.257	0.243	0.233
13	0.480	0.008	0.609	0.629	0.628	0.560	0.223*	0.303*	0.267	0.251	0.243
14	0.446	-0.020	0.576	0.615	0.627	0.568*	0.220	0.299	0.268*	0.257	0.251
15	0.413	0.008	0.545	0.599	0.620	0.567	0.217	0.289	0.266	0.266	0.261
16	0.382	-0.013	0.515	0.582	0.611	0.559	0.213	0.280	0.265	0.274	0.271
17	0.352	-0.016	0.485	0.564	0.599	0.550	0.210	0.275	0.265	0.275*	0.277*
18	0.323	0.008	0.457	0.545	0.585	0.542	0.207	0.269	0.266	0.273	0.276
19	0.296	-0.019	0.429	0.526	0.568	0.529	0.202	0.263	0.265	0.271	0.275
20	0.275	0.012	0.402	0.505	0.526	0.502	0.185	0.259	0.264	0.270	0.274

หมายเหตุ * คือค่าความสัมพันธ์แบบต่างๆ ย้อนหลังมากที่สุด

ตาราง 5-21 ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation Partial Autocorrelation และ Cross Correlation ระหว่างสถานี SM.3 กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป

Lag Time (days)	Autocorrelation QSM.3 vs. QSM.3	Partial Autocorrelation QSM.3 vs. QSM.3	Cross Correlation QSM.3 vs.						
			QSM.2	QS.4B	QSM.1	RSM.3	RSM.2	RS.4B	RSM.1
0	1.000	1.000	0.842	0.565	0.383	0.139	0.104	0.098	0.109
1	0.989	0.989	0.852	0.596	0.416	0.177	0.124	0.117	0.130
2	0.966	-0.541	0.858*	0.623	0.446	0.221	0.152	0.144	0.165
3	0.937	-0.036	0.857	0.647	0.475	0.258	0.176	0.171	0.180
4	0.904	-0.038	0.851	0.669	0.501	0.283	0.196	0.193	0.204
5	0.868	0.013	0.839	0.688	0.524	0.305	0.228	0.221	0.228
6	0.832	-0.043	0.824	0.703	0.544	0.327	0.261	0.245	0.249
7	0.796	-0.003	0.806	0.721	0.561	0.339	0.280	0.260	0.267
8	0.759	0.000	0.787	0.742*	0.576	0.343	0.295	0.275	0.280
9	0.723	-0.017	0.767	0.734	0.589	0.345*	0.304	0.285	0.288
10	0.687	-0.030	0.746	0.737	0.608	0.340	0.311	0.294	0.296
11	0.651	-0.012	0.725	0.737	0.629*	0.335	0.315	0.298	0.302
12	0.616	-0.007	0.704	0.731	0.625	0.329	0.318	0.304	0.310
13	0.582	-0.008	0.682	0.720	0.622	0.326	0.321	0.312	0.319
14	0.548	-0.010	0.658	0.705	0.619	0.321	0.325*	0.320	0.328
15	0.514	-0.016	0.634	0.686	0.611	0.315	0.324	0.324	0.331
16	0.482	-0.005	0.608	0.662	0.601	0.308	0.324	0.330	0.337
17	0.450	-0.035	0.583	0.635	0.578	0.300	0.322	0.340*	0.344*
18	0.419	0.013	0.558	0.607	0.552	0.292	0.319	0.338	0.343
19	0.389	0.001	0.533	0.580	0.525	0.282	0.312	0.332	0.336
20	0.356	0.003	0.523	0.562	0.501	0.273	0.308	0.329	0.331

หมายเหตุ * คือค่าความสัมพันธ์แบบต่างๆ ย้อนหลังมากที่สุด

ตาราง 5-22 ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation Partial Autocorrelation และ Cross Correlation ระหว่างสถานี SM.2 กับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป

Lag Time (days)	Autocorrelation QSM.2 vs. QSM.2	Partial Autocorrelation QSM.2 vs. QSM.2	Cross Correlation QSM.2 vs.				
			QS.4B	QSM.1	RSM.2	RS.4B	RSM.1
0	1.000	1.000	0.696	0.503	0.169	0.171	0.182
1	0.990	0.990	0.715	0.527	0.192	0.194	0.205
2	0.969	-0.484	0.730	0.543	0.231	0.226	0.234
3	0.943	-0.100	0.740	0.555	0.272	0.254	0.260
4	0.912	-0.029	0.747	0.565	0.301	0.279	0.280
5	0.880	0.005	0.751	0.573	0.317	0.296	0.295
6	0.848	0.006	0.753*	0.579	0.328	0.307	0.304
7	0.816	0.005	0.752	0.584	0.333	0.316	0.313
8	0.784	-0.011	0.749	0.595*	0.338	0.325	0.322
9	0.752	-0.007	0.743	0.587	0.342	0.334	0.328
10	0.721	-0.028	0.734	0.583	0.345	0.339	0.333
11	0.690	-0.087	0.721	0.577	0.347	0.345	0.337
12	0.657	-0.003	0.703	0.568	0.348	0.348	0.339
13	0.625	-0.015	0.683	0.558	0.349*	0.350*	0.339*
14	0.592	-0.011	0.659	0.547	0.346	0.349	0.338
15	0.559	0.005	0.634	0.533	0.340	0.346	0.337
16	0.527	0.004	0.608	0.517	0.332	0.341	0.334
17	0.496	-0.024	0.581	0.498	0.323	0.335	0.330
18	0.465	-0.026	0.555	0.478	0.313	0.326	0.322
19	0.435	-0.029	0.529	0.458	0.299	0.315	0.312
20	0.402	-0.023	0.499	0.438	0.289	0.304	0.302

หมายเหตุ * คือค่าความสัมพันธ์แบบต่างๆ ย้อนหลังมากที่สุด

ตาราง 5-23 ค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation Partial Autocorrelation ของสถานี SM.1 และ สถานี S.4B และความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation ระหว่างสถานี S.4B กับ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย และสถานีวัดน้ำท่า SM.1

Lag Time (days)	Autocorrelation		Partial Autocorrelation		Cross Correlation			
	QS.4B vs. QS.4B	QSM.1 vs. QSM.1	QS.4B vs. QS.4B	QSM.1 vs. QSM.1	QS.4B vs.		QSM.1 vs.	
					QSM.1	RS.4B	RSM.1	RSM.1
0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.730	0.184	0.187	0.219
1	0.973	0.829	0.973	0.829	0.786	0.237	0.245	0.430
2	0.917	0.668	-0.537	-0.058	0.810*	0.324	0.330	0.538*
3	0.851	0.588	0.056	0.159	0.809	0.397	0.399	0.454
4	0.784	0.528	0.030	0.027	0.778	0.435	0.438	0.372
5	0.720	0.490	-0.036	0.082	0.726	0.452*	0.455*	0.333
6	0.660	0.458	0.035	0.025	0.660	0.449	0.451	0.287
7	0.607	0.422	-0.048	0.016	0.593	0.428	0.425	0.261
8	0.563	0.384	0.062	-0.002	0.534	0.392	0.389	0.242
9	0.529	0.353	-0.036	0.016	0.488	0.342	0.346	0.233
10	0.502	0.339	-0.015	0.048	0.449	0.295	0.309	0.221
11	0.477	0.329	-0.028	0.022	0.418	0.259	0.261	0.200
12	0.454	0.291	0.001	-0.065	0.396	0.233	0.258	0.196
13	0.430	0.266	-0.039	0.039	0.375	0.213	0.239	0.176
14	0.405	0.241	0.022	-0.031	0.354	0.202	0.229	0.177
15	0.380	0.223	0.003	0.022	0.330	0.200	0.225	0.173
16	0.357	0.218	0.005	0.027	0.309	0.196	0.215	0.154
17	0.333	0.211	-0.010	0.003	0.288	0.195	0.207	0.160
18	0.309	0.182	-0.047	-0.055	0.265	0.203	0.207	0.160
19	0.286	0.171	0.053	0.053	0.242	0.210	0.208	0.158
20	0.266	0.160	0.023	0.012	0.221	0.159	0.209	0.159

หมายเหตุ * คือค่าความสัมพันธ์แบบต่างๆ ย้อนหลังมากที่สุด

จากการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในเมืองต้น โดยใช้กราฟและตารางแสดงความสัมพันธ์แบบต่างๆ สามารถสรุปชุดตัวแปรนำเข้า ที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการนำไปใช้พยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน (FQ_{t+1}) ณ สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ดังแสดงในตาราง 5-24

ตาราง 5-24 ชุดตัวแปรนำเข้าเมืองต้นสำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (กรณีที่ 1)

สถานีวัดน้ำท่า	พื้นที่ย่อย (ตร.กม.)	ชุดตัวแปรนำเข้า		
		อัตราการไหลน้ำท่า รายวันย้อนหลัง	ปริมาณฝนเฉลี่ยของพื้นที่ ย่อยรายวันย้อนหลัง	อัตราการไหลน้ำท่าจากสถานี วัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่เหนือน้ำ
SM.1	1,070	QSM.1 _t	RSM.1 _{t-1}	-
S.4B	2,490	QS.4B _t , QS.4B _{t-1}	RSM.1 _{t-1} , RS.4B _{t-1}	QSM.1 _{t-1}
SM.2	2,690	QSM.2 _t , QSM.2 _{t-1}	RSM.1 _{t-1} , RS.4B _{t-1} , RSM.2 _{t-1}	QSM.1 _{t-1} , QS.4B _{t-1}
SM.3	3,250	QSM.3 _t , QSM.3 _{t-1}	RSM.1 _{t-1} , RS.4B _{t-1} , RSM.2 _{t-1} , RSM.3 _{t-1}	QSM.1 _{t-1} , QS.4B _{t-1} , QSM.2 _{t-1}
Dam.	3,100	QDam _t , QDam _{t-1} , QDam _{t-2}	RSM.1 _{t-1} , RS.4B _{t-1} , RSM.2 _{t-1} , RSM.3 _{t-1} , RDam _{t-1}	QSM.1 _{t-1} , QS.4B _{t-1} , QSM.2 _{t-1} , QSM.3 _{t-1}
พิจารณาจาก		ค่า Auto Correlation และ Partial Correlation	ค่า Cross Correlation และ กราฟน้ำฝน-น้ำท่า	ค่า Cross Correlation

5.5.3 การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง

การคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ANN ได้แก่ ค่าอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัม โดยการ Trial and Error ของชุดข้อมูลน้ำเข้าแบบจำลองเมืองต้น ของสถานี Dam. ซึ่งเป็นสถานีที่ใช้ในการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ และมีจำนวนชุดตัวแปรนำเข้ามากที่สุด โดยผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม คือค่าอัตราการเรียนรู้ $\eta = 0.001$ และค่าโมเมนตัมเริ่มต้น $\alpha = 0.6$ ตั้งแต่รอบการคำนวณที่ 1 - 5,000 รอบ และเปลี่ยนค่าเป็น $\alpha = 0.95$ ตั้งแต่รอบการคำนวณที่ 5,001 - 10,000 รอบ ดังแสดงในตาราง 5-25

ตาราง 5-25 การทดสอบค่าโมเมนต์และอัตราการเรียนรู้ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม

โมเมนต์ (α)	อัตราการเรียนรู้ (η)											
	0.001 (10,000 รอบ)			0.01 (10,000 รอบ)			0.015 (10,000 รอบ)					
	EI. (%)	RMSE. ($m^3/s.$)	MAD. ($m^3/s.$)	EI. (%)	RMSE. ($m^3/s.$)	MAD. ($m^3/s.$)	EI. (%)	RMSE. ($m^3/s.$)	MAD. ($m^3/s.$)			
0.10							94.01	55.13	38.25			
0.20							94.39	52.15	36.87			
0.30							94.98	49.35	35.93			
0.40				96.32	40.08	28.74	ชู้ชก					
0.50				97.03	37.76	26.07	ชู้ชก					
0.60				97.75	32.95	24.47						
0.70	94.84	41.62	19.97	ชู้ชก								
0.90	96.76	39.60	18.16	ชู้ชก								
0.95	98.15	29.73	15.16	ชู้ชก			ไม่เสถียร					
1.00	ชู้ชก			ชู้ชก								
0.30 : 0.95*										99.18	19.67	10.10
0.30 : 1.00*				98.75	23.78	11.99				ชู้ชก		
0.60 : 0.90*				99.01	21.80	10.31	ชู้ชก					
0.60 : 0.95*				99.21	18.88	9.97						
0.60 : 1.00*				ชู้ชก								

หมายเหตุ * คือค่าโมเมนต์ ช่วงแรก : ช่วงหลัง และเปลี่ยนรอบการคำนวณที่ 5000 รอบ

และการตรวจสอบค่าอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนต์ใช้จุดตัวแปรนำเข้าในช่วงการหาตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมของการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ของ Model1 ณ สถานี Dam. (QDam...)

5.5.4 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน

ผลการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน หลังจากการคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าในเบื้องต้น ลักษณะของโครงข่ายแบบจำลอง และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและนำมาทดสอบโดยการปรับเทียบแบบจำลอง คือปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรนำเข้าและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับค่าที่ตรวจวัดในอดีตด้วยตัววัดค่าทางสถิติ คือ EI, RMSE, MAD, Max. Absolute Error และ อัตราการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Rate of Improvement) ของแต่ละแบบจำลอง ซึ่งสามารถสรุปผลการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ สำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ดังแสดงในตาราง 5-26

ตาราง 5-26 สรุปตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า Dam, SM.3 SM.2 S.4B และ SM.1 กรณีที่ 1

สถานี วัดน้ำท่า	ข้อมูลตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง แบบจำลอง	ปรับเทียบ (% EI.)	สอบทาน (% EI.)
Dam.	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,13} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.19	99.52
SM.3	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,13} , RSM.3 _{1,8} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,11} , QSM.3 _{1,11} , QSM.3 ₁	9-5-4-1	99.19	99.08
SM.2	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,12} , RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,11} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,2} , QSM.2 _{1,11} , QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.44	99.25
S.4B	RSM.1 _{1,11} , RS.4B _{1,11} , QSM.1 _{1,11} , QS.4B _{1,11} , QS.4B ₁	5-3-2-1	97.30	98.74
SM.1	RSM.1 ₁ , QSM.1 _{1,11} , QSM.1 ₁	3-3-1	76.32	81.43

สำหรับรายละเอียดของการคัดเลือก แสดงในตาราง ง-1 ถึงตาราง ง-5 และจากตาราง 5-26 พบว่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง (% EI) ของสถานีวัดน้ำท่า Dam, SM.3 SM.2 และ S.4B มีค่ามากกว่า 97 % และสถานีวัดน้ำท่า SM.1 ทั้งในช่วงของการปรับเทียบและสอบทานมีค่ามากกว่า 76 % แต่เห็นว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองต่ำกว่า อีก 4 สถานีมาก ทั้งนี้เนื่องจากสภาพภูมิประเทศตอนบนของมีความซับซ้อน และลักษณะของชลภาพน้ำท่าของสถานีมีค่าผันผวนมากหรือมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

5.5.5 การปรับปรุงผลการพยากรณ์

การศึกษาในครั้งนี้ ใช้วิธีการคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าสำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน โดยวิธี Standard Step (หัวข้อ 4.6.7) และได้มีการนำอนุกรมค่าความผิดพลาดของผลการพยากรณ์ที่ผ่านมาจากแบบจำลอง ANN มาตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกัน โดยใช้กราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation เพื่อพิจารณาอนุกรมค่าความผิดพลาดว่ามีความเป็นอิสระต่อกัน (มีค่าอยู่ในขอบเขตความเป็นอิสระต่อกัน $\pm 95\%$ Tolerance) หรือไม่ ถ้ามีความอิสระต่อกันแสดงว่าไม่ต้องมีการปรับปรุงผลการพยากรณ์ แต่ถ้าไม่อิสระต่อกันแสดงว่าสามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองพยากรณ์ค่าความผิดพลาดล่วงหน้าได้ โดยใช้แบบจำลองอนุกรมเวลา เพื่อนำไปปรับปรุงผลการพยากรณ์ที่ได้ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

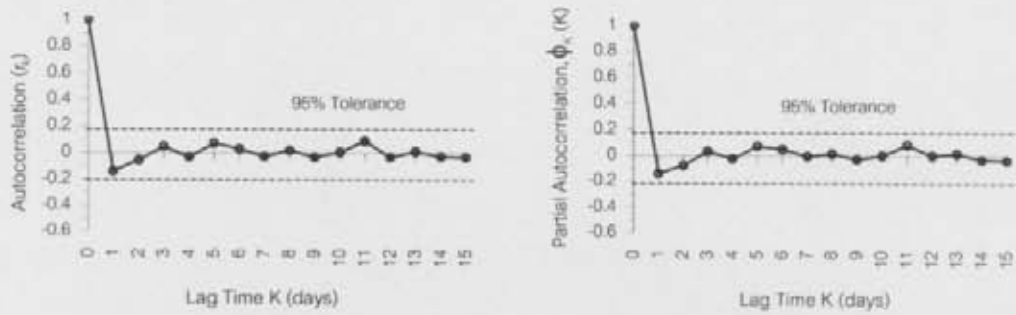
ซึ่งจากผลการตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันของอนุกรมค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน โดยแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ของกรณีที่ 1 ดังแสดงในรูป 5-36 และกรณีที่ 2 ดังแสดงในรูป 5-37

จากรูป 5-36 พบว่าค่ากราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation ของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ กรณีที่ 1 มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในขอบเขตความเป็นอิสระต่อกัน $\pm 95\%$ Tolerance แสดงว่าอนุกรมค่าความผิดพลาดของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ มีความอิสระต่อกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถสร้างแบบจำลองพยากรณ์ค่าความผิดพลาดล่วงหน้า เพื่อนำไปปรับปรุงผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายล่วงหน้า 1 วัน ได้

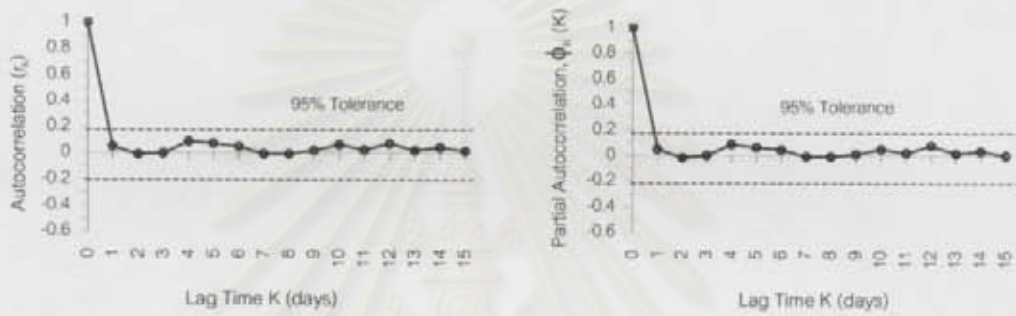
จากรูป 5-37 พบว่าค่ากราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation ของสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B และ SM.2 ของกรณีที่ 2 มีค่าใกล้เคียงและอยู่ในขอบเขตความเป็นอิสระต่อกัน $\pm 95\%$ Tolerance แสดงว่าอนุกรมค่าความผิดพลาดของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ มีความอิสระต่อกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถสร้างแบบจำลองพยากรณ์ค่าความผิดพลาดล่วงหน้า เพื่อนำไปปรับปรุงผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายล่วงหน้า 1 วัน ได้

แต่สถานีวัดน้ำท่า SM.3 และ Dam. ของกรณีที่ 2 มีค่าความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และ Partial Autocorrelation อยู่นอกขอบเขตความเป็นอิสระต่อกัน $\pm 95\%$ Tolerance แสดงว่าอนุกรมค่าความผิดพลาดไม่อิสระต่อกัน ดังนั้นจึงสามารถสร้างแบบจำลองพยากรณ์ค่าความผิดพลาดล่วงหน้า โดยแบบจำลองอนุกรมเวลา เพื่อนำไปปรับปรุงผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายล่วงหน้า 1 วัน ได้

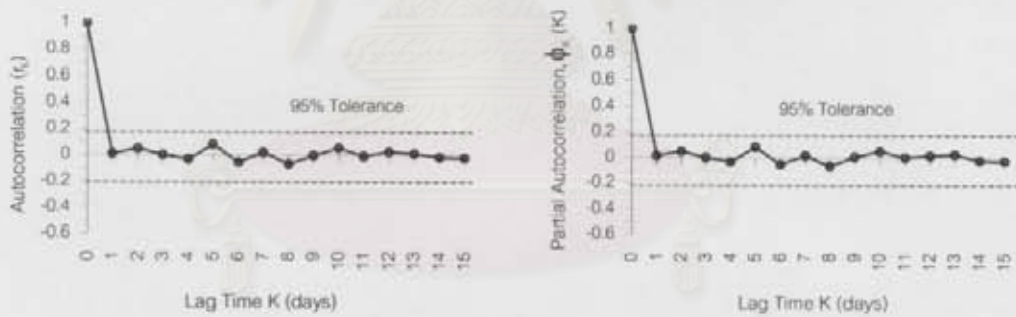
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.1,..)

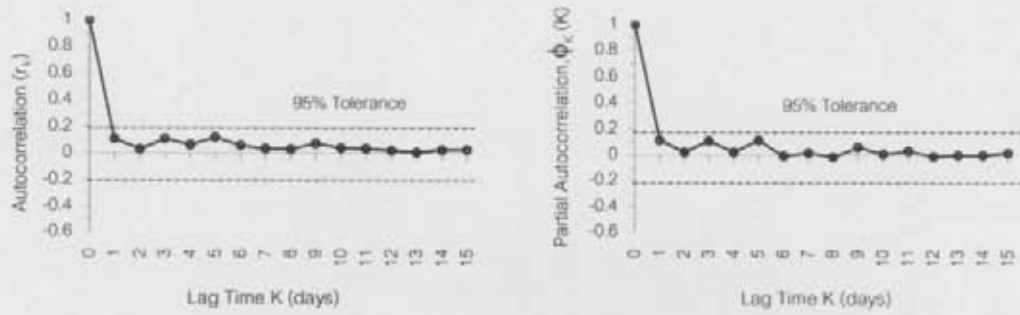


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (OS.4B,..)

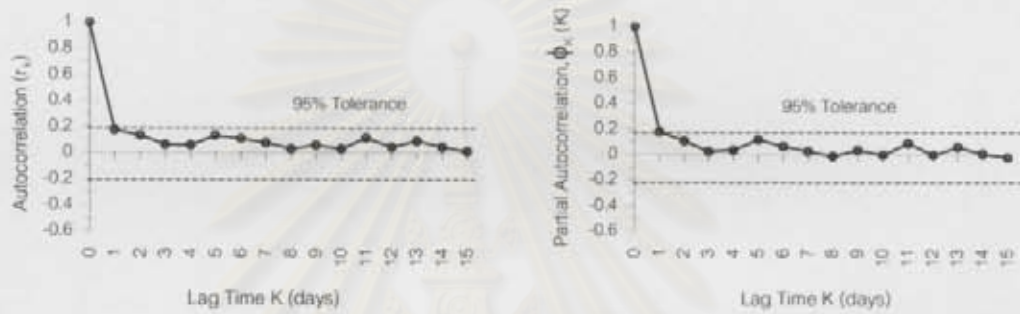


(c) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,..)

รูป 5-36 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานที่ต่างๆ กรณีที่ 1



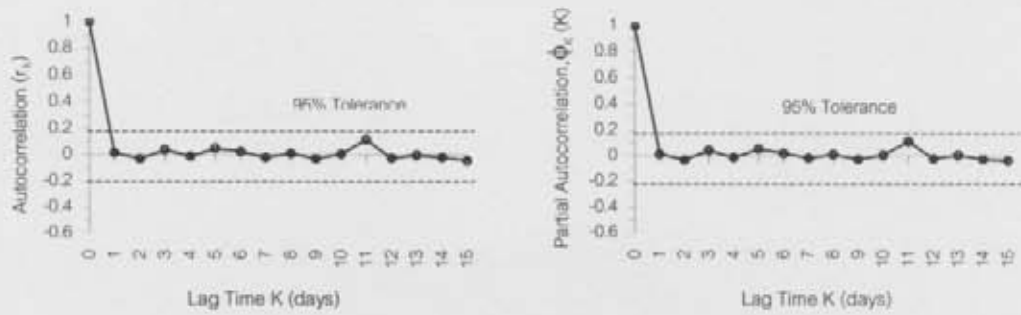
(d) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM_{3,1})



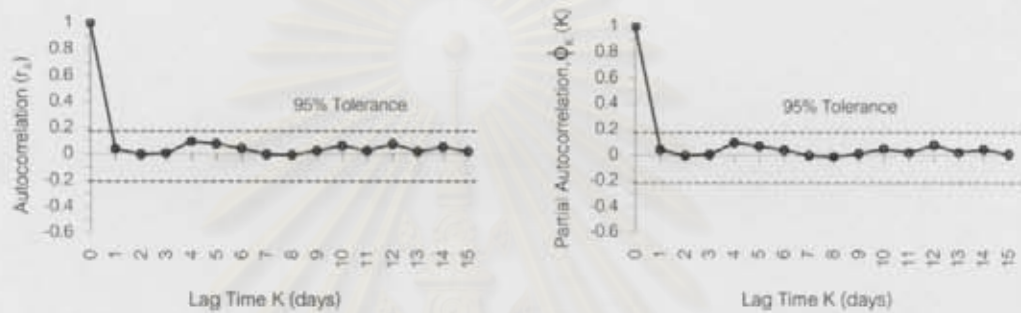
(e) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (Qdam_{1,1})

รูป 5-36 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน
ของแบบจำลอง ANN ณ สถานที่ต่างๆ กรณีที่ 1 (ต่อ)

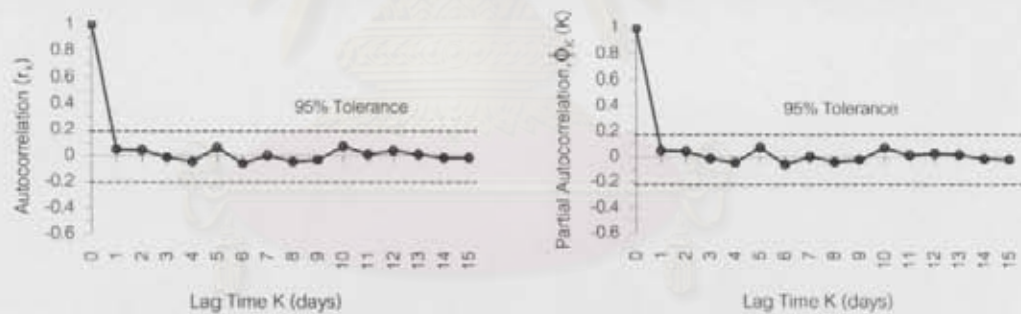
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.1_{...})

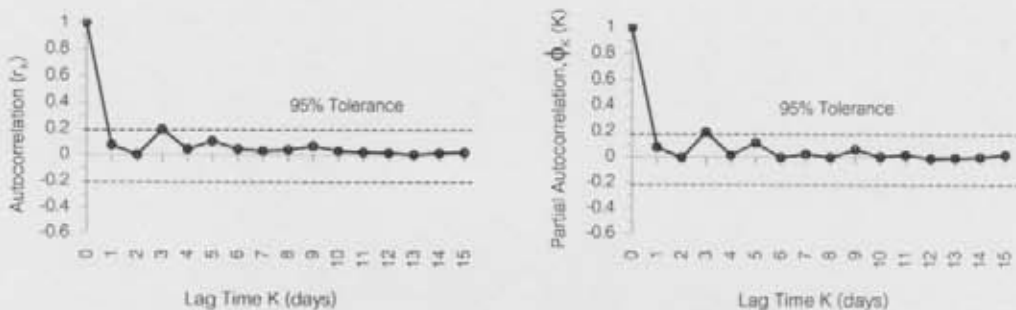


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QS.4B_{...})

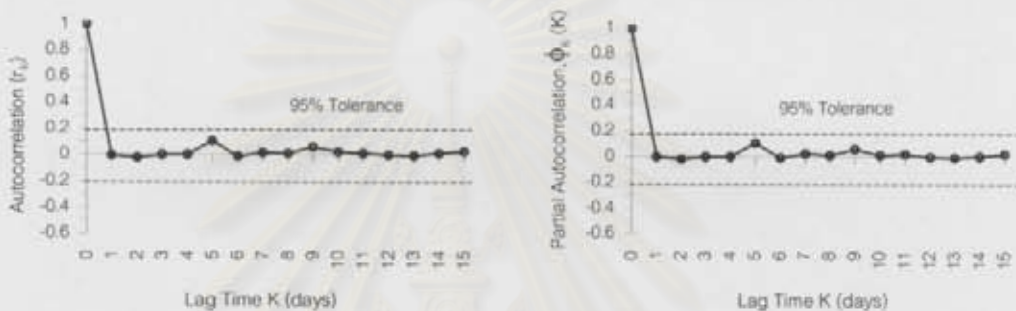


(c) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2_{...})

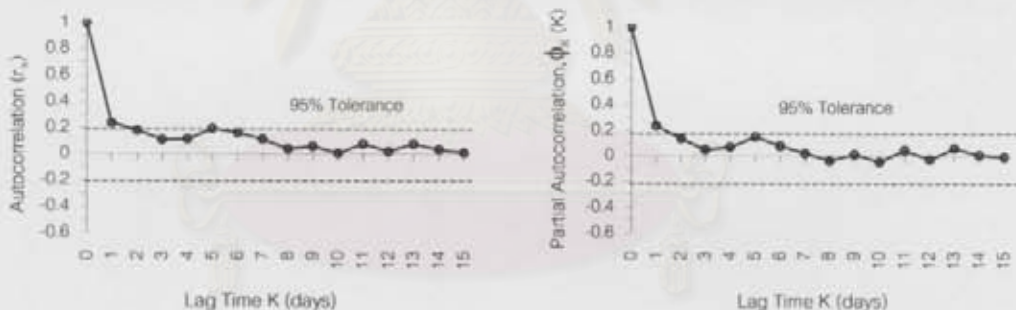
รูป 5-37 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานที่ต่างๆ กรณีที่ 2



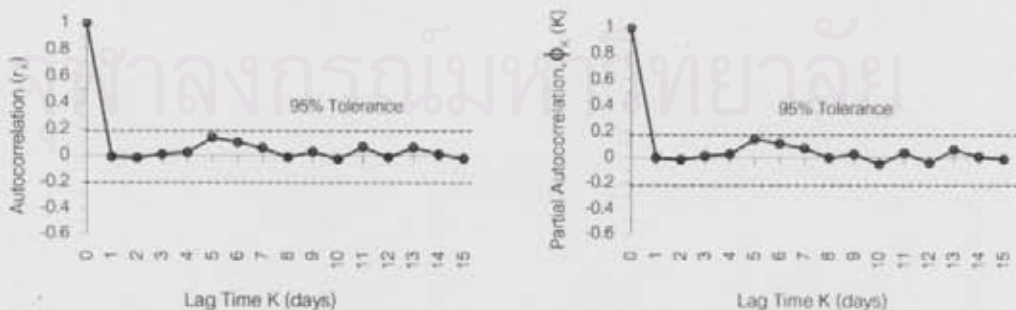
(d) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,...)



(e) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,...) + AR(3)



(f) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam,...)



(g) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam,...) + AR(2)

รูป 5-37 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานที่ต่างๆ กรณีที่ 2 (ต่อ)

5.5.6 ผลการพยากรณ์ล่องหนามากกว่า 1 วัน

ชุดตัวแปรนำเข้าของการพยากรณ์ล่องหนามากกว่า 1 วัน ได้ใช้วิธี Standard Step โดยการนำผลการพยากรณ์ที่ผ่านการตรวจสอบความเป็นอิสระ และปรับปรุงผลการพยากรณ์แล้ว มาเป็นตัวแปรนำเข้าในแบบจำลองสำหรับพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าในวันถัดไป และตัดตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ย้อนหลังสุดท้ายออกไป สำหรับชุดตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าล่องหนาดังแต่ 1 วัน จนถึงวันมากที่สุดของการพยากรณ์ สำหรับกรณีที่ 1 แสดงในตาราง 5-27 และกรณีที่ 2 ได้จากการคัดเลือกเฉพาะชุดตัวแปรนำเข้าที่เป็นค่าและผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันของกรณีที่ 1 ที่ได้ทดสอบตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในตาราง 5-28

ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่องหนามากกว่า 1 วัน นำมาตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาด และคัดเลือกรูปแบบการปรับปรุงผลการพยากรณ์โดยแบบจำลองอนุกรมเวลา รวมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอนุกรมเวลา โดยแยกแสดงผลตามกรณีของการศึกษาดังนี้

1) กรณีที่ 1 : ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันและปริมาณฝนเฉลี่ยในพื้นที่ย่อย

ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่องหนามากกว่า 1 วัน ดังแสดงในตาราง 5-29 มีการตรวจสอบค่าความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาด และปรับปรุงผลของการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า โดยใช้แบบจำลองอนุกรมเวลาซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอนุกรมเวลา วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรน ด้วยวิธีการหาค่าของ Gauss-Seidel ดังแสดงในรูป ง-1 และ ง-2 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของการปรับปรุงผลการพยากรณ์ทั้งหมด ดังแสดงในตาราง ง-6 และผลของการปรับปรุงอนุกรมค่าความผิดพลาดด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลา ดังแสดงในรูป ง-3 ถึงรูป ง-18

จากตาราง 5-29 พบว่าผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าล่องหนามากกว่า 1 วัน ของกลุ่มสถานีวัดน้ำท่าก่อนถึงเขื่อนป่าสักฯ คือสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 และ SM.3 ให้ผลของการพยากรณ์ก่อนและหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์ ดังนี้

1.1) จำนวนวันพยากรณ์ล่องหนามากที่สุดของสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 และ SM.3 คือ 1 2 8 และ 10 วัน ตามลำดับ

1.2) ในช่วงการปรับเทียบ ค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (%EI) ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 90.61 – 97.40% และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 91.93 – 98.25% ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.44 – 1.99% และในช่วงการสอบทาน ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 87.59 – 97.80% และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 88.17 – 98.42% ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.31 – 2.31%

ตาราง 5-27 ชุดตัวแปรนำเข้าที่ใช้พยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงฤดูน้ำหลาก
กรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันและน้ำฝนรายวันเฉลี่ยย้อนหลัง

จำนวนวัน พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน)	ชุดตัวแปรนำเข้า		
	สถานีวัดน้ำท่า		
	SM.1	S.4B	SM.2
1	RSM.1 _t QSM.1 _{t+1} , QSM.1 _t	RSM.1 _{t+1} , RS.4B _{t+1} QSM.1 _t , QS.4B _{t+1} , QS.4B _t	RSM.1 _{t+2} , RS.4B _{t+2} , RSM.2 _{t+2} QSM.1 _{t+1} , QS.4B _{t+1} , QSM.2 _{t+1} , QSM.2 _{t+1} , QSM.2 _t
2	-	RSM.1 _{t+2} , RS.4B _{t+2} FQSM.1 _{t+1} , QS.4B _t , FQS.4B _{t+1}	RSM.1 _{t+1} , RS.4B _{t+1} , RSM.2 _{t+1} QSM.1 _{t+2} , QS.4B _{t+2} , QSM.2 _{t+2} , QSM.2 _{t+1} , FQSM.2 _{t+1}
3	-	-	RSM.1 _{t+3} , RS.4B _{t+3} , RSM.2 _{t+3} QSM.1 _{t+3} , QS.4B _{t+3} , QSM.2 _{t+3} , FQSM.2 _{t+1} , FQSM.2 _{t+2}
4	-	-	RSM.1 _{t+4} , RS.4B _{t+4} , RSM.2 _{t+4} QSM.1 _{t+4} , QS.4B _{t+4} , FQSM.2 _{t+1} , FQSM.2 _{t+2} , FQSM.2 _{t+3}
5	-	-	RSM.1 _{t+5} , RS.4B _{t+5} , RSM.2 _{t+5} QSM.1 _{t+5} , QS.4B _{t+5} , FQSM.2 _{t+2} , FQSM.2 _{t+3} , FQSM.2 _{t+4}
6	-	-	RSM.1 _{t+6} , RS.4B _{t+6} , RSM.2 _{t+6} QSM.1 _{t+6} , QS.4B _{t+6} , FQSM.2 _{t+3} , FQSM.2 _{t+4} , FQSM.2 _{t+5}
7	-	-	RSM.1 _{t+7} , RS.4B _{t+7} , RSM.2 _{t+7} QSM.1 _{t+7} , FQS.4B _{t+1} , FQSM.2 _{t+4} , FQSM.2 _{t+5} , FQSM.2 _{t+6}
8	-	-	RSM.1 _{t+8} , RS.4B _{t+8} , RSM.2 _{t+8} QSM.1 _{t+8} , FQS.4B _{t+2} , FQSM.2 _{t+5} , FQSM.2 _{t+6} , FQSM.2 _{t+7}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5-27 ชุดตัวแปรนำเข้าที่ใช้พยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงฤดูน้ำหลาก
กรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันและน้ำฝนรายวันเฉลี่ยย้อนหลัง (ต่อ)

จำนวนวัน พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน)	ชุดตัวแปรนำเข้า	
	สถานีวัดน้ำท่า	
	SM.3	Dam.
1	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,10} , QSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,10} , QDam _{1,10} , QDam _{1,10}
2	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,10} , QDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
3	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
4	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
5	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
6	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
7	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} , QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
8	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} , QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
9	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} , QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
10	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} , QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
11	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} , QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
12	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} , QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}
13	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10}	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,10} , RSM.3 _{1,10} , RDam _{1,10} , QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} , FQSM.2 _{1,10} , FQSM.3 _{1,10} , FQDam _{1,10} , FQDam _{1,10}

ตาราง 5-28 ชุดตัวแปรนำเข้าที่ใช้พยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงฤดูน้ำหลาก
กรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันเพียงอย่างเดียว

จำนวนวัน พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน)	ชุดตัวแปรนำเข้า		
	สถานีวัดน้ำท่า		
	SM.1	S.4B	SM.2
1	QSM.1 _{1,1} , QSM.1 ₁	QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.2 ₁
2	-	FQSM.1 _{1,1} , QS.4B ₁ , FQS.4B _{1,1}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.2 ₁ , FQSM.2 _{1,1}
3	-	-	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 ₁ , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.2 _{1,2}
4	-	-	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.2 _{1,2} , FQSM.2 _{1,3}
5	-	-	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.2 _{1,2} , FQSM.2 _{1,4}
6	-	-	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.2 _{1,2} , FQSM.2 _{1,5}
7	-	-	QSM.1 _{1,1} , FQS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.2 _{1,2} , FQSM.2 _{1,3}
8	-	-	QSM.1 ₁ , FQS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.2 _{1,2} , FQSM.2 _{1,1}

ตาราง 5-28 ชุดตัวแปรนำเข้าที่ใช้พยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงฤดูน้ำหลาก
กรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันเพียงอย่างเดียว (ต่อ)

จำนวนวัน พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน)	ชุดตัวแปรนำเข้า	
	สถานีวัดน้ำท่า	
	SM.3	Dam.
1	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.3 _{1,1} , QSM.3 ₁	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.3 _{1,1} , QDam _{1,1} , QDam ₁
2	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.3 _{1,1} , QDam _{1,1} , FQDam _{1,1}
3	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,2}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , QSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,2}
4	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,3}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,3}
5	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,4}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,4}
6	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,5}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,5}
7	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,6}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , QSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,6}
8	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,7}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,7}
9	QSM.1 _{1,1} , FQS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,8}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,8}
10	QSM.1 _{1,1} , FQS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQSM.3 _{1,9}	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,9}
11	-	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,10}
12	-	QSM.1 _{1,1} , QS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,11}
13	-	QSM.1 _{1,1} , FQS.4B _{1,1} , FQSM.2 _{1,1} , FQSM.3 _{1,1} , FQDam _{1,1} , FQDam _{1,12}

ตาราง 5-29 ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงของการปรับเทียบและสอบทาน ณ สถานีวัดน้ำท่าของแต่ละพื้นที่ย่อย กรณีที่ 1

สถานีวัดน้ำท่า	จำนวนวันพยากรณ์ล่วงหน้า (วัน)	Structure	Training Period										Testing Period									
			ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่แท้จริง	ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่แท้จริง		
			El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองพยากรณ์	El.	RMSE	MAD		Max.Abs. Error	El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองพยากรณ์	El.	RMSE		MAD	Max.Abs. Error
			(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	AR(p)	(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	RI (%)	(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	AR(p)	(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	RI (%)
SM.1	1	3-3-1	76.32	14.25	6.01	158.92	-	76.32	14.25	6.01	158.92	-	81.43	14.04	6.62	96.82	-	81.43	14.04	6.62	96.82	-
S.4B	1	5-3-2-1	97.30	6.95	3.65	56.53	-	97.30	6.95	3.65	56.53	-	98.74	5.95	3.60	36.15	-	98.74	5.95	3.60	36.15	-
	2	5-3-2-1	93.01	11.20	6.64	78.70	AR(2)	94.77	9.68	5.42	72.40	1.89	96.03	10.59	6.87	48.84	AR(2)	97.30	8.74	5.33	45.92	1.32
SM.2	1	8-4-4-1	99.44	6.54	3.19	89.83	-	99.44	6.54	3.19	89.83	-	99.25	7.57	3.59	55.87	-	99.25	7.57	3.59	55.87	0.00
	2	8-4-4-1	97.40	14.22	9.12	155.16	AR(2)	98.25	11.68	6.93	104.18	0.87	97.80	13.00	7.61	110.40	AR(2)	98.42	11.01	6.15	87.27	0.63
	3	8-4-4-1	96.24	17.10	9.94	168.92	AR(1)	97.06	15.12	8.57	129.45	0.85	97.17	14.75	9.73	75.73	AR(1)	97.56	13.70	8.71	66.77	0.40
	4	8-4-4-1	95.80	19.63	11.68	177.84	AR(1)	96.02	17.63	10.12	150.35	0.44	95.95	17.69	11.97	89.80	AR(1)	96.43	16.62	10.67	62.62	0.50
	5	8-4-4-1	93.80	22.01	13.51	177.32	AR(1)	95.61	18.51	10.89	135.46	1.93	95.47	18.74	12.51	76.81	AR(1)	96.23	17.11	10.75	76.25	0.80
	6	8-4-4-1	93.59	22.39	13.84	182.53	AR(1)	94.84	20.06	11.88	146.12	1.34	95.42	18.89	12.51	94.14	AR(1)	95.72	18.25	11.46	92.36	0.31
	7	8-4-4-1	92.40	24.39	15.08	184.33	AR(2)	94.24	21.24	12.35	181.37	1.99	93.94	21.78	14.08	111.30	AR(2)	96.11	17.45	10.85	99.47	2.31
	8	8-4-4-1	93.18	23.12	14.04	178.35	AR(1)	94.63	20.50	12.15	151.33	1.56	93.85	21.99	14.48	109.73	AR(1)	95.20	19.42	12.33	94.62	1.44
SM.3	1	9-5-4-1	99.19	12.86	6.66	187.39	-	99.19	12.86	6.66	187.39	-	99.08	13.60	5.31	120.05	-	99.08	13.60	5.31	120.05	-
	2	9-5-4-1	97.06	24.46	13.77	312.02	AR(3)	98.22	19.02	9.82	213.13	1.20	96.31	29.29	14.75	256.38	AR(3)	98.40	19.31	9.71	181.25	2.17
	3	9-5-4-1	96.12	28.11	16.07	323.36	AR(1)	97.09	24.34	13.07	247.03	1.01	95.56	32.21	17.08	284.78	AR(1)	96.82	27.23	14.54	238.20	1.33
	4	9-5-4-1	94.87	32.33	18.74	381.93	AR(1)	95.87	29.01	16.71	255.79	1.05	93.54	38.88	21.00	318.71	AR(1)	94.72	35.15	18.64	205.04	1.26
	5	9-5-4-1	93.53	36.33	21.72	394.08	AR(2)	94.80	32.50	18.65	279.83	1.36	91.96	43.42	23.59	343.60	AR(2)	92.48	42.03	21.39	332.92	0.54
	6	9-5-4-1	93.02	37.74	22.76	412.73	AR(2)	94.44	33.67	19.57	278.49	1.53	92.17	42.93	24.32	427.94	AR(2)	92.76	41.28	22.28	325.32	0.64
	7	9-5-4-1	92.69	38.63	24.20	415.35	AR(2)	93.85	35.44	21.31	299.51	1.25	90.81	46.57	25.79	342.36	AR(2)	91.10	45.81	24.93	267.63	0.32
	8	9-5-4-1	91.86	40.78	25.57	425.47	AR(2)	93.15	37.41	22.65	311.59	1.40	89.26	50.39	28.13	381.01	AR(2)	90.49	47.33	26.40	285.89	1.38
	9	9-5-4-1	90.98	42.96	26.55	428.01	AR(2)	92.39	39.47	23.75	320.66	1.55	88.68	51.80	30.91	358.56	AR(2)	89.57	49.72	28.74	289.74	1.00
	10	8-4-4-1	90.61	43.86	27.19	425.08	AR(2)	91.93	40.66	24.80	317.32	1.46	87.59	54.32	32.28	377.46	AR(2)	88.17	53.04	30.27	291.20	0.66

ตาราง 5-29 ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงของการปรับเทียบและสอบทาน ณ สถานีวัดน้ำท่าของแต่ละพื้นที่ย่อย กรณีที่ 1 (ต่อ)

สถานีวัดน้ำท่า	จำนวนวันพยากรณ์	ประเภทน้ำท่า	Structure	Training Period									Testing Period										
				ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น Ri (%)	ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น Ri (%)		
				El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองอนุกรมเวลา AR(p)	El.	RMSE	MAD		Max.Abs. Error	El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองอนุกรมเวลา AR(p)	El.	RMSE		MAD	Max.Abs. Error
				(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)		(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)		(m ³ /s.)		(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)		(%)		(m ³ /s.)	(m ³ /s.)
Dam.	1	11-6-5-1	99.19	19.35	9.63	202.47	-	99.19	19.35	9.63	202.47	-	99.52	14.85	9.23	102.80	-	99.52	14.85	9.23	102.80	-	
	2	11-6-5-1	96.92	37.22	20.08	677.70	AR(1)	98.09	29.33	13.98	413.56	1.21	97.81	31.15	20.11	251.20	AR(1)	98.91	22.00	11.74	242.09	1.12	
	3	11-6-5-1	96.11	42.59	20.84	877.18	AR(2)	97.57	33.63	15.57	607.57	1.52	97.98	31.04	19.89	202.60	AR(2)	99.05	21.25	12.80	112.36	1.09	
	4	11-6-5-1	94.96	48.48	24.11	889.34	AR(1)	95.99	42.50	19.56	636.04	1.08	97.02	37.79	24.77	228.60	AR(1)	97.47	33.61	18.27	216.24	0.46	
	5	11-6-5-1	93.39	54.59	26.39	1178.13	AR(1)	95.42	45.41	20.40	892.07	2.17	96.11	41.72	29.54	280.80	AR(1)	96.95	36.94	21.31	246.71	0.87	
	6	11-6-5-1	92.93	58.46	28.35	1138.98	AR(2)	94.43	50.11	23.46	927.56	1.61	94.25	50.82	31.08	417.91	AR(2)	95.16	46.61	24.35	364.90	0.97	
	7	11-6-5-1	91.66	61.34	30.87	1064.47	AR(1)	93.51	54.09	26.04	813.54	2.02	93.04	56.00	31.80	519.69	AR(1)	93.24	55.20	28.84	489.98	0.21	
	8	11-6-5-1	91.25	62.85	32.62	1058.74	AR(2)	93.20	56.40	28.20	781.73	2.14	90.57	65.27	37.65	484.61	AR(2)	92.01	60.09	31.48	475.80	1.59	
	9	11-6-5-1	90.61	65.11	33.70	1223.60	AR(2)	92.31	58.93	29.93	985.03	1.88	90.76	64.73	38.71	426.67	AR(2)	91.15	63.35	34.95	384.63	0.43	
	10	11-6-5-1	90.53	65.42	34.85	1124.40	AR(2)	92.30	59.01	30.92	864.21	1.96	90.31	66.36	40.02	390.71	AR(2)	90.84	65.98	36.05	383.61	0.59	
	11	11-6-5-1	89.79	67.97	36.70	1150.77	AR(2)	91.77	61.02	33.00	876.88	2.21	87.71	76.40	43.70	516.98	AR(2)	90.03	67.45	37.72	424.80	2.65	
	12	11-6-5-1	89.32	69.55	37.99	1155.29	AR(2)	91.48	62.14	34.10	862.40	2.42	89.05	70.78	42.25	497.05	AR(2)	89.51	69.30	38.51	431.51	0.52	
	13	11-6-5-1	88.46	72.35	39.28	1366.50	AR(1)	90.34	66.19	36.48	1152.70	2.13	84.55	84.23	47.05	557.34	AR(1)	84.84	83.42	43.89	556.93	0.34	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า ณ ตำแหน่งหัวงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ คือสถานีวัดน้ำท่า Dam. ให้ผลของการพยากรณ์ก่อนและหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์ ดังนี้

1.3) จำนวนวันพยากรณ์ล่วงหน้ามากที่สุดของสถานีวัดน้ำท่า Dam. คือ 13 วัน

1.4) ในช่วงการเปรียบเทียบ ค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (%EI) ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 88.46 – 96.92% และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 90.34 – 98.09% ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 1.08 – 2.42% และในช่วงการสอบทาน ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 84.55 – 97.98% และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 84.84 – 99.05% ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.21 – 2.65%

2) กรณีที่ 2 : ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันเพียงอย่างเดียว

ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน ดังแสดงในตาราง 5-30 มีการตรวจสอบค่าความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาด และปรับปรุงผลของการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า โดยใช้แบบจำลองอนุกรมเวลาซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอนุกรมเวลา ดังแสดงในตาราง 4-7 และผลของการปรับปรุงอนุกรมค่าความผิดพลาด ดังแสดงในรูป 4-19 ถึงรูป 4-32

จากตาราง 5-30 พบว่าผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน ของกลุ่มสถานีวัดน้ำท่าก่อนถึงเขื่อนป่าสักฯ คือสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 และ SM.3 ให้ผลของการพยากรณ์ก่อนและหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์ ดังนี้

2.1) จำนวนวันพยากรณ์ล่วงหน้ามากที่สุดของสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 และ SM.3 คือ 1 2 8 และ 10 วัน ตามลำดับ

2.2) ในช่วงการเปรียบเทียบ ค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (%EI) ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 89.78 – 97.67% และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 91.51 – 98.41% ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03 – 2.68% และในช่วงการสอบทาน ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 85.26 – 99.03% และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 85.40 – 99.03% ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 – 2.08%

ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่าล่วงหน้ามากกว่า 1 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า ณ ตำแหน่งหัวงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ คือสถานีวัดน้ำท่า Dam. ให้ผลของการพยากรณ์ก่อนและหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์ ดังนี้

2.3) จำนวนวันพยากรณ์ล่วงหน้ามากที่สุดของสถานีวัดน้ำท่า Dam. คือ 13 วัน

ตาราง 5-30 ผลการพยากรณ์อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันล่วงหน้า ในช่วงของการปรับเทียบและสอบทาน ณ สถานีวัดน้ำท่าของแต่ละพื้นที่ย่อย กรณีที่ 2

สถานีวัดน้ำท่า	จำนวนวันพยากรณ์	Structure	Training Period										Testing Period									
			ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น RI (%)	ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น RI (%)		
			El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองอนุกรมเวลา AR(p)	El.	RMSE	MAD		Max.Abs. Error	El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองอนุกรมเวลา AR(p)	El.	RMSE		MAD	Max.Abs. Error
			(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)		(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)		(m. ³ /s.)		(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)		(%)		(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)
SM.1	1	2-2-1	69.08	16.30	6.57	179.97	-	69.08	16.30	6.57	179.97	-	81.75	13.92	6.68	101.76	-	81.75	13.92	6.68	101.76	-
S.4B	1	3-3-1	97.24	7.03	3.68	55.21	-	97.24	7.03	3.68	55.21	-	98.71	6.04	3.75	37.21	-	98.71	6.04	3.75	37.21	-
	2	3-3-1	93.51	10.79	6.44	72.83	AR(3)	96.02	8.45	4.51	63.76	2.68	96.34	10.18	6.79	50.20	AR(3)	98.08	7.37	4.35	48.19	1.81
SM.2	1	5-3-2-1	99.43	6.62	3.23	91.99	-	99.43	6.62	3.23	91.99	-	99.24	7.60	3.62	55.21	-	99.24	7.60	3.62	55.21	-
	2	5-3-2-1	97.67	13.47	7.52	147.90	AR(2)	98.41	11.13	6.08	99.07	0.76	97.85	12.84	7.40	109.60	AR(2)	98.38	11.14	6.25	86.36	0.54
	3	5-3-2-1	98.26	17.07	9.82	170.63	AR(1)	96.95	15.42	8.59	136.01	0.72	96.20	17.11	10.81	111.54	AR(1)	96.85	15.57	9.17	96.40	0.68
	4	5-3-2-1	94.54	20.63	12.18	184.18	AR(1)	95.70	18.32	10.27	160.51	1.23	94.40	20.80	12.20	114.81	AR(1)	95.67	18.30	10.77	100.04	1.35
	5	5-3-2-1	93.30	22.87	13.95	195.86	AR(1)	94.86	20.04	11.58	152.05	1.67	91.31	25.96	16.22	123.46	AR(1)	92.67	23.84	14.14	122.58	1.49
	6	5-3-2-1	93.33	22.83	13.86	180.48	AR(2)	94.60	20.55	11.94	178.53	1.36	91.30	26.03	15.38	145.95	AR(2)	91.98	24.99	14.26	132.94	0.74
	7	5-3-2-1	92.54	24.17	14.89	175.90	AR(1)	94.51	20.74	12.26	157.62	2.13	92.38	24.41	15.91	135.39	AR(1)	93.22	23.04	14.42	111.04	0.91
	8	5-3-2-1	92.49	24.26	15.01	178.12	AR(5)	93.96	21.75	12.85	159.05	1.59	91.90	25.23	16.08	128.63	AR(5)	92.51	24.27	14.69	120.99	0.66
SM.3	1	5-3-2-1	99.21	12.69	6.40	187.37	AR(3)	99.24	12.41	6.14	184.14	0.03	99.03	15.02	6.62	128.61	AR(3)	99.03	15.01	6.52	125.45	0.00
	2	5-3-2-1	97.24	23.71	12.80	298.54	AR(1)	97.91	20.66	10.08	230.62	0.69	96.31	29.32	13.92	255.85	AR(1)	98.08	21.13	10.03	201.13	1.84
	3	5-3-2-1	95.87	29.01	16.40	328.67	AR(4)	97.26	23.62	12.47	248.71	1.45	95.14	33.68	17.27	301.67	AR(4)	97.12	25.94	13.29	237.83	2.08
	4	5-3-2-1	95.05	31.76	17.83	377.95	AR(2)	95.96	28.69	15.36	257.36	0.96	94.03	37.37	19.28	319.06	AR(2)	95.12	33.80	17.37	234.13	1.16
	5	5-3-2-1	93.70	35.84	20.52	398.74	AR(1)	94.83	32.47	18.25	273.79	1.21	92.14	42.95	22.24	345.44	AR(1)	93.23	38.85	20.51	330.06	1.18
	6	5-3-2-1	92.39	39.41	23.45	405.84	AR(2)	93.70	35.85	20.23	306.64	1.42	90.21	47.76	26.40	426.49	AR(2)	90.65	46.89	24.07	353.54	0.49
	7	5-3-2-1	91.63	41.35	24.78	412.17	AR(1)	92.77	38.41	22.56	292.79	1.24	88.92	51.12	28.75	354.01	AR(1)	89.44	49.92	27.22	259.23	0.58
	8	5-3-2-1	90.72	43.55	26.30	432.54	AR(2)	92.25	39.80	23.40	333.99	1.69	87.94	53.39	30.09	360.51	AR(2)	88.86	52.58	28.26	293.78	1.05
	9	5-3-2-1	90.32	44.51	26.53	410.49	AR(3)	91.63	41.39	24.19	316.57	1.45	86.24	57.12	31.62	372.13	AR(3)	87.63	56.37	30.86	355.60	1.61
	10	5-3-2-1	89.78	45.74	27.40	428.52	AR(2)	91.51	41.70	24.54	309.93	1.93	85.26	59.19	32.15	476.49	AR(2)	85.40	58.91	32.04	403.46	0.16

ตาราง 5-30 ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ในช่วงของการปรับเทียบและสอบทาน ณ สถานีวัดน้ำท่าของแต่ละพื้นที่ย่อย กรณีที่ 2 (ต่อ)

สถานีวัดน้ำท่า	จำนวนวันพยากรณ์ล่วงหน้า (วัน)	Structure	Training Period										Testing Period									
			ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น Ri (%)	ANN				ANN + Residual adjustment				ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น Ri (%)		
			El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองพยากรณ์	El.	RMSE	MAD		Max.Abs. Error	El.	RMSE	MAD	Max.Abs. Error	แบบจำลองพยากรณ์	El.	RMSE		MAD	Max.Abs. Error
			%	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	AR(p)	%	m ³ /s	m ³ /s		m ³ /s	%	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	AR(p)	%	m ³ /s		m ³ /s	m ³ /s
Dam	1	6-3-3-1	99.18	19.21	10.18	211.70	AR(2)	99.24	18.50	9.20	187.56	0.06	99.10	19.94	10.62	179.81	AR(2)	99.39	16.36	8.30	167.92	0.29
	2	6-3-3-1	97.01	36.66	18.54	662.71	AR(5)	98.44	26.50	12.13	401.25	1.47	96.42	39.87	19.58	396.99	AR(5)	98.48	25.94	10.61	293.59	2.14
	3	6-3-3-1	96.04	42.22	21.05	803.35	AR(4)	97.25	35.18	15.88	554.70	1.26	90.88	63.69	26.93	634.99	AR(4)	94.73	48.44	16.96	553.81	4.24
	4	6-3-3-1	94.43	50.09	24.30	1024.39	AR(1)	95.76	43.69	19.46	761.18	1.41	89.71	67.79	29.28	670.58	AR(1)	93.09	55.70	20.47	426.64	3.77
	5	6-3-3-1	93.42	54.44	25.92	1248.11	AR(1)	95.46	45.24	19.48	935.76	2.18	91.62	61.25	28.31	520.51	AR(1)	92.08	59.56	21.14	511.35	0.50
	6	6-3-3-1	92.07	59.77	27.79	1176.84	AR(1)	93.98	52.19	25.69	951.58	2.05	91.13	63.40	37.43	589.81	AR(1)	91.21	62.65	22.65	554.62	0.09
	7	6-3-3-1	90.67	64.86	30.77	1143.78	AR(2)	93.01	56.16	25.78	837.70	2.58	90.84	64.14	31.65	611.31	AR(2)	90.94	63.50	30.66	346.22	0.11
	8	6-3-3-1	90.35	66.01	32.65	1074.03	AR(2)	92.34	58.81	28.42	805.42	2.20	89.54	66.95	39.29	454.99	AR(2)	90.12	68.51	32.48	453.78	0.65
	9	6-3-3-1	90.06	66.94	33.79	1292.23	AR(2)	92.05	59.91	29.59	1039.76	2.19	89.34	69.30	34.67	561.13	AR(2)	89.50	69.00	33.95	550.25	0.18
	10	6-3-3-1	88.87	70.94	35.46	1213.36	AR(2)	90.96	63.84	31.54	921.05	2.37	86.72	77.83	42.11	552.31	AR(2)	87.24	76.31	38.23	496.05	0.60
	11	6-3-3-1	89.20	69.89	36.99	1307.91	AR(2)	90.34	64.58	33.01	1012.55	1.28	86.37	78.49	38.77	710.34	AR(2)	87.02	76.47	40.16	702.54	0.75
	12	6-3-3-1	87.98	73.77	38.36	1259.12	AR(1)	90.15	66.82	35.36	960.90	2.47	86.23	79.39	44.15	548.40	AR(1)	87.01	77.22	42.45	483.12	0.90
	13	6-3-3-1	88.08	73.52	39.59	1383.41	AR(2)	90.09	67.00	35.44	1148.37	2.28	85.34	82.04	46.96	430.43	AR(2)	86.41	78.85	42.42	422.75	1.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4) ในช่วงการเปรียบเทียบ ค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (%EI) ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 88.08 – 99.18 และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 90.09 – 99.24 % ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06 – 2.58 % และในช่วงการสอบทาน ก่อนปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 85.34 – 99.10 % และหลังปรับปรุงผลการพยากรณ์มีค่าอยู่ระหว่าง 86.41 – 99.39 % ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%RI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.09 – 4.24 %

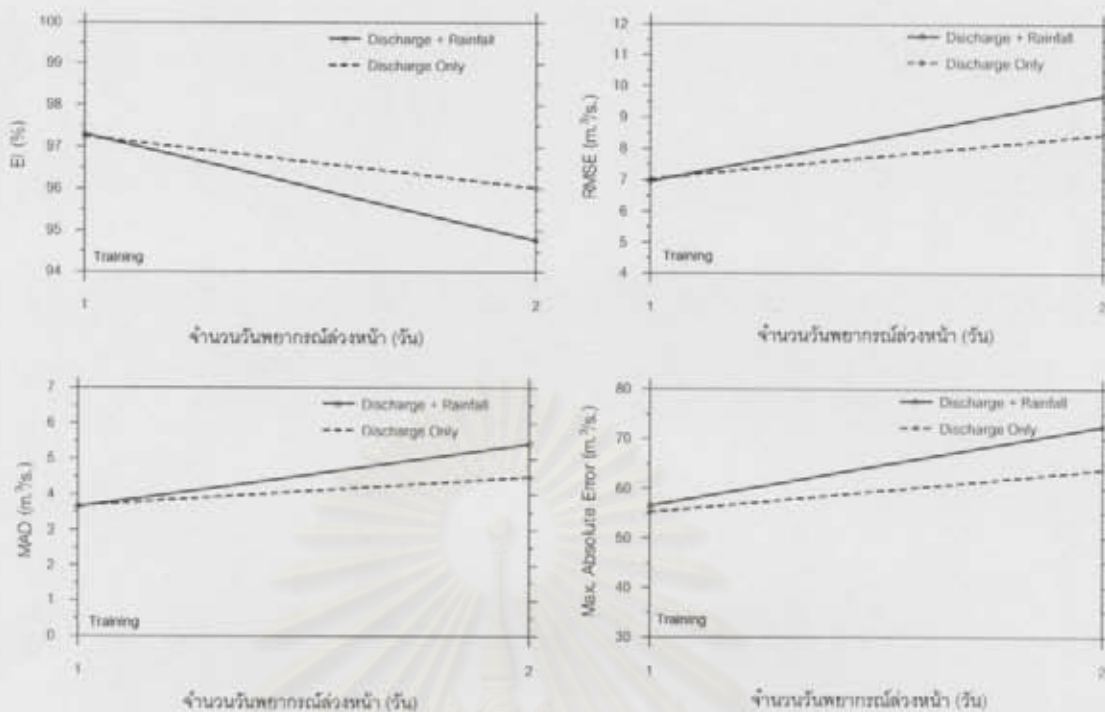
ผลการเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้วัดประสิทธิภาพแบบจำลอง ของชุดตัวแปรนำเข้ากรณี ที่ 1 และกรณีที่ 2 ณ สถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ยกเว้น สถานีวัดน้ำท่า SM.1 เนื่องจากสามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้เพียง 1 วัน โดยผลการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ในช่วงการเปรียบเทียบ ดังแสดงในรูป 5-38 ถึงรูป 5-41 และผลการพยากรณ์ในช่วงการสอบทาน ดังแสดงในรูป 5-42 ถึงรูป 5-45

จากรูป 5-38 ถึงรูป 5-45 พบว่าผลการพยากรณ์ในช่วงการเปรียบเทียบ ของชุดตัวแปรนำเข้ากรณี ที่ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพของตัวแปรวัดประสิทธิภาพแบบจำลองดีกว่ากรณีที่ 2 เล็กน้อย และมีประสิทธิภาพแบบจำลองสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน

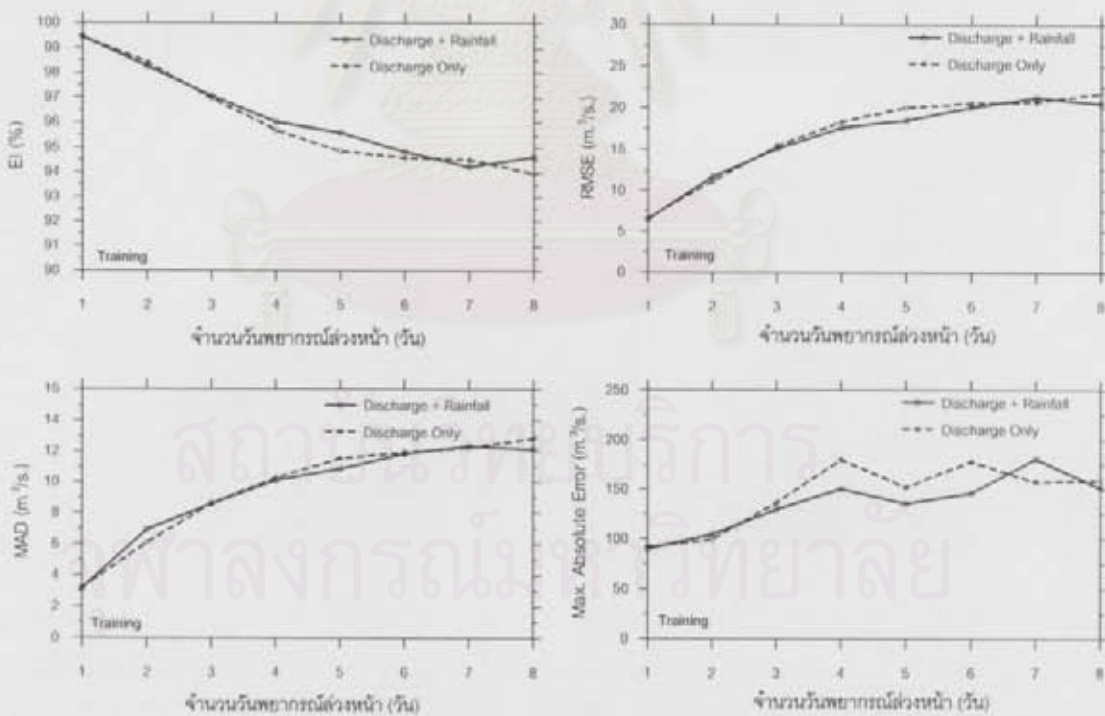
ในส่วนผลการพยากรณ์ในช่วงการสอบทาน พบว่าของชุดตัวแปรนำเข้ากรณี ที่ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพของตัวแปรวัดประสิทธิภาพแบบจำลองใกล้เคียงกับกรณีที่ 2 ในช่วงวันแรกๆ ของการพยากรณ์ หลังจากนั้น กรณีที่ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพแบบจำลองที่ดีกว่ากรณีที่ 2 แต่โดยภาพรวมการใช้ชุดตัวแปรนำเข้าทั้งกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ยังมีค่า %EI ที่สูง คือสูงกว่า 84 %

เมื่อนำผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าของชุดตัวแปรนำเข้ากรณี ที่ 1 ที่ผ่านการปรับปรุงผลการพยากรณ์มาแล้ว ของสถานีวัดน้ำท่า Dam. ในช่วงการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดจริง ดังแสดงในรูป 5-46 ถึงรูป 5-58 และผลของการพยากรณ์ของสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 และ SM.3 ดังแสดงในรูป 5-33 ถึงรูป 5-53 ซึ่งสามารถสรุปโดยภาพรวมได้ว่า

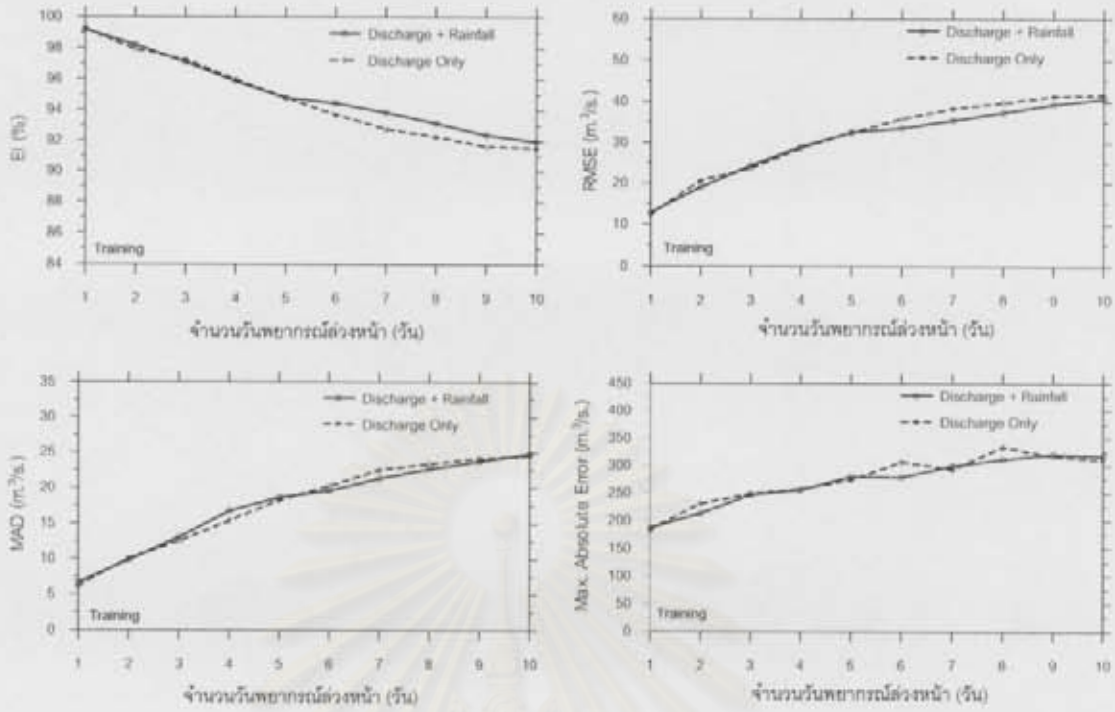
- 1) เมื่อระยะเวลาของการพยากรณ์ยาวนานขึ้น ผลการพยากรณ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น คือลักษณะชลภาพน้ำท่ามีความผันผวนมากขึ้น หรือความแม่นยำของการพยากรณ์ลดลงตามลำดับ
- 2) ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์มีค่ามาก เมื่ออัตราการไหลน้ำท่ารายวันมีค่าสูง และในกรณีที่ลักษณะชลภาพน้ำท่ามีความผันผวนของอัตราการไหลน้ำท่ารายวันสูง



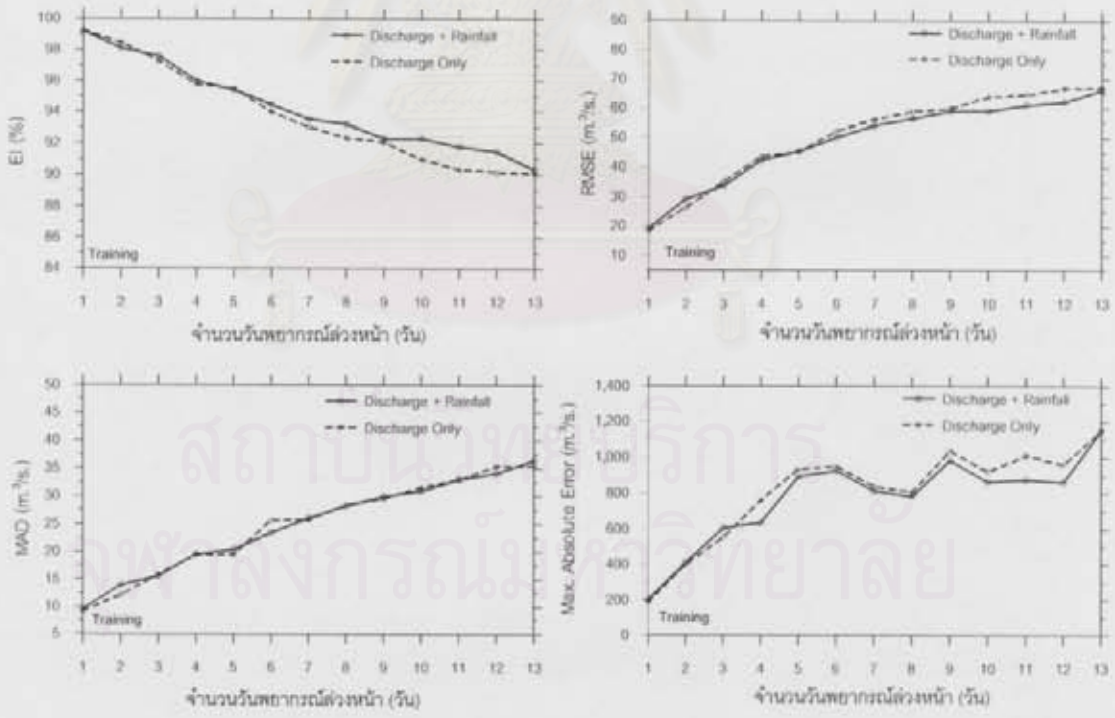
รูป 5-38 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี S.4B (เปรียบเทียบ)



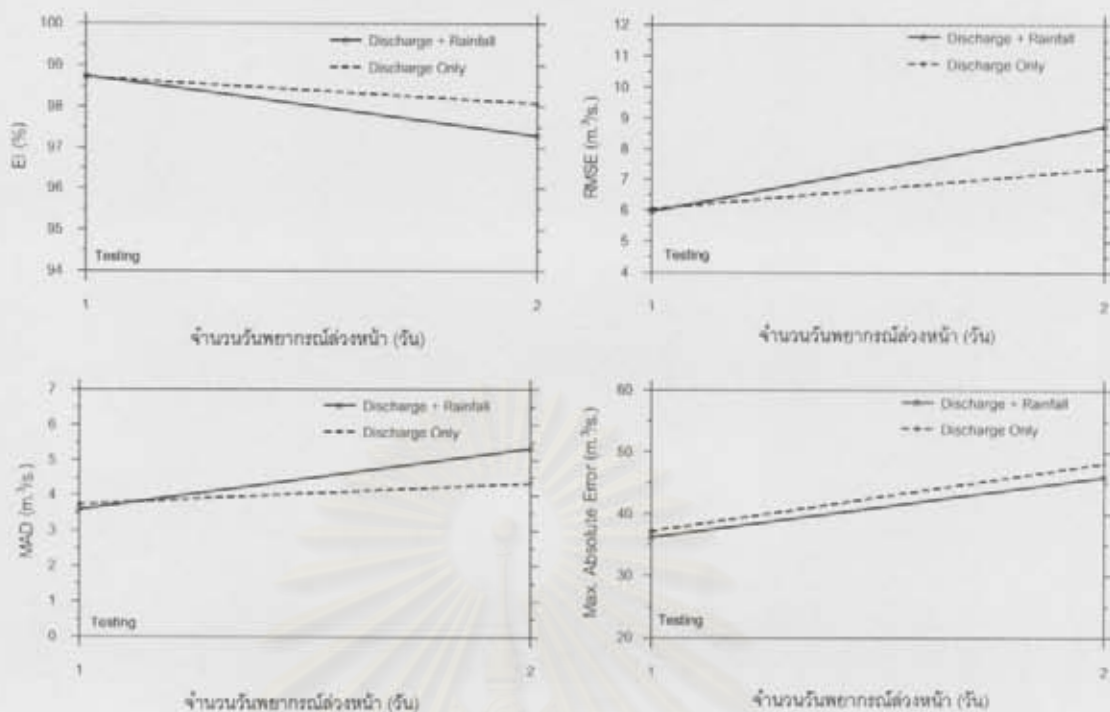
รูป 5-39 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี SM.2 (เปรียบเทียบ)



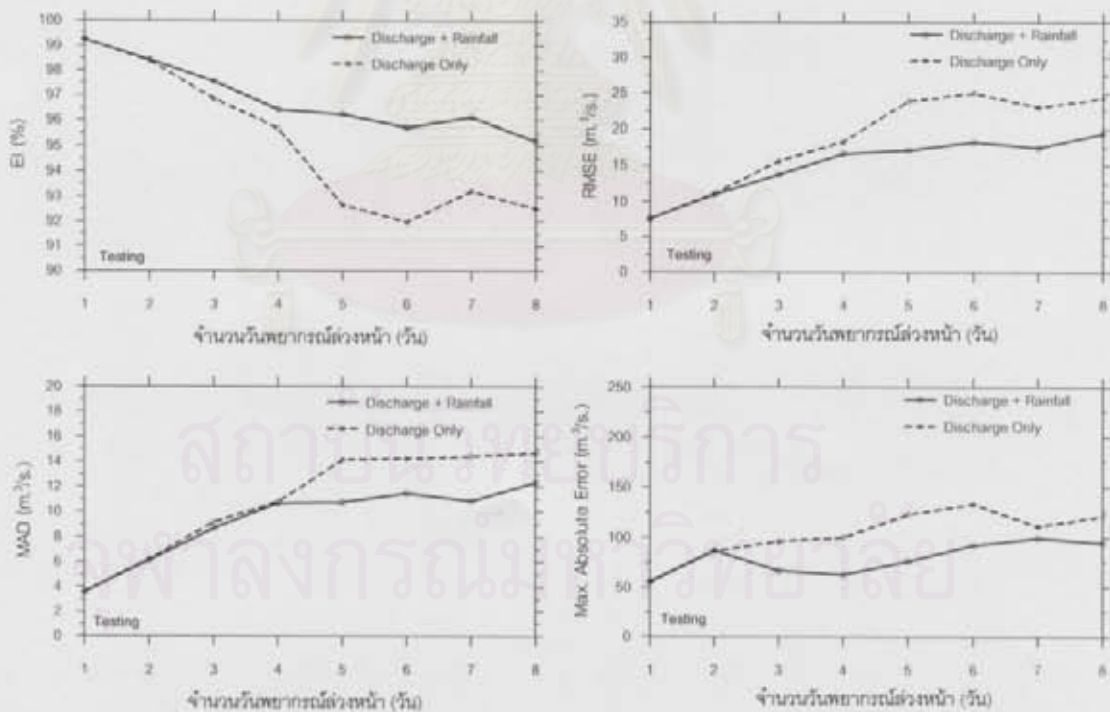
รูป 5-40 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี SM.3 (เปรียบเทียบ)



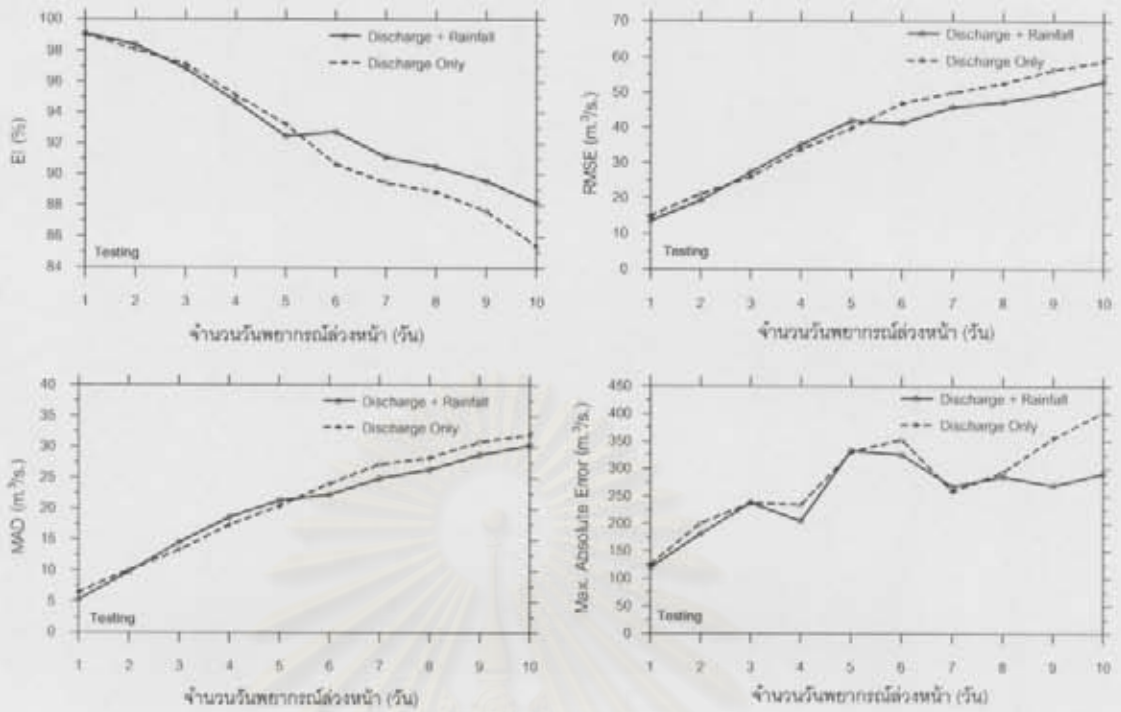
รูป 5-41 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี Dam. (เปรียบเทียบ)



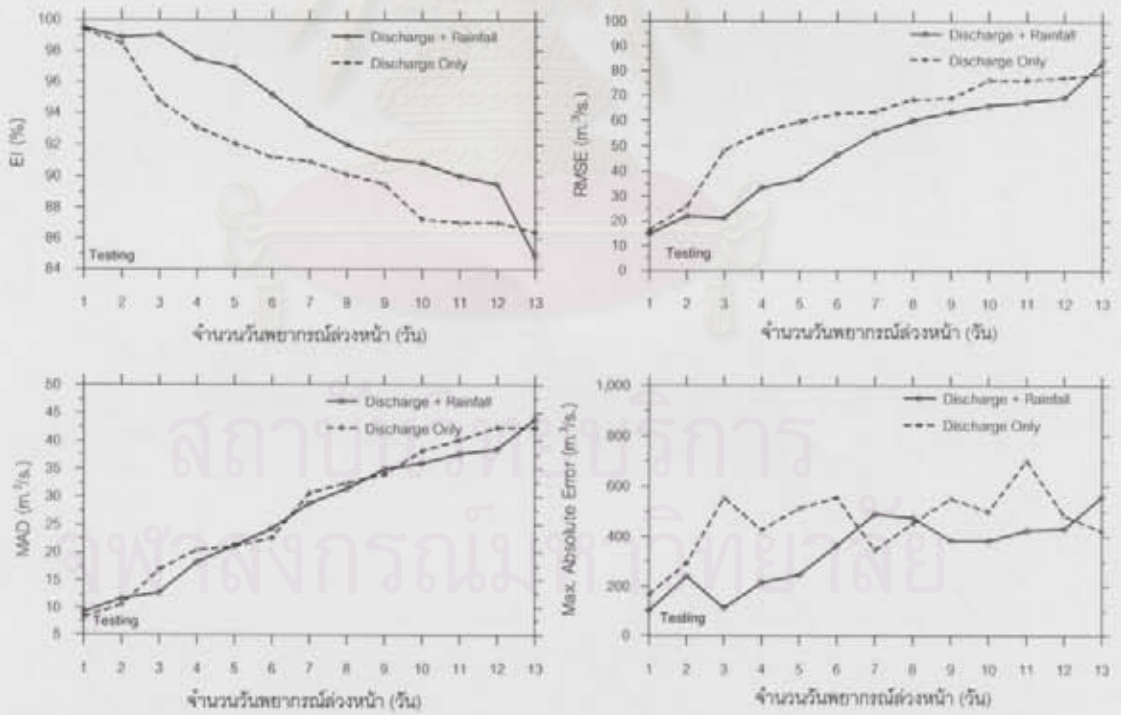
รูป 5-42 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี S.4B (สอบทาน)



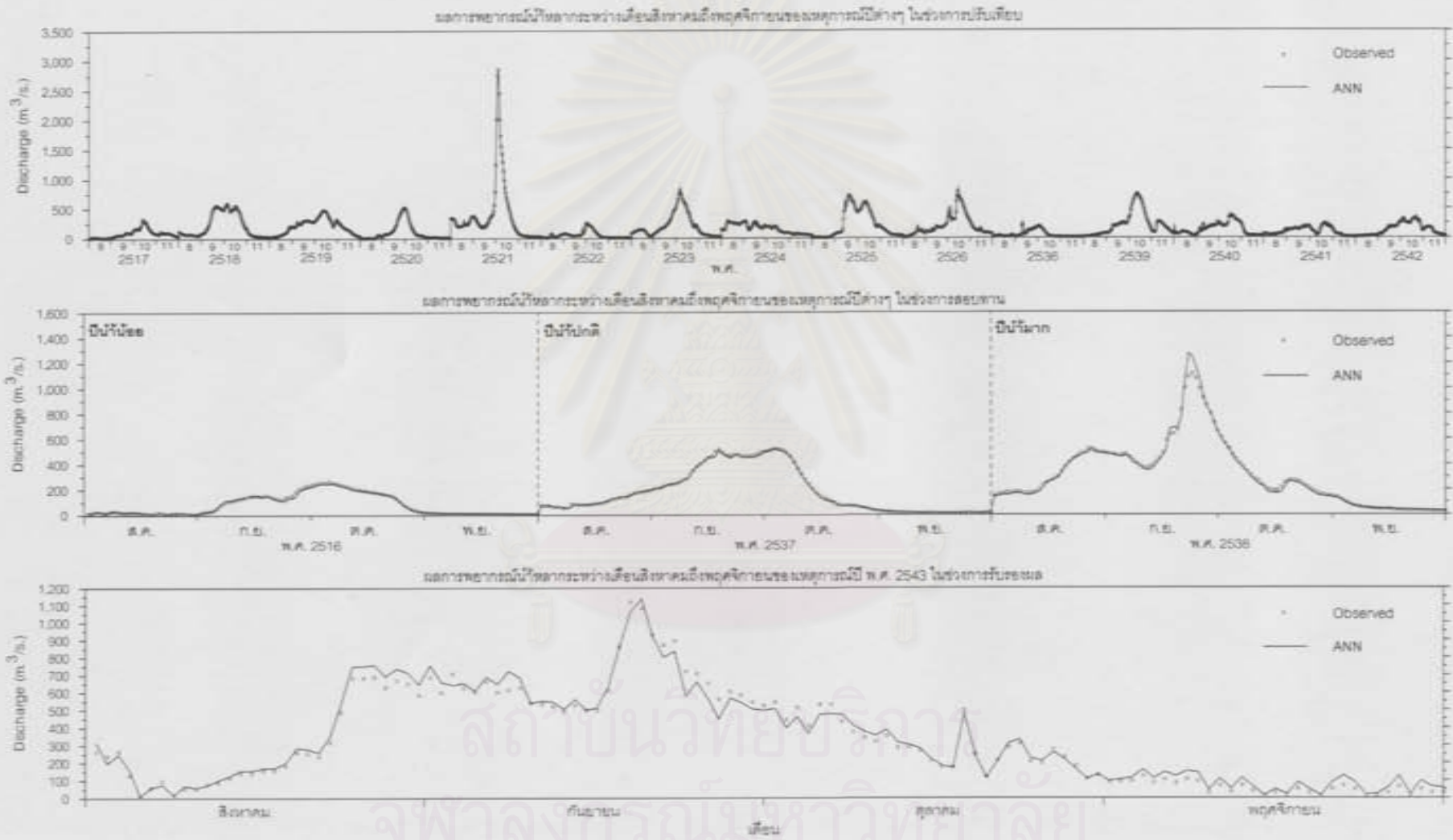
รูป 5-43 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี SM.2 (สอบทาน)



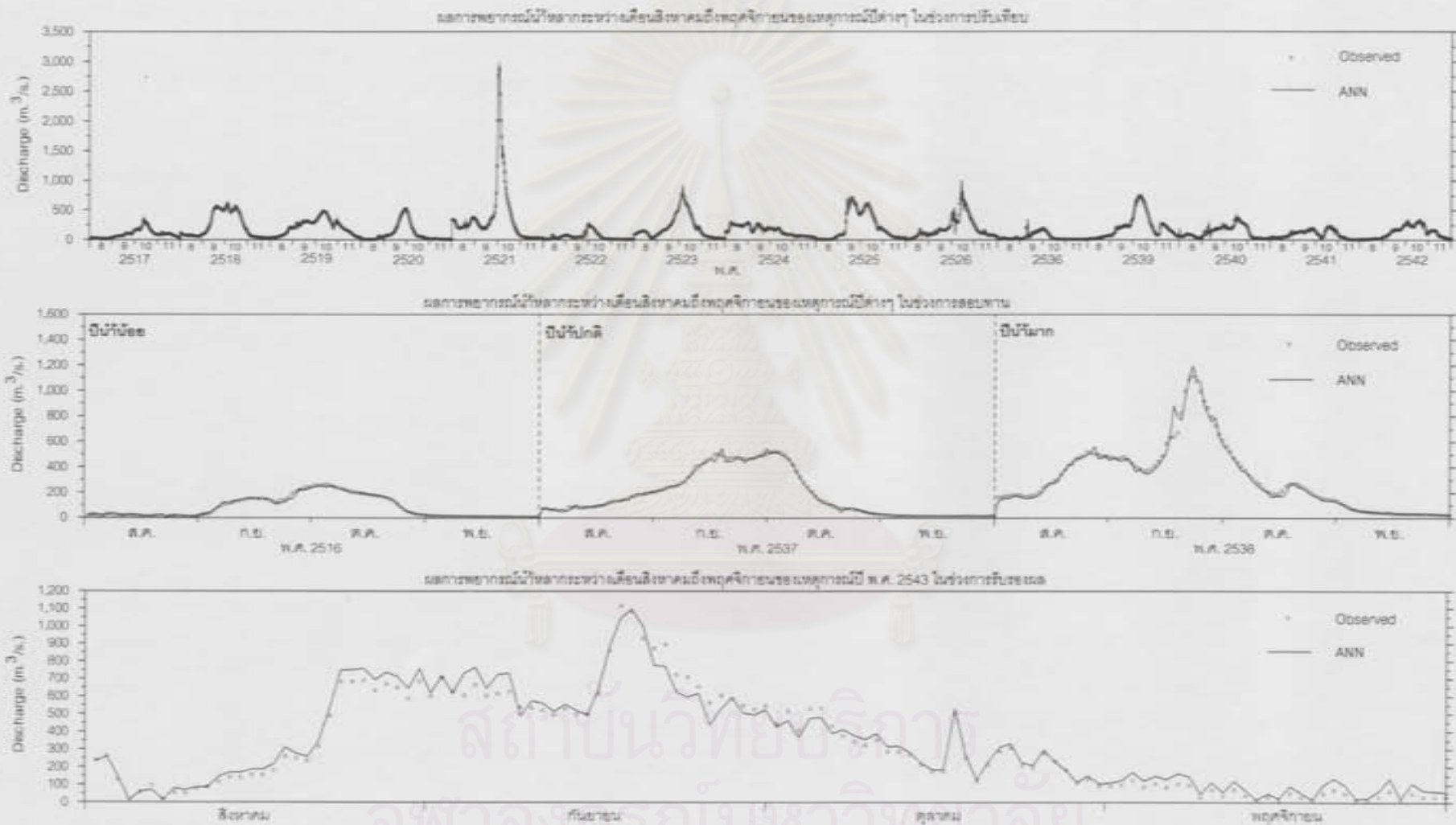
รูป 5-44 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี SM.3 (สอบทาน)



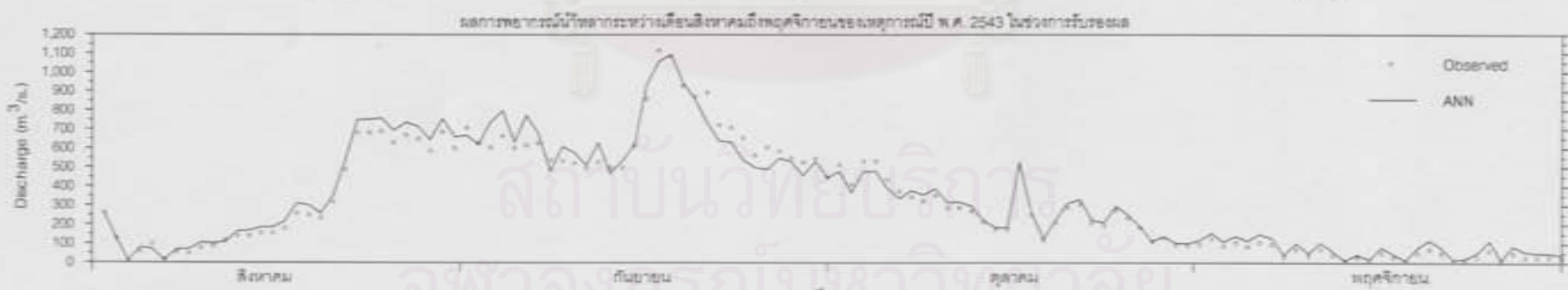
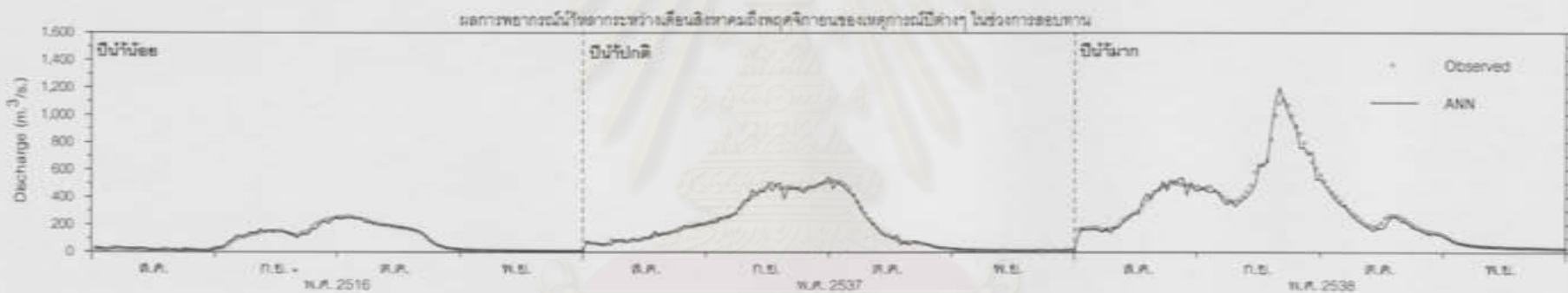
รูป 5-45 เปรียบเทียบตัวแปรวัดประสิทธิภาพต่างๆ ระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 ณ สถานี Dam. (สอบทาน)



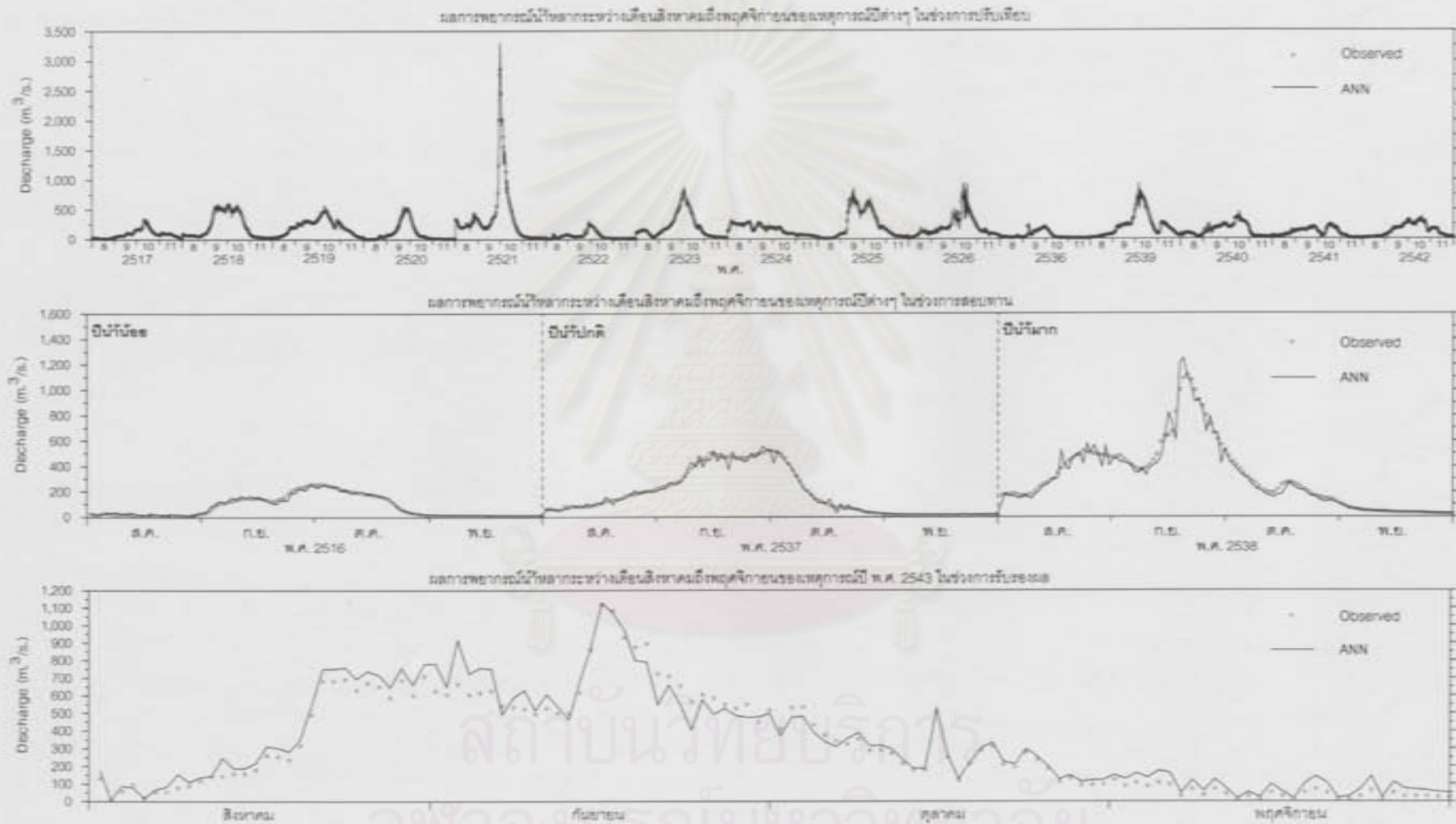
รูป 5-46 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับชมผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 1 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



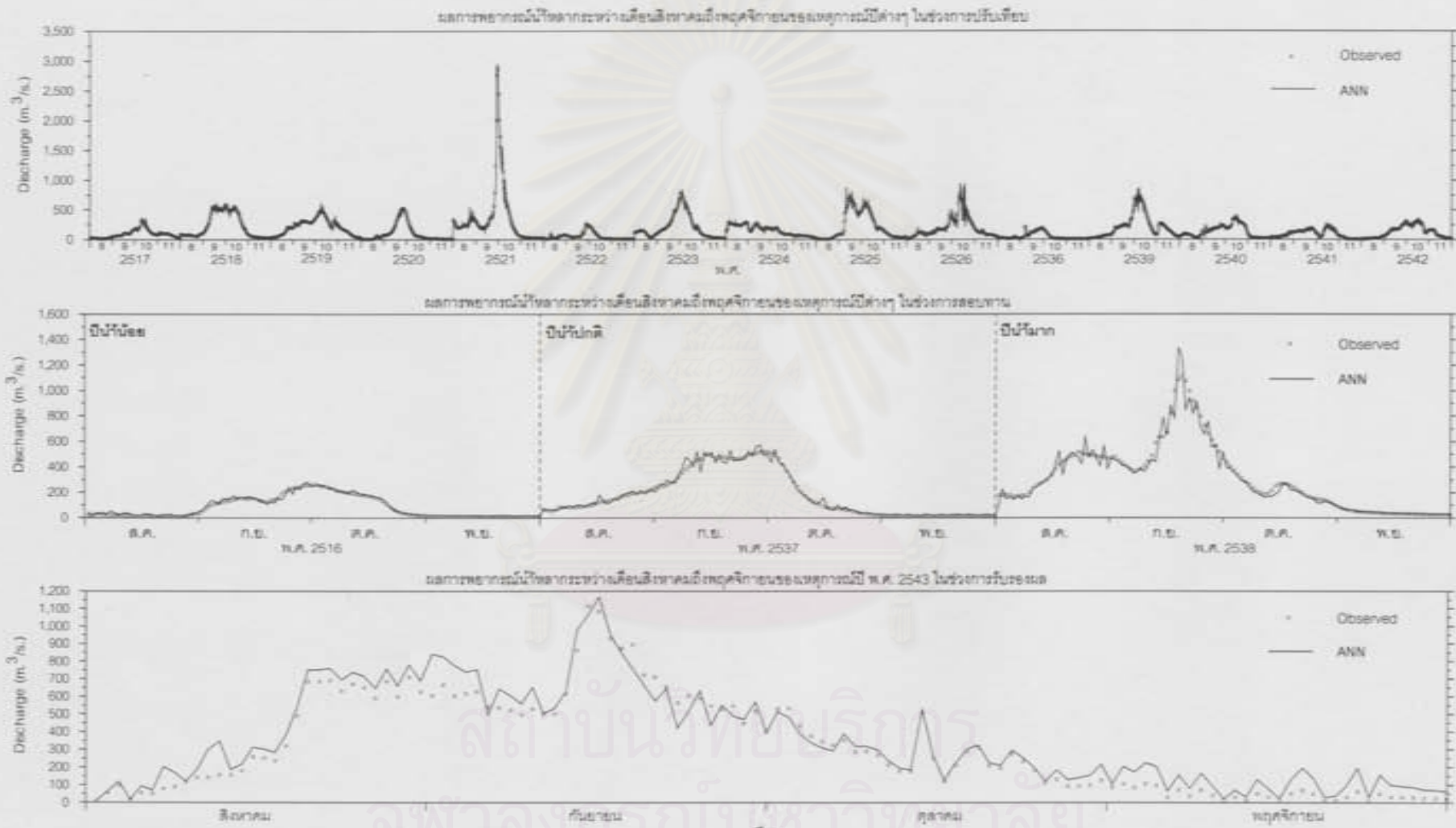
รูป 5-47 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับชมผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 2 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



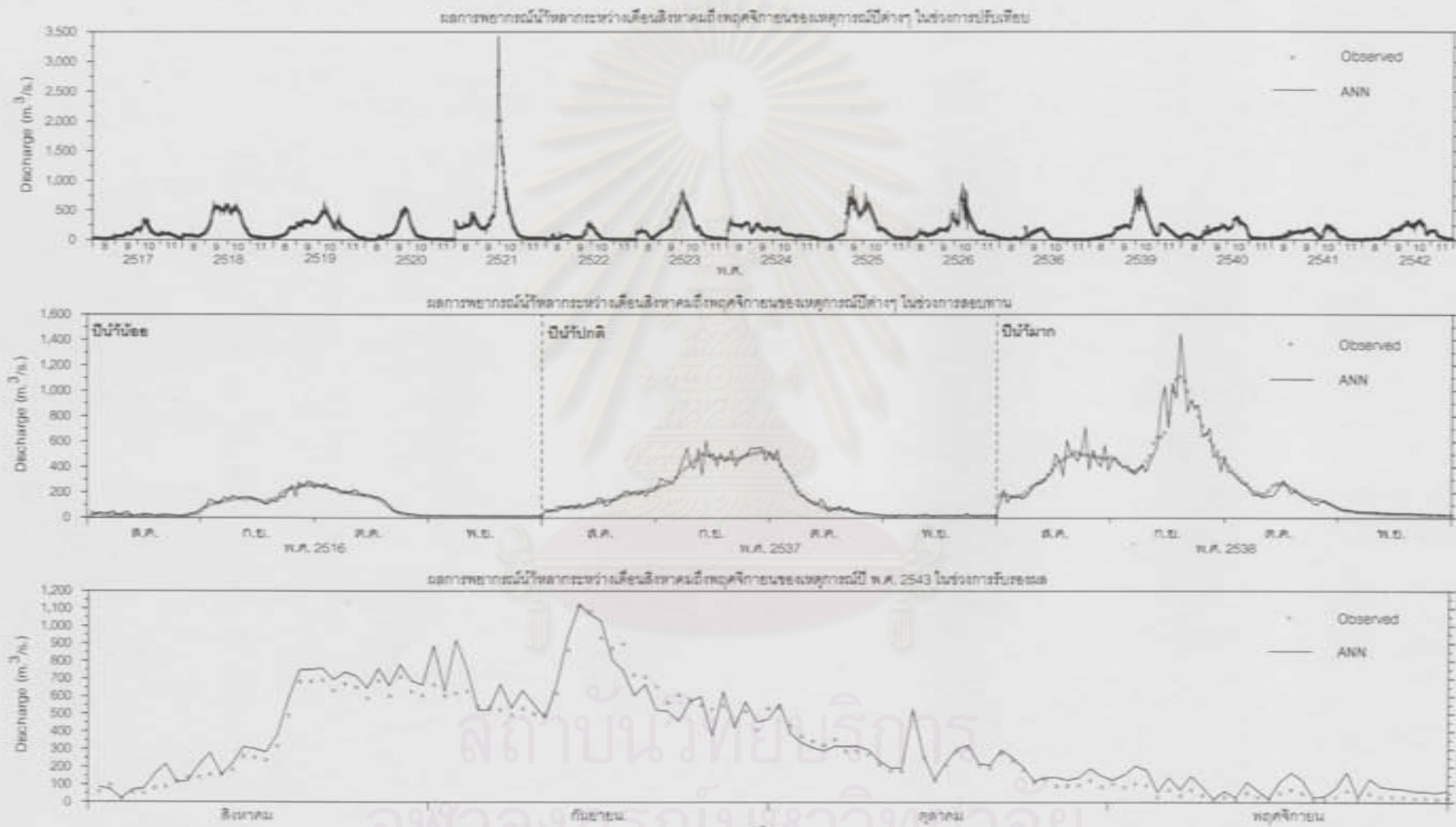
รูป 5-48 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 3 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



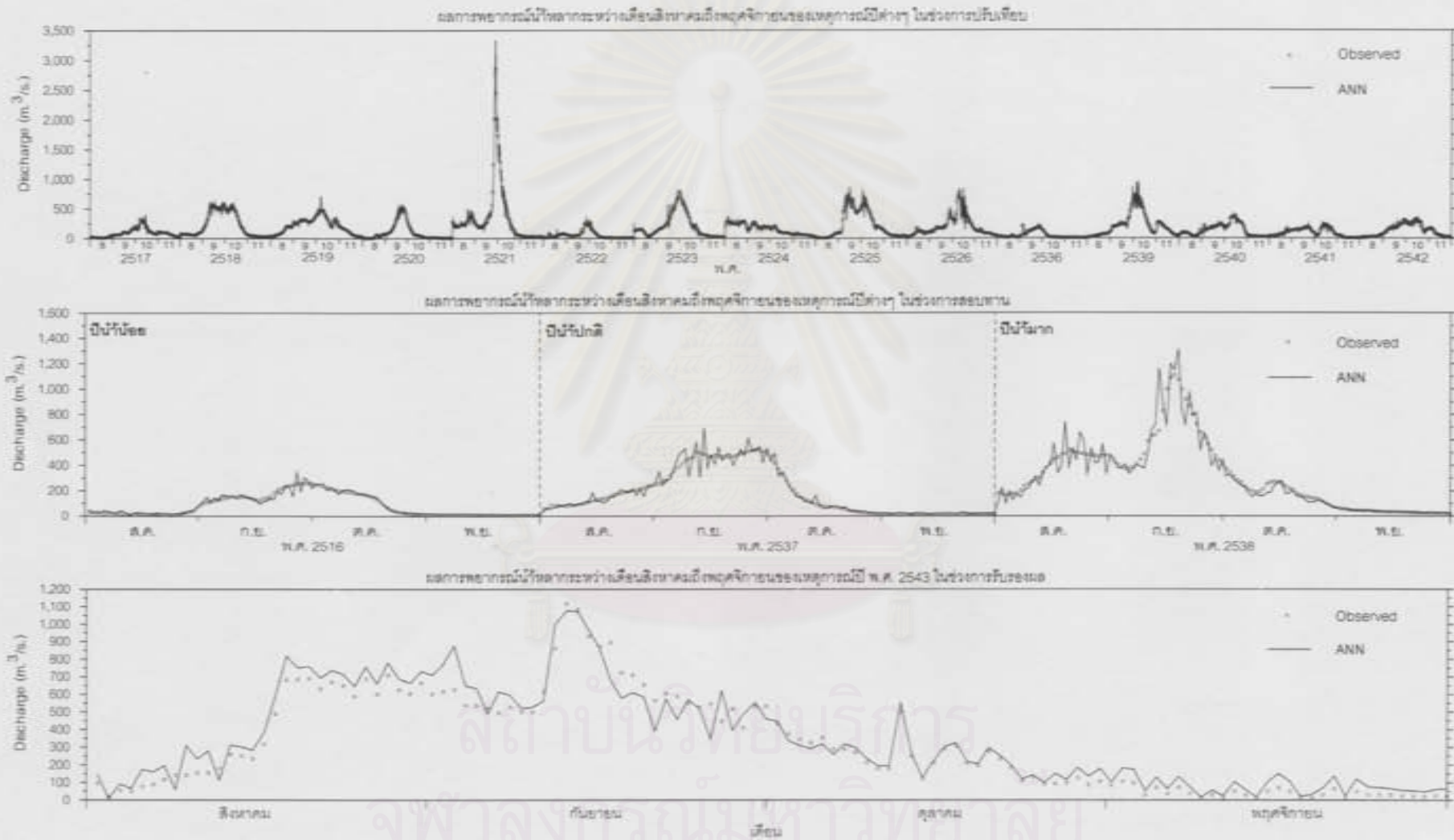
รูป 5-49 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 4 วัน ของเขื่อนการณีนีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



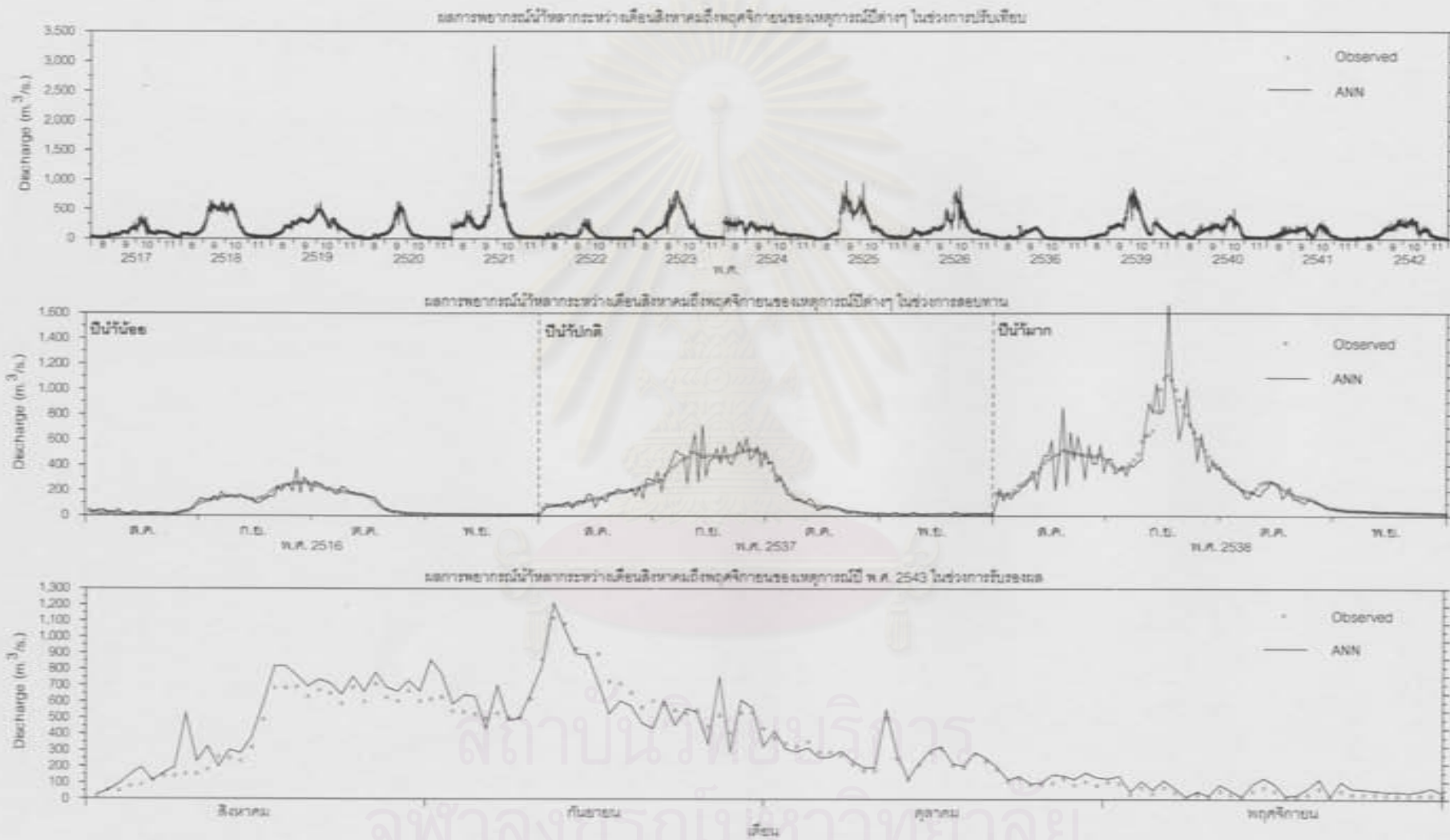
รูป 5-50 ผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 5 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



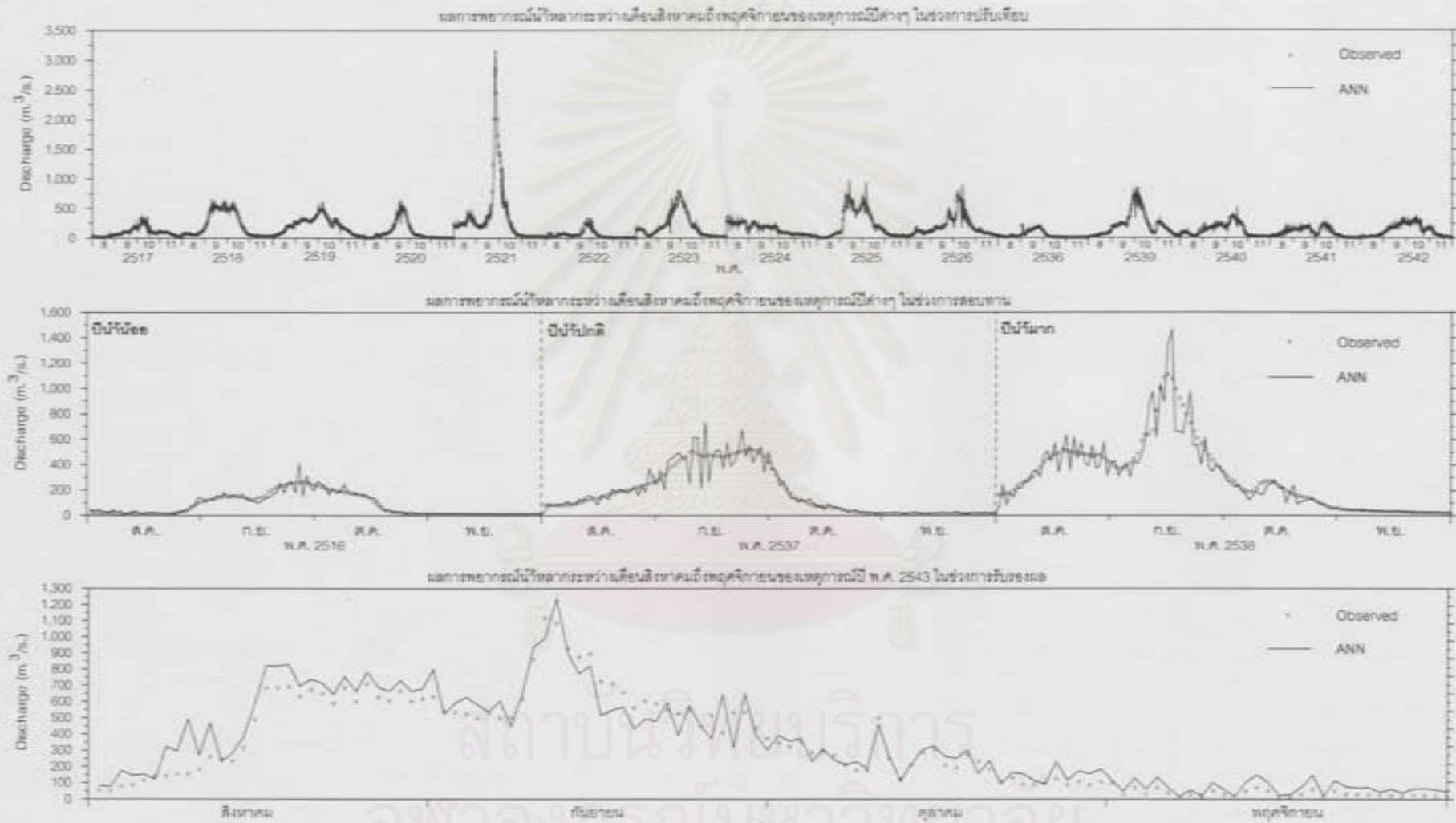
รูป 5-51 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 6 วัน ของเขตรวมปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



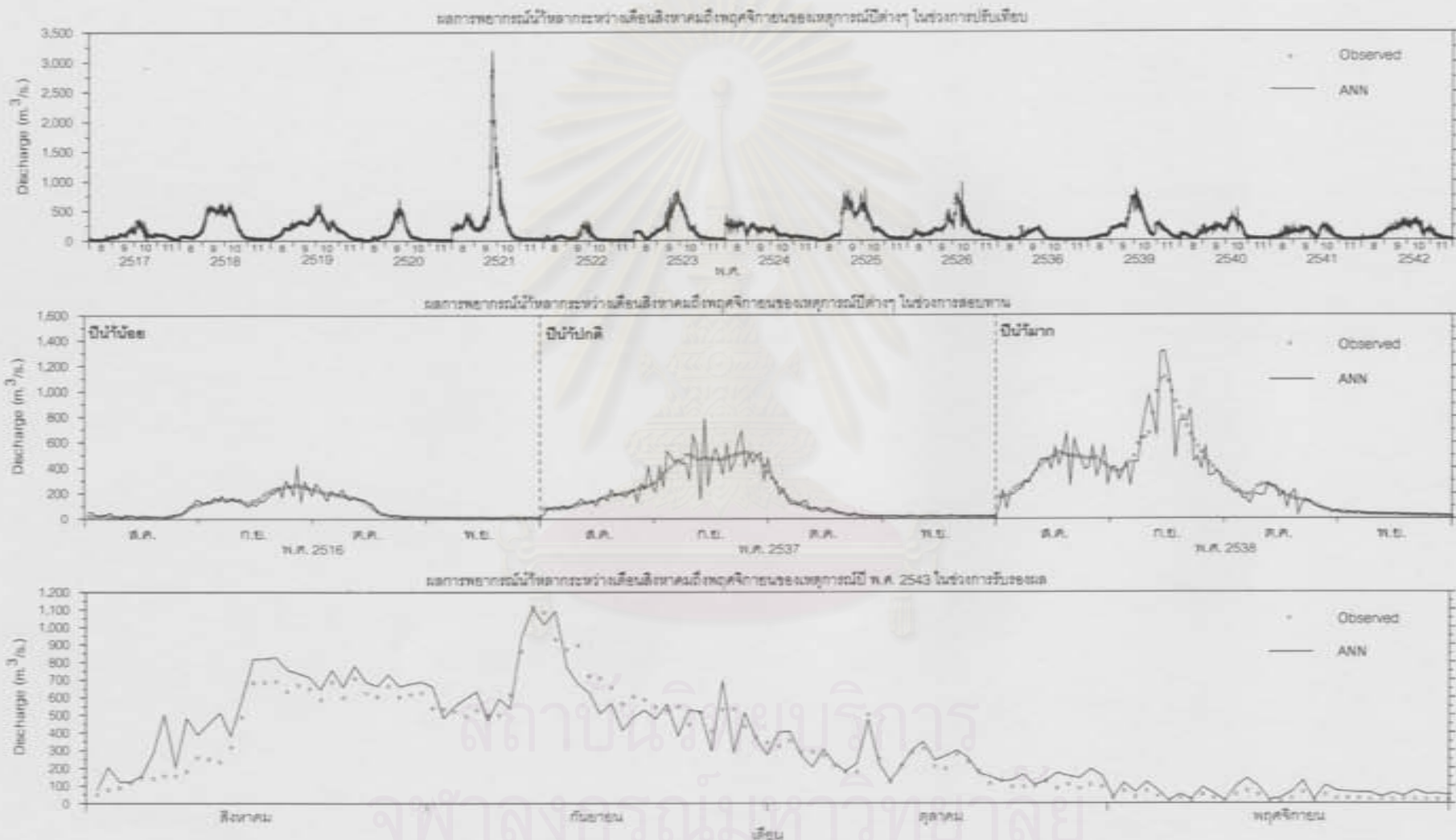
รูป 5-52 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 7 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



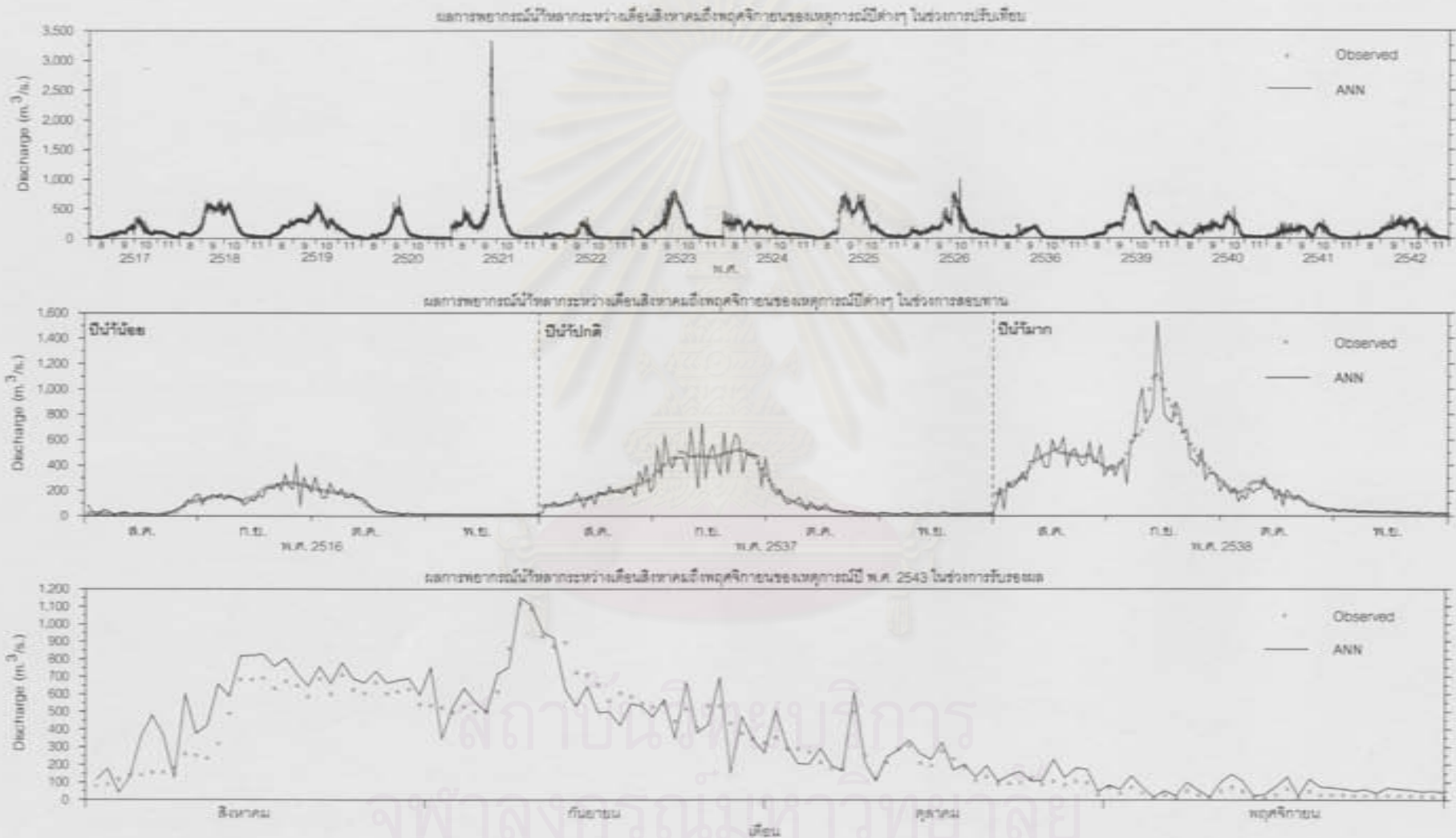
รูป 5-53 ผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 8 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



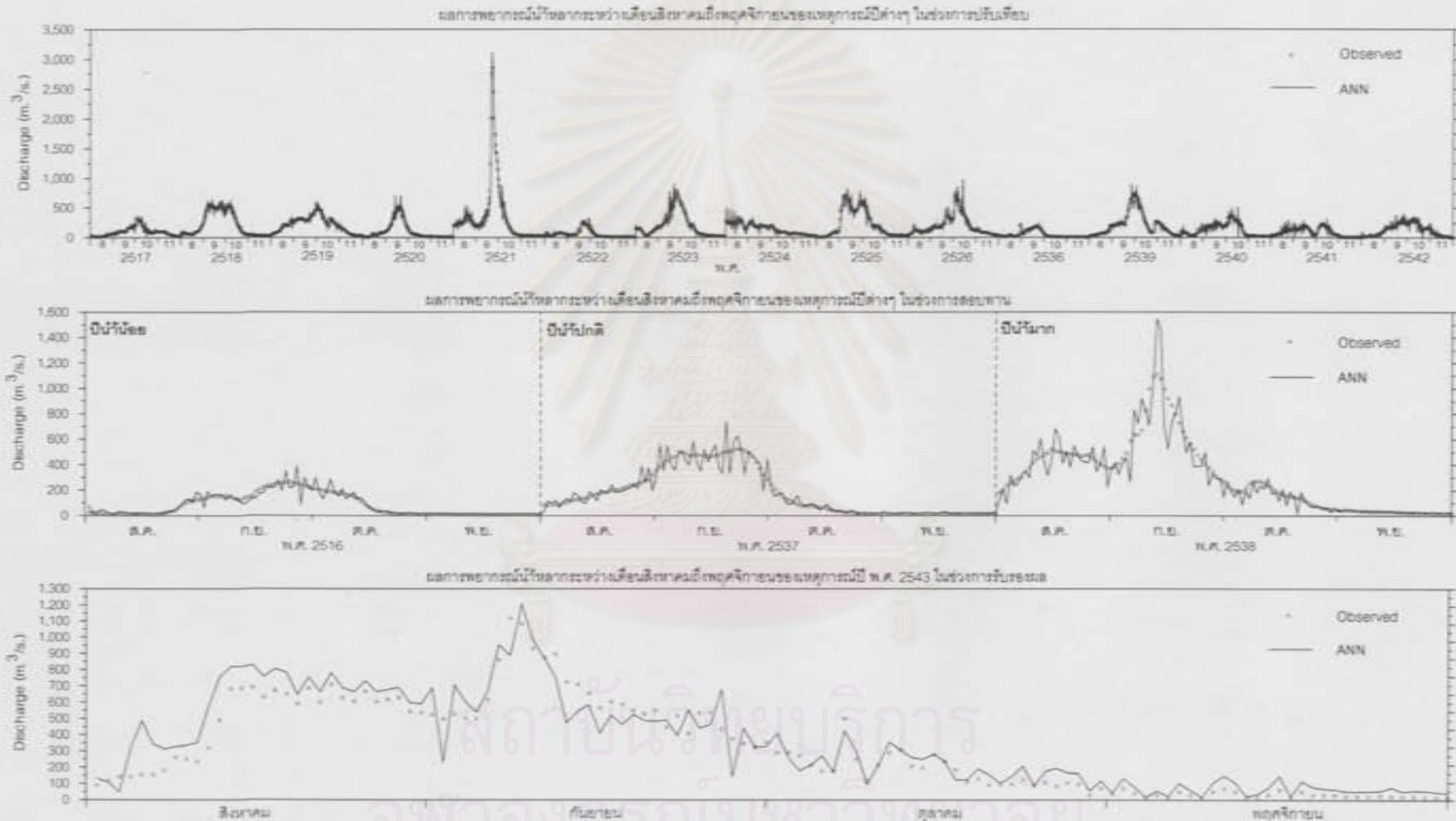
รูป 5-54 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 9 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



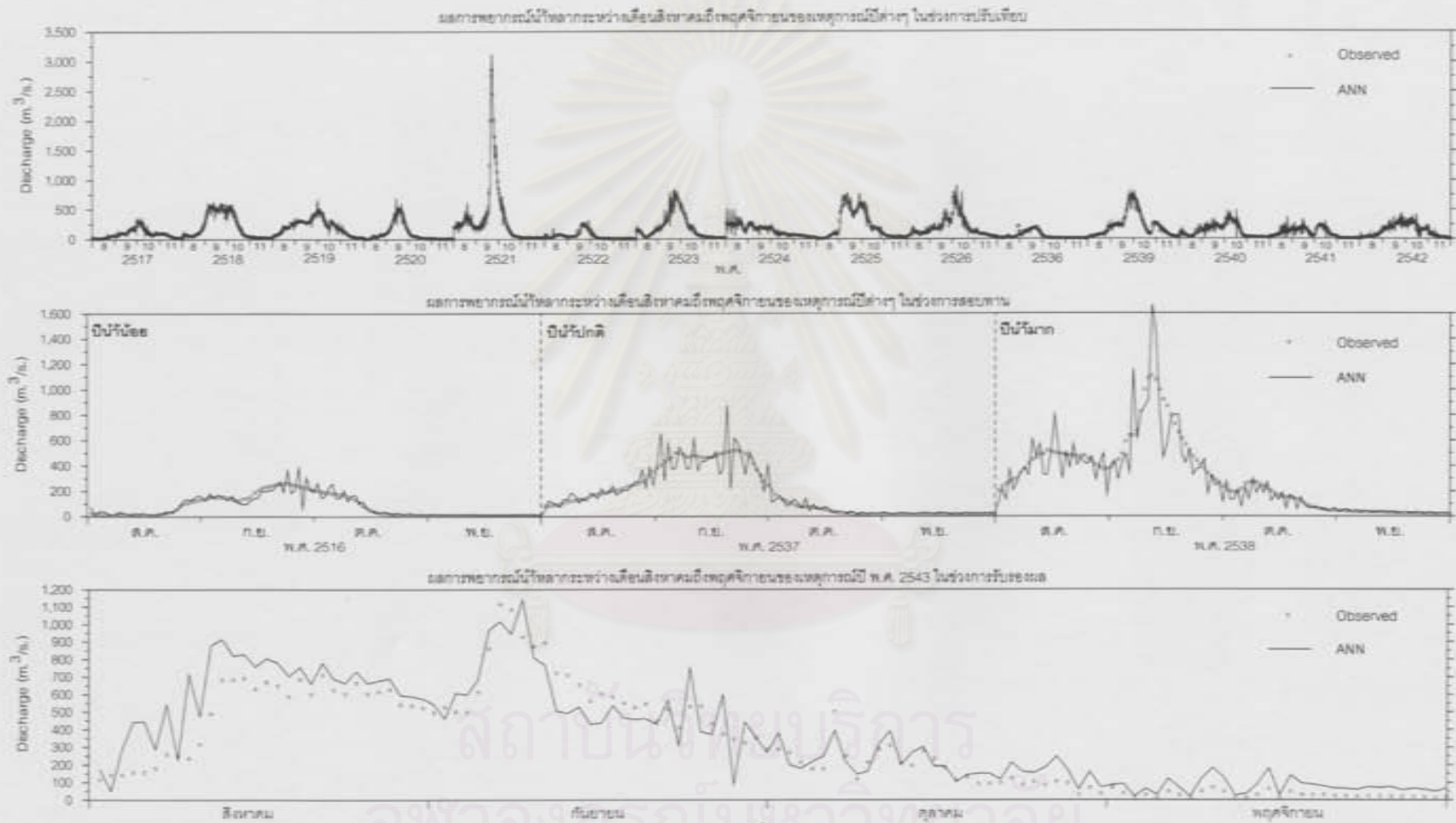
รูป 5-55 ผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 10 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



รูป 5-56 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 11 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



รูป 5-57 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 12 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.



รูป 5-58 ผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 13 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี Dam.

5.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ การศึกษาในครั้งนี้ ได้นำผลที่ได้จากการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ มาทดสอบปล่อยน้ำ 2 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 คือ การปล่อยน้ำตามขั้นตอนการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ในที่นี้ใช้เกณฑ์ RC2546 โดยขั้นตอนการปล่อยน้ำ กรณีใช้ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ดังแสดงในรูป 4-15 และกรณีใช้ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า n วัน ดังแสดงในรูป 4-16

รูปแบบที่ 2 คือ การปล่อยน้ำตามขั้นตอนการปล่อยน้ำที่ใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต โดยขั้นตอนการปล่อยน้ำ กรณีใช้ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ดังแสดงในรูป 4-17 และกรณีใช้ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า n วัน ดังแสดงในรูป 4-18

การศึกษาได้นำเฉพาะเหตุการณ์ในกรณีปีน้ำมาก ที่มีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าเข้าอ่างเก็บน้ำ 1 - 13 วัน คือเหตุการณ์ในช่วงน้ำหลาก ปี พ.ศ. 2521 2538 และ 2543 มาทดสอบการปล่อยน้ำตามขั้นตอนของการปล่อยน้ำ โดยใช้ค่าพยากรณ์น้ำท่ารายวันล่วงหน้า ทั้ง 2 รูปแบบ

ผลการศึกษา เปรียบเทียบผลการลดอัตราการปล่อยน้ำสูงสุด จำนวนวันของการปล่อยน้ำเมื่ออัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที และปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่ออัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที ซึ่งผลการศึกษา ดังแสดงในตาราง 5-31 ถึงตาราง 5-33

จากตาราง 5-31 ถึงตาราง 5-33 พบว่าการประยุกต์ใช้ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 - 13 วัน กับเหตุการณ์น้ำหลากปี พ.ศ. 2538 และ 2543 ผลของการปล่อยน้ำสูงสุด กรณีใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546 ไม่แตกต่างจากการปล่อยน้ำโดยไม่ใช้ค่าการพยากรณ์ และการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา ในเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538 สามารถลดยอดน้ำหลากสูงสุดเพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 2.07 - 3.70 % ส่วนในเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2543 สามารถลดยอดน้ำหลากสูงสุดเพิ่มขึ้น อยู่ระหว่าง 2.36 - 3.94 % และการปล่อยน้ำทั้ง 2 รูปแบบ ไม่มีการปล่อยเกินอัตราที่ทำให้น้ำดันตลิ่งด้านท้ายน้ำ

การประยุกต์ใช้ค่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 - 13 วัน กับเหตุการณ์น้ำหลากปี พ.ศ. 2521 ซึ่งมีอัตราการไหลเข้าสูงสุดเท่ากับ 2,857.7 ลบ.ม./วินาที พบว่าผลของการปล่อยน้ำสูงสุด (กรณีไม่ใช้ค่าพยากรณ์เท่ากับ 2,442.6 ลบ.ม./วินาที) กรณีใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546

ตาราง 5-31 เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการบริหารการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2521

กรณีศึกษา	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)			ผลต่างระหว่างอัตราการ		ผลต่างอัตราการปล่อยน้ำ		จำนวนวันปล่อยน้ำ		ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสม		ผลต่างปริมาณน้ำปล่อยออกสะสม	
	ไหลเข้า	ปล่อยออก		ไหลเข้าและปล่อยออก (ลบ.ม./วินาที)		เทียบกับกรณี W/O ANN (%)		เมื่อ R > 600 cms. (วัน)		เมื่อ R > 600 cms. (ล้าน ลบ.ม.)		เทียบกับกรณี W/O ANN (%)	
		กรณีศึกษา	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546
W/O ANN	2,857.70	1,497.20	2,442.60	1,090.30	144.90	-	-	21	13	673.00	723.70	-	-
FC1	2,857.70	1,481.39	2,442.62	1,126.11	144.88	-2.39	0.00	16	13	611.24	728.26	-9.18	0.63
FC2	2,857.70	1,422.08	2,442.62	1,165.42	144.88	-5.02	0.00	17	13	587.00	723.43	-12.78	-0.04
FC3	2,857.70	1,417.98	2,416.60	1,169.52	170.90	-5.29	-1.06	19	12	603.62	713.14	-10.31	-1.46
FC4	2,857.70	1,410.70	2,303.31	1,176.80	284.19	-5.78	-5.70	19	12	589.09	703.35	-12.47	-2.81
FC5	2,857.70	1,398.07	2,198.36	1,189.43	389.14	-6.52	-10.00	20	12	551.77	694.28	-18.01	-4.06
FC6	2,857.70	1,395.53	2,002.74	1,191.97	584.76	-6.79	-18.01	20	12	553.80	676.62	-17.71	-6.51
FC7	2,857.70	1,383.72	2,002.74	1,203.76	584.76	-7.58	-18.01	21	12	532.42	655.51	-20.89	-9.42
FC8	2,857.70	1,194.17	2,002.74	1,393.33	584.76	-20.24	-18.01	21	12	514.30	624.69	-23.58	-13.68
FC9	2,857.70	1,103.68	2,002.74	1,483.82	584.76	-26.28	-18.01	22	12	525.77	610.93	-21.88	-15.56
FC10	2,857.70	1,104.39	2,002.74	1,483.11	584.76	-26.24	-18.01	22	12	525.16	592.26	-21.97	-18.16
FC11	2,857.70	1,080.23	2,002.74	1,507.27	584.76	-27.85	-18.01	23	12	526.38	572.16	-21.79	-20.94
FC12	2,857.70	1,069.66	2,002.74	1,517.84	584.76	-28.56	-18.01	23	12	515.75	560.76	-23.37	-22.51
FC13	2,857.70	1,054.92	1,980.84	1,532.58	606.66	-29.54	-18.90	23	11	509.25	554.29	-24.33	-23.41
เฉลี่ย (FC)	2,857.70	1,268.96	2,138.73	1,318.54	448.77	-15.24	-12.44	20	12	549.66	646.90	-18.33	-10.61

ตาราง 5-32 เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการบริหารการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2538

กรณีศึกษา	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)			ผลต่างระหว่างอัตราการ		ผลต่างอัตราการปล่อยน้ำ		จำนวนวันปล่อยน้ำ		ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสม		ผลต่างปริมาณน้ำปล่อยออกสะสม	
	ไหลเข้า	ปล่อยออก		ไหลเข้าและปล่อยออก (ลบ.ม./วินาที)		เทียบกับกรณี W/O ANN (%)		เมื่อ R > 600 cms. (วัน)		เมื่อ R > 600 cms. (ล้าน ลบ.ม.)		เทียบกับกรณี W/O ANN (%)	
		กรณีศึกษา	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546
W/O ANN	1,110.10	482.10	600.00	628.00	510.10	-	-	0	0	0.00	0.00	-	-
FC1	1,110.10	472.12	600.00	637.96	510.10	-2.07	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC2	1,110.10	471.27	600.00	638.83	510.10	-2.25	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC3	1,110.10	469.61	600.00	640.49	510.10	-2.59	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC4	1,110.10	469.36	600.00	640.74	510.10	-2.64	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC5	1,110.10	469.20	600.00	640.90	510.10	-2.67	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC6	1,110.10	468.04	600.00	642.06	510.10	-2.92	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC7	1,110.10	466.69	600.00	643.41	510.10	-3.20	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC8	1,110.10	466.56	600.00	643.54	510.10	-3.22	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC9	1,110.10	466.76	600.00	643.34	510.10	-3.18	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC10	1,110.10	467.17	600.00	642.93	510.10	-3.10	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC11	1,110.10	466.66	600.00	643.44	510.10	-3.20	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC12	1,110.10	464.28	600.00	645.82	510.10	-3.70	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC13	1,110.10	467.74	600.00	642.38	510.10	-2.98	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
เฉลี่ย (FC)	1,110.10	468.11	600.00	641.99	510.10	-2.90	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00

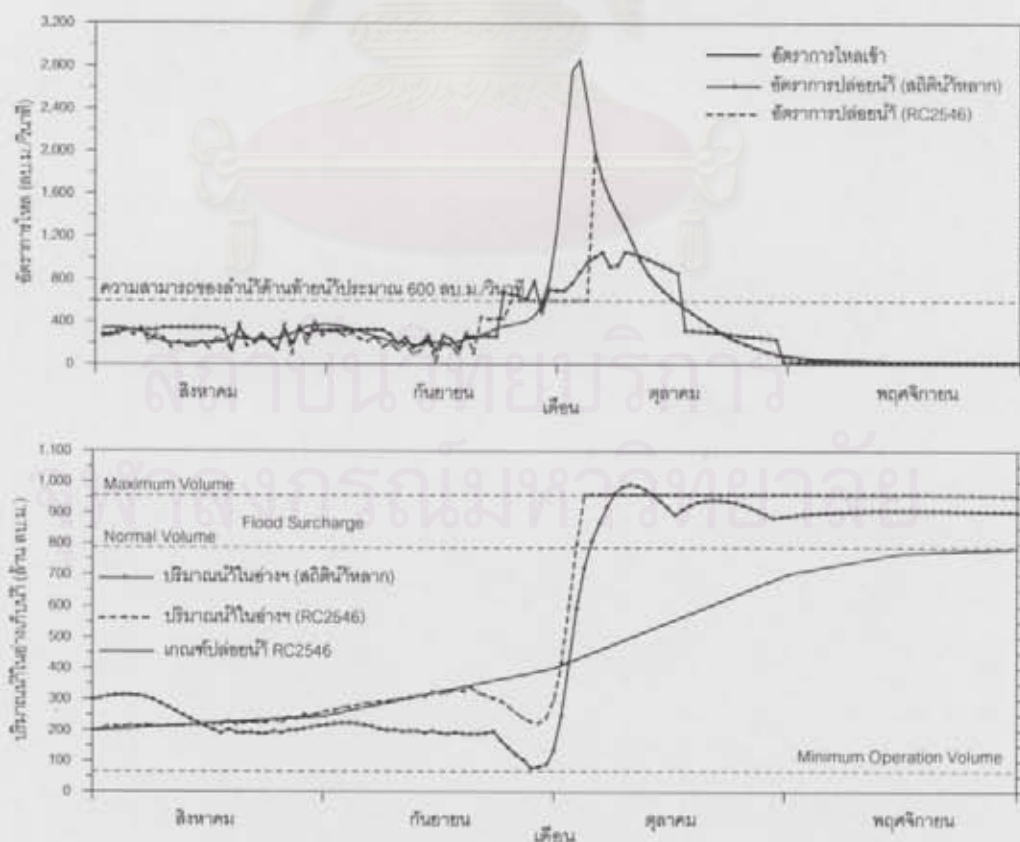
ตาราง 5-33 เปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการบริหารการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ของเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2543

กรณีศึกษา	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)			ผลต่างระหว่างอัตราการ		ผลต่างอัตราการปล่อยน้ำ		จำนวนวันปล่อยน้ำ		ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสม		ผลต่างปริมาณน้ำปล่อยออกสะสม	
	ไหลเข้า	ปล่อยออก		ไหลเข้าและปล่อยออก (ลบ.ม./วินาที)		เทียบกับกรณี W/O ANN (%)		เมื่อ R > 600 cms. (วัน)		เมื่อ R > 600 cms. (ล้าน ลบ.ม.)		เทียบกับกรณี W/O ANN (%)	
		สถานีน้ำหลาก	RC2546	สถานีน้ำหลาก	RC2546	สถานีน้ำหลาก	RC2546	สถานีน้ำหลาก	RC2546	สถานีน้ำหลาก	RC2546	สถานีน้ำหลาก	RC2546
W/O ANN	1,116.20	593.10	600.00	523.10	516.20	-	-	0	0	0.00	0.00	-	-
FC1	1,116.20	573.01	600.00	543.19	516.20	-3.39	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC2	1,116.20	572.56	600.00	543.64	516.20	-3.46	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC3	1,116.20	571.90	600.00	544.30	516.20	-3.57	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC4	1,116.20	571.40	600.00	544.80	516.20	-3.66	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC5	1,116.20	571.10	600.00	545.10	516.20	-3.71	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC6	1,116.20	570.02	600.00	546.18	516.20	-3.89	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC7	1,116.20	569.73	600.00	546.47	516.20	-3.94	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC8	1,116.20	578.82	600.00	537.38	516.20	-2.41	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC9	1,116.20	578.85	600.00	537.35	516.20	-2.40	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC10	1,116.20	579.07	600.00	537.13	516.20	-2.37	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC11	1,116.20	578.85	600.00	537.25	516.20	-2.39	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC12	1,116.20	577.81	600.00	538.39	516.20	-2.58	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
FC13	1,116.20	579.13	600.00	537.07	516.20	-2.36	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
เฉลี่ย (FC)	1,116.20	574.80	600.00	541.40	516.20	-3.09	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00

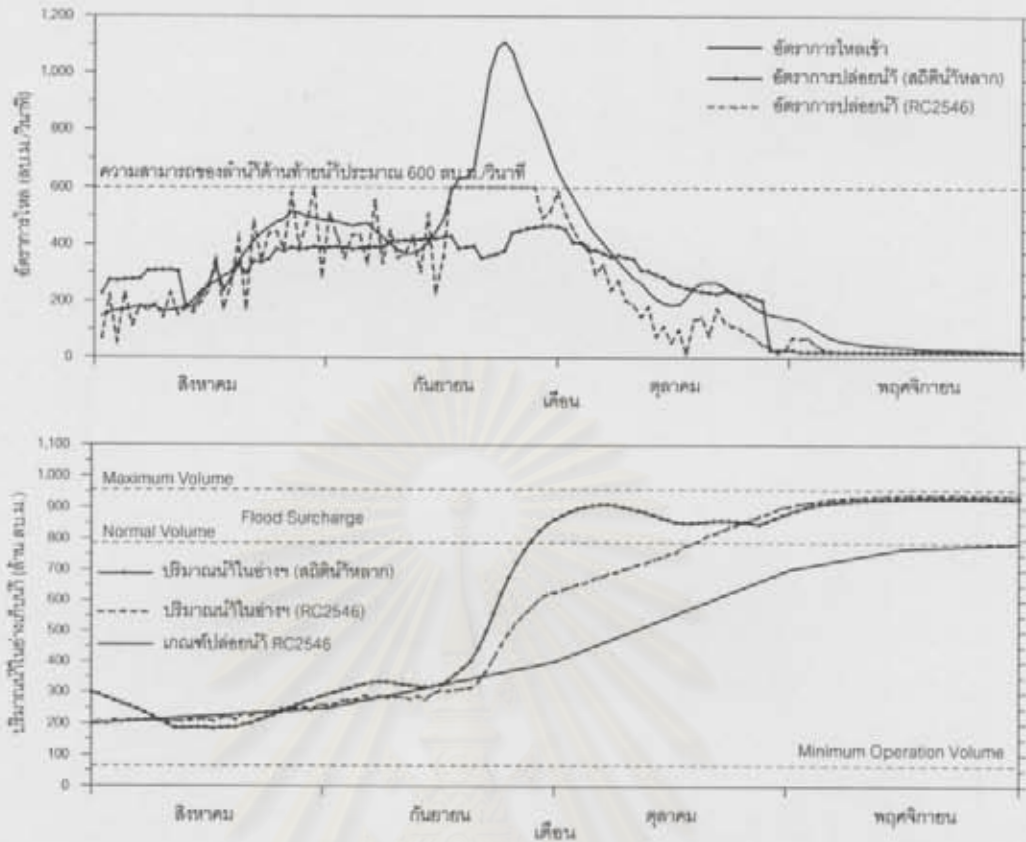
สามารถลดยอดน้ำหลากเพิ่มขึ้นจากเดิม อยู่ระหว่าง 0.00 – 18.90 % และการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา (กรณีไม่ใช้ค่าพยากรณ์เท่ากับ 1,497.2 ลบ.ม./วินาที) สามารถลดยอดน้ำหลากสูงสุดเพิ่มขึ้นจากเดิม อยู่ระหว่าง 2.39 – 29.54 % และจำนวนวันของการปล่อยน้ำเมื่ออัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที เห็นว่าวิธีการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษามีจำนวนวันมากกว่า เนื่องจากกว่าลักษณะผลการปล่อยน้ำเป็นการกระจายความรุนแรงของยอดน้ำหลากสูงสุด คือเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำปล่อยออก สะสม กรณีอัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าน้อยกว่า วิธีการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546

ผลการเปรียบเทียบการปล่อยน้ำทั้ง 2 รูปแบบ ในรูปของการเปลี่ยนแปลงชลภาพน้ำหลาก และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2521 2538 และ 2543 ดังแสดงในรูป 5-59 ถึงรูป 5-61 เห็นว่าวิธีการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษาให้ผลการปล่อยน้ำที่ดีกว่า

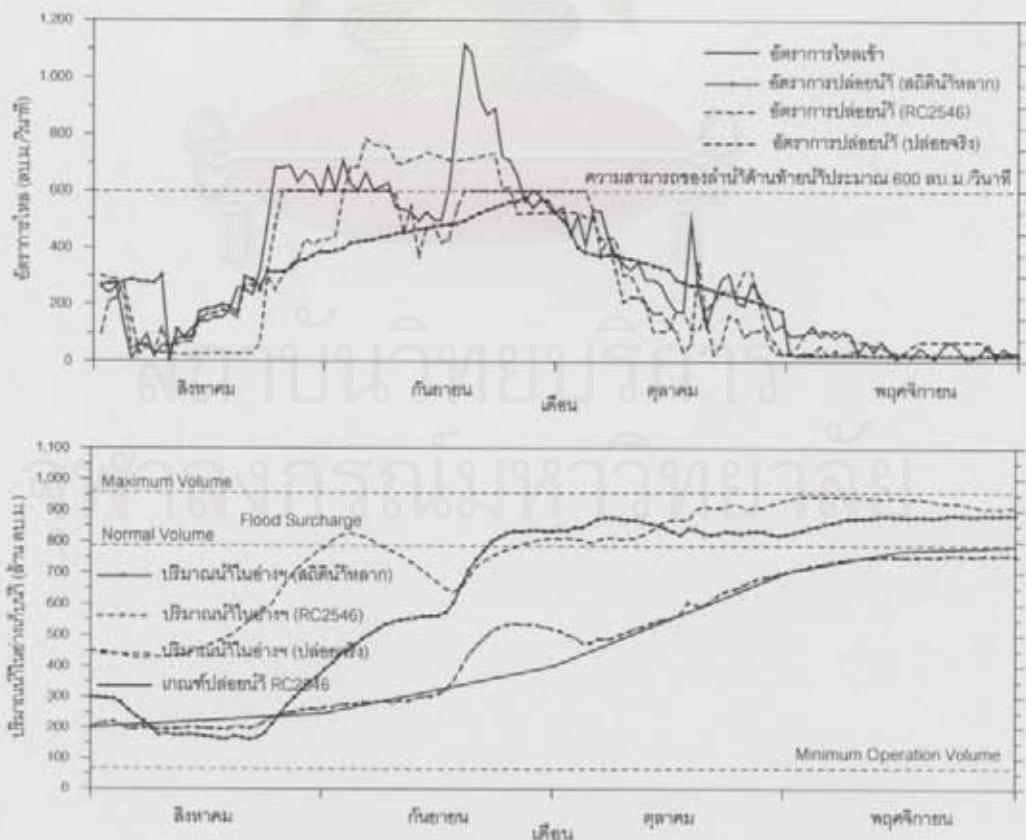
ผลการเปรียบเทียบกรณีใช้และไม่ใช้ค่าพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา ในรูปการเปลี่ยนแปลงของชลภาพน้ำหลาก และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2521 2538 และ 2543 ดังแสดงในรูป 5-62 ถึงรูป 5-64 เห็นว่าผลการปล่อยน้ำโดยใช้ค่าพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 13 วัน สามารถลดยอดน้ำหลากสูงสุดได้มากขึ้น



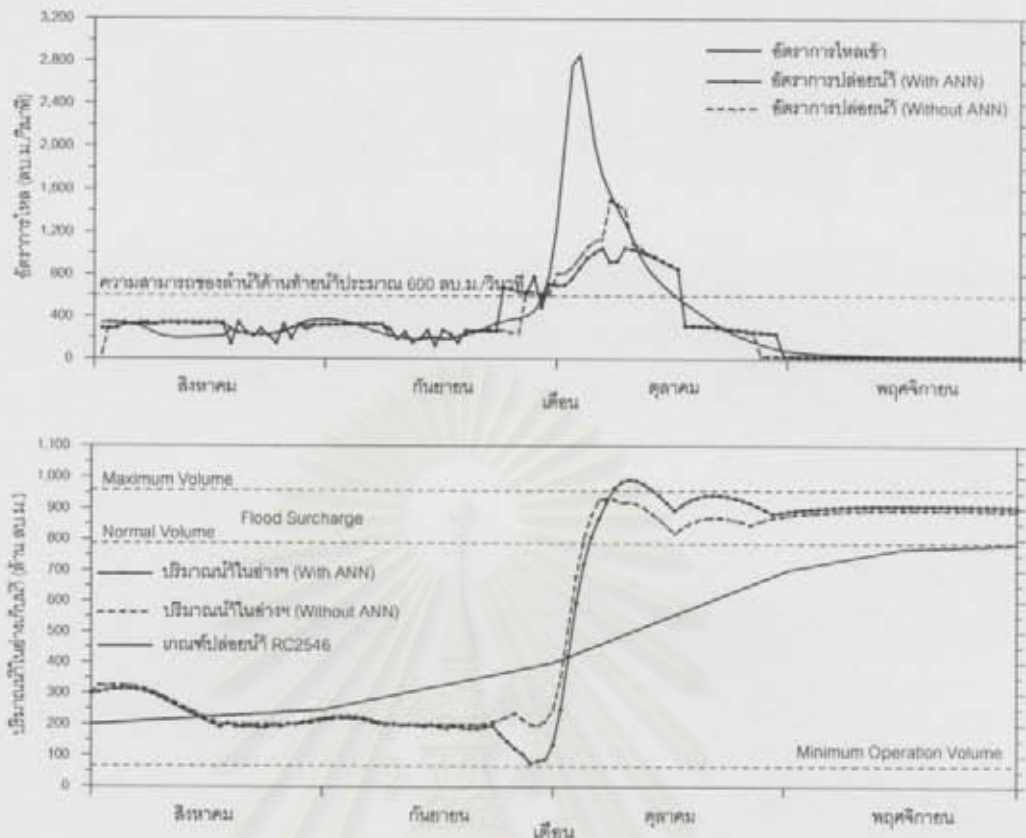
รูป 5-59 ผลการปล่อยน้ำที่ได้จากวิธีการแบบต่างๆ โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2521



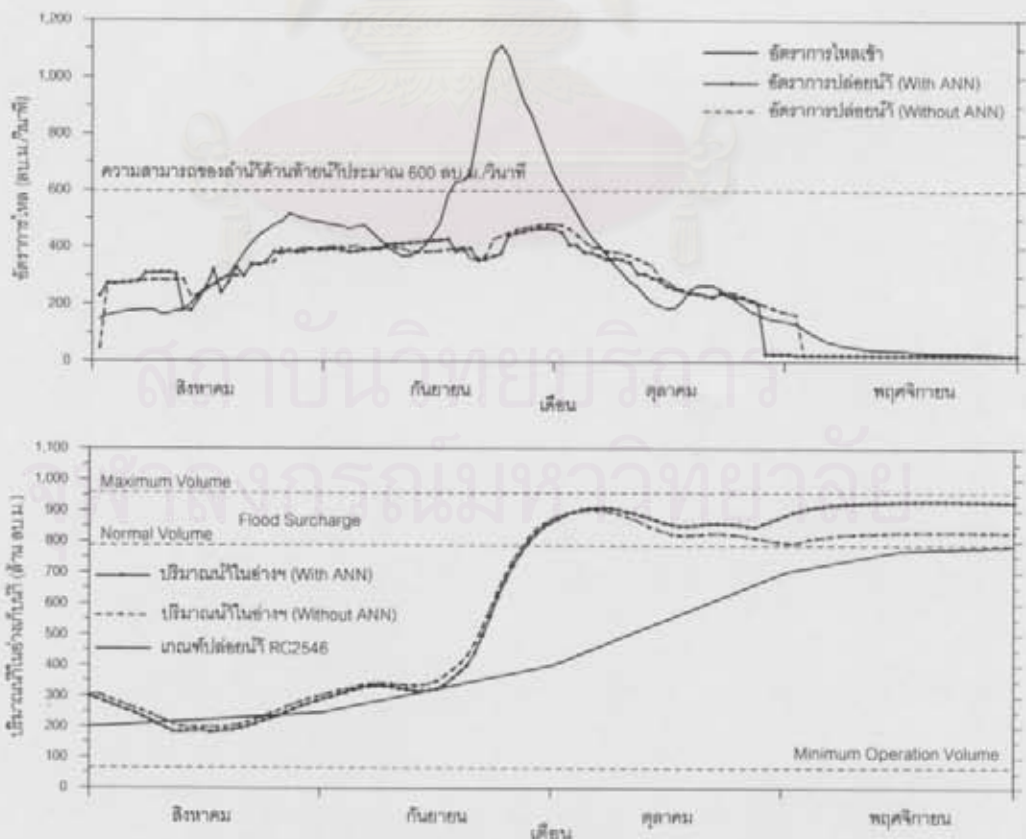
รูป 5-60 ผลการปล่อยน้ำที่ได้จากวิธีการแบบต่างๆ โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2538



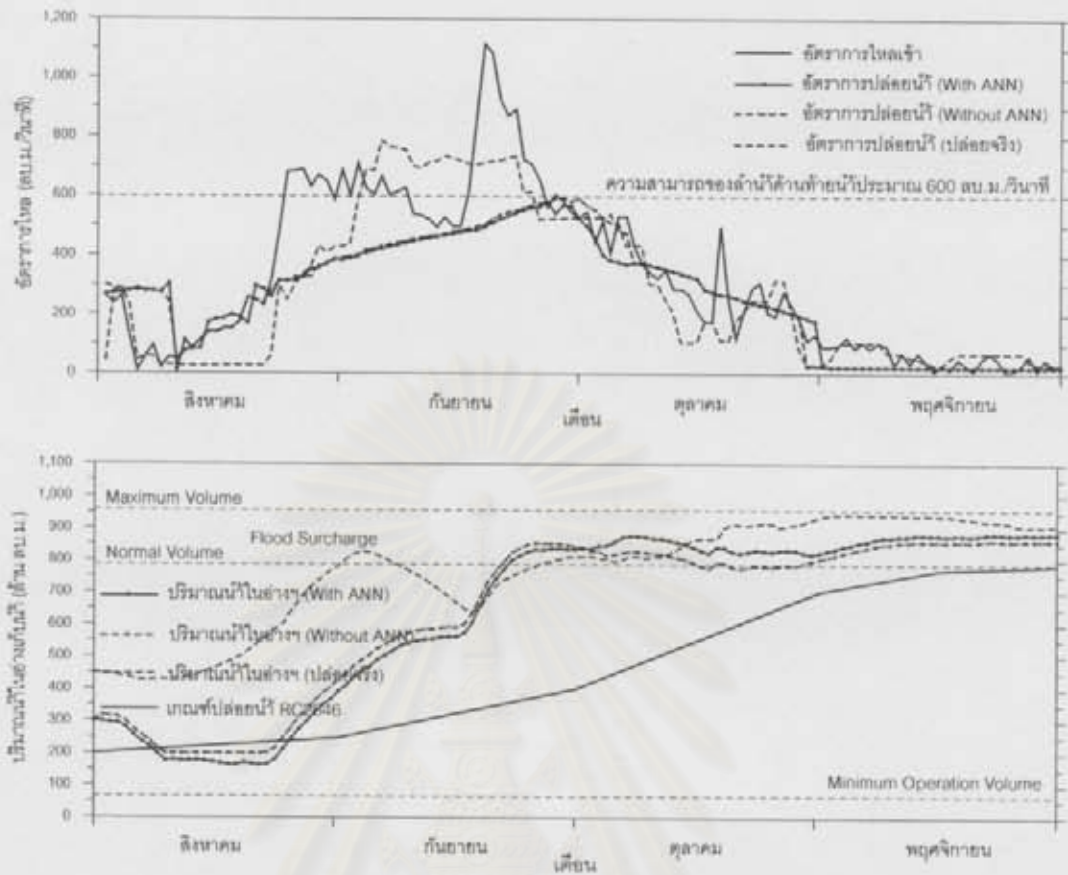
รูป 5-61 ผลการปล่อยน้ำที่ได้จากวิธีการแบบต่างๆ โดยใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2543



รูป 5-62 ผลการปล่อยน้ำ (สถิติน้ำหลาก) กรณีไม่ใช้และใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2521



รูป 5-63 ผลการปล่อยน้ำ (สถิติน้ำหลาก) กรณีไม่ใช้และใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2538



รูป 5-64 ผลการปล่อยน้ำ (สถิติน้ำหลาก) กรณีไม่ใช้และใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 13 วัน ในปี พ.ศ. 2543

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

การสรุปผลการศึกษา แยกกล่าวตามลำดับขั้นตอนของการศึกษาในประเด็นสำคัญด้านต่างๆ ได้ดังนี้

6.1.1 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำและการศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก

เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ได้พัฒนาขึ้นจากค่าสถิติน้ำหลากในอดีต เห็นได้ว่ามีลักษณะของการลดปริมาณการเก็บกักลงในช่วงแรก และปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นตามสภาพน้ำหลากที่มีมากในช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคม และหลังจากนั้นจะควบคุมค่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจนถึงสุดฤดูน้ำหลาก โดยได้พัฒนาเกณฑ์ 3 รูปแบบ ที่ขึ้นอยู่กับค่าปริมาณน้ำเริ่มต้นในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

จากการนำเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่ได้พัฒนาขึ้น 3 รูปแบบ และเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทานอีก 2 รูปแบบ มาทดสอบปล่อยน้ำของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 จำนวน 30 ปี ย้อนหลัง สามารถสรุปผลการทดสอบ ได้ดังนี้

อัตราการไหลเข้าสูงสุดเฉลี่ย 636.8 ลบ.ม./วินาที เมื่อปล่อยน้ำตามขั้นตอนการปล่อยน้ำของเกณฑ์ทั้ง 5 รูปแบบ ทำให้อัตราการปล่อยน้ำสูงสุดเฉลี่ย มีค่าอยู่ระหว่าง 440.6 - 504.7 ลบ.ม./วินาที จำนวนวันปล่อยน้ำออกเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าอยู่ระหว่าง 76 - 140 วัน จำนวนวันปล่อยน้ำออกมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าอยู่ระหว่าง 22 - 33 วัน และเกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่ง 2 เหตุการณ์ คือเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2521 และ 2545 มีปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่ออัตราการปล่อยน้ำสุดท้ายน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าอยู่ระหว่าง 935.11 - 1,371.17 ล้าน ลบ.ม.

จากผลการศึกษา พบว่าเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแต่ละแบบมีข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้สรุปผล ตามค่าความสามารถในการรองรับน้ำหลากที่ขนาดและช่วงเวลาการเกิดที่แตกต่างกัน และการเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักสำรองไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง ได้ดังนี้

เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในการควบคุมการปล่อยน้ำ เพื่อลดยอดน้ำหลากไหลเข้าสูงสุด โดยพิจารณาจากค่าอัตราการปล่อยน้ำออกสูงสุดเฉลี่ย เปอร์เซนต์ผลต่างยอดน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ย และจำนวนวันและปริมาณน้ำปล่อยออกสะสม เมื่ออัตราการปล่อยน้ำออกมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที คือเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300 RC0400 และ RC2546

จากการทดสอบปล่อยน้ำด้วยเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0400 และ RC0500 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ วันสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก (30 พ.ย.) พบว่าอ่างเก็บน้ำสามารถที่จะเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักสำรองไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งให้มากขึ้นได้ ดังนั้นจึงควรเพิ่มปริมาณน้ำของการเก็บกักในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จาก 785 ล้าน ลบ.ม. เป็น 960 ล้าน ลบ.ม. แต่ต้องมีการตรวจสอบความปลอดภัยของตัวเขื่อนอยู่เป็นประจำ

ผลการศึกษา ความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลากที่ขนาดและช่วงเวลาการเกิดที่แตกต่างกัน โดยการสร้างชลภาพน้่าหลากออกแบบ มาทดสอบการปล่อยน้ำตามเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำทั้ง 5 รูปแบบ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) เมื่ออัตราการไหลสูงสุดเกิดก่อนวันที่ 30 กันยายน พบว่าเกณฑ์แต่ละแบบสามารถควบคุมอัตราการปล่อยน้ำ โดยไม่เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำ เมื่อยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด มีค่าประมาณ 1,216 - 1,489 ลบ.ม./วินาที และไม่สามารถลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุดที่มีขนาดเกินกว่า 2,950 ลบ.ม./วินาที ได้

2) เมื่ออัตราการไหลสูงสุดเกิดในช่วงวันที่ 30 กันยายน ถึง 10 ตุลาคม พบว่าเกณฑ์แต่ละแบบสามารถควบคุมอัตราการปล่อยน้ำ โดยไม่เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำ เมื่อยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด มีค่าประมาณ 1,000 - 1,300 ลบ.ม./วินาที และไม่สามารถลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุดที่มีขนาดเกินกว่า 2,570 ลบ.ม./วินาที ได้

3) เมื่ออัตราการไหลสูงสุดเกิดในช่วงวันที่ 11 ตุลาคม ถึง 20 ตุลาคม พบว่าเกณฑ์แต่ละแบบสามารถควบคุมอัตราการปล่อยน้ำ โดยไม่เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งด้านท้ายน้ำ เมื่อยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด มีค่าประมาณ 750 - 1,300 ลบ.ม./วินาที และไม่สามารถลดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุดที่มีขนาดเกินกว่า 2,280 ลบ.ม./วินาที ได้

เมื่อพิจารณาความสามารถของเกณฑ์แต่ละแบบต่อผลของการควบคุมอัตราการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยไม่พิจารณาช่วงเวลาของการเกิดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด แยกสรุปเป็นเกณฑ์ของกรมชลประทาน (RC2542 และ RC2546) และเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้น (RC0300 RC0400 และ RC0500) พบว่าเกณฑ์ของกรมชลประทาน สามารถรองรับขนาดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด ได้ประมาณ 1,000 - 1,200 ลบ.ม./วินาที และเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถรองรับขนาดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด ได้ประมาณ 750 - 1,000 ลบ.ม./วินาที

แต่ถ้าพิจารณาช่วงเวลาของการเกิด อัตราการไหลสูงสุดในอดีต 30 ปี ย้อนหลัง อัตราการไหลสูงสุดที่มีค่าเกิน 600 ลบ.ม./วินาที เกิดก่อนวันที่ 20 ตุลาคม ดังนั้นเมื่อพิจารณายอดน้ำหลากออกแบบสูงสุดที่เกิดก่อนวันที่ 20 ตุลาคม สรุปได้ว่า เกณฑ์ของกรมชลประทาน สามารถรองรับขนาดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด ได้ประมาณ 1,300 ลบ.ม./วินาที และเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถรองรับขนาดยอดน้ำหลากออกแบบสูงสุด ได้ประมาณ 1,000 - 1,300 ลบ.ม./วินาที

จากผลการทดสอบเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแต่ละแบบ ด้วยเหตุการณ์น้ำหลากในช่วงฤดูน้ำหลากจริง 30 ปี ย้อนหลัง และจากการสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบที่คาบการเกิดซ้ำ ตั้งแต่ 2 - 1,000 ปี และพิจารณาวันที่เกิดอัตราการไหลเข้าสูงสุดที่แตกต่างกันรวมทั้งการพิจารณาสภาพน้ำหลากที่เคยเกิดขึ้นในอดีต สามารถสรุปผลได้ว่า การใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ทั้งในแง่ของการบรรเทาอุทกภัยและความสามารถในการเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักสำรองไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง ได้ดังนี้

การบริหารการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงต้นฤดูน้ำหลาก ประมาณตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม ถึง 10 กันยายน บริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC0300 หรือ RC2546 (ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเริ่มต้น) และในช่วงเวลาประมาณตั้งแต่วันที่ 11 กันยายน ถึง 15 ตุลาคม บริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC0400 และหลังจากวันที่ 15 กันยายน ถึงสิ้นสุดฤดูน้ำหลาก ควรบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC0500 จึงจะมีความเหมาะสมสำหรับการควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

6.1.2 การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

แนวความคิดในการบริหารการปล่อยน้ำออกจากเก็บน้ำ ที่มีความผันแปรของปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงจะใช้เพียงเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ที่สร้างจากค่าเฉลี่ยหรือสร้างจากค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของเหตุการณ์ในอดีตเพียงอย่างเดียว อาจจะไม่เหมาะสมมากนัก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้พัฒนาวิธีการปล่อยน้ำในช่วงฤดูน้ำหลากที่ขึ้นอยู่กับค่าปริมาณน้ำสะสมในช่วงเวลาที่เหลือ ความจุเก็บกักในช่วงเวลาที่เหลือ และช่วงเวลาที่เหลือของการบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546 กับวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต ดังแสดงในตาราง 6-1

จากตาราง 6-1 พบว่าวิธีการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา ลดยอดน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 47.2 % จำนวนวันปล่อยน้ำออกเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าเท่ากับ 5 วัน จำนวนวันและปริมาณปล่อยน้ำออกสะสม เมื่ออัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าเท่ากับ 27 วัน และ 1,051.8 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเมื่อสิ้นสุดฤดูน้ำหลากเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 830.31 ล้าน ลบ.ม.

กรณีการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546 ลดยอดน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 31.3 % จำนวนวันปล่อยน้ำออกเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าเท่ากับ 140 วัน จำนวนวันและปริมาณปล่อยน้ำออกสะสม เมื่ออัตราการปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที มีค่าเท่ากับ 27 วัน และ 974.59 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเมื่อสิ้นสุดฤดูน้ำหลากเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 687.68 ล้าน ลบ.ม.

ตาราง 6-1 ผลการเปรียบเทียบวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546 และสถิติน้ำหลาก

ปี พ.ศ.	อัตราไหลเข้า สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราปล่อยน้ำออก สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)		เปอร์เซ็นต์ความ ลดน้ำหลากสูงสุด (%)		จำนวนวันปล่อยน้ำออก เท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)		จำนวนวันปล่อยน้ำออก มากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)		ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ (ล้าน ลบ.ม.)		ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)	
		RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก	RC2546	สถิติน้ำหลาก
2516	261.6	173.4	29.1	33.7	88.9	0	0	0	0	0.00	0.00	584.17	834.12
2517	333.1	164.2	29.1	50.7	91.3	0	0	0	0	0.00	0.00	784.79	951.05
2518	591.9	500.9	384.1	15.4	35.1	0	0	0	0	0.00	0.00	745.62	820.08
2519	480.4	362.0	316.0	24.7	34.2	0	0	0	0	0.00	0.00	784.82	953.71
2520	527.6	464.2	157.7	12.0	70.1	0	0	0	0	0.00	0.00	501.84	903.91
2521	2,857.7	2,450.0	1,497.2	14.3	47.6	16	0	13	13	724.03	673.00	704.93	892.00
2522	256.7	29.1	29.1	88.7	88.7	0	0	0	0	0.00	0.00	470.97	562.77
2523	789.3	600.0	327.3	24.0	58.5	7	0	0	0	0.00	0.00	741.28	917.79
2524	292.5	271.1	303.9	7.3	-3.9	0	0	0	0	0.00	0.00	714.30	722.88
2525	708.8	600.0	477.1	15.3	32.7	7	0	0	0	0.00	0.00	775.25	957.64
2526	758.9	600.0	353.6	20.9	53.4	2	0	0	0	0.00	0.00	785.00	960.00
2527	513.0	394.0	269.0	23.2	47.6	0	0	0	0	0.00	0.00	773.16	960.00
2528	702.1	600.0	419.4	14.5	40.3	4	0	0	0	0.00	0.00	785.00	909.97
2529	155.5	134.1	184.3	13.8	-25.0	0	0	0	0	0.00	0.00	416.88	388.87
2530	887.5	600.0	600.0	32.4	32.4	17	5	0	0	0.00	0.00	767.29	846.72
2531	373.8	171.6	136.8	54.1	63.4	0	0	0	0	0.00	0.00	778.90	879.71
2532	148.7	59.2	29.1	60.2	80.4	0	0	0	0	0.00	0.00	675.94	772.51
2533	651.1	533.1	193.3	18.1	70.3	0	0	0	0	0.00	0.00	770.96	922.18
2534	586.5	542.1	383.0	7.6	34.7	0	0	0	0	0.00	0.00	829.98	885.00
2535	262.2	166.4	201.5	36.5	23.2	0	0	0	0	0.00	0.00	602.51	556.45
2536	211.1	29.1	29.1	86.2	86.2	0	0	0	0	0.00	0.00	384.95	505.52
2537	521.0	438.1	242.9	15.9	53.4	0	0	0	0	0.00	0.00	554.69	781.63
2538	1,110.1	600.0	482.1	46.0	56.8	21	0	0	0	0.00	0.00	739.30	826.53
2539	736.7	600.0	446.2	18.6	39.4	5	0	0	0	0.00	0.00	785.00	928.91
2540	364.9	246.0	207.6	32.6	43.1	0	0	0	0	0.00	0.00	721.02	886.19
2541	228.3	127.1	173.0	44.3	24.2	0	0	0	0	0.00	0.00	684.81	666.90
2542	512.0	394.1	291.4	23.0	49.0	0	0	0	0	0.00	0.00	785.00	980.00
2543	1,116.2	600.0	593.1	46.2	46.9	36	0	0	0	0.00	0.00	751.11	863.30
2544	310.6	289.2	297.4	6.9	4.3	0	0	0	0	0.00	0.00	664.73	767.92
2545	1,854.2	870.0	920.3	53.1	50.4	25	0	14	14	250.56	378.80	766.29	941.15
เฉลี่ย	636.8	453.6	332.8	31.3	47.2	-	-	-	-	-	-	687.68	830.31
รวม	-	-	-	-	-	140	5	27	27	974.59	1,051.80	-	-

ดังนั้นจากผลการเปรียบเทียบในข้างต้น สรุปได้ว่า วิธีการปล่อยน้ำที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมการปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับสภาพน้ำหลากที่มีขนาดและช่วงเวลาในการเกิดที่แตกต่างกัน ได้ดีกว่าการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และควรที่จะเพิ่มปริมาณน้ำเก็บกักปกติในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปลายฤดูน้ำหลาก จาก 785 ล้าน ลบ.ม. เป็น 960 ล้าน ลบ.ม. เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำสำรองไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง แต่ต้องมีการตรวจสอบความปลอดภัยของตัวเขื่อนอยู่เป็นประจำ

6.1.3 การพัฒนาวิธีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

การพยากรณ์ล่วงหน้า ได้พยากรณ์เหตุการณ์ เฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างเดือนสิงหาคม ถึงพฤศจิกายน ของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตั้งแต่เหนือห้วยงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ขึ้นไป และแบ่งการพยากรณ์ออกเป็นพื้นที่ย่อยตามสถานีวัดน้ำท่าหลักในแม่น้ำป่าสัก จำนวน 4 สถานี คือสถานี SM.1 S.4B SM.2 SM.3 รวมทั้งตำแหน่งห้วยงานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ (สถานี Dam.) โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวัน และปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ย่อย (วิธี Thiessen Polygon) และได้คัดเลือกเหตุการณ์ตัวแทนที่มีการเก็บข้อมูลครบถ้วน จำนวน 19 ปี โดยแบ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบ จำนวน 15 ปี คือปี พ.ศ. 2517 – 2526 2536 และ 2539 – 2542 ข้อมูลสำหรับสอบทาน จำนวน 3 ปี ตามกรณีมีน้ำน้อย ปีน้ำปกติ และปีน้ำมาก คือปี พ.ศ. 2516 2537 และ 2538 ตามลำดับ และชุดข้อมูลสำหรับรับรองผลคือเหตุการณ์ที่เป็นปัจจุบัน คือปี พ.ศ. 2543

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม (ANN) แบบ BPNN ร่วมกับแบบจำลองอนุกรมเวลา โดยการคัดเลือกและทดสอบหาค่าต่างๆ ที่จำเป็น ดังนี้

ลักษณะโครงข่ายแบบจำลองสร้างตามจำนวนชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ โดยกำหนดชั้นแอบแฝงเบื้องต้น คือเมื่อจำนวนตัวแปรนำเข้าไม่เกิน 5 จำนวน ชั้นแอบแฝงเท่ากับ 1 ชั้น มีจำนวนหน่วยเท่ากับจำนวนตัวแปรนำเข้า และเมื่อจำนวนตัวแปรนำเข้ามากกว่า 5 จำนวน ชั้นแอบแฝงเท่ากับ 2 ชั้น มีจำนวนหน่วยในแต่ละชั้นเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนตัวแปรนำเข้า ฟังก์ชันกระตุ้นใช้แบบซิกมอยด์ฟังก์ชัน และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ได้จากการ Trial & Error ได้แก่ อัตราการเรียนรู้มีค่าคงที่เท่ากับ 0.01 โมเมนตัมมีค่าเท่ากับ 0.6 ตั้งแต่รอบการคำนวณที่ 1 – 5,000 รอบ เปลี่ยนเป็น 0.95 ตั้งแต่รอบการคำนวณที่ 5,001 – 10,000 รอบ และใช้แบบจำลองอนุกรมเวลาแบบ Autoregressive (AR Model) ในการปรับปรุงผลการพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าเบื้องต้น ใช้กราฟความสัมพันธ์แบบต่างๆ ประกอบด้วย กราฟ Autocorrelation และกราฟ Partial Autocorrelation ใช้พิจารณาคัดเลือกอัตราการไหลน้ำท่ารายวันย้อนหลังของสถานีที่ต้องการพยากรณ์ ส่วนกราฟ Cross Correlation และกราฟน้ำฝน – น้ำท่า ใช้พิจารณาเลือกปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ย่อย และค่า Tc ของแต่ละพื้นที่ย่อย รวมทั้งใช้กราฟความสัมพันธ์แบบ Cross Correlation พิจารณาอัตราการไหลน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่เหนือขึ้นไป จากนั้นนำตัวแปรที่ได้คัดเลือกในเบื้องต้น ไปทดสอบตัวแปรที่มีนัยสำคัญสำหรับการพยากรณ์

อัตราการไหลล่องหน้า 1 วัน โดยใช้ตัววัดประสิทธิภาพแบบจำลอง คือ EI, RMSE, MAD, Max. Absolute Error และ อัตราการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Rate of Improvement) จนกว่าได้ตัวแปรนำเข้าสำหรับการพยากรณ์ล่องหน้า 1 วัน ที่เหมาะสมที่สุด

ชุดตัวแปรนำเข้าสำหรับการพยากรณ์ล่องหน้ามากกว่า 1 วัน คัดเลือกโดยวิธี Standard Step คือคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าแบบเคลื่อนไปข้างหน้า โดยตัดตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ย้อนหลังอันดับสุดท้ายออกและใช้ค่าพยากรณ์ล่องหน้า 1 ช่วงเวลา ที่มีการปรับปรุงผลการพยากรณ์ของอนุกรมค่าผิดพลาดโดยแบบจำลองอนุกรมเวลาเรียบร้อยแล้วไปแทนที่ โดยกระทำแบบนี้จนวันสุดท้ายของการพยากรณ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า T_c และไม่มีการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยล่องหน้า

การพัฒนาวิธีการพยากรณ์ ได้เปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนเป็น 2 กรณี คือกรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลนำเข้า คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวันและปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ย่อย และกรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลอัตราการไหลน้ำท่ารายวันเพียงอย่างเดียว และจากขั้นตอนการพัฒนาวิธีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังแสดงในตาราง 6-2

จากตาราง 6-2 สรุปผลได้ว่า การพัฒนาวิธีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่องหน้าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ สามารถพยากรณ์ล่องหน้าได้ 1 - 13 วัน โดยที่ประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่อมีการปรับปรุงผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลา มีค่ามากกว่า 84 % ทั้งในช่วงของการปรับเทียบ และสอบทานแบบจำลอง

6.1.4 การประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์กับการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

การประยุกต์ใช้ผลการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ล่องหน้า 1 - 13 วัน ของเหตุการณ์น้ำหลากปี พ.ศ. 2521, 2538 และ 2543 กับวิธีการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546 กับวิธีการปล่อยน้ำตามกรณีศึกษา สรุปผลได้ว่า

กรณีปีที่มีขนาดน้ำหลากไม่สูงมากนัก คือในเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2538 และ 2543 ซึ่งมีอัตราการไหลเข้าสูงสุดเท่ากับ 1,110 และ 1,116 ลบ.ม./วินาที พบว่าการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยควบคุมค่าอัตราการปล่อยน้ำสูงสุดด้วยค่าความสามารถของลำน้ำด้านท้ายน้ำเท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที แต่การปล่อยน้ำกรณีใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต พบว่าสามารถลดอัตราการปล่อยน้ำจากการไม่ใช้ผลการพยากรณ์ (482.1 และ 593.1 ลบ.ม./วินาที) ประมาณ 2.07 - 3.94 %

ตาราง 6-2 ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ
ระหว่าง กรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2

สถานีวัด น้ำท่า	จำนวนวัน พยากรณ์ล่วงหน้า (วัน)	ช่วงการเปรียบเทียบ (% EI)				ช่วงการสอบทาน (% EI)			
		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
SM.1	1	76.32	69.08	76.32	69.08	81.43	81.75	81.43	81.75
S.4B	1	97.30	97.24	97.30	97.24	98.74	98.71	98.74	98.71
	2	93.01	93.51	94.77	96.02	96.03	96.34	97.30	98.08
SM.2	1	99.44	99.43	99.44	99.43	99.25	99.24	99.25	99.24
	2	97.40	97.67	98.25	98.41	97.80	97.85	98.42	98.38
	3	96.24	96.26	97.06	96.95	97.17	96.20	97.56	96.85
	4	96.60	94.54	96.02	95.70	95.95	94.40	96.43	95.67
	5	93.80	93.30	95.61	94.86	95.47	91.31	96.23	92.67
	6	93.59	93.33	94.84	94.60	95.42	91.30	95.72	91.96
	7	92.40	92.54	94.24	94.51	93.94	92.38	96.11	93.22
	8	93.18	92.49	94.63	93.96	93.85	91.90	95.20	92.51
SM.3	1	99.19	99.21	99.19	99.24	99.08	99.03	99.08	99.03
	2	97.06	97.24	98.22	97.91	96.31	96.31	98.40	98.08
	3	96.12	95.87	97.09	97.26	95.55	95.14	96.82	97.12
	4	94.87	95.05	95.87	95.96	93.54	94.03	94.72	95.12
	5	93.53	93.70	94.80	94.83	91.96	92.14	92.46	93.23
	6	93.02	92.39	94.44	93.70	92.17	90.21	92.76	90.65
	7	92.69	91.63	93.85	92.77	90.81	88.92	91.10	89.44
	8	91.86	90.72	93.15	92.25	89.26	87.94	90.49	88.86
	9	90.98	90.32	92.39	91.63	88.68	86.24	89.57	87.63
	10	90.61	89.78	91.93	91.51	87.59	85.26	88.17	85.40
Dam.	1	99.19	99.18	99.19	99.24	99.52	99.10	99.52	99.39
	2	96.92	97.01	98.09	98.44	97.81	96.42	98.91	98.48
	3	96.11	96.04	97.57	97.25	97.98	90.88	99.05	94.73
	4	94.96	94.43	95.99	95.76	97.02	89.71	97.47	93.09
	5	93.39	93.42	95.42	95.46	96.11	91.62	96.95	92.08
	6	92.93	92.07	94.43	93.96	94.25	91.13	95.16	91.21
	7	91.66	90.67	93.51	93.01	93.04	90.84	93.24	90.94
	8	91.25	90.35	93.20	92.34	90.57	89.54	92.01	90.12
	9	90.61	90.08	92.31	92.05	90.76	89.34	91.15	89.50
	10	90.53	88.87	92.30	90.98	90.31	86.72	90.84	87.24
	11	89.79	89.20	91.77	90.34	87.71	86.37	90.03	87.02
	12	89.32	87.98	91.48	90.15	89.05	86.23	89.51	87.01
	13	88.46	88.08	90.34	90.09	84.55	85.34	84.84	86.41

กรณีปีที่มีขนาดน้ำหลากสูง คือในเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2521 ซึ่งมีอัตราการไหลเข้าสูงสุดเท่ากับ 2,857.7 ลบ.ม./วินาที พบว่าการปล่อยน้ำโดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน RC2546 สามารถลดอัตราการปล่อยน้ำจากการไม่ใช้ผลการพยากรณ์ (2,442.6 ลบ.ม./วินาที) ประมาณ 0.00 – 18.90 % แต่การปล่อยน้ำปล่อยน้ำกรณีใช้ค่าสถิติน้ำหลากในอดีต พบว่าสามารถลดอัตราการปล่อยน้ำจากการไม่ใช้ผลการพยากรณ์ (1,497.2 ลบ.ม./วินาที) ประมาณ 2.39 – 29.54 %

จากเหตุการณ์น้ำหลากที่ได้กล่าวในข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า กรณีน้ำหลากไม่สูงมากนัก สามารถใช้วิธีการปล่อยน้ำที่ได้พัฒนาขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการพยากรณ์มีความจำเป็นสำหรับเหตุการณ์ที่มีขนาดน้ำหลากสูงมาก ดังนั้นในการบริหารการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จึงต้องมีการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำทำรายวันล่วงหน้าและใช้วิธีการปล่อยน้ำที่ได้พัฒนาขึ้นจากการศึกษาในครั้งนี้ จึงมีความเหมาะสมสำหรับการควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาข้อมูลจุด - จุดทวิทยาเพิ่มขึ้น โดยการศึกษาถึงจำนวนสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่าที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์หรือการทำนายน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก

2) กรณีมีการปล่อยน้ำตามเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ควรมีการคำนึงถึงความจุอ่างเก็บน้ำเริ่มต้นตามสภาพจริงและปรับการใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ให้สอดคล้องสภาพน้ำหลากในปัจจุบัน โดยคำนึงถึงค่าสถิติน้ำหลากในอดีต เพื่อควบคุมการปล่อยน้ำให้เป็นไปอย่างเหมาะสมตามสถานการณ์น้ำหลากจริงเพื่อลดปัญหาน้ำท่วมด้านท้ายน้ำให้ได้ผลอย่างแท้จริง และมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการควบคุมการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ร่วมกับการประเมินสถานการณ์น้ำที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ด้านท้ายน้ำ โดยติดตั้งโทรมาตรที่สถานีวัดน้ำท่าหรืออาคารควบคุมการระบายน้ำด้านท้ายน้ำ

3) ควรมีการปรับปรุงค่าสถิติน้ำหลากในอดีต คือค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมและค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำคงเหลือ โดยการเพิ่มข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าสะสมในปีปัจจุบันเพิ่มเติมและวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ใหม่ทุกปี

4) ในการกำหนดค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ ทั้งในช่วงเวลาที่ผ่านมาและในช่วงเวลาที่เหลือของข้อมูลจริงเพื่อตรวจสอบรูปแบบของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาที่เหลือ จากที่มีการสมมุติให้มีค่าเท่ากัน ควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานนี้ว่าใช้ได้และมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

5) ควรมีการปรับปรุงวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ให้มีความถูกต้องแม่นยำขึ้น เช่น อาจจะมีการปรับปรุงแบบจำลอง ANN หรือแบบจำลองอื่นๆ ให้ครอบคลุมเหตุการณ์ปัจจุบันมากขึ้น หรือมีการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า ร่วมกับการใช้แบบจำลองการไหลในแม่น้ำ ที่ใช้ข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำประกอบในการประเมินน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. รายงานการศึกษาเรื่องการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสัก,
กองอุตุและอุทกวิทยา ฝ่ายสำรวจ, 2542.
- คณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน. โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการ
พัฒนาลุ่มน้ำเพชรบุรี, 2537.
- ชลประทาน, กรม. รายงานการศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการเขื่อนเก็บกัก
น้ำแม่ น้ำป่าสัก. จังหวัดสระบุรีและจังหวัดลพบุรี, 2536.
- ชลประทาน, กรม. การศึกษาเกณฑ์การกักเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์, กรุงเทพฯ : กลุ่มงานจัดสรรน้ำ
สำนักอุทกวิทยาและบริหารงาน, 2546.
- ชัยพันธุ์ รักวิจัย. บทแนะนำ Stochastic Processes in Hydrology. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรม
แหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
- ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. รายงานผลการประดิษฐ์เงินอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์ เรื่อง โปรแกรม
วิเคราะห์หอนุกรมเวลา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ทรัพยากรน้ำ, กรม. โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก,
มีนาคม, 2546.
- ธนพล พิमान. การศึกษาความเหมาะสมของโครงข่ายในแบบจำลองไฮดรอสแตติกสำหรับการ
พยากรณ์น้ำท่ารายวัน ในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชา
วิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- พงษ์ศักดิ์ สุทธินนท์. การพยากรณ์ระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาโดยใช้โครงข่ายไฮดรอสแตติก. วิทยา
นิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2546.
- วีระชัย ชูพิศาลโรจน์. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน – น้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสักโดยใช้แบบ
จำลองถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- วีระพล แต้สมบัติ. อุทกวิทยาประยุกต์. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์, 2531.
- วุฒิชัย บุญผ่อง. การประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทยูนิฟอร์มในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวัน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีมหานคร, 2544.

- เสรี สุภราทิตย์, ชัยยุทธ ชินนราศรี และทรงพล โนนสว่าง. การพยากรณ์ระดับน้ำที่หาดใหญ่โดย
ใช้โครงข่ายใยประสาทเทียม. เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 1.
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544.
- อรอนงค์ วรรณราช. การบริหารอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคโครงข่ายใย
ประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- อุตุนิยมวิทยา, กรม. การศึกษาข้อมูลฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสัก. โครงการพระราชดำริ
ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มแม่น้ำป่าสัก, 2536.

ภาษาอังกฤษ

- ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in hydrology. Artificial
neural networks in hydrology. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 5(2)
(2000) : 115 – 137.
- Bulletin # 17 of the Hydrology Committee. Guidelines for Determining Flood Flow
Frequency. United States Water Resources Council, 1976.
- Danh, N.T. Forecasting river daily flow : a case study in Vietnam. M.Eng Thesis, Asian
Institute of Technology, Thailand, 1995.
- Gautum, M.R. Flood forecasting model for Pasak River Basin, Thailand. M.Eng Thesis,
Asian Institute of Technology, Thailand, 1997.
- Gul, R. The application of back propagation model to daily flow forecasting. M.Eng
Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1993.
- Jain, S.K., Das, A. and Srivastava, D.K. Application of ANN for reservoir inflow
prediction and operation. Journal of Water Resources Planning and
Management, ASCE, 125(5) (1999) : 263 – 271.
- Kabiling, M. B. A combined deterministic stochastic model for daily flow forecasting of
Pasak River basin. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1989.
- Kitpaisalsakul, T., and Piman, T. Development of daily runoff forecasting model using
artificial neural network and multiple linear regression. Proceeding of
International Symposium on Lowland Technology. Sega University, (2002) :
321 – 326.
- Manusthiparom, C. Neural network models for forecasting hourly water levels and
discharges of Chao Phraya River at Bangkok Memorial Bridge. M.Eng Thesis,
Asian Institute of Technology, Thailand, 2000.

- Nam, L.H. Simulation and forecasting of monthly streamflows using a backpropagation model a case study : Black River Basin in Vietnam, M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1998.
- Nam, N. T. K. Application of hybrid models for forecasting daily inflow to the Hoabinh Reservoir, North Vietnam, M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1991.
- Neelakantan, T.R., and Pundarikanthan, N.V. Neural network-based simulation-optimization model for reservoir operation. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 126(2) (2000) : 57 – 64.
- Prasad, S. Y. A hybrid approach in daily flow forecasting, M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1995.
- Salas, J. D., Deileur, J. W., and Lane, W.L. Applied Modeling of Hydrologic Time Series, U.S.A. : Water Resources Publications, 1980.
- Siang, J. J. Application of back propagation method in forecasting problem, M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1992.
- Tingsanchali, T. Back propagation network for flood forecasting, Proceeding of Special Lecture on application of Artificial Intelligence in Water Resources Engineering, Rangsit University, Thailand, 2001.
- Tokar, S. A. and Jonhson, P. A. Rainfall-Runoff modeling using artificial neural networks. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 4 (3) (1999) : 232 – 239.
- Win, T. Y. Daily flood forecasting : a neural networks model of Prasae River, M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1999.
- Xuan Hong, N.T. Operation of Hoa Binh Reservoir (Vietnam) incorporation inflow forecasting, M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1999.
- Yevjevich, V. M. Stochastic Process in Hydrology, U.S.A. : Water Resources Publications, LithoCralters, 1972.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

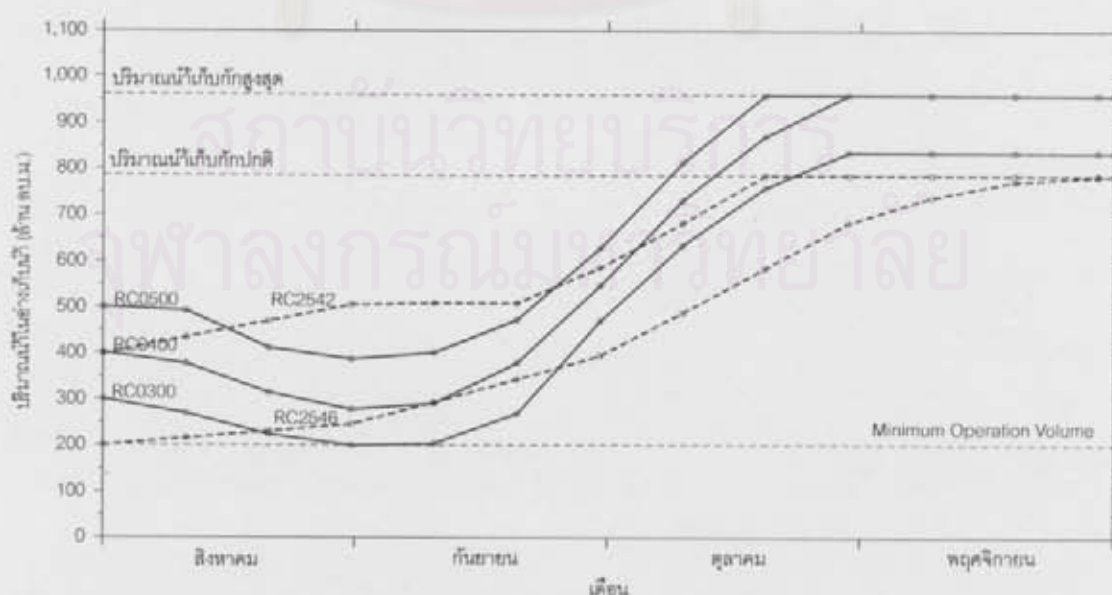
การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ และการศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อน ป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก

ก-1 การพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

จากการพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำจากการศึกษาในครั้งนี้ จำนวน 3 รูปแบบ (RC0300, RC0400 และ RC0500) และเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน จำนวน 2 รูปแบบ (RC2542 และ RC2546) ดังแสดงในรูป ก-1 เมื่อนำมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการปล่อยน้ำของเกณฑ์แต่ละแบบของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 – 2545 ได้ผลการทดสอบ ดังแสดงในตาราง ก-1 ถึงตาราง ก-5

ก-2 การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในการรองรับน้ำหลาก

การศึกษาความสามารถของอ่างเก็บน้ำ ได้มีการสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบจากเหตุการณ์น้ำหลากในอดีต ในช่วงฤดูน้ำหลาก โดยคัดเลือกจำนวน 6 เหตุการณ์ คือเหตุการณ์ ปี พ.ศ. 2521 2523 2530 2538 2539 และ 2545 ซึ่งชลภาพน้ำหลากในแต่ละเหตุการณ์ ดังแสดงในรูป ก-2 โดยขั้นตอนแรกของการสร้างคือการนำเหตุการณ์ต่างๆ มาหาค่าวันเริ่มต้นการเกิดสภาพน้ำหลาก วันสิ้นสุดการเกิดสภาพน้ำหลาก วันที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด และช่วงระยะเวลาการเกิดน้ำหลาก ซึ่งผลการหาค่าจุดควบคุม ดังแสดงในตาราง ก-6



รูป ก-1 เกณฑ์ปฏิบัติการปล่อยน้ำแบบต่างๆ

ตาราง ก-1 ผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0300

ปี พ.ศ.	อัตราไหลเข้า สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราปล่อยน้ำออก สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เปอร์เซ็นต์ผลต่าง ของน้ำหลากสูงสุด (%)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก เท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก มากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ อัตราปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำในอ่างฯ ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)
2516	261.6	106.5	59.3	0	0	0.00	720.26
2517	333.1	90.9	72.7	0	0	0.00	835.00
2518	591.9	476.5	19.5	0	0	0.00	834.94
2519	480.4	330.7	31.2	0	0	0.00	835.00
2520	527.6	331.8	37.1	0	0	0.00	646.37
2521	2,857.7	2,400.0	16.0	11	13	784.86	832.73
2522	256.7	127.1	50.5	0	0	0.00	436.75
2523	789.3	592.8	24.9	0	0	0.00	832.36
2524	292.5	323.8	-10.7	0	0	0.00	785.53
2525	708.8	600.0	15.3	2	0	0.00	835.00
2526	758.9	600.0	20.9	1	0	0.00	835.00
2527	513.0	420.4	18.0	0	0	0.00	835.00
2528	702.1	466.6	33.7	0	0	0.00	835.00
2529	155.5	204.6	-31.6	0	0	0.00	379.82
2530	887.5	600.0	32.4	7	0	0.00	835.00
2531	373.8	107.1	71.4	0	0	0.00	835.00
2532	148.7	160.7	-8.1	0	0	0.00	595.44
2533	651.1	266.6	59.1	0	0	0.00	834.13
2534	566.5	578.8	1.3	0	0	0.00	792.34
2535	262.2	212.1	19.1	0	0	0.00	590.04
2536	211.1	77.0	63.5	0	0	0.00	413.90
2537	521.0	421.4	19.1	0	0	0.00	710.82
2538	1,110.1	600.0	46.0	13	0	0.00	832.75
2539	736.7	587.0	20.3	0	0	0.00	835.00
2540	364.9	256.9	29.6	0	0	0.00	827.04
2541	228.3	140.9	38.3	0	0	0.00	697.45
2542	512.0	339.8	33.6	0	0	0.00	835.00
2543	1,116.2	600.0	46.2	33	0	0.00	834.47
2544	310.6	359.9	-15.9	0	0	0.00	769.10
2545	1,854.2	870.0	53.1	27	9	150.25	833.52
เฉลี่ย	636.8	441.6	28.9	-	-	-	751.66
รวม	-	-	-	94	22	935.11	-

ตาราง ก-2 ผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0400

ปี พ.ศ.	อัตราไหลเข้า สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราปล่อยน้ำออก สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เปอร์เซ็นต์ผลต่าง ของน้ำหลากสูงสุด (%)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก เท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก มากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ อัตราปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำในอ่างฯ ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)
2516	261.6	95.5	63.5	0	0	0.00	825.31
2517	333.1	88.4	73.4	0	0	0.00	960.00
2518	591.9	449.8	24.0	0	0	0.00	959.38
2519	480.4	314.5	34.5	0	0	0.00	960.00
2520	527.6	321.4	39.1	0	0	0.00	737.28
2521	2,857.7	2,400.0	16.0	8	13	862.96	956.41
2522	256.7	145.6	43.3	0	0	0.00	519.55
2523	789.3	569.3	27.9	0	0	0.00	956.58
2524	292.5	336.4	-15.0	0	0	0.00	890.71
2525	708.8	600.0	15.3	1	0	0.00	960.00
2526	758.9	590.8	22.1	0	0	0.00	960.00
2527	513.0	401.4	21.7	0	0	0.00	960.00
2528	702.1	502.9	28.4	0	0	0.00	960.00
2529	155.5	223.1	-43.5	0	0	0.00	484.15
2530	887.5	600.0	32.4	9	0	0.00	960.00
2531	373.8	125.6	66.4	0	0	0.00	935.59
2532	148.7	174.1	-17.1	0	0	0.00	678.50
2533	651.1	247.6	62.0	0	0	0.00	958.79
2534	586.5	567.8	3.2	0	0	0.00	906.55
2535	262.2	225.5	14.0	0	0	0.00	673.15
2536	211.1	95.5	54.8	0	0	0.00	487.24
2537	521.0	384.7	24.2	0	0	0.00	810.84
2538	1,110.1	600.0	46.0	15	0	0.00	957.00
2539	736.7	566.8	22.8	0	0	0.00	960.00
2540	364.9	238.0	34.8	0	0	0.00	950.36
2541	228.3	154.4	32.4	0	0	0.00	802.68
2542	512.0	321.6	37.2	0	0	0.00	960.00
2543	1,116.2	600.0	46.2	33	0	0.00	958.79
2544	310.5	378.4	-21.8	0	0	0.00	874.29
2545	1,854.2	870.0	53.1	19	14	239.33	958.18
เฉลี่ย	636.8	440.0	28.0	-	-	-	864.04
รวม	-	-	-	85	27	1102.29	-

ตาราง ก-3 ผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC0500

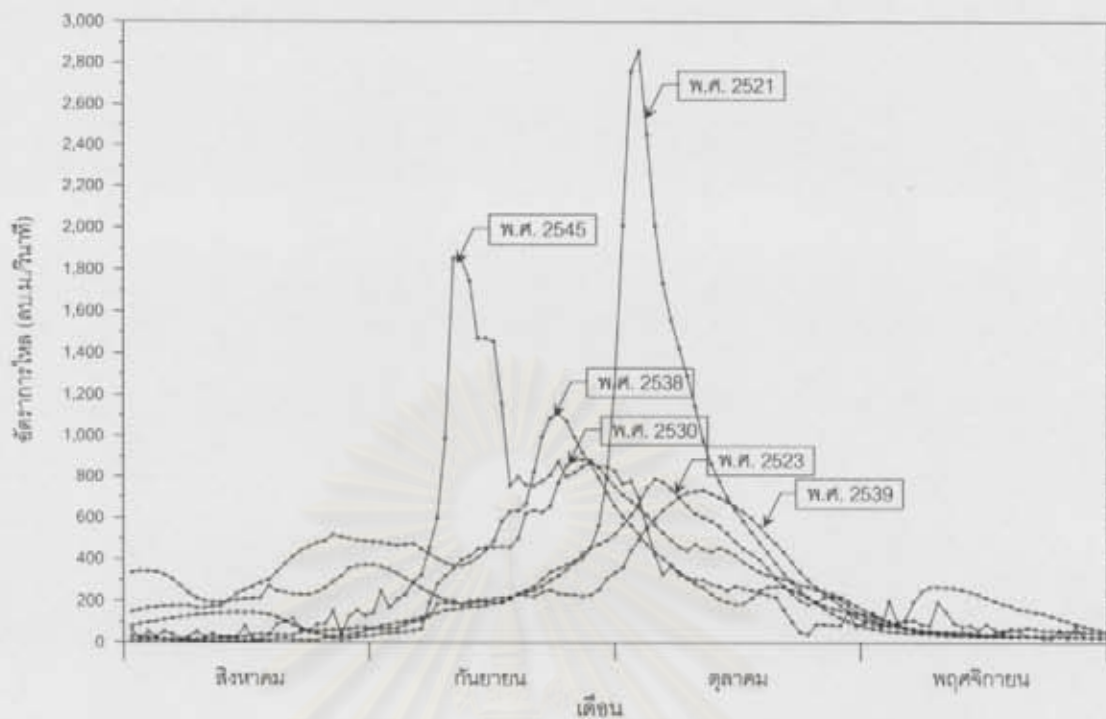
ปี พ.ศ.	อัตราไหลเข้า สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายออก สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เปอร์เซ็นต์ลดลง ของน้ำหลากสูงสุด (%)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก เท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก มากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ อัตราการระบายมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำในอ่างฯ ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)
2516	261.6	108.7	58.4	0	0	0.00	899.48
2517	333.1	106.8	67.9	0	0	0.00	960.00
2518	591.9	469.4	20.7	0	0	0.00	959.38
2519	480.4	341.6	28.9	0	0	0.00	960.00
2520	527.6	334.0	36.7	0	0	0.00	816.23
2521	2,857.7	2,600.0	9.0	5	14	944.35	956.41
2522	256.7	165.3	35.6	0	0	0.00	624.27
2523	789.3	569.0	27.9	0	0	0.00	956.58
2524	292.5	356.1	-21.8	0	0	0.00	960.00
2525	708.8	600.0	15.3	2	0	0.00	960.00
2526	756.9	581.0	23.4	0	0	0.00	960.00
2527	513.0	504.4	-1.7	0	0	0.00	960.00
2528	702.1	515.4	26.6	0	0	0.00	960.00
2529	155.5	242.8	-56.2	0	0	0.00	573.75
2530	887.5	600.0	32.4	9	0	0.00	960.00
2531	373.8	170.9	54.3	0	0	0.00	959.90
2532	148.7	160.3	-7.8	0	0	0.00	783.10
2533	651.1	350.6	46.2	0	0	0.00	958.79
2534	586.5	565.7	3.5	0	0	0.00	926.23
2535	262.2	228.4	12.9	0	0	0.00	777.74
2536	211.1	111.6	47.1	0	0	0.00	590.86
2537	521.0	413.0	20.7	0	0	0.00	892.96
2538	1,110.1	600.0	46.0	15	0	0.00	957.00
2539	736.7	559.2	24.1	0	0	0.00	960.00
2540	364.9	340.9	6.6	0	0	0.00	950.36
2541	228.3	140.6	38.4	0	0	0.00	851.85
2542	512.0	381.2	25.5	0	0	0.00	960.00
2543	1,116.2	600.0	46.2	33	0	0.00	958.79
2544	310.6	398.2	-28.2	0	0	0.00	951.54
2545	1,854.2	1,150.0	38.0	12	19	343.87	958.18
เฉลี่ย	636.8	475.5	22.7	-	-	-	898.2
รวม	-	-	-	76	33	1288.22	-

ตาราง ก-4 ผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2542

ปี พ.ศ.	อัตราไหลเข้า	อัตราปล่อยน้ำออก	เปอร์เซ็นต์ผลต่าง อัตราน้ำจากสูงสุด (%)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก		ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ อัตราปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำในอ่างฯ ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)
	สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)		เท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	มากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)		
2516	261.6	151.3	42.1	0	0	0.00	728.16
2517	333.1	183.4	44.9	0	0	0.00	785.00
2518	591.9	558.3	5.7	0	0	0.00	785.00
2519	480.4	366.0	23.8	0	0	0.00	785.00
2520	527.6	422.0	20.0	0	0	0.00	691.08
2521	2,857.7	2,810.0	1.7	13	13	910.66	783.20
2522	256.7	29.1	88.7	0	0	0.00	653.87
2523	789.3	600.0	24.0	6	0	0.00	782.60
2524	292.5	283.9	2.9	0	0	0.00	785.00
2525	708.8	600.0	15.3	9	0	0.00	785.00
2526	758.9	600.0	20.9	2	0	0.00	785.00
2527	513.0	485.6	5.3	0	0	0.00	785.00
2528	702.1	596.8	15.0	0	0	0.00	785.00
2529	155.5	139.1	10.5	0	0	0.00	600.45
2530	887.5	600.0	32.4	17	0	0.00	785.00
2531	373.8	366.5	2.0	0	0	0.00	785.00
2532	148.7	113.2	23.8	0	0	0.00	773.15
2533	651.1	532.4	18.2	0	0	0.00	784.24
2534	585.5	580.9	1.0	0	0	0.00	756.29
2535	262.2	158.3	39.6	0	0	0.00	760.89
2536	211.1	29.1	86.2	0	0	0.00	566.95
2537	521.0	495.3	4.9	0	0	0.00	739.38
2538	1,110.1	600.0	46.0	23	0	0.00	782.99
2539	736.7	600.0	18.6	5	0	0.00	785.00
2540	384.9	325.8	10.7	0	0	0.00	777.65
2541	228.3	213.7	6.4	0	0	0.00	747.93
2542	512.0	393.3	23.2	0	0	0.00	785.00
2543	1,116.2	600.0	46.2	39	0	0.00	784.74
2544	310.6	263.6	15.1	0	0	0.00	778.07
2545	1,854.2	1,450.0	21.6	15	20	460.51	783.66
เฉลี่ย	636.8	504.9	23.9	-	-	-	756.51
รวม	-	-	-	129	33	1371.17	-

ตาราง ก-5 ผลการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างปี พ.ศ. 2516 - 2545 โดยใช้เกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ RC2546

ปี พ.ศ.	อัตราไหลเข้า สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราปล่อยน้ำออก สูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	เปอร์เซ็นต์ลดค่า ขณะน้ำหลากสูงสุด (%)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก เท่ากับ 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	จำนวนวันปล่อยน้ำออก มากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (วัน)	ปริมาณน้ำปล่อยออกสะสมเมื่อ อัตราปล่อยน้ำมากกว่า 600 ลบ.ม./วินาที (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำใบ่างๆ ณ วันที่ 30 พ.ย. (ล้าน ลบ.ม.)
2516	261.6	173.4	33.7	0	0	0.00	584.17
2517	333.1	164.2	50.7	0	0	0.00	784.79
2518	591.9	500.9	15.4	0	0	0.00	745.62
2519	480.4	362.0	24.7	0	0	0.00	784.82
2520	527.6	464.2	12.0	0	0	0.00	501.64
2521	2,857.7	2,450.0	14.3	16	13	724.03	704.93
2522	256.7	29.1	88.7	0	0	0.00	470.97
2523	789.3	600.0	24.0	7	0	0.00	741.28
2524	292.5	271.1	7.3	0	0	0.00	714.30
2525	708.8	600.0	15.3	7	0	0.00	775.25
2526	758.9	600.0	20.9	2	0	0.00	785.00
2527	513.0	394.0	23.2	0	0	0.00	773.16
2528	702.1	600.0	14.5	4	0	0.00	785.00
2529	155.5	134.1	13.8	0	0	0.00	416.88
2530	887.5	600.0	32.4	17	0	0.00	767.29
2531	373.8	171.6	54.1	0	0	0.00	778.90
2532	148.7	59.2	60.2	0	0	0.00	675.94
2533	651.1	533.1	18.1	0	0	0.00	770.96
2534	586.5	542.1	7.6	0	0	0.00	629.96
2535	262.2	166.4	36.5	0	0	0.00	602.51
2536	211.1	29.1	86.2	0	0	0.00	384.95
2537	521.0	438.1	15.9	0	0	0.00	554.69
2538	1,110.1	600.0	46.0	21	0	0.00	739.30
2539	736.7	600.0	18.6	5	0	0.00	785.00
2540	364.9	246.0	32.6	0	0	0.00	721.02
2541	226.3	127.1	44.3	0	0	0.00	684.81
2542	512.0	394.1	23.0	0	0	0.00	785.00
2543	1,118.2	600.0	46.2	36	0	0.00	751.11
2544	310.6	289.2	6.9	0	0	0.00	664.73
2545	1,854.2	870.0	53.1	25	14	250.56	766.29
เฉลี่ย	636.8	453.6	31.3	-	-	-	687.68
รวม	-	-	-	140	27	974.59	-

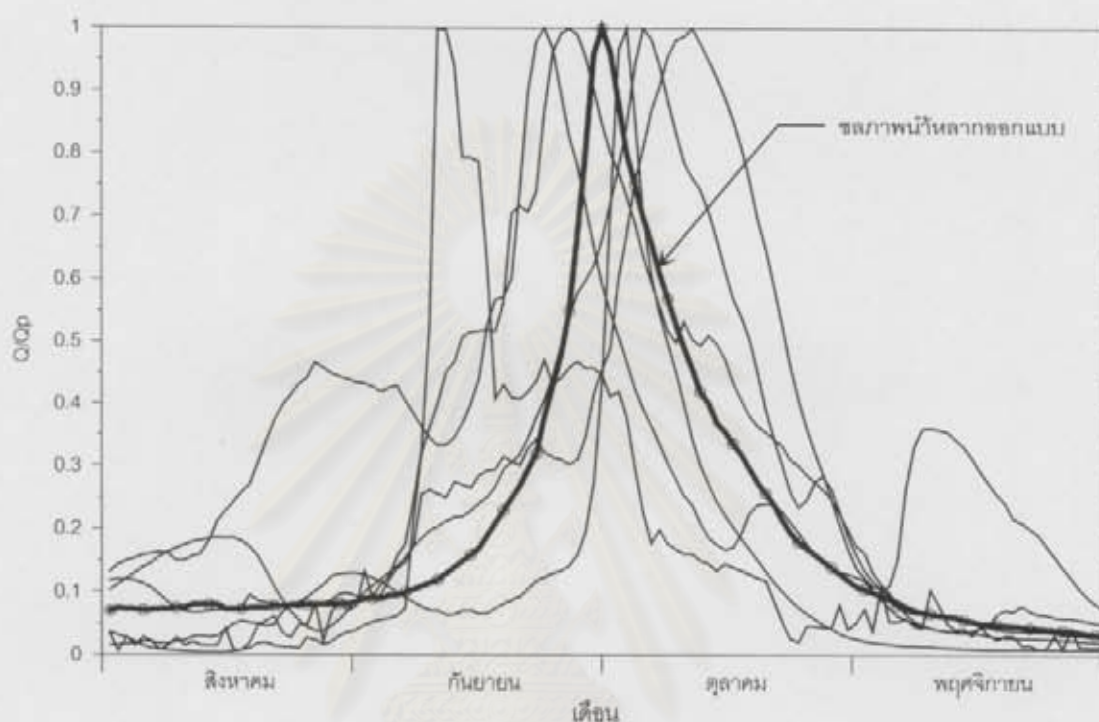


รูป ก-2 ชลภาพน้ำหลากของเหตุการณ์ต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลากที่ใช้สร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ

ตาราง ก-6 ข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ

เหตุการณ์ ปี พ.ศ.	วันที่เริ่มต้น เกิดน้ำหลาก	วันที่สิ้นสุด การเกิดน้ำหลาก	T_{base} (วัน)	วันที่เกิด T_p
2521	15-Sep	4-Nov	50	3-Oct
2523	27-Aug	4-Nov	69	5-Oct
2530	7-Sep	8-Nov	62	28-Sep
2538	10-Sep	16-Oct	36	4-Oct
2539	26-Sep	4-Nov	39	11-Oct
2545	2-Sep	24-Oct	52	10-Sep
เฉลี่ย	9-Sep	30-Oct	51	30-Sep

จากชลภาพน้ำหลากของเหตุการณ์ที่คัดเลือก นำมาปรับลักษณะชลน้ำหลากให้มีขนาดสูงสุดเท่ากับ 1 โดยการนำค่าอัตราการไหลสูงสุดของแต่ละเหตุการณ์หารด้วยค่าอัตราการไหลตามระยะเวลา (Q/Q_p) ดังแสดงในรูป ก-3 จากนั้นนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบโดยกำหนดจุดเริ่มต้นต่างๆ จากค่าเฉลี่ย ในตาราง ก-6



รูป ก-3 อัตราส่วนระหว่าง Q/Q_p ของเหตุการณ์ต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลากที่ใช้สร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ

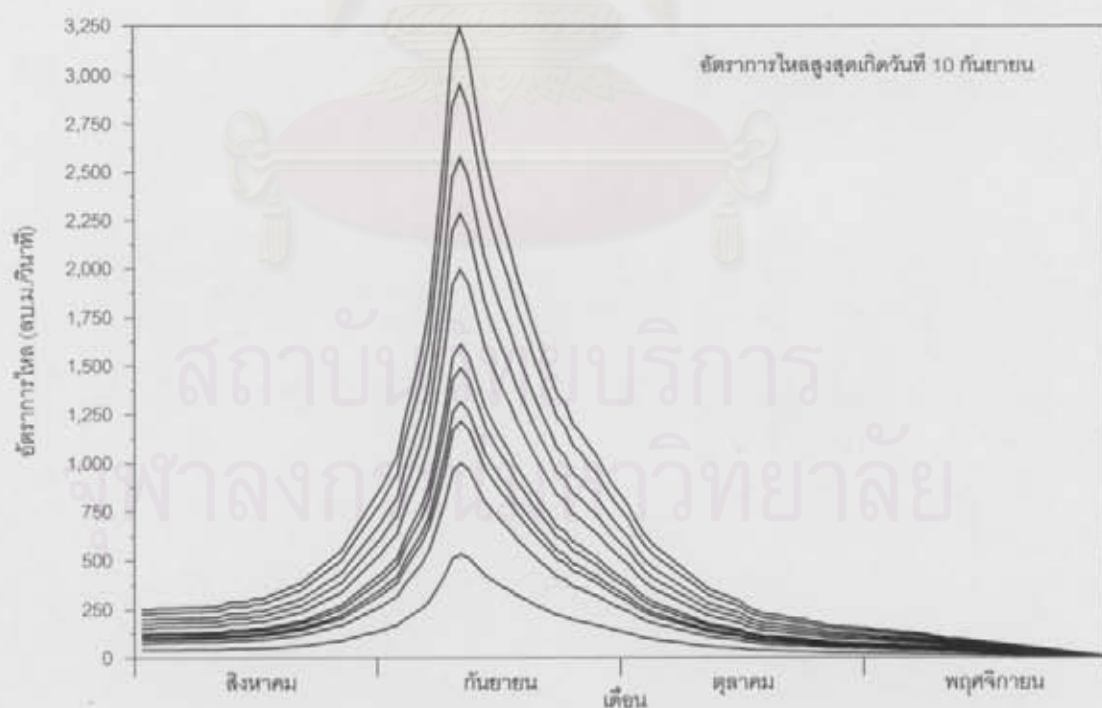
โดยการใช้ข้อมูลเฉลี่ยในเบื้องต้นของชลภาพน้ำหลากในอดีต ในขั้นตอนของการสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ ได้มีการปรับอัตราส่วนระหว่าง Q/Q_p เพื่อให้ได้ชลภาพน้ำหลากออกแบบที่มีอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับค่าที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ และมีปริมาณน้ำหลากสะสมใกล้เคียงกับปริมาณน้ำหลากสะสมที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ด้วย

จากการสังเคราะห์ข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดและปริมาณน้ำหลากสะสมไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลากของเหตุการณ์ระหว่าง ปี พ.ศ. 2516 -2545 มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและปริมาณน้ำหลากสะสมที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ โดยวิธี Gumbel ดังแสดงในตาราง ก-7

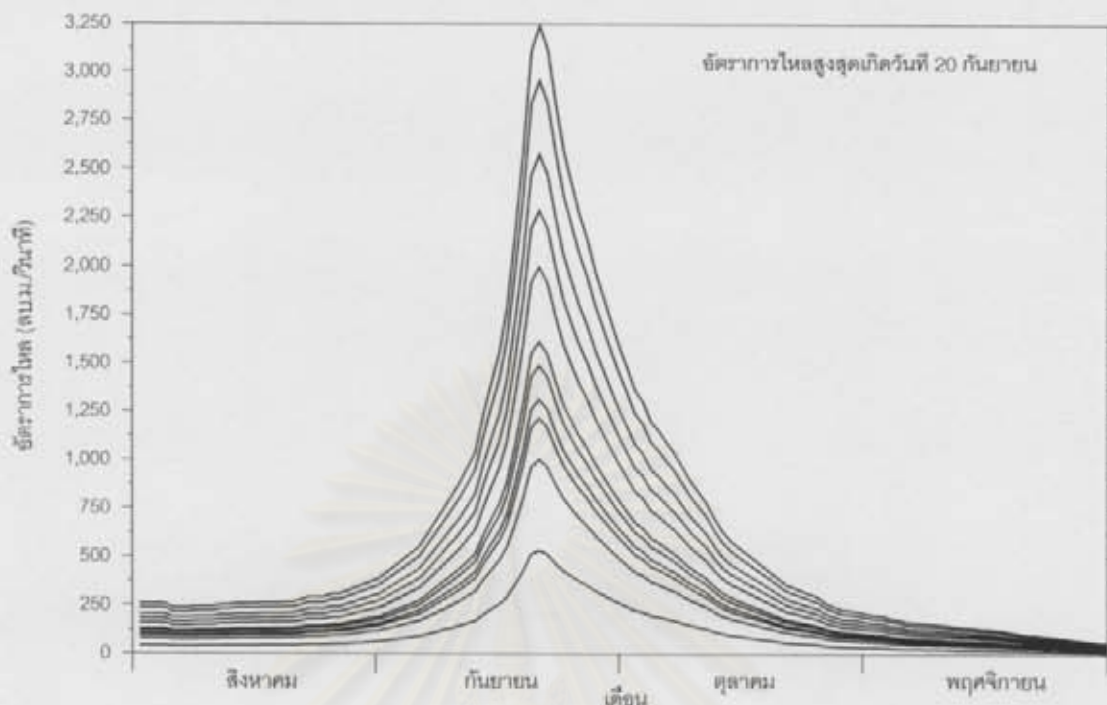
จากนั้นนำชลภาพน้ำหลากออกแบบที่ได้ มาสร้างเป็นชลภาพน้ำหลากออกแบบที่อัตราการไหลเข้าสูงสุดเกิดในช่วงเวลาที่แตกต่างกันทุกช่วง 10 วัน คือ เกิดวันที่ 10 ก.ย. 20 ก.ย. 30 ก.ย. 10 ต.ค. และ 20 ต.ค. ซึ่งผลการสร้างชลภาพน้ำหลากออกแบบ ดังแสดงในรูป ก-4 ถึงรูป ก-8

ตาราง ก-7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและปริมาณน้ำหลากสะสมไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ

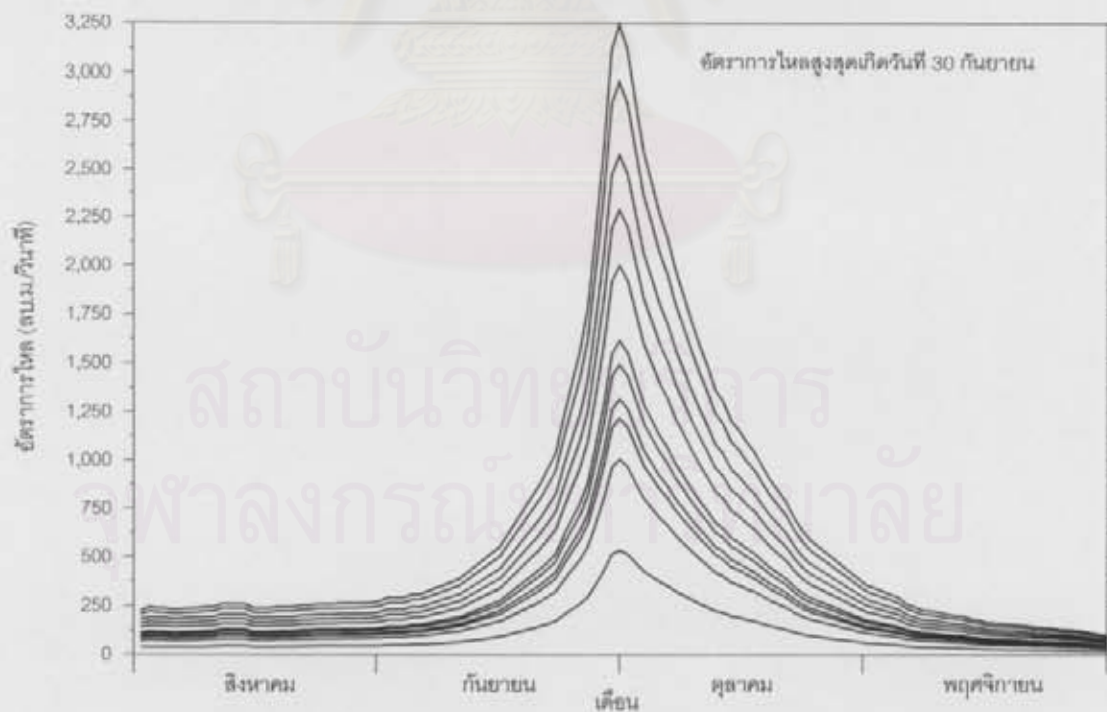
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำหลากสะสม (ล้าน ลบ.ม.)
2	534	1,646
5	1,003	2,458
8	1,216	2,825
10	1,314	2,995
15	1,489	3,298
20	1,612	3,510
50	1,997	4,177
100	2,286	4,677
200	2,574	5,175
500	2,954	5,833
1,000	3,241	6,329



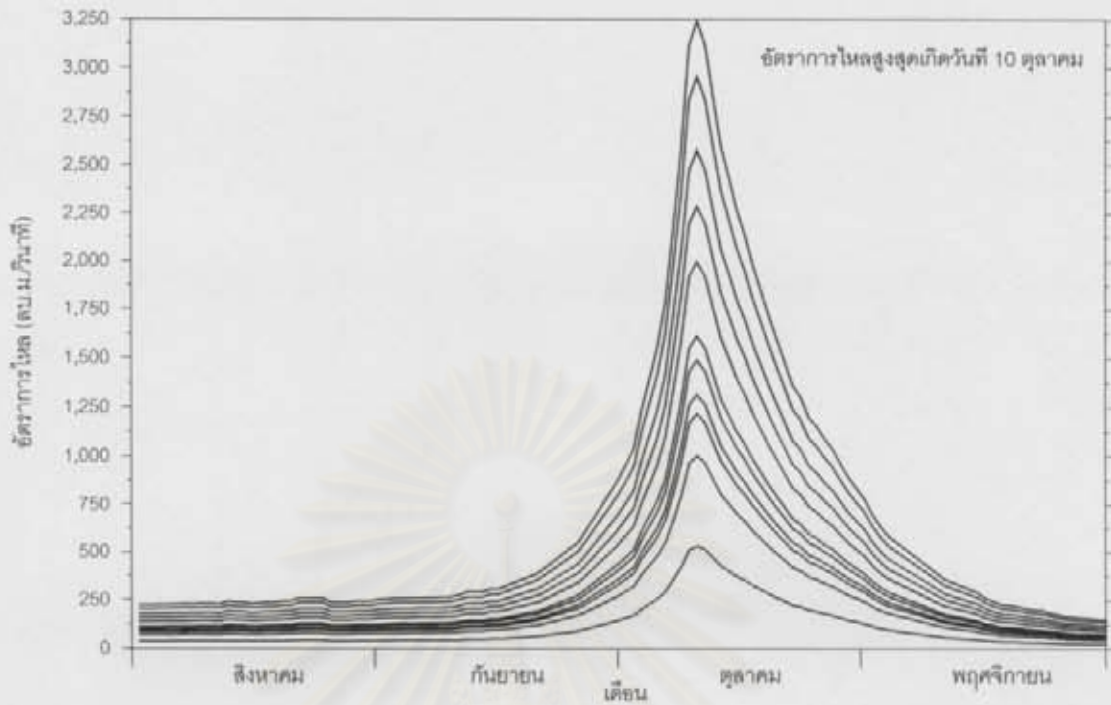
รูป ก-4 ซากภาพน้ำหลากออกแบบที่คาบการเกิดซ้ำ 2, 5, 8, 10, 15, 20, 50, 100, 200, 500 และ 1,000 ปี เมื่ออัตราการไหลสูงสุดเกิดวันที่ 10 กันยายน



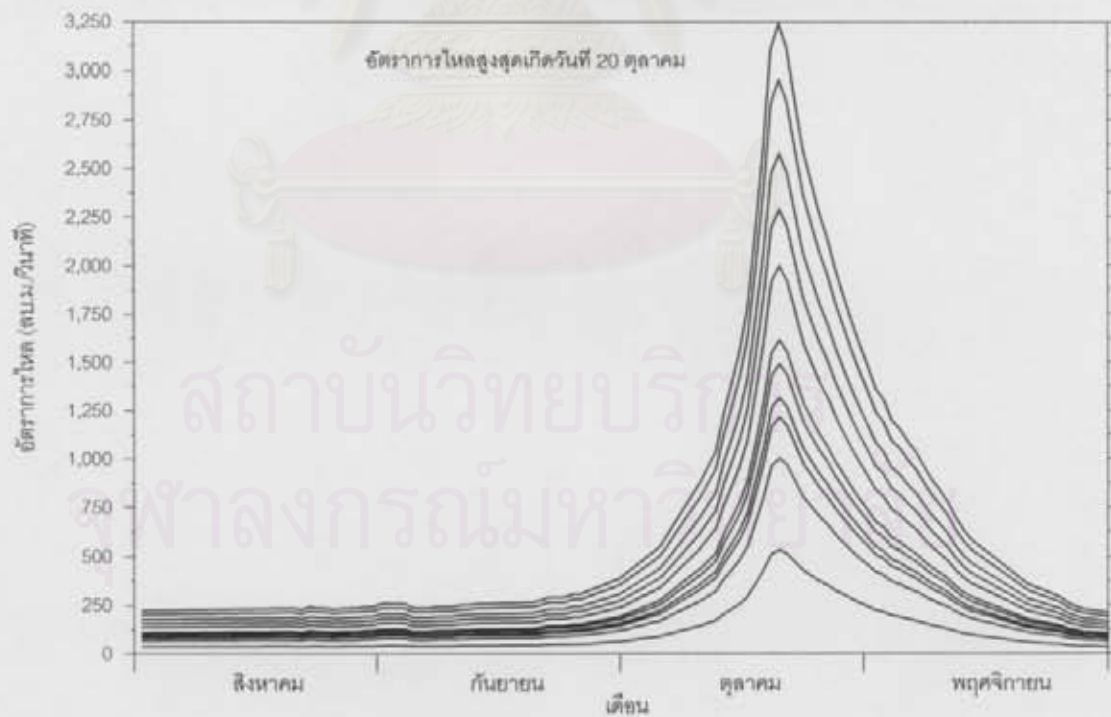
รูป ก-5 ผลภาพน้ำหลากออกแบบที่คาบการเกิดซ้ำ 2, 5, 8, 10, 15, 20, 50, 100, 200, 500 และ 1,000 ปี เมื่ออัตราการใช้สูงสุดเกิดวันที่ 20 กันยายน



รูป ก-6 ผลภาพน้ำหลากออกแบบที่คาบการเกิดซ้ำ 2, 5, 8, 10, 15, 20, 50, 100, 200, 500 และ 1,000 ปี เมื่ออัตราการใช้สูงสุดเกิดวันที่ 30 กันยายน



รูป ก-7 ผลภาพน้ำหลากออกแบบที่คาบการเกิดซ้ำ 2, 5, 8, 10, 15, 20, 50, 100, 200, 500 และ 1,000 ปี เมื่ออัตราการใช้สูงสุดเกิดวันที่ 10 ตุลาคม



รูป ก-8 ผลภาพน้ำหลากออกแบบที่คาบการเกิดซ้ำ 2, 5, 8, 10, 15, 20, 50, 100, 200, 500 และ 1,000 ปี เมื่ออัตราการใช้สูงสุดเกิดวันที่ 20 ตุลาคม

ภาคผนวก ข

การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

การบริหารอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ตั้งแต่เปิดดำเนินการในปี พ.ศ. 2542 ถึงปัจจุบัน พบว่าไม่ค่อยเป็นไปตามเกณฑ์ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ ดังแสดงในรูป ข-1 ดังนั้นในการศึกษาครั้งจึงได้พัฒนาวิธีการปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับน้ำหลากขนาดต่างๆ ขึ้นมา

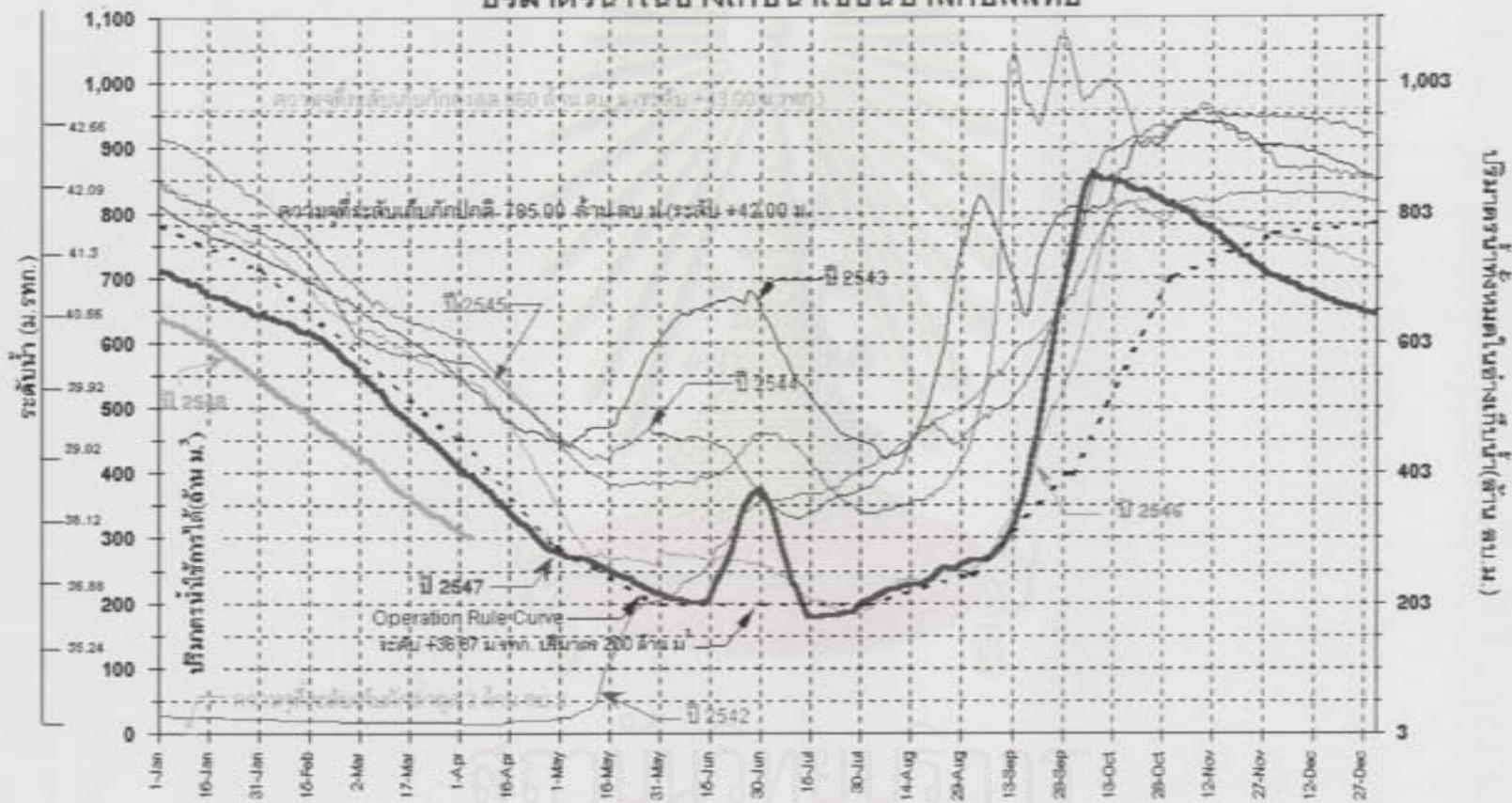
การพัฒนาวิธีการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับการปล่อยน้ำให้สอดคล้องกับสภาพน้ำหลากที่เกิดขึ้น โดยในการศึกษาได้ทดสอบวิธีการปล่อยน้ำที่พัฒนาขึ้นกับเหตุการณ์น้ำหลากขนาดต่างๆ ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้จัดแบ่งเหตุการณ์ออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ปีนํ้ามาก ปีนํ้าปกติ และป็นํ้าน้อย โดยพิจารณาจากอัตราการไหลสูงสุดที่เกิดขึ้น และปริมาณน้ำหลากสะสมในช่วงฤดูน้ำหลาก

ในเบื้องต้นได้แบ่งกลุ่มเหตุการณ์ออกเป็น 5 กลุ่ม ตามสภาพน้ำหลากที่เกิดขึ้น คือสูงมาก สูง ปกติ ต่ำ และต่ำมาก โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของเหตุการณ์ในระหว่าง ปี พ.ศ. 2516 – 2545 เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาการแบ่งเหตุการณ์ต่อไป ซึ่งผลการแบ่งกลุ่ม ดังแสดงในตาราง ข-1 และตาราง ข-2

ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำในช่วงเวลาที่เหลือที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากค่าสถิติน้ำหลากในอดีต ของเหตุการณ์ปีน้ำมาก (พ.ศ. 2538) ปีนํ้าปกติ (พ.ศ. 2523) และป็นํ้าน้อย (พ.ศ. 2516) ดังแสดงในรูป ข-2 จะเห็นว่าค่าจากการประเมินในช่วงแรกนั้นมีค่าแตกต่างจากสภาพจริงบ้าง แต่หลังจากนั้นค่าได้ปรับเข้าหาค่าจริงหรือมีการเลียนแบบรูปแบบมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์



มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
--------	------------	--------	--------	---------	----------	---------	---------	---------	--------	-----------	---------

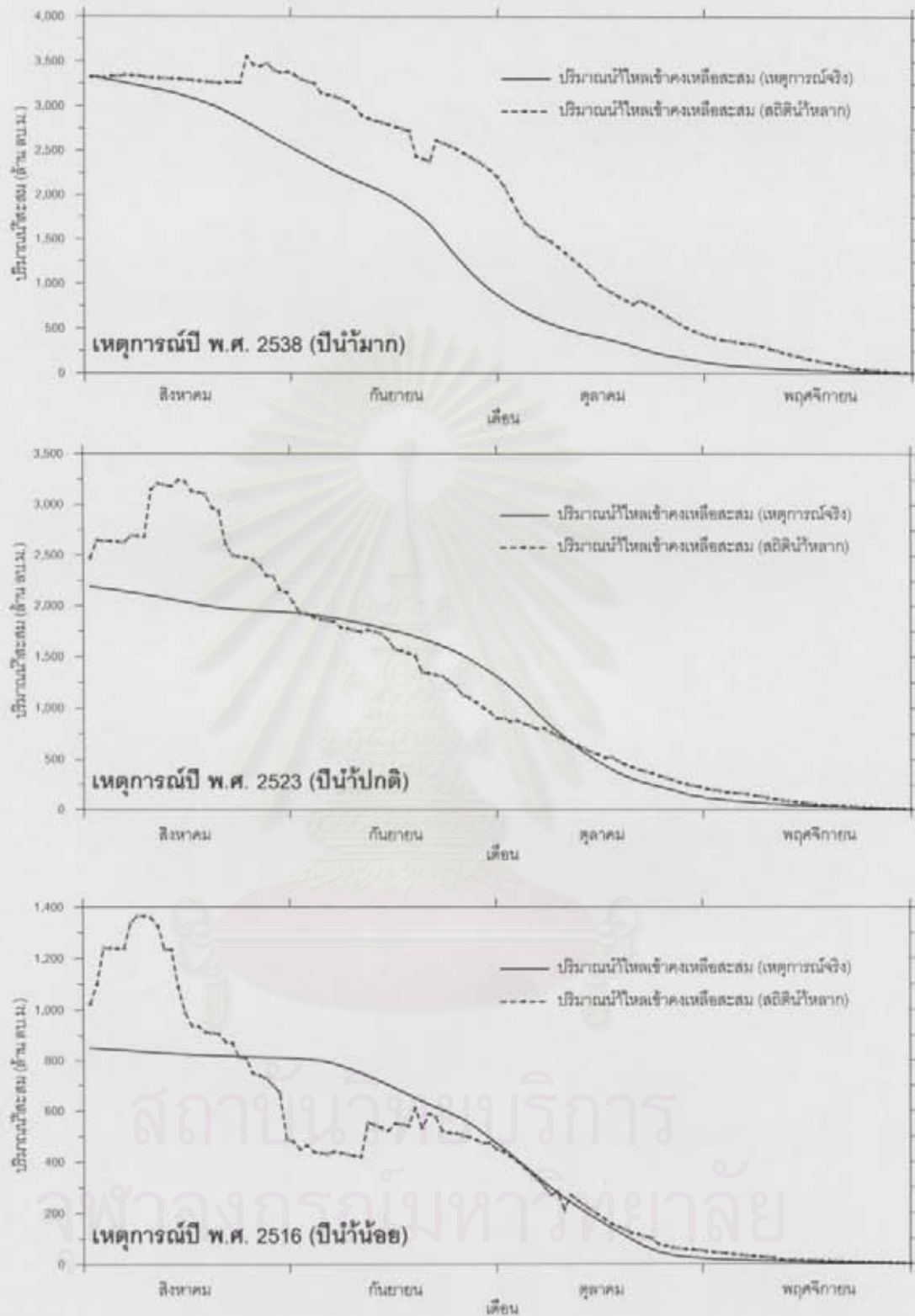
รูป ข-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำและระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ ของการบริหารระหว่างปี พ.ศ. 2542 - 2548

ตาราง ข-1 การแบ่งเกณฑ์เหตุการณ์น้ำหลากตามขนาดการเกิดอัตราการไหลสูงสุด ณ ที่ตั้งเขื่อนป่าสัก
โดยใช้วิธีแจกแจงความถี่แบบ Weibull

ปี พ.ศ.	อัตราการไหลสูงสุด ณ ที่ตั้งเขื่อนป่าสัก (ลบ.ม./วินาที)	จัดเรียงข้อมูลตามขนาด (ลบ.ม./วินาที)	ปีที่จัดเรียงใหม่	ลำดับ m (เมื่อ N = 30)	ความถี่การเกิดซ้ำ Prob = $m \cdot 100 / (N+1)$ (%)	หมายเหตุ
2516	261.6	2,857.7	2521	1	3.2	สูงมาก
2517	333.1	1,854.2	2545	2	6.5	"..."
2518	591.9	1,116.2	2543	3	9.7	สูง
2519	480.4	1,110.1	2538	4	12.9	"..."
2520	527.6	887.5	2530	5	16.1	ปกติ
2521	2,857.7	789.3	2523	6	19.4	"..."
2522	256.7	758.9	2526	7	22.6	"..."
2523	789.3	736.7	2539	8	25.8	"..."
2524	292.5	708.8	2525	9	29.0	"..."
2525	708.8	702.1	2528	10	32.3	"..."
2526	758.9	651.1	2533	11	35.5	"..."
2527	513.0	591.9	2518	12	38.7	"..."
2528	702.1	586.5	2534	13	41.9	"..."
2529	155.5	527.6	2520	14	45.2	"..."
2530	887.5	521.0	2537	15	48.4	"..."
2531	373.8	513.0	2527	16	51.6	"..."
2532	148.7	512.0	2542	17	54.8	"..."
2533	651.1	480.4	2519	18	58.1	"..."
2534	586.5	373.8	2531	19	61.3	"..."
2535	262.2	364.9	2540	20	64.5	"..."
2536	211.1	333.1	2517	21	67.7	ต่ำ
2537	521.0	310.6	2544	22	71.0	"..."
2538	1,110.1	292.5	2524	23	74.2	"..."
2539	736.7	262.2	2535	24	77.4	"..."
2540	364.9	261.6	2516	25	80.6	"..."
2541	228.3	256.7	2522	26	83.9	"..."
2542	512.0	228.3	2541	27	87.1	"..."
2543	1,116.2	211.1	2536	28	90.3	"..."
2544	310.6	155.5	2529	29	93.5	"..."
2545	1,854.2	148.7	2532	30	96.8	"..."
Avg.	636.8					
Std. Dev.	550.2					
Max.	2,857.7					
Min.	148.7					
Upper Mean	1,187.0		\Leftarrow Average + Std. Dev.		991.9	\Leftarrow Average + (Std. Dev.)/2
Lower Mean	86.6		\Leftarrow Average - Std. Dev.		361.7	\Leftarrow Average + (Std. Dev.)/2

ตาราง ข-2 การแบ่งเกณฑ์เหตุการณ์น้ำหลากตามปริมาณน้ำท่าสะสมในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ ที่ตั้งเขื่อน
ป่าสักฯ โดยใช้วิธีแจกแจงความถี่แบบ Weibull

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำท่า ณ ที่ตั้งเขื่อนป่าสักฯ (ล้าน ลบ.ม.)	จัดเรียงข้อมูลตามขนาด (ล้าน ลบ.ม.)	ปีที่จัดเรียงใหม่	ลำดับ m (เมื่อ N = 30)	ความถี่การเกิดซ้ำ Prob = $m \cdot 100 / (N+1)$ (%)	หมายเหตุ
2516	852.7	4,078.7	2521	1	3.2	สูงมาก
2517	966.9	3,449.4	2543	2	6.5	".."
2518	2,467.2	3,348.0	2538	3	9.7	".."
2519	2,274.9	3,332.3	2545	4	12.9	".."
2520	1,075.8	2,672.8	2528	5	16.1	สูง
2521	4,078.7	2,478.2	2530	6	19.4	".."
2522	574.0	2,467.2	2518	7	22.6	".."
2523	2,197.1	2,339.3	2525	8	25.8	".."
2524	1,681.3	2,312.7	2534	9	29.0	ปกติ
2525	2,339.3	2,300.7	2539	10	32.3	".."
2526	2,105.4	2,274.9	2519	11	35.5	".."
2527	1,990.0	2,197.1	2523	12	38.7	".."
2528	2,672.8	2,105.4	2526	13	41.9	".."
2529	699.5	2,074.6	2542	14	45.2	".."
2530	2,478.2	1,990.0	2527	15	48.4	".."
2531	1,042.3	1,920.3	2537	16	51.6	".."
2532	788.1	1,681.3	2524	17	54.8	".."
2533	1,481.2	1,481.2	2533	18	58.1	".."
2534	2,312.7	1,413.9	2544	19	61.3	".."
2535	952.6	1,409.1	2540	20	64.5	".."
2536	484.5	1,075.8	2520	21	67.7	ต่ำ
2537	1,920.3	1,042.3	2531	22	71.0	".."
2538	3,348.0	973.8	2541	23	74.2	".."
2539	2,300.7	966.9	2517	24	77.4	".."
2540	1,409.1	952.6	2535	25	80.6	".."
2541	973.8	852.7	2516	26	83.9	ต่ำมาก
2542	2,074.6	788.1	2532	27	87.1	".."
2543	3,449.4	699.5	2529	28	90.3	".."
2544	1,413.9	574.0	2522	29	93.5	".."
2545	3,332.3	484.5	2536	30	96.8	".."
Avg.		1,857.9				
Std. Dev.		939.7				
Max.		4,078.7				
Min.		484.5				
Upper Mean		2,797.6	<= Average + Std. Dev.		2,327.7	<= Average+(Std. Dev.)/2
Lower Mean		918.2	<= Average - Std. Dev.		1,388.1	<= Average+(Std. Dev.)/2



รูป ข-2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ คงเหลือสะสมในช่วงฤดูน้ำหลากระหว่างเหตุการณ์จริงกับค่าสถิติน้ำหลากในอดีต ของเหตุการณ์ปีน้ำมาก ปีน้ำปกติ และปีน้ำน้อย

ภาคผนวก ค

การเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง ANN

ค-1 การเตรียมข้อมูลอุตุ - อุทกวิทยา

การเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง ซึ่งการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลอุตุ - อุทกวิทยา คือ อัตราการไหลน้ำท่ารายวันและปริมาณน้ำฝนรายวัน แต่เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ไม่มีการจัดบันทึกในบางช่วงเวลา ดังนั้นต้องเติมข้อมูลปริมาณน้ำฝนในวันที่ขาดหายไป โดยใช้วิธี Inverse Distance Method ซึ่งวิธีการนี้ต้องหาความสัมพันธ์ของสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีที่ต้องการเติมข้อมูลที่ขาดหายไป และได้แยกกลุ่มของสถานีวัดน้ำฝนที่มีความสัมพันธ์กัน ออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในตาราง ค-1

จากการตรวจสอบข้อมูลในเบื้องต้นของสถานีที่ได้คัดเลือก พิจารณาเหตุการณ์ในช่วงฤดูน้ำหลาก จำนวน 19 ปี พบว่ามีสถานีวัดน้ำฝนที่มีข้อมูลขาดหายไปบางช่วงเวลา คือสถานี 18032 18042 19052 19092 25541 36023 36043 36052 36082 36092 36104 และ 36122 จากนั้นใช้วิธี Inverse Distance Method ในการเติมข้อมูลที่ขาดหาย ซึ่งผลการเติมข้อมูล ดังแสดงในตาราง ค-2

ค-2 การแบ่งช่วงข้อมูลสำหรับปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล

จากการคัดเลือกข้อมูล สำหรับใช้ในการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้าเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ จำนวน 19 ปี และเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความเหมาะสม และสามารถใช้ได้กับเหตุการณ์ที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลอง (ปรับเทียบ) ที่ดี ต้องมีการตรวจสอบ (สอบทาน) หรือพิจารณาถึงประสิทธิภาพของแบบจำลอง ว่ามีความเหมาะสมในการใช้งานได้กับเหตุการณ์ที่มีค่าอัตราการไหลสูงสุดแตกต่างกัน และสามารถประยุกต์ใช้งานได้กับเหตุการณ์ในปัจจุบัน (รับรองผล) ซึ่งผลจากการแบ่งช่วงข้อมูล โดยใช้วิธีการแจกแจงความถี่ของ Weibull การแบ่งข้อมูลสำหรับสอบทาน พิจารณาที่ค่าความถี่ 10 50 และ 80% และข้อมูลที่ใช้รับรองผล เป็นข้อมูลของปีเหตุการณ์ปัจจุบัน คือ ปี พ.ศ. 2543 ส่วนข้อมูลที่เหลือใช้สำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง ซึ่งผลการแบ่งชุดข้อมูล ดังแสดงในตาราง ค-3

ตาราง ค-1 ความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันระหว่างสถานีต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง

สถานี	379401	36023	36104	18042	18032	36013	379201	36052	379001	36092	36043	36122	379402	36082	426401	426006	19052	19092	25541	
379401	1																			
36023	0.917	1																		
36104	0.318	0.285	1																	
18042	0.315	0.413	0.315	1																
18032	0.176	0.169	0.177	0.202	1															
36013	0.259	0.307	0.363	0.327	0.119	1														
379201	0.292	0.264	0.404	0.280	0.124	0.920	1													
36052	0.478	0.450	0.356	0.345	0.143	0.333	0.368	1												
379001	0.488	0.449	0.363	0.268	0.193	0.296	0.330	0.427	1											
36092	0.486	0.466	0.355	0.304	0.192	0.303	0.327	0.429	0.996	1										
36043	0.266	0.242	0.177	0.201	0.277	0.185	0.212	0.308	0.258	0.257	1									
36122	0.249	0.221	0.188	0.266	0.193	0.274	0.311	0.448	0.281	0.280	0.504	1								
379402	0.262	0.233	0.191	0.193	0.258	0.184	0.210	0.305	0.268	0.253	0.966	0.488	1							
36082	0.214	0.197	0.125	0.239	0.166	0.108	0.132	0.315	0.259	0.260	0.434	0.314	0.420	1						
426401	0.158	0.139	0.255	0.240	0.102	0.084	0.100	0.228	0.305	0.295	0.408	0.206	0.437	0.565	1					
426006	0.125	0.110	0.114	0.194	0.136	0.053	0.067	0.126	0.220	0.219	0.416	0.168	0.411	0.538	0.656	1				
19052	0.114	0.140	0.105	0.199	0.126	0.046	0.059	0.137	0.213	0.219	0.399	0.155	0.393	0.516	0.630	0.966	1			
19092	0.298	0.319	0.159	0.136	0.210	0.062	0.075	0.240	0.229	0.236	0.310	0.219	0.306	0.272	0.276	0.305	0.349	1		
25541	0.248	0.232	0.250	0.368	0.044	0.072	0.061	0.339	0.201	0.203	0.260	0.271	0.257	0.341	0.333	0.295	0.284	0.173	1	

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ

สถานี : 18042

สถานี : 36104

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 18042	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36104	สถานีใกล้เคียง		
		379401 w=0.420	36023 w=0.370	36104 w=0.210			379401 w=0.496	36023 w=0.464	18042 w=0.040
1-Oct-16	2.06	2.60	2.60	0.00	1-Aug-23	2.88	3.00	3.00	0.00
2-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	2-Aug-23	24.10	25.10	25.10	0.00
3-Oct-16	4.74	6.00	6.00	0.00	3-Aug-23	3.36	3.50	3.50	0.00
4-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	4-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
5-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	5-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
6-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	7-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Oct-16	9.91	0.00	0.00	47.20	8-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Oct-16	0.42	0.00	0.00	2.00	9-Aug-23	5.38	5.60	5.60	0.00
10-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	10-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Oct-16	0.50	0.00	0.00	2.40	11-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
12-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	12-Aug-23	0.54	0.00	0.00	13.50
13-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	13-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	14-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Oct-16	1.65	1.50	1.50	2.20	15-Aug-23	7.58	7.90	7.90	0.00
16-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	16-Aug-23	0.10	0.10	0.10	0.00
17-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	17-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	18-Aug-23	5.28	5.50	5.50	0.00
19-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	19-Aug-23	44.66	46.00	46.00	12.40
20-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	20-Aug-23	0.10	0.10	0.10	0.00
21-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	21-Aug-23	2.74	2.90	2.80	0.00
22-Oct-16	1.72	0.00	0.00	8.20	22-Aug-23	7.39	7.00	7.00	16.70
23-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	23-Aug-23	17.09	17.80	17.80	0.00
24-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	24-Aug-23	6.92	6.50	6.50	17.00
25-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	25-Aug-23	3.17	3.30	3.30	0.00
26-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	26-Aug-23	2.30	2.40	2.40	0.00
27-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	27-Aug-23	0.32	0.00	0.00	8.10
28-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	28-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	29-Aug-23	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	30-Aug-23	2.02	2.10	2.10	0.00
31-Oct-16	0.00	0.00	0.00	0.00	31-Aug-23	9.12	8.30	8.30	28.80

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 36104

สถานี : 36122

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36104	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36122	สถานีใกล้เคียง		
		379401 w=0.496	36023 w=0.464	18042 w=0.040			36043 w=0.478	379402 w=0.390	36082 w=0.132
1-Aug-24	0.58	0.60	0.60	0.00	1-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
2-Aug-24	43.97	45.80	45.80	0.00	2-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
3-Aug-24	0.10	0.10	0.10	0.00	3-Aug-25	5.03	0.00	0.00	38.10
4-Aug-24	18.49	17.60	17.60	39.80	4-Aug-25	0.64	0.60	0.60	0.90
5-Aug-24	1.25	1.30	1.30	0.00	5-Aug-25	0.11	0.00	0.00	0.80
6-Aug-24	3.90	3.90	3.90	3.80	6-Aug-25	7.11	7.00	7.00	7.80
7-Aug-24	8.45	8.80	8.80	0.00	7-Aug-25	4.00	4.20	4.20	2.70
8-Aug-24	2.11	2.20	2.20	0.00	8-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Aug-24	5.28	5.50	5.50	0.00	9-Aug-25	1.95	2.20	2.20	0.30
10-Aug-24	50.19	50.40	50.40	45.20	10-Aug-25	23.72	27.30	27.30	0.20
11-Aug-24	0.34	0.20	0.20	3.80	11-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
12-Aug-24	0.38	0.40	0.40	0.00	12-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Aug-24	7.30	7.60	7.60	0.00	13-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Aug-24	0.19	0.20	0.20	0.00	14-Aug-25	2.52	2.90	2.90	0.00
15-Aug-24	0.00	0.00	0.00	0.00	15-Aug-25	4.37	4.90	4.90	0.90
16-Aug-24	0.16	0.00	0.00	4.00	16-Aug-25	1.48	1.70	1.70	0.00
17-Aug-24	0.00	0.00	0.00	0.00	17-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Aug-24	0.25	0.00	0.00	6.30	18-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Aug-24	0.96	1.00	1.00	0.00	19-Aug-25	5.15	4.50	4.50	9.40
20-Aug-24	0.86	0.90	0.90	0.00	20-Aug-25	23.10	22.60	22.60	26.40
21-Aug-24	0.00	0.00	0.00	0.00	21-Aug-25	0.15	0.00	0.00	1.10
22-Aug-24	0.00	0.00	0.00	0.00	22-Aug-25	0.05	0.00	0.00	0.40
23-Aug-24	1.49	1.30	1.30	6.10	23-Aug-25	39.54	43.10	43.10	16.10
24-Aug-24	0.00	0.00	0.00	0.00	24-Aug-25	6.38	6.70	6.70	4.30
25-Aug-24	0.00	0.00	0.00	0.00	25-Aug-25	11.54	8.40	8.40	32.20
26-Aug-24	0.00	0.00	0.00	0.00	26-Aug-25	7.20	8.30	8.30	0.00
27-Aug-24	0.05	0.00	0.00	1.20	27-Aug-25	5.53	6.10	6.10	1.80
28-Aug-24	2.50	2.60	2.60	0.00	28-Aug-25	8.47	6.70	6.70	20.10
29-Aug-24	2.98	3.10	3.10	0.00	29-Aug-25	3.53	3.60	3.60	3.10
30-Aug-24	8.93	9.30	9.30	0.00	30-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Aug-24	25.44	26.50	26.50	0.00	31-Aug-25	0.00	0.00	0.00	0.00

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 36122

สถานี : 36082

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36122	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36082	สถานีใกล้เคียง		
		36043	379402	36082			36043	379402	36122
		w=0.478	w=0.390	w=0.132			w=0.194	w=0.684	w=0.122
1-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	1-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
2-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	2-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
3-Nov-40	0.08	0.00	0.00	0.58	3-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Nov-40	0.78	0.90	0.90	0.02	4-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
5-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	5-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
6-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	7-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	8-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	9-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	10-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	11-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
12-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	12-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	13-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	14-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Nov-40	0.01	0.00	0.00	0.08	15-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Nov-40	0.12	0.00	0.00	0.90	16-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Nov-40	8.33	9.60	9.60	0.00	17-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	18-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	19-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
20-Nov-40	0.24	0.00	0.00	1.78	20-Nov-41	6.65	3.40	3.40	30.00
21-Nov-40	0.62	0.00	0.00	4.67	21-Nov-41	22.56	25.70	25.70	0.00
22-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	22-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	23-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	24-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	25-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00
26-Nov-40	0.05	0.00	0.00	0.36	26-Nov-41	1.22	0.00	0.00	10.00
27-Nov-40	0.22	0.00	0.00	1.70	27-Nov-41	5.18	5.90	5.90	0.00
28-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	28-Nov-41	1.76	2.00	2.00	0.00
29-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	29-Nov-41	0.88	1.00	1.00	0.00
30-Nov-40	0.65	0.00	0.00	4.91	30-Nov-41	0.00	0.00	0.00	0.00

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 36082

สถานี : 36082

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36082	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36082	สถานีใกล้เคียง		
		36043	379402	36122			36043	379402	36122
		w=0.194	w=0.684	w=0.122			w=0.194	w=0.684	w=0.122
1-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	1-Aug-42	1.22	0.00	0.00	10.00
2-Jul-42	9.48	10.80	10.80	0.00	2-Aug-42	0.88	1.00	1.00	0.00
3-Jul-42	7.02	8.00	8.00	0.00	3-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Jul-42	37.90	39.00	39.00	30.00	4-Aug-42	2.44	0.00	0.00	20.00
5-Jul-42	17.81	17.50	17.50	20.00	5-Aug-42	6.59	7.50	7.50	0.00
6-Jul-42	9.12	9.00	9.00	10.00	6-Aug-42	0.09	0.10	0.10	0.00
7-Jul-42	4.13	4.70	4.70	0.00	7-Aug-42	4.48	5.10	5.10	0.00
8-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	8-Aug-42	2.18	0.40	0.40	15.00
9-Jul-42	1.83	0.00	0.00	15.00	9-Aug-42	5.71	6.50	6.50	0.00
10-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	10-Aug-42	27.39	31.20	31.20	0.00
11-Jul-42	9.31	10.60	10.60	0.00	11-Aug-42	8.60	8.40	8.40	10.00
12-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	12-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Jul-42	2.44	0.00	0.00	20.00	13-Aug-42	3.07	3.50	3.50	0.00
14-Jul-42	0.18	0.20	0.20	0.00	14-Aug-42	18.44	21.00	21.00	0.00
15-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	15-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	16-Aug-42	1.83	0.00	0.00	15.00
17-Jul-42	3.42	2.50	2.50	10.00	17-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Jul-42	3.88	4.40	4.40	0.00	18-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Jul-42	19.14	21.80	21.80	0.00	19-Aug-42	8.78	10.00	10.00	0.00
20-Jul-42	1.83	0.00	0.00	15.00	20-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	21-Aug-42	2.44	0.00	0.00	20.00
22-Jul-42	1.05	1.20	1.20	0.00	22-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	23-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Jul-42	16.58	16.10	16.10	20.00	24-Aug-42	10.62	12.10	12.10	0.00
25-Jul-42	6.06	6.90	6.90	0.00	25-Aug-42	1.22	0.00	0.00	10.00
26-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	26-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
27-Jul-42	6.03	2.00	2.00	35.00	27-Aug-42	2.81	0.40	4.00	0.00
28-Jul-42	42.32	48.20	48.20	0.00	28-Aug-42	8.42	7.50	7.50	15.00
29-Jul-42	2.44	0.00	0.00	20.00	29-Aug-42	77.44	88.20	88.20	0.00
30-Jul-42	37.40	42.60	42.60	0.00	30-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Jul-42	26.95	29.30	29.30	10.00	31-Aug-42	3.65	0.00	0.00	30.00

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 19052

สถานี : 19092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เดิม 19052	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เดิม 19092	สถานีใกล้เคียง		
		426401 w=0.722	426006 w=0.252	19092 w=0.026			426401 w=0.211	426006 w=0.535	19052 w=0.254
1-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	1-Jul-19	8.70	7.60	9.90	7.10
2-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	2-Jul-19	0.51	0.00	0.00	2.00
3-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	3-Jul-19	1.09	2.00	1.10	0.30
4-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	4-Jul-19	0.69	1.70	0.00	1.30
5-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	5-Jul-19	1.13	2.00	0.00	2.80
6-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	7-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	8-Jul-19	1.20	5.70	0.00	0.00
9-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	9-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	10-Jul-19	5.11	24.20	0.00	0.00
11-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	11-Jul-19	11.33	24.10	0.00	24.60
12-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	12-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	13-Jul-19	7.79	24.40	0.00	10.40
14-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	14-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	15-Jul-19	10.49	0.00	19.60	0.00
16-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	16-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	17-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	18-Jul-19	0.23	0.60	0.00	0.40
19-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	19-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
20-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	20-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	21-Jul-19	14.86	23.30	9.80	18.50
22-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	22-Jul-19	21.27	47.50	0.00	44.30
23-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	23-Jul-19	4.62	9.60	3.80	2.20
24-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	24-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	25-Jul-19	10.50	3.30	13.10	11.00
26-Oct-22	1.85	0.00	5.10	21.90	26-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
27-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	27-Jul-19	1.39	0.00	2.60	0.00
28-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	28-Jul-19	15.97	25.80	6.90	26.90
29-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	29-Jul-19	0.13	0.00	0.00	0.50
30-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	30-Jul-19	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Oct-22	0.00	0.00	0.00	0.00	31-Jul-19	0.12	0.10	0.00	0.40

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 19092

สถานี : 19092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 19092	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 19092	สถานีใกล้เคียง		
		426401	426006	19052			426401	426006	19052
		w=0.211	w=0.535	w=0.254			w=0.211	w=0.535	w=0.254
1-Aug-19	0.59	2.80	0.00	0.00	1-Sep-19	1.81	1.60	1.80	2.00
2-Aug-19	6.19	3.40	9.80	0.90	2-Sep-19	16.97	34.20	0.00	38.40
3-Aug-19	18.97	24.20	10.00	33.50	3-Sep-19	13.80	0.00	25.80	0.00
4-Aug-19	8.44	6.30	0.00	28.00	4-Sep-19	9.06	10.70	7.50	11.00
5-Aug-19	4.09	8.30	0.00	9.20	5-Sep-19	7.88	14.30	6.00	6.50
6-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Sep-19	5.92	21.80	1.10	2.90
7-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00	7-Sep-19	0.91	0.00	1.70	0.00
8-Aug-19	0.46	1.60	0.00	0.50	8-Sep-19	0.75	0.00	1.40	0.00
9-Aug-19	0.02	0.10	0.00	0.00	9-Sep-19	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00	10-Sep-19	2.84	0.00	5.30	0.00
11-Aug-19	8.94	5.20	8.30	13.40	11-Sep-19	0.79	0.00	0.00	3.10
12-Aug-19	6.54	1.50	11.40	0.50	12-Sep-19	4.78	11.10	0.00	9.60
13-Aug-19	3.12	6.70	0.00	6.70	13-Sep-19	2.46	2.60	3.10	1.00
14-Aug-19	3.28	13.40	0.00	1.80	14-Sep-19	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Aug-19	1.93	7.60	0.00	1.30	15-Sep-19	4.29	8.30	0.00	10.00
16-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00	16-Sep-19	1.68	1.00	0.00	5.80
17-Aug-19	5.06	24.00	0.00	0.00	17-Sep-19	10.14	1.10	0.00	39.00
18-Aug-19	5.78	0.00	10.80	0.00	18-Sep-19	13.36	1.60	7.10	36.30
19-Aug-19	1.40	2.10	0.50	2.70	19-Sep-19	11.51	1.30	21.00	0.00
20-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00	20-Sep-19	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Aug-19	1.00	0.00	1.20	1.40	21-Sep-19	11.49	1.50	19.80	2.30
22-Aug-19	7.35	8.00	4.80	12.20	22-Sep-19	9.96	9.40	0.00	31.40
23-Aug-19	14.23	5.10	19.50	10.70	23-Sep-19	4.32	16.00	0.00	3.70
24-Aug-19	3.43	10.00	0.00	5.20	24-Sep-19	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Aug-19	2.25	0.00	4.20	0.00	25-Sep-19	0.00	0.00	0.00	0.00
26-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00	26-Sep-19	9.36	18.00	0.00	21.90
27-Aug-19	1.26	0.00	1.50	1.80	27-Sep-19	10.37	8.20	16.00	0.30
28-Aug-19	25.56	22.00	14.10	56.60	28-Sep-19	3.10	0.00	5.80	0.00
29-Aug-19	4.41	0.30	0.00	17.10	29-Sep-19	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00	30-Sep-19	0.61	0.00	0.00	2.40
31-Aug-19	0.00	0.00	0.00	0.00					

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 19092

สถานี : 19092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เดิม 19092	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เดิม 19092	สถานีใกล้เคียง		
		426401 w=0.211	426006 w=0.535	19052 w=0.254			426401 w=0.211	426006 w=0.535	19052 w=0.254
1-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	1-Oct-21	1.68	7.00	0.00	0.80
2-Oct-19	8.65	17.40	3.80	11.60	2-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
3-Oct-19	0.64	0.00	0.00	2.50	3-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	4-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
5-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	5-Oct-21	0.76	0.00	0.00	3.00
6-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Oct-21	8.90	13.40	0.00	23.90
7-Oct-19	12.17	15.80	0.00	34.80	7-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	8-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Oct-19	0.70	0.00	1.30	0.00	9-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	10-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	11-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
12-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	12-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	13-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	14-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	15-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Oct-19	1.18	0.00	2.20	0.00	16-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Oct-19	0.05	0.00	0.00	0.20	17-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Oct-19	10.97	25.20	10.10	1.00	18-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Oct-19	8.06	3.80	7.20	13.40	19-Oct-21	3.98	0.20	0.00	15.50
20-Oct-19	6.39	8.00	0.00	18.50	20-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	21-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	22-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	23-Oct-21	3.19	7.30	0.00	6.50
24-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	24-Oct-21	3.24	0.90	0.00	12.00
25-Oct-19	32.39	49.60	20.00	44.20	25-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
26-Oct-19	62.10	98.60	49.70	57.90	26-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
27-Oct-19	0.00	0.00	0.00	0.00	27-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
28-Oct-19	0.83	3.00	0.00	0.00	28-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Oct-19	3.90	5.50	0.00	10.80	29-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Oct-19	2.14	9.20	0.00	0.80	30-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Oct-19	3.45	0.00	5.40	2.20	31-Oct-21	0.00	0.00	0.00	0.00

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 19092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 19092	สถานีใกล้เคียง		
		426401	426006	19052
		w=0.211	w=0.535	w=0.254
1-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
2-Nov-38	2.93	13.90	0.00	0.00
3-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
5-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
6-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
12-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
20-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
26-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
27-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
28-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Nov-38	0.00	0.00	0.00	0.00

สถานี : 19092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 19092	สถานีใกล้เคียง		
		426401	426006	19052
		w=0.211	w=0.535	w=0.254
1-Jul-43	3.17	15.00	0.00	0.00
2-Jul-43	0.72	3.40	0.00	0.00
3-Jul-43	3.04	0.20	3.80	3.80
4-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
5-Jul-43	3.52	16.70	0.00	0.00
6-Jul-43	0.21	1.00	0.00	0.00
7-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Jul-43	18.42	21.10	17.70	17.70
10-Jul-43	4.80	3.10	5.00	5.00
11-Jul-43	7.80	5.20	8.50	8.50
12-Jul-43	8.94	8.70	9.00	9.00
13-Jul-43	0.11	0.50	0.00	0.00
14-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Jul-43	1.65	7.80	0.00	0.00
16-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Jul-43	3.55	0.00	4.50	4.50
18-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Jul-43	17.62	0.10	22.30	22.30
20-Jul-43	0.11	0.50	0.00	0.00
21-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Jul-43	10.39	16.70	8.70	8.70
25-Jul-43	12.52	31.30	7.50	7.50
26-Jul-43	0.34	1.60	0.00	0.00
27-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
28-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Jul-43	15.08	0.40	19.00	19.00
30-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Jul-43	0.00	0.00	0.00	0.00

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 19092

สถานี : 36052

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เดิม 19092	สถานีใกล้เคียง			ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เดิม 36052	สถานีใกล้เคียง			
		426401 w=0.211	426006 w=0.535	19052 w=0.254			36013 w=0.205	379201 w=0.117	379001 w=0.316	36092 w=0.362
1-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	1-Oct-36	2.17	0.00	0.00	3.20	3.20
2-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	2-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3-Aug-43	29.10	30.20	28.80	28.80	3-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Aug-43	0.04	0.20	0.00	0.00	4-Oct-36	1.16	3.60	3.60	0.00	0.00
5-Aug-43	0.62	0.30	0.70	0.70	5-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Aug-43	2.80	3.90	2.50	2.50	7-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8-Aug-43	0.73	1.60	0.50	0.50	8-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Aug-43	0.84	4.00	0.00	0.00	9-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Aug-43	0.63	1.50	0.40	0.40	10-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	11-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12-Aug-43	0.15	0.70	0.00	0.00	12-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13-Aug-43	4.81	2.00	8.20	0.00	13-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Aug-43	2.08	0.00	0.00	8.20	14-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	15-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Aug-43	0.27	1.30	0.00	0.00	16-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	17-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Aug-43	17.85	41.60	11.50	11.50	18-Oct-36	2.46	0.70	0.70	3.30	3.30
19-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	19-Oct-36	0.64	2.00	2.00	0.00	0.00
20-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	20-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	21-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Aug-43	63.46	60.30	64.30	64.30	22-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Aug-43	121.1	102.70	126.00	126.00	23-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Aug-43	11.58	17.50	10.00	10.00	24-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Aug-43	24.01	17.30	25.80	25.80	25-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	26-Oct-36	2.37	0.00	0.00	3.50	3.50
27-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	27-Oct-36	0.13	0.40	0.40	0.00	0.00
28-Aug-43	0.00	0.00	0.00	0.00	28-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Aug-43	0.08	0.40	0.00	0.00	29-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Aug-43	0.06	0.30	0.00	0.00	30-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Aug-43	2.22	6.80	1.00	1.00	31-Oct-36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 36092

สถานี : 36092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36092	สถานีใกล้เคียง				ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36092	สถานีใกล้เคียง			
		36013 w=0.065	379201 w=0.035	379001 w=0.758	36052 w=0.142			36013 w=0.065	379201 w=0.035	379001 w=0.758	36052 w=0.142
1-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3-Nov-40	4.94	0.10	0.10	6.50	0.00	3-Jul-42	0.82	2.10	2.10	0.80	0.00
4-Nov-40	4.18	0.90	0.90	5.40	0.00	4-Jul-42	12.56	2.00	2.00	10.20	32.60
5-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5-Jul-42	33.96	8.70	8.70	40.30	17.90
6-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Jul-42	3.00	3.30	3.30	1.20	12.40
7-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7-Jul-42	7.66	0.00	0.00	10.10	0.00
8-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9-Jul-42	0.07	0.70	0.70	0.00	0.00
10-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10-Jul-42	5.00	31.10	31.10	0.00	13.30
11-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11-Jul-42	1.68	5.20	5.20	0.00	8.20
12-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12-Jul-42	5.09	5.50	5.50	0.00	32.00
13-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Nov-40	14.19	0.00	0.00	17.50	6.50	16-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17-Jul-42	45.90	5.70	5.70	50.90	47.50
18-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18-Jul-42	46.04	0.00	0.00	60.20	2.90
19-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19-Jul-42	2.94	17.60	17.60	0.00	8.30
20-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23-Jul-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24-Jul-42	3.78	12.50	12.50	2.70	3.40
25-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25-Jul-42	2.88	13.10	13.10	2.00	0.40
26-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26-Jul-42	0.24	1.70	1.70	0.00	0.50
27-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27-Jul-42	157.56	11.60	11.60	204.40	10.30
28-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28-Jul-42	9.35	0.00	0.00	10.10	11.90
29-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29-Jul-42	0.83	0.00	0.00	0.70	2.10
30-Nov-40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30-Jul-42	14.25	3.00	3.00	10.80	40.60
						31-Jul-42	7.76	20.80	20.80	7.40	0.50

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 36092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36092	สถานีใกล้เคียง			
		36013 w=0.065	379201 w=0.035	379001 w=0.758	36052 w=0.142
1-Aug-42	4.53	19.20	19.20	0.00	18.40
2-Aug-42	0.67	3.70	3.70	0.40	0.00
3-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Aug-42	0.93	6.00	6.00	0.00	2.30
5-Aug-42	0.99	5.10	5.10	0.20	2.30
6-Aug-42	1.30	2.60	2.60	0.00	7.30
7-Aug-42	7.09	0.00	0.00	8.70	3.50
8-Aug-42	0.75	0.00	0.00	0.50	2.60
9-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Aug-42	1.32	6.80	6.80	0.00	4.50
11-Aug-42	7.10	7.40	7.40	6.80	8.50
12-Aug-42	1.55	8.90	8.90	0.70	0.90
13-Aug-42	4.56	13.60	13.60	3.90	1.70
14-Aug-42	49.80	0.10	0.10	64.80	4.70
15-Aug-42	0.39	0.30	0.30	0.00	2.50
16-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Aug-42	0.05	0.50	0.50	0.00	0.00
18-Aug-42	10.55	0.00	0.00	9.40	24.10
19-Aug-42	12.24	25.10	25.10	10.70	11.40
20-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Aug-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Aug-42	7.13	10.20	0.00	8.40	0.70
23-Aug-42	0.87	2.10	10.20	0.50	0.00
24-Aug-42	23.20	7.40	2.10	20.10	52.20
25-Aug-42	7.13	12.60	7.40	0.00	42.60
26-Aug-42	15.68	0.00	12.60	20.10	0.00
27-Aug-42	4.00	17.80	0.00	2.70	5.60
28-Aug-42	7.27	3.50	17.80	0.00	45.20
29-Aug-42	2.42	26.80	3.50	0.00	3.90
30-Aug-42	7.67	0.50	26.80	0.00	47.20
31-Aug-42	0.02	0.00	0.50	0.00	0.00

สถานี : 36092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม 36092	สถานีใกล้เคียง			
		36013 w=0.065	379201 w=0.035	379001 w=0.758	36052 w=0.142
1-Sep-42	0.02	0.20	0.20	0.00	0.00
2-Sep-42	3.59	0.00	0.00	0.00	25.30
3-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Sep-42	2.95	0.00	0.00	0.00	20.80
5-Sep-42	9.35	12.70	12.70	10.00	3.50
6-Sep-42	14.36	7.10	7.10	14.00	21.40
7-Sep-42	32.10	6.40	6.40	36.50	26.70
8-Sep-42	9.49	14.60	14.60	4.00	35.20
9-Sep-42	0.63	6.30	6.30	0.00	0.00
10-Sep-42	22.16	19.40	19.40	20.30	34.00
11-Sep-42	21.79	4.40	4.40	20.50	40.90
12-Sep-42	1.19	0.30	0.30	0.00	8.20
13-Sep-42	1.16	0.00	0.00	1.00	2.80
14-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Sep-42	2.61	1.40	1.40	0.00	17.40
16-Sep-42	22.74	23.90	23.90	19.90	37.10
17-Sep-42	21.94	3.00	3.00	23.60	26.40
18-Sep-42	0.61	6.10	6.10	0.00	0.00
19-Sep-42	5.69	0.00	0.00	7.50	0.00
20-Sep-42	0.85	0.20	0.20	0.70	2.10
21-Sep-42	7.46	1.80	1.80	9.60	0.00
22-Sep-42	0.50	0.00	0.00	0.60	0.30
23-Sep-42	31.07	16.50	16.50	38.60	1.10
24-Sep-42	2.66	24.80	24.80	0.00	1.30
25-Sep-42	9.70	0.00	0.00	12.80	0.00
26-Sep-42	5.41	0.60	0.60	0.00	37.70
27-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28-Sep-42	2.13	0.00	0.00	0.00	15.00
29-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Sep-42	0.58	0.00	0.00	0.00	4.10

ตาราง ค-2 การเติมปริมาณฝนรายวันที่ขาดหายไปของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ (ต่อ)

สถานี : 36092

สถานี : 36092

ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม	สถานีใกล้เคียง				ช่วงข้อมูล ที่ขาดหาย	สถานี ที่เติม	สถานีใกล้เคียง			
		36013 w=0.065	379201 w=0.035	379001 w=0.758	36052 w=0.142			36013 w=0.065	379201 w=0.035	379001 w=0.758	36052 w=0.142
1-Oct-42	0.45	3.50	3.50	0.00	0.70	1-Sep-42	6.68	3.00	3.00	5.20	17.20
2-Oct-42	0.12	1.20	1.20	0.00	0.00	2-Sep-42	0.47	0.90	0.90	0.50	0.00
3-Oct-42	0.94	0.00	0.00	0.00	6.60	3-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-Oct-42	11.14	33.00	33.00	8.60	9.30	4-Sep-42	0.01	0.10	0.10	0.00	0.00
5-Oct-42	0.84	0.00	0.00	0.00	5.90	5-Sep-42	0.10	0.30	0.30	0.00	0.50
6-Oct-42	10.32	3.80	3.80	5.30	41.70	6-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7-Oct-42	1.19	0.00	0.00	0.00	8.40	7-Sep-42	1.35	0.00	0.00	0.00	9.50
8-Oct-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8-Sep-42	2.93	0.00	0.00	0.00	20.60
9-Oct-42	0.13	0.20	0.20	0.00	0.80	9-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10-Oct-42	21.89	37.00	37.00	17.40	35.20	10-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11-Oct-42	10.63	8.50	8.50	10.60	12.30	11-Sep-42	2.03	0.00	0.00	0.00	14.30
12-Oct-42	7.35	0.00	0.00	7.00	14.40	12-Sep-42	5.69	0.00	0.00	7.50	0.00
13-Oct-42	0.03	0.30	0.30	0.00	0.00	13-Sep-42	1.56	0.00	0.00	1.40	3.50
14-Oct-42	2.27	0.00	0.00	3.00	0.00	14-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15-Oct-42	7.96	0.00	0.00	10.50	0.00	15-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16-Oct-42	0.61	0.00	0.00	0.80	0.00	16-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17-Oct-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18-Oct-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19-Oct-42	0.08	0.80	0.80	0.00	0.00	19-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20-Oct-42	1.07	0.10	0.10	1.40	0.00	20-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21-Oct-42	0.26	2.60	2.60	0.00	0.00	21-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-Oct-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23-Oct-42	0.45	0.00	0.00	0.60	0.00	23-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24-Oct-42	15.25	0.10	0.10	20.10	0.00	24-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-Oct-42	2.02	11.30	11.30	0.00	6.30	25-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26-Oct-42	0.28	2.60	2.60	0.00	0.00	26-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27-Oct-42	6.67	1.70	1.70	8.50	14.50	27-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28-Oct-42	17.40	12.40	12.40	20.70	3.30	28-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29-Oct-42	0.04	0.40	0.40	0.00	0.00	29-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30-Oct-42	13.85	0.00	0.00	10.50	41.50	30-Sep-42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31-Oct-42	12.90	0.30	0.30	10.20	36.20						

ตาราง ค-3 การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผลแบบจำลอง ของสถานีวัดน้ำ
ท่า S.9 โดยใช้วิธีแจกแจงความถี่แบบ Weibull

ปี พ.ศ.	อัตราการไหลสูงสุด ณ สถานี S.9 ลบ.ม./วินาที	จัดเรียงข้อมูล ตามลำดับ ลบ.ม./วินาที	ปีที่ จัดเรียงใหม่	ลำดับ m (เมื่อ N = 19)	ความถี่การเกิดซ้ำ(%) $P = m \times 100/(N+1)$	หมายเหตุ
2516	293.5	3206.0	2521	1	5.3	เปรียบเทียบ
2517	373.7	1245.4	2538	2	10.5	สอบทาน
2518	664.0	885.5	2523	3	15.8	เปรียบเทียบ
2519	539.0	851.4	2526	4	21.1	เปรียบเทียบ
2520	591.9	826.5	2539	5	26.3	เปรียบเทียบ
2521	3206.0	795.2	2525	6	31.6	เปรียบเทียบ
2522	288.0	664.0	2518	7	36.8	เปรียบเทียบ
2523	885.5	591.9	2520	8	42.1	เปรียบเทียบ
2524	328.1	584.5	2537	9	47.4	สอบทาน
2525	795.2	539.0	2519	10	52.6	เปรียบเทียบ
2526	851.4	409.4	2540	11	57.9	เปรียบเทียบ
2536	236.8	378.6	2542	12	63.2	เปรียบเทียบ
2537	584.5	373.7	2517	13	68.4	เปรียบเทียบ
2538	1245.4	328.1	2524	14	73.7	เปรียบเทียบ
2539	826.5	293.5	2516	15	78.9	สอบทาน
2540	409.4	288.0	2522	16	84.2	เปรียบเทียบ
2541	256.2	256.2	2541	17	89.5	เปรียบเทียบ
2542	378.6	236.8	2536	18	94.7	เปรียบเทียบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การพัฒนาแบบจำลอง ANN

ง-1 การทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ

การทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ คือการนำตัวแปรที่ได้คัดเลือกในเบื้องต้น มาเป็นชุดตัวแปรนำเข้าสำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน และการทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าต่างๆ ในแต่ละแบบจำลอง โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ย้อนหลังและหรือก่อนหน้า 1 ช่วงเวลา ของตัวแปรทุกตัว พิจารณาจากค่าของตัววัดประสิทธิภาพแบบจำลองแบบต่างๆ จนกว่าได้ชุดตัวแปรนำเข้าแบบจำลองที่เหมาะสม ซึ่งผลการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ สำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ของสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 SM.3 และ Dam. ดังแสดงในตาราง ง-1 ถึงตาราง ง-5

ง-2 การปรับปรุงผลการพยากรณ์

การปรับปรุงผลการพยากรณ์จากอนุกรมของค่าความผิดพลาด โดยใช้แบบจำลองอนุกรมเวลา ซึ่งตัวอย่างการหาค่า ของแบบจำลองอนุกรมเวลาแบบ AR(5) ดังแสดงในรูป ง-1 และ ง-2 โดยการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรน ด้วยวิธีการหาค่าของ Gauss-Seidel และจากการแยกกรณี ของการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า ออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอนุกรมเวลาอันดับต่างๆ ของแบบจำลอง AR Model ดังแสดงในตาราง ง-6 และผลการตรวจสอบอนุกรมค่าความผิดพลาด จากการพยากรณ์ ด้วยแบบจำลอง ANN (รูป a) และหลังการปรับปรุงผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลา (รูป b) ดังแสดงในรูป ง-3 ถึงรูป ง-18

กรณีที่ 2 สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองอนุกรมเวลาอันดับต่างๆ ของแบบจำลอง AR Model ดังแสดงในตาราง ง-7 และผลการตรวจสอบอนุกรมค่าความผิดพลาด จากการพยากรณ์ ด้วยแบบจำลอง ANN (รูป a) และหลังการปรับปรุงผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลา (รูป b) ดังแสดงในรูป ง-19 ถึงรูป ง-32

ง-3 ผลการพยากรณ์

ผลที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้ารายวัน โดยแบบจำลอง ANN และปรับปรุงผลการพยากรณ์ ด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลาแบบ AR ของสถานีวัดน้ำท่า SM.1 S.4B SM.2 และ SM.3 ดังแสดงในรูป ง-33 ถึงรูป ง-53

ตาราง 4-1 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 5 (สถานี Dam.) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน

Station : Dam. (Area 5)

n : 10,000 Intervals

Catchment Area : 12,600 km.²

Momentum (α) : 0.60 : 0.95 (Change at 5,000 Intervals)

Training Period No. : 1,830

Learning Rate (η) : 0.01

Testing Period No. : 366

Statistic of Subbasin		Training Period	Testing Period
Qavg.	(m. ³ /s.)	166.42	318.56
Std.	(m. ³ /s.)	212.15	257.83
Min.	(m. ³ /s.)	2.50	23.60
Max.	(m. ³ /s.)	2,857.80	1,110.20

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El.	RMSE	MAD	Max.Abs.	Rate of	El.	RMSE	MAD	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement (%)	(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement (%)	
1	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,12} RSM.3 _{1,12} RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} QSM.3 _{1,12} QDam _{1,12} QDam _{1,11} QDam ₁	12-6-6-1	99.14	19.54	9.97	244.74	-	99.20	18.80	9.17	165.91	-	-
2	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,12} RSM.3 _{1,12} RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} QSM.3 _{1,12} QDam _{1,12} QDam _{1,11} QDam _{1,11} QDam ₁	13-7-6-1	99.10	19.63	10.15	248.25	-4.65	99.18	18.81	9.21	171.03	-2.50	Compare with M1
3*	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,12} RSM.3 _{1,12} RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} QSM.3 _{1,12} QDam _{1,11} QDam ₁	11-6-5-1	99.23	18.54	9.98	207.69	10.47	99.31	17.27	9.51	183.80	13.75	Compare with M1
4	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,12} RSM.3 _{1,12} RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} QSM.3 _{1,12} QDam ₁	10-5-5-1	97.54	33.30	14.18	616.36	-219.48	99.09	20.10	12.36	185.02	-31.88	Compare with M3

ตาราง ง-1 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 5 (สถานี Dam.) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (ต่อ)

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	El.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Error Improvement (%)	(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Error Improvement (%)	
5	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.15	19.57	10.10	206.77	-10.39	99.21	18.70	9.44	188.61	-14.49	Compare with M3
6	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.22	18.69	10.21	213.88	-1.30	99.32	17.37	10.65	139.62	1.45	Compare with M3
7	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.22	18.73	9.74	193.01	-1.30	99.25	18.21	9.13	186.29	-8.70	Compare with M3
8	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.23	18.58	9.81	186.89	0.00	99.16	19.30	9.52	198.35	-21.74	Compare with M3
9	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,12} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.14	19.71	10.13	231.80	-11.69	99.26	16.92	9.55	152.53	-7.25	Compare with M3
10	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,10} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.24	18.50	9.89	186.68	1.30	99.17	19.20	9.80	208.56	-20.29	Compare with M3
11	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,10} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.21	18.88	9.61	189.08	-2.60	99.31	17.43	8.81	177.25	0.00	Compare with M3
12	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,10} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.18	19.23	9.88	214.27	-6.49	99.32	17.36	9.32	177.84	1.45	Compare with M3

ตาราง 4-1 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 5 (สถานี Dam.) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (ต่อ)

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	
13	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.19	19.14	10.01	213.96	-5.19	99.25	18.26	9.72	182.54	-8.70	Compare with M3
14	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,11} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.12	19.85	10.47	221.61	-14.29	99.35	16.92	9.88	144.32	5.80	Compare with M3
15	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.18	19.22	10.04	214.48	-6.49	99.26	18.13	9.59	172.18	-7.25	Compare with M3
16	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,11} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.19	19.14	9.83	212.65	-5.19	99.31	17.48	9.15	172.05	0.00	Compare with M3
17	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,14} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.16	19.39	10.41	217.25	-9.09	99.25	18.22	10.41	165.80	-8.70	Compare with M3
18	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.13	19.80	10.63	231.04	-12.99	99.24	18.37	10.71	175.36	-10.14	Compare with M3
19	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,11} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.18	19.22	9.74	223.21	-6.49	99.25	18.22	9.20	178.16	-8.70	Compare with M3
20	RSM.1 _{1,10} , RS.4B _{1,10} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,5} , QSM.3 _{1,2} , QDam _{1,11} , QDam ₁	11-6-5-1	99.16	19.47	9.78	232.72	-9.09	99.34	16.99	9.08	158.56	4.35	Compare with M3

ตาราง 4-1 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 5 (สถานี Dam.) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (ต่อ)

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	
21	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,11} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	11-6-5-1	99.22	18.74	9.97	197.69	-1.30	99.25	18.19	9.79	181.86	-8.70	Compare with M3
22	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,11} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} , RDam _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	11-6-5-1	99.11	19.96	10.75	233.53	-15.58	99.23	18.46	11.13	170.62	-11.59	Compare with M3
22	RDam _{1,12} , QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	7-4-3-1	99.15	19.55	9.71	208.29	-10.39	99.33	16.99	9.15	158.92	2.90	Compare with M3
23	RSM.3 _{1,12} , QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	7-4-3-1	99.06	20.53	11.19	221.58	-22.08	99.20	18.78	11.81	160.77	-15.94	Compare with M3
24	RSM.2 _{1,12} , QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	7-4-3-1	99.14	19.64	9.88	214.16	-11.69	99.31	17.42	9.28	162.23	0.00	Compare with M3
25	RS.4B _{1,11} , QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	7-4-3-1	99.21	18.86	9.83	188.65	-2.60	99.19	18.96	9.53	188.57	-17.39	Compare with M3
26	RSM.1 _{1,12} , QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	7-4-3-1	99.17	19.38	10.00	224.83	-7.79	99.14	19.48	9.91	178.27	-24.64	Compare with M3
27	QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,11} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QDam _{1,11} , QDam _{1,12}	6-3-3-1	99.18	19.19	9.98	211.70	-6.49	99.29	19.74	9.54	169.81	-2.90	Compare with M3

ตาราง 3-2 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 4 (สถานี SM.3) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน

Station : SM.3 (Area 4)

n : 10,000 intervals

Catchment Area : 9,500 km²

Momentum (α) : 0.60 : 0.95 (Change at 5,000 intervals)

Training Period No. : 1,830

Learning Rate (η) : 0.01

Testing Period No. : 366

Statistic of Subbasin		Training Period	Testing Period
Avg.	(m ³ /s.)	127.22	137.39
Std.	(m ³ /s.)	142.86	152.30
Min.	(m ³ /s.)	0.29	1.12
Max.	(m ³ /s.)	781.45	860.97

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			EI.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	EI.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Improvement (%)	(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Improvement (%)	
1*	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,12} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,12} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QSM.3 _{1,12}	9-5-4-1	99.19	12.86	6.66	187.39	-	99.08	13.60	6.31	120.05	-	-
2	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,12} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,12} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QSM.3 _{1,12}	10-5-5-1	99.19	12.87	6.80	188.31	0.00	99.05	14.67	6.65	124.36	-3.26	Compare with M1
3	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,12} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,12} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12}	8-4-4-1	98.50	17.47	9.77	235.77	-85.19	98.50	18.63	10.19	152.04	-63.04	Compare with M1
4	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,12} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,12} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QSM.3 _{1,12}	9-5-4-1	99.17	12.95	6.64	189.68	-2.47	99.02	15.07	7.56	122.15	-6.52	Compare with M1
5	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,12} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,12} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QSM.3 _{1,12}	9-5-4-1	99.20	12.64	6.59	180.69	1.23	99.06	14.66	6.79	125.56	-2.17	Compare with M1
6	RSM.1 _{1,12} , RS.4B _{1,12} , RSM.2 _{1,12} , RSM.3 _{1,12} QSM.1 _{1,12} , QS.4B _{1,12} , QSM.2 _{1,12} , QSM.3 _{1,12} , QSM.3 _{1,12}	9-5-4-1	99.02	14.10	9.47	181.08	-20.99	98.94	15.65	7.27	130.81	-15.22	Compare with M1

ตาราง 4-2 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในขั้นที่ย่อย 4 (สถานี SM.3) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (ต่อ)

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			EI.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	EI.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement	(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement	
7	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.18	12.88	6.83	185.98	-1.23	99.00	15.21	7.45	123.45	-8.70	Compare with M1
8	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.20	12.78	6.56	185.29	1.23	98.97	15.44	7.23	123.96	-11.96	Compare with M1
9	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.18	12.91	6.56	189.49	-1.23	98.97	15.45	6.84	127.07	-11.96	Compare with M1
10	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.21	12.67	6.51	185.34	2.47	99.07	14.71	6.80	127.01	-1.09	Compare with M1
11	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.19	12.83	6.69	186.24	0.00	99.07	14.71	7.02	124.52	-1.09	Compare with M1
12	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.19	12.84	6.75	186.50	0.00	99.01	15.15	7.20	122.44	-7.61	Compare with M1
13	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.19	12.82	6.77	183.88	0.00	99.04	14.92	7.20	124.15	-4.35	Compare with M1
14	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.20	12.79	6.68	185.07	1.23	99.03	14.98	7.05	126.31	-5.43	Compare with M1
15	RSM.1 _{1,10} RS.4B _{1,10} RSM.2 _{1,10} RSM.3 _{1,10} QSM.1 _{1,10} QS.4B _{1,10} QSM.2 _{1,10} QSM.3 _{1,10} QSM.3	9-5-4-1	99.21	12.71	6.52	184.74	2.47	99.07	14.68	6.79	124.46	-1.09	Compare with M1

ตาราง 4-2 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 4 (สถานี SM.3) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (ต่อ)

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			EL	RMSE	MAD	Max.Abs.	Rate of	EL	RMSE	MAD	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement (%)	(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement (%)	
16	RSM.1 _{1,17} , RS.4B _{1,18} , RSM.2 _{1,13} , RSM.3 _{1,8} QSM.1 _{1,18} , QS.4B _{1,7} , QSM.2 _{1,17} , QSM.3 _{1,17} , QSM.3 ₁	9-5-4-1	99.20	12.74	6.58	187.05	1.23	99.06	14.75	6.79	126.75	-2.17	Compare with M1
17	RSM.1 _{1,18} , RS.4B _{1,18} , RSM.2 _{1,13} , RSM.3 _{1,8} QSM.1 _{1,17} , QS.4B _{1,7} , QSM.2 _{1,17} , QSM.3 _{1,17} , QSM.3 ₁	9-5-4-1	99.19	12.89	6.87	185.18	0.00	99.01	15.13	7.23	125.19	-7.61	Compare with M1
18	RSM.3 _{1,8} , QSM.1 _{1,17} , QS.4B _{1,7} , QSM.2 _{1,17} , QSM.3 _{1,17} , QSM.3 ₁	6-3-3-1	99.17	13.03	7.32	184.61	-2.47	98.96	15.56	7.29	129.34	-13.04	Compare with M1
19	RSM.2 _{1,17} , QSM.1 _{1,17} , QS.4B _{1,7} , QSM.2 _{1,17} , QSM.3 _{1,17} , QSM.3 ₁	6-3-3-1	99.20	12.77	6.47	187.63	1.23	99.03	15.03	6.64	127.72	-5.43	Compare with M1
20	RS.4B _{1,18} , QSM.1 _{1,17} , QS.4B _{1,7} , QSM.2 _{1,17} , QSM.3 _{1,17} , QSM.3 ₁	6-3-3-1	99.17	12.98	6.62	190.46	-2.47	99.03	15.02	7.51	128.10	-5.43	Compare with M1
21	RSM.1 _{1,18} , QSM.1 _{1,17} , QS.4B _{1,7} , QSM.2 _{1,17} , QSM.3 _{1,17} , QSM.3 ₁	6-3-3-1	99.18	12.89	7.06	188.30	-1.23	99.05	14.88	6.60	131.93	-3.26	Compare with M1
22	QSM.1 _{1,17} , QS.4B _{1,7} , QSM.2 _{1,17} , QSM.3 _{1,17} , QSM.3 ₁	5-3-2-1	99.21	12.68	6.40	187.37	2.47	99.04	15.02	6.61	128.61	-4.35	Compare with M1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-3 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 3 (สถานี SM.2) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน

Station : SM.2 (Area 3)

n : 10,000 intervals

Catchment Area : 6,250 km.²

Momentum (α) : 0.60 : 0.95 (Change at 5,000 intervals)

Training Period No. : 1,830

Learning Rate (η) : 0.01

Testing Period No. : 366

Statistic of Subbasin		Training Period	Testing Period
Qavg.	(m. ³ /s.)	93.46	95.11
Std.	(m. ³ /s.)	68.05	67.44
Min.	(m. ³ /s.)	0.15	0.03
Max.	(m. ³ /s.)	272.89	252.71

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	El.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement	(%)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	(m. ³ /s.)	Improvement	
1	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,7} QS.4B _{1,9} QSM.2 _{1,7} QSM.2 ₁	7-4-3-1	99.38	6.88	3.58	90.20	-	99.25	7.54	3.95	47.77	-	-
2	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,7} QS.4B _{1,9} QSM.2 ₁	6-3-3-1	98.61	10.37	5.67	102.69	-124.19	98.85	9.37	5.19	79.86	-53.33	Compare with M1
3*	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,7} QS.4B _{1,9} QSM.2 _{1,7} QSM.2 _{1,7} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.44	6.54	3.19	89.83	9.68	99.25	7.57	3.59	55.87	0.00	Compare with M1
4	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,7} QS.4B _{1,9} QSM.2 _{1,7} QSM.2 _{1,7} QSM.2 _{1,7} QSM.2 ₁	9-5-4-1	99.44	6.54	3.19	89.80	0.00	99.24	7.59	3.56	56.02	-1.33	Compare with M3
5	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,7} QS.4B _{1,9} QSM.2 _{1,7} QSM.2 _{1,7} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.40	6.77	3.57	88.48	-7.14	99.18	7.87	4.19	56.17	-9.33	Compare with M3
6	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,7} QS.4B _{1,9} QSM.2 _{1,7} QSM.2 _{1,7} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.45	6.48	3.18	88.78	1.79	99.22	7.68	3.54	58.65	-4.00	Compare with M3

ตาราง 4-3 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 3 (สถานี SM.2) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (ต่อ)

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	
7	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.35	6.62	3.24	90.84	-16.07	99.14	8.06	4.65	53.82	-14.67	Compare with M3
8	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.43	6.62	3.24	90.84	-1.79	99.20	7.78	4.04	57.81	-6.67	Compare with M3
9	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,13} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.41	6.74	3.33	91.32	-5.36	99.22	7.71	3.74	55.10	-4.00	Compare with M3
10	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,11} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.45	6.52	3.20	91.59	1.79	99.24	7.58	3.56	57.21	-1.33	Compare with M3
11	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.44	6.59	3.24	89.69	0.00	99.25	7.58	3.56	55.95	0.00	Compare with M3
12	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,11} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.45	6.55	3.20	90.08	1.79	99.24	7.61	3.54	56.88	-1.33	Compare with M3
13	RSM.1 _{1,12} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.46	6.47	3.16	89.46	3.57	99.23	7.67	3.54	59.57	-2.67	Compare with M3
14	RSM.1 _{1,11} RS.4B _{1,12} RSM.2 _{1,12} QSM.1 _{1,2} QS.4B _{1,2} QSM.2 _{1,2} QSM.2 _{1,1} QSM.2 ₁	8-4-4-1	99.39	6.88	3.52	90.11	-8.93	99.20	7.83	4.01	51.31	-6.67	Compare with M3

ตาราง 4-3 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 3 (สถานี SM.2) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน (ต่อ)

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El.	RMSE	MAD	Max.Abs.	Rate of	El.	RMSE	MAD	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Improvement (%)	(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Improvement (%)	
15	RSM.2 _{1,2} , QSM.1 _{1,2} , QS.4B _{1,2} , QSM.2 _{1,2} , QSM.2 _{1,1} , QSM.2 ₁	6-3-3-1	99.36	7.02	3.85	89.72	-14.29	99.17	7.96	4.47	52.94	-10.67	Compare with M3
16	RS.4B _{1,2} , QSM.1 _{1,2} , QS.4B _{1,2} , QSM.2 _{1,2} , QSM.2 _{1,1} , QSM.2 ₁	6-3-3-1	99.27	7.51	4.03	94.87	-30.36	98.95	8.95	5.55	51.30	-40.00	Compare with M3
17	RM.1 _{1,2} , QSM.1 _{1,2} , QS.4B _{1,2} , QSM.2 _{1,2} , QSM.2 _{1,1} , QSM.2 ₁	6-3-3-1	99.39	6.89	3.63	90.75	-8.93	99.20	7.82	4.20	53.29	-6.67	Compare with M3
18	QSM.1 _{1,2} , QS.4B _{1,2} , QSM.2 _{1,2} , QSM.2 _{1,1} , QSM.2 ₁	5-3-2-1	99.43	6.62	3.23	91.99	-1.79	99.24	7.60	3.62	55.21	-1.33	Compare with M3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3-4 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 2 (สถานี S.4B) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน

Station : S.4B (Area 2)

n : 10,000 intervals

Catchment Area : 3,560 km²

Momentum (α) : 0.60 : 0.95 (Change at 5,000 intervals)

Training Period No. : 1,830

Learning Rate (η) : 0.01

Testing Period No. : 366

Statistic of Subbasin		Training Period	Testing Period
Qavg.	(m ³ /s.)	41.45	50.06
Std.	(m ³ /s.)	42.35	53.19
Min.	(m ³ /s.)	2.00	2.20
Max.	(m ³ /s.)	191.80	170.70

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	El. (%)	RMSE (m ³ /s.)	MAD (m ³ /s.)	Max.Abs. Error (m ³ /s.)	Rate of Improvement (%)	
1	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 _{1,2} , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	5-3-2-1	96.72	7.65	3.72	64.85	-	98.41	6.69	3.91	39.50	-	-
2	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 _{1,2} , QS.4B _{1,2} , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	6-3-3-1	96.70	7.66	3.80	60.20	-0.61	98.39	6.73	3.82	38.73	-1.26	Compare with M1
3	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 _{1,2} , QS.4B ₁	4-4-1	95.49	8.99	4.78	77.02	-37.50	97.69	8.06	4.68	42.27	-45.28	Compare with M1
4	RSM.1 _{1,2} , RS>4B _{1,2} , QSM.1 _{1,2} , QS4B _{1,1} , QS.4B ₁	5-3-2-1	96.59	7.80	3.91	61.06	-3.96	98.35	6.82	3.76	39.18	-3.77	Compare with M1
5*	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	5-3-2-1	97.30	6.95	3.65	56.53	17.68	98.74	5.95	3.60	36.15	20.75	Compare with M1
6	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	5-3-2-1	97.16	7.12	3.83	56.46	-5.19	98.57	6.34	4.11	37.50	-13.49	Compare with M5
7	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	5-3-2-1	97.22	7.05	3.71	57.35	-2.96	98.62	6.23	3.82	37.56	-9.52	Compare with M5
8	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	5-3-2-1	97.30	6.95	3.65	56.16	0.00	98.74	5.94	3.62	36.29	0.00	Compare with M5
9	RSM.1 _{1,2} , RS.4B _{1,2} , QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	5-3-2-1	97.30	6.94	3.63	55.88	0.00	98.72	6.00	3.64	37.27	-1.59	Compare with M5
11	RS.4B _{1,2} , QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	4-4-1	97.15	7.14	3.83	56.54	-5.56	98.60	6.27	4.03	37.59	-11.11	Compare with M5
12	RSM.1 _{1,2} , QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	4-4-1	97.16	7.13	3.81	56.53	-5.19	98.60	6.29	4.02	37.64	-11.11	Compare with M5
10	QSM.1 ₁ , QS.4B _{1,1} , QS.4B ₁	3-3-1	97.24	7.03	3.68	55.21	-2.22	98.71	6.04	3.75	37.21	-2.38	Compare with M5

ตาราง 4-5 ผลการทดสอบหาจำนวนตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมในพื้นที่ย่อย 1 (สถานี SM.1) สำหรับการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 วัน

Station : SM.1 (Area 1)

n : 10,000 intervals

Catchment Area : 1,070 km²

Momentum (α) : 0.60 : 0.95 (Change at 5,000 intervals)

Training Period No. : 1,830

Learning Rate (η) : 0.01

Testing Period No. : 366

Statistic of Subbasin	Training Period	Testing Period
Avg. (m ³ /s.)	19.99	24.78
Std. (m ³ /s.)	29.36	32.62
Min. (m ³ /s.)	0.40	1.50
Max. (m ³ /s.)	215.70	167.40

Model	Input Variables	Structure	Training Period					Testing Period					Remark
			EI.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	EI.	RMSE.	MAD.	Max.Abs.	Rate of	
			(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Improvement (%)	(%)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	(m ³ /s.)	Improvement (%)	
1	RSM.1 _{1,1} , QSM.1 ₁	2-2-1	73.26	15.15	5.96	169.31	-	80.16	14.51	6.74	105.18	-	-
2	RSM.1 _{1,1} , QSM.1 _{1,1} , QSM.1 ₁	3-3-1	73.57	15.06	6.01	168.90	1.16	80.33	14.44	6.81	104.34	0.86	Compare with M1
3	RSM.1 _{1,1} , QSM.1 _{1,2} , QSM.1 _{1,1} , QSM.1 ₁	4-4-1	73.69	15.03	6.01	169.34	0.45	80.16	14.51	6.92	99.69	-0.86	Compare with M2
4	RSM.1 _{1,2} , QSM.1 _{1,1} , QSM.1 ₁	3-3-1	69.15	16.27	6.59	180.12	-16.72	81.54	13.99	6.69	102.01	6.15	Compare with M2
5*	RSM.1 ₁ , QSM.1 _{1,1} , QSM.1 ₁	3-3-1	76.32	14.25	6.01	158.92	10.40	81.43	14.04	6.62	96.82	5.69	Compare with M2
6	QSM.1 _{1,1} , QSM.1 ₁	2-2-1	69.08	16.30	6.57	179.97	-30.57	81.75	13.92	6.68	101.76	1.72	Compare with M5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

PROGRAM GAUSS SEIDEL
DIMENSION XOLD(5), XNEV(5)
TOL = 0.00000005
DO 10 I=1,5
XOLD(I) = 10
CONTINUE
10 WRITE(*,50)
50 FORMAT('No', 'X', 'AR1', 'X', 'AR2', 'X', 'AR3', 'X', 'AR4', 'X', 'AR5', '-')
DO 100 ITER=1,1000
PRO1 = 0.132
PRO2 = 0.164
PRO3 = 0.029
PRO4 = 0.049
PRO5 = 0.045
XNEV(1)=PRO1-PRO1*XOLD(2)-PRO2*XOLD(3)-PRO3*XOLD(4)-PRO4*XOLD(5)
XNEV(2)=PRO2-PRO2*XNEV(1)-PRO1*XOLD(3)-PRO2*XOLD(4)-PRO3*XOLD(5)
XNEV(3)=PRO3-PRO3*XNEV(1)-PRO1*XNEV(2)-PRO1*XOLD(4)-PRO1*XOLD(5)
XNEV(4)=PRO4-PRO4*XNEV(1)-PRO2*XNEV(2)-PRO1*XNEV(3)-PRO1*XOLD(5)
XNEV(5)=PRO5-PRO4*XNEV(1)-PRO3*XNEV(2)-PRO2*XNEV(3)-PRO1*XNEV(4)
600 WRITE(*,500) ITER, XOLD(1), I-1,5)
500 FORMAT('18', 'X', '5F10.5)
IFLAG=0
DO 200 I=1,5
EPS=ABS((XNEV(I)-XOLD(I))*100/XNEV(I))
IF(EPS GE TOL) IFLAG=1
CONTINUE
IF(IFLAG EQ 0) GOTO 400
DO 300 I=1,5
XOLD(I)=XNEV(I)
CONTINUE
100 CONTINUE
400 CONTINUE
STOP
END

```

Configuration: GSEIDEL - Win32 Debug

Compiling Fortran
C:\msdev\Projects\Triell\GSEIDEL.f90
Linking
GSEIDEL.exe - 0 error(s), 0 warning(s)

รูป ง-1 โปรแกรมการวิเคราะห์หาค่า ϕ ของแบบจำลองอนุกรมเวลา AR(5) โดยวิธี GAUSS-SEIDEL

No	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5
1	10.00000	10.00000	10.00000	10.00000	10.00000
2	.25200	.41274	-2.68215	-.84196	-.26411
3	-.37383	.09365	.04333	.08266	.08223
4	.12511	-.17029	-.00777	.01487	.05069
5	.15115	-.17902	.01076	.01591	.05207
6	.15531	-.18180	.01149	.01530	.05198
7	.15578	-.18206	.01170	.01525	.05199
8	.15585	-.18211	.01172	.01524	.05199
9	.15585	-.18211	.01172	.01524	.05199
10	.15586	-.18211	.01172	.01524	.05199
11	.15586	-.18211	.01172	.01524	.05199
12	.15586	-.18211	.01172	.01524	.05199
13	.15586	-.18211	.01172	.01524	.05199

Stop - Program terminated.
Press any key to continue_

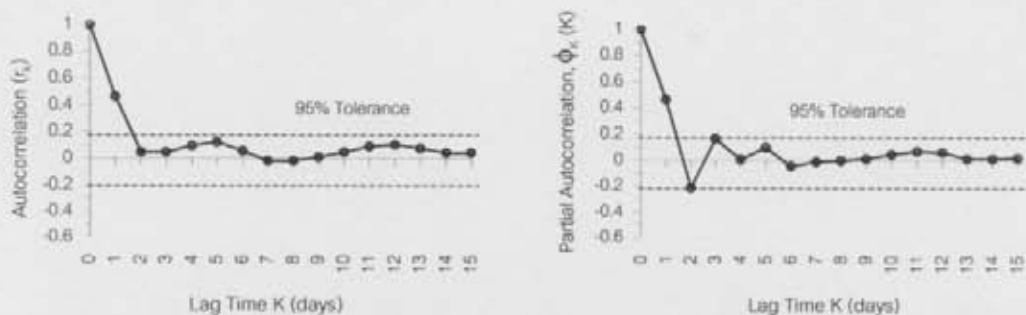
รูป ง-2 ผลการวิเคราะห์หาค่า ϕ ของแบบจำลองอนุกรมเวลา AR(5) โดยวิธี GAUSS-SEIDEL

ตาราง ง-6 ค่าพารามิเตอร์ของอนุกรมเวลาแบบ Autoregressive จากค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์
ที่ได้จากแบบจำลอง BPNN ของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ กรณีที่ 1

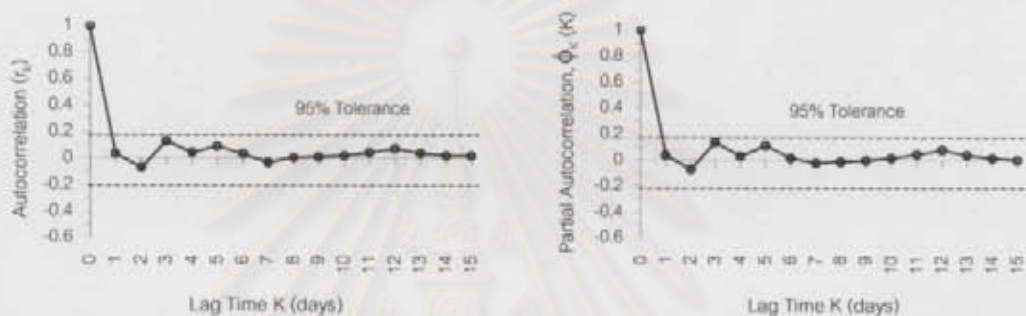
สถานี	จำนวนวันพยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน)	AR(p)				
		p=1	p=2	p=3	p=4	p=5
Dam.	1	-	-	-	-	-
	2	0.61500	-	-	-	-
	3	0.68049	-0.17733	-	-	-
	4	0.48100	-	-	-	-
	5	0.53300	-	-	-	-
	6	0.37975	0.14277	-	-	-
	7	0.47200	-	-	-	-
	8	0.34606	0.20446	-	-	-
	9	0.35707	0.12696	-	-	-
	10	0.34557	0.15301	-	-	-
	11	0.36403	0.13703	-	-	-
	12	0.35947	0.11241	-	-	-
	13	0.40400	-	-	-	-
SM.3	1	-	-	-	-	-
	2	0.69681	-0.41696	0.22077	-	-
	3	0.47200	-	-	-	-
	4	0.44100	-	-	-	-
	5	0.28907	0.21020	-	-	-
	6	0.35617	0.15999	-	-	-
	7	0.30245	0.16451	-	-	-
	8	0.28677	0.19220	-	-	-
	9	0.26482	0.18767	-	-	-
	10	0.27928	0.15112	-	-	-
SM.2	1	-	-	-	-	-
	2	0.64802	-0.26814	-	-	-
	3	0.46700	-	-	-	-
	4	0.44000	-	-	-	-
	5	0.49900	-	-	-	-
	6	0.43900	-	-	-	-
	7	0.29916	0.27035	-	-	-
	8	0.44200	-	-	-	-
S.4B	1	-	-	-	-	-
	2	0.56421	-0.21336	-	-	-
SM.1	1	-	-	-	-	-

ตาราง ง-7 ค่าพารามิเตอร์ของอนุกรมเวลาแบบ Autoregressive จากค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์
ที่ได้จากแบบจำลอง BPNN ของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ กรณีที่ 2

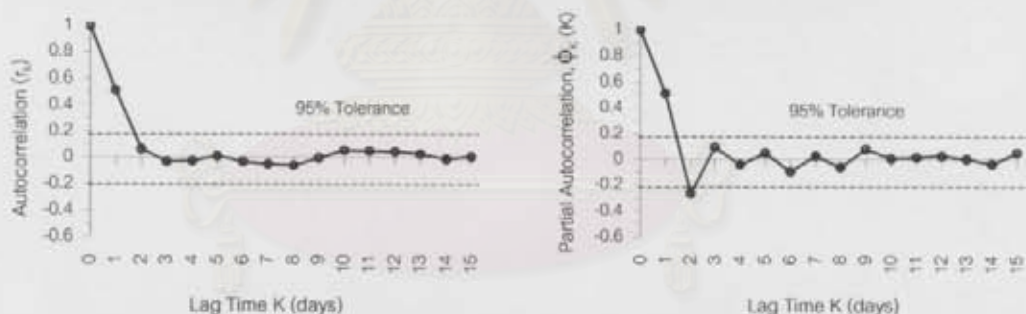
สถานี	จำนวนวันพยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน)	AR(p)				
		p=1	p=2	p=3	p=4	p=5
Dam.	1	0.20443	0.13375	-	-	-
	2	0.83061	-0.45084	0.27042	-0.18493	0.22970
	3	0.54297	0.00024	-0.13096	0.18586	-
	4	0.48900	-	-	-	-
	5	0.55600	-	-	-	-
	6	0.48700	-	-	-	-
	7	0.40738	0.15305	-	-	-
	8	0.37109	0.14495	-	-	-
	9	0.35256	0.16257	-	-	-
	10	0.33970	0.16740	-	-	-
	11	0.33975	0.17934	-	-	-
	12	0.41100	-	-	-	-
	13	0.31598	0.17498	-	-	-
SM.3	1	0.07889	-0.02207	0.19478	-	-
	2	0.48700	-	-	-	-
	3	0.59594	-0.15476	-0.02853	0.16475	-
	4	0.36026	0.12557	-	-	-
	5	0.39900	-	-	-	-
	6	0.22342	0.26508	-	-	-
	7	0.36800	-	-	-	-
	8	0.21519	0.27787	-	-	-
	9	0.23199	0.10368	0.14664	-	-
	10	0.30808	0.15824	-	-	-
SM.2	1	-	-	-	-	-
	2	0.65019	-0.26990	-	-	-
	3	0.41700	-	-	-	-
	4	0.43400	-	-	-	-
	5	0.43200	-	-	-	-
	6	0.23495	0.27035	-	-	-
	7	0.49600	-	-	-	-
	8	0.28300	0.22215	-0.07229	-0.04138	0.16050
S.4B	1	-	-	-	-	-
	2	0.75800	-0.48917	0.27900	-	-
SM.1	1	-	-	-	-	-



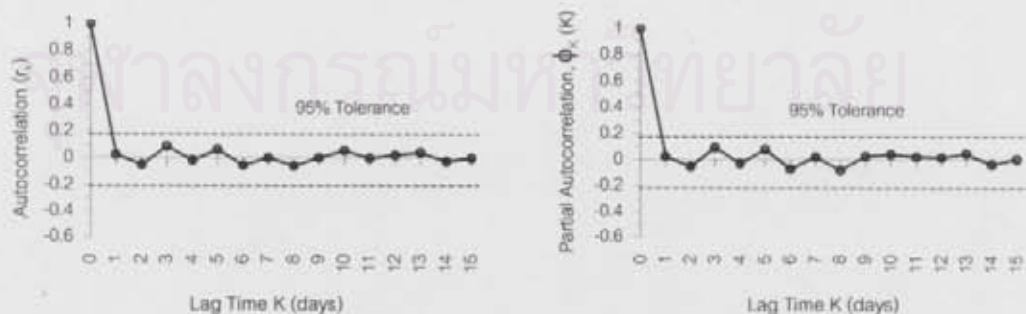
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QS.4B_{1,2})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QS.4B_{1,2}) + AR(2)

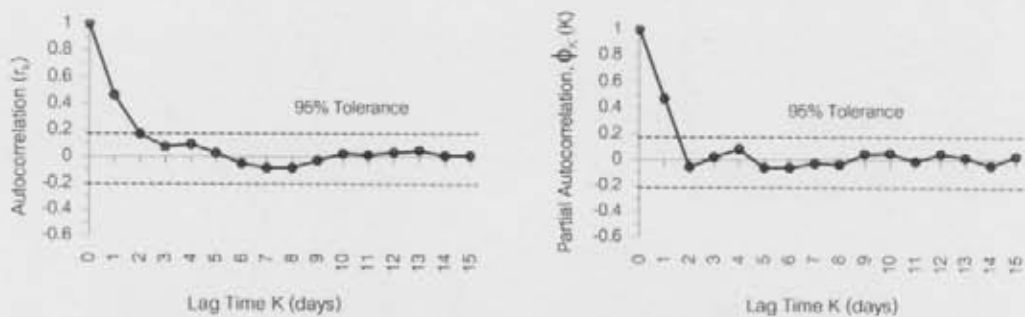


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2_{1,2})

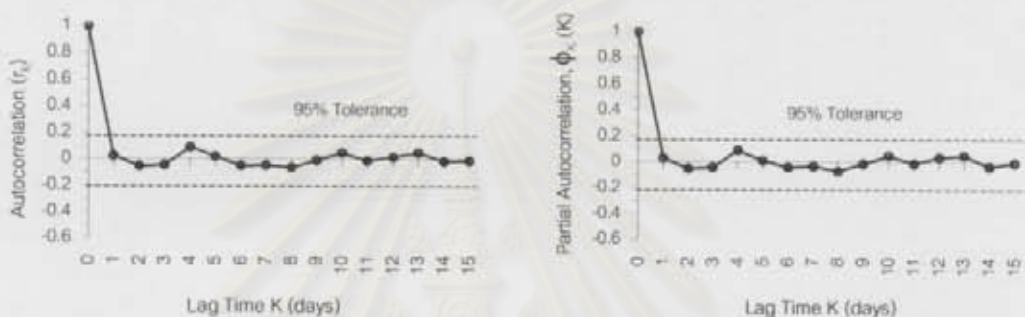


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2_{1,2}) + AR(2)

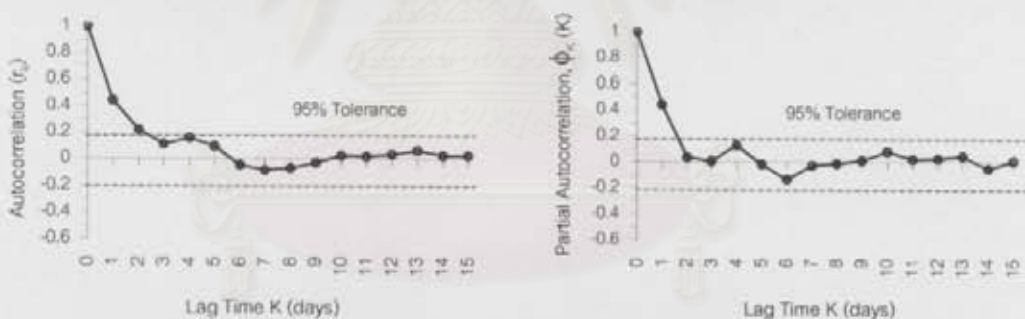
รูป 3- การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า S.4B และ SM.2 กรณีที่ 1



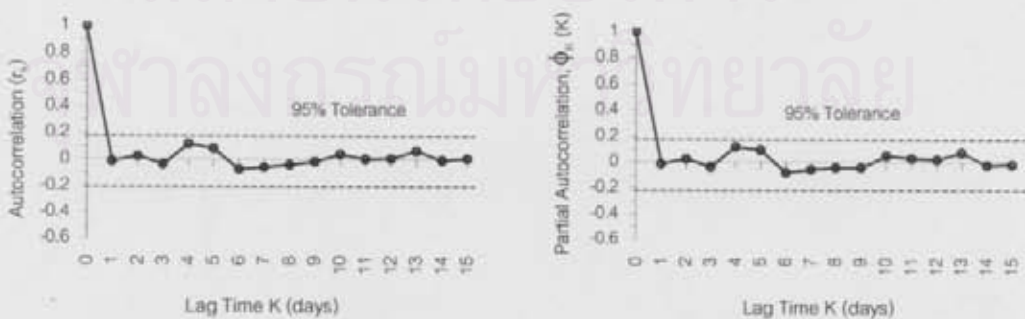
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,1)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,1) + AR(1)

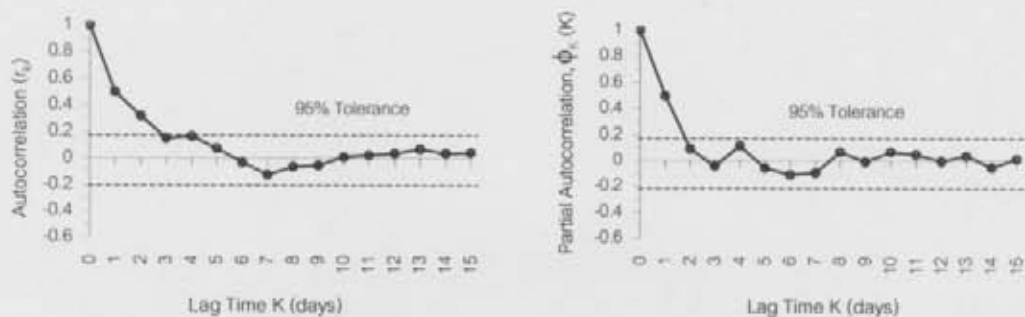


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,1)

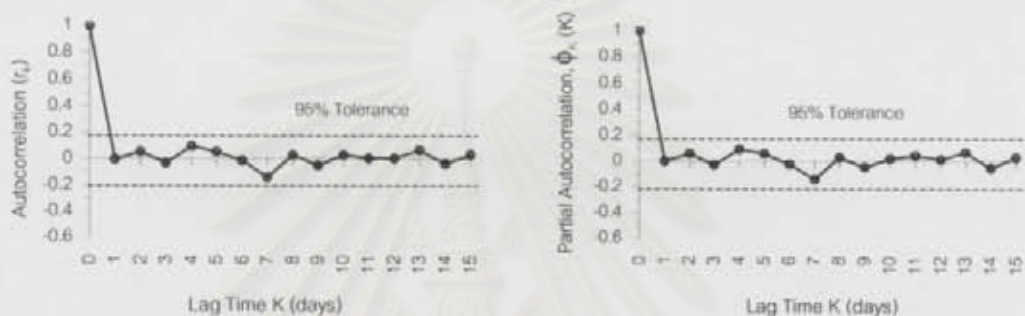


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,1) + AR(1)

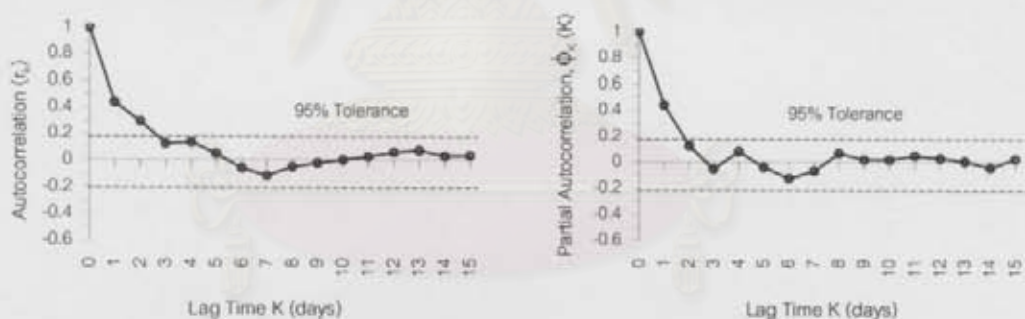
รูป ง-4 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 และ 4 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.2 กรณีที่ 1



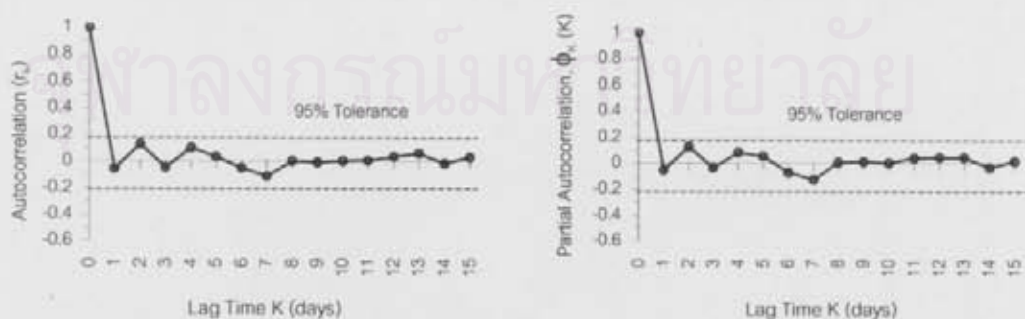
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁₀)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁₀) + AR(1)

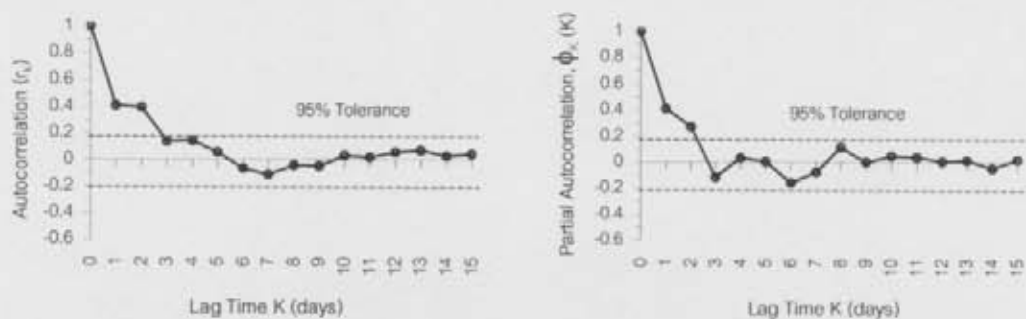
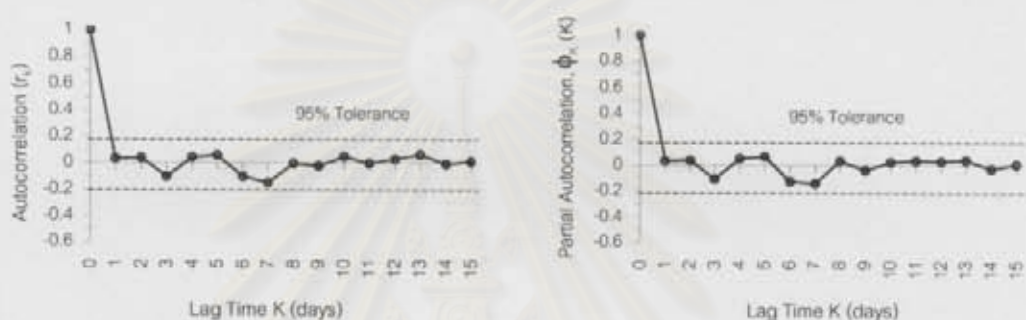
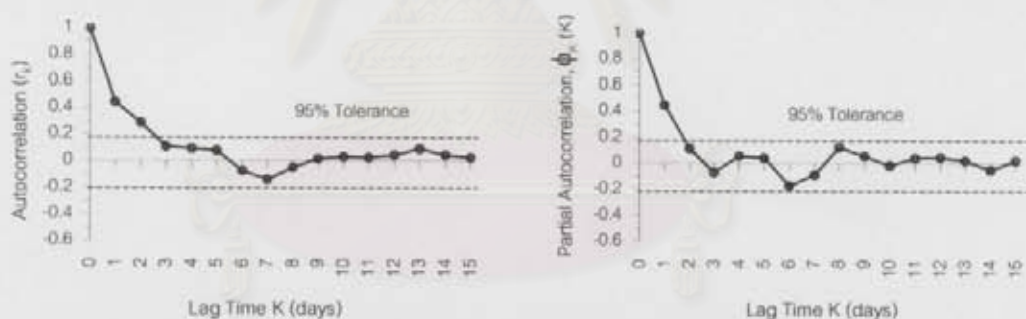
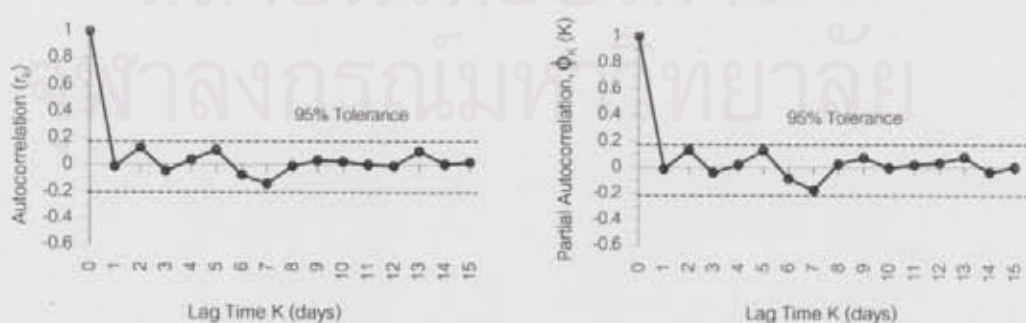


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁₀)

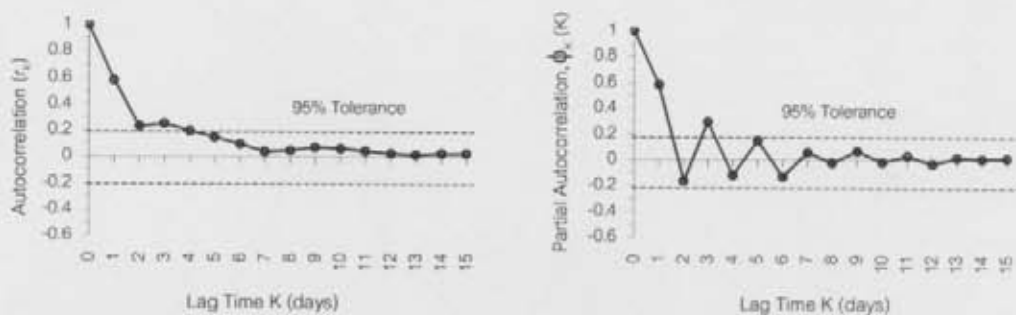


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁₀) + AR(1)

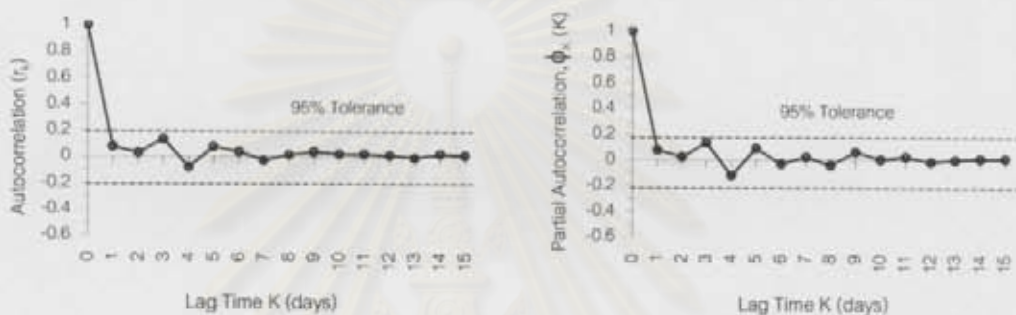
รูป ๕-5 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 และ 6 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.2 กรณีที่ 1

(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QSM.2_{i,j}$)(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QSM.2_{i,j}$) + AR(2)(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QSM.2_{i,m}$)(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QSM.2_{i,m}$) + AR(2)

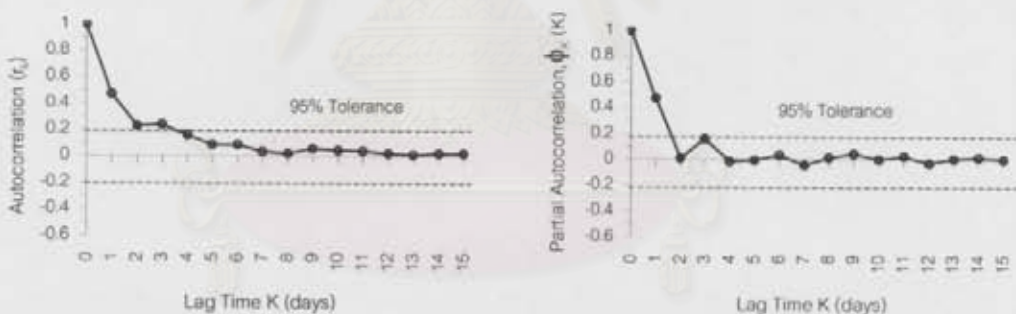
รูป ง-6 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 7 และ 8 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.2 กรณีที่ 1



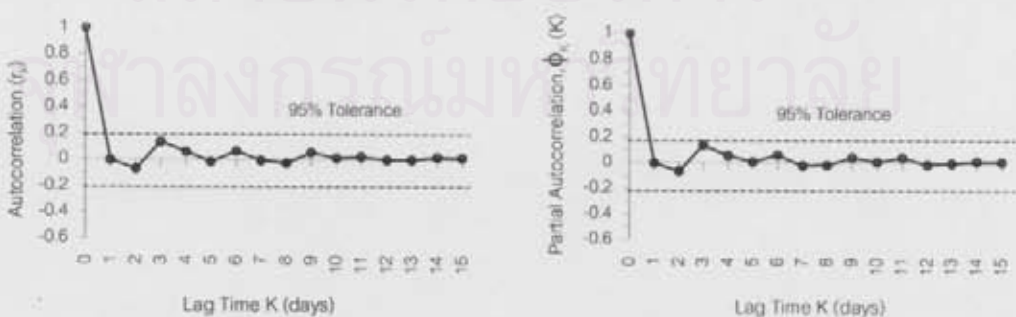
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,2)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,2) + AR(3)

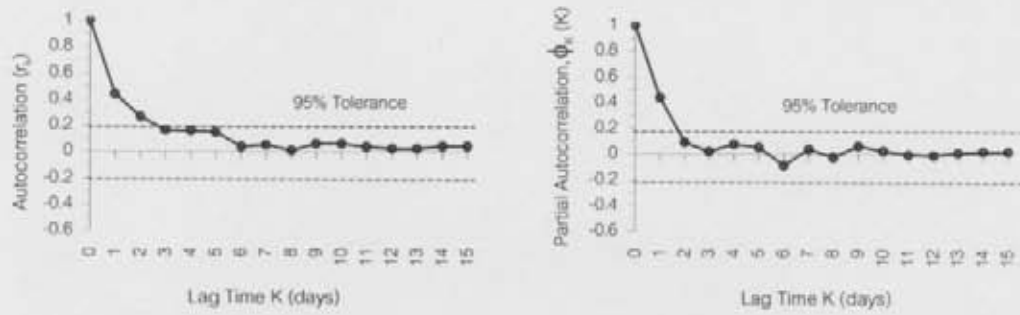


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,3)

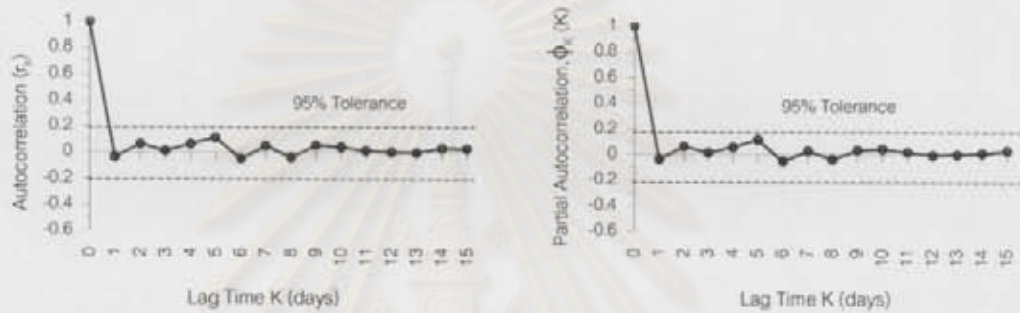


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,3) + AR(1)

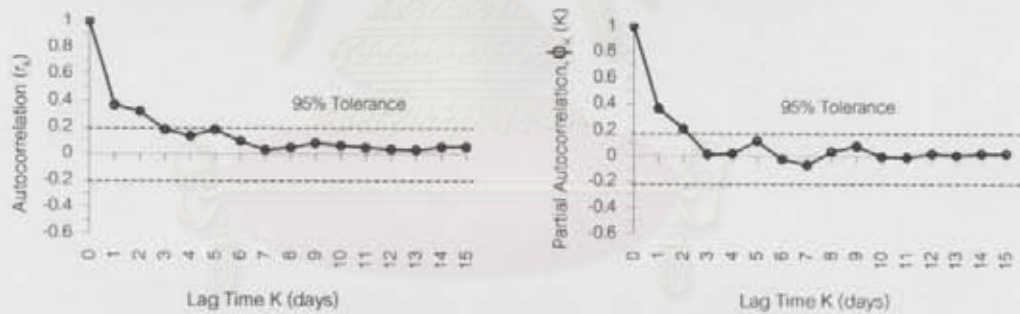
รูป ๖-7 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 และ 3 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 1



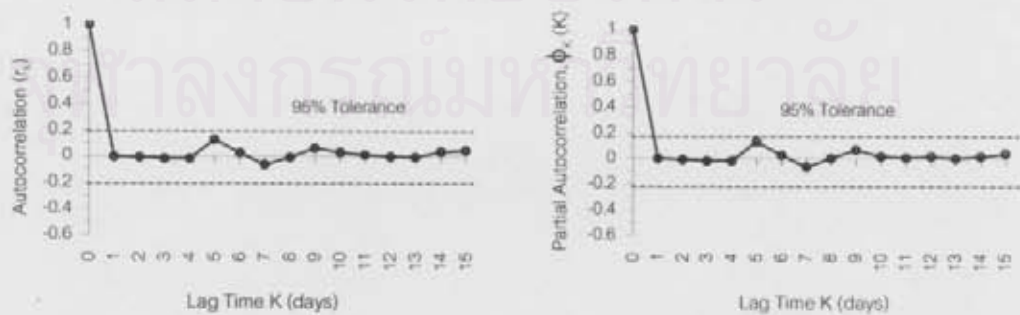
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁) + AR(1)

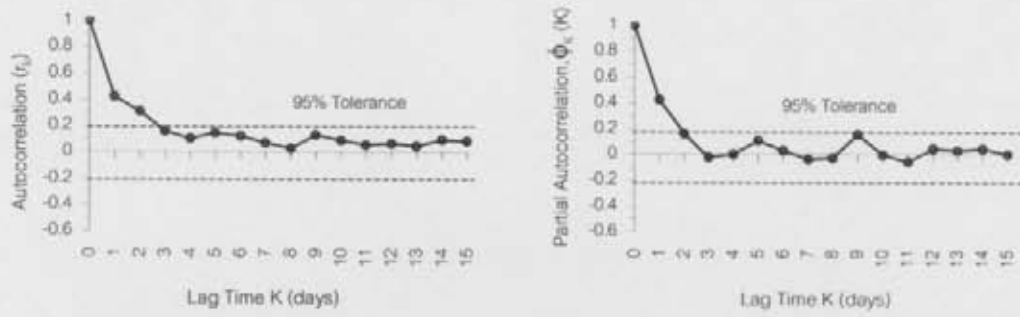


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁)

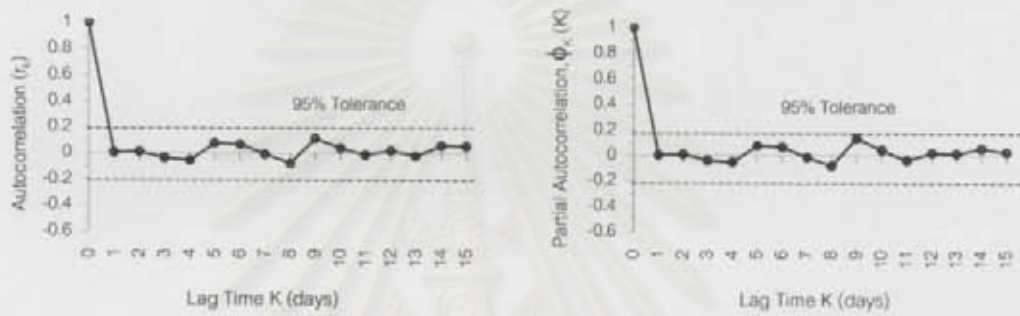


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁) + AR(2)

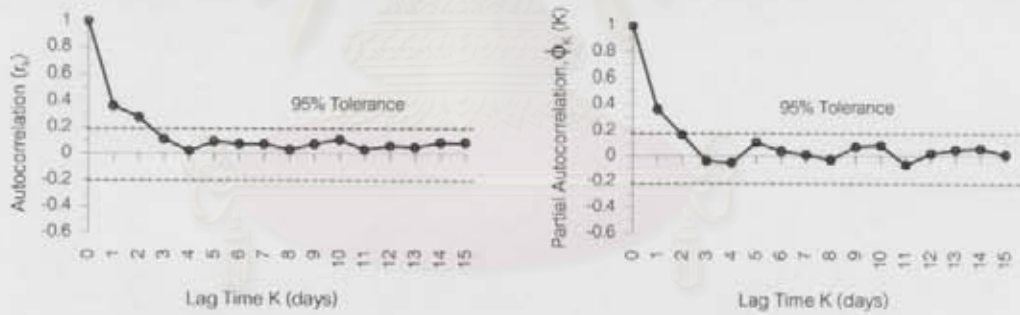
รูป 8- การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 และ 5 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 1



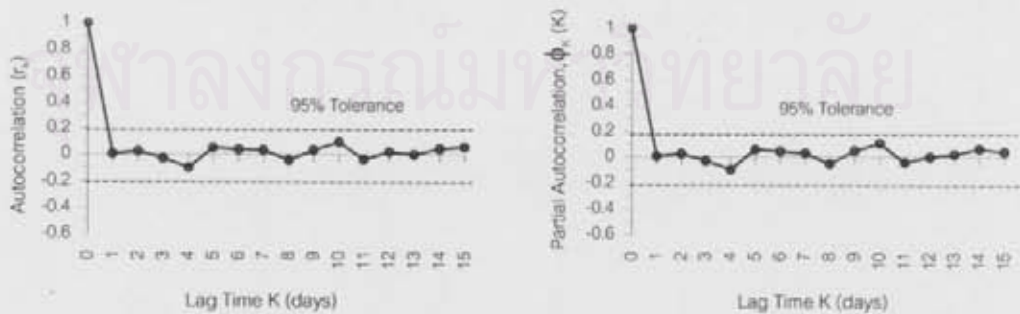
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₆)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₆) + AR(2)

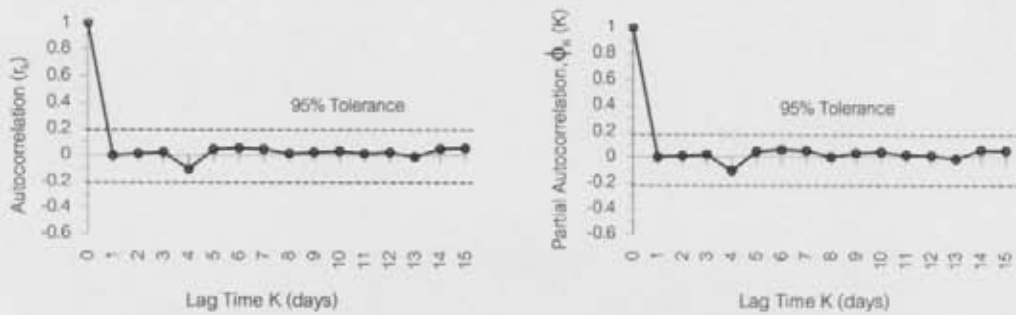


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₇)

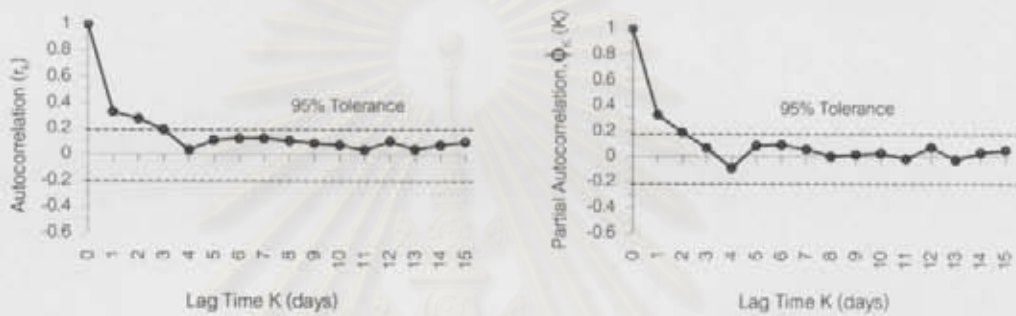


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₇) + AR(2)

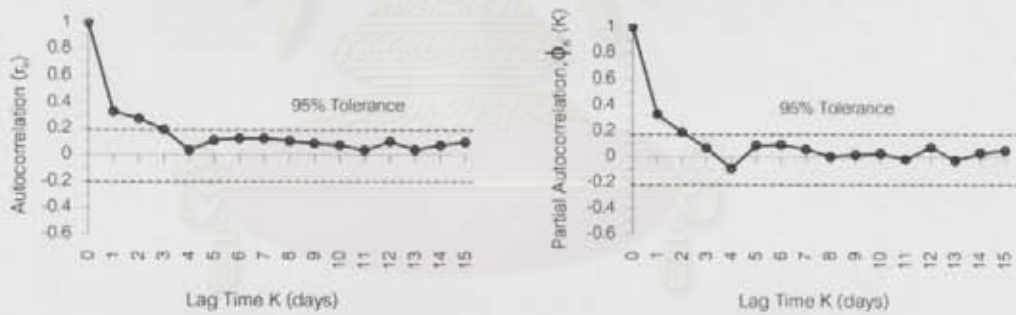
รูป 4-9 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 6 และ 7 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 1



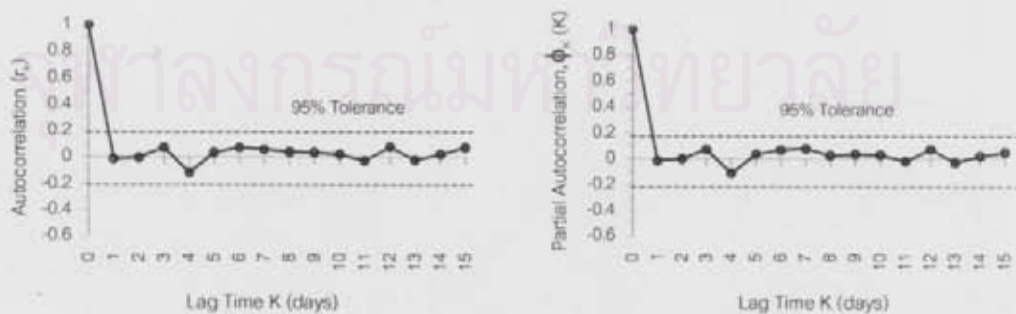
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁₀)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁₀) + AR(2)

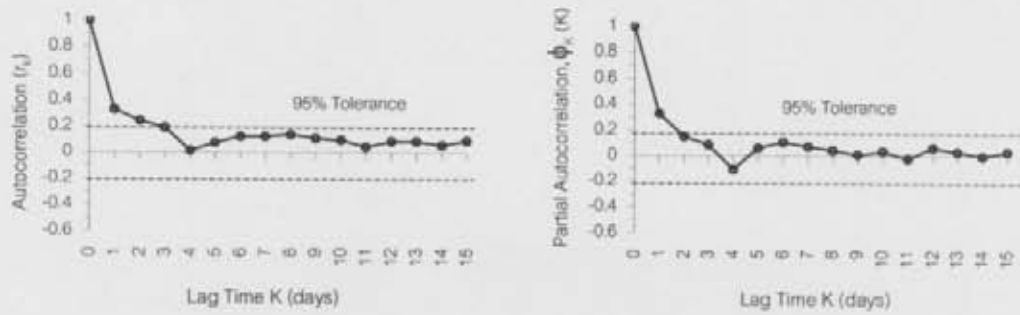


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁₀)

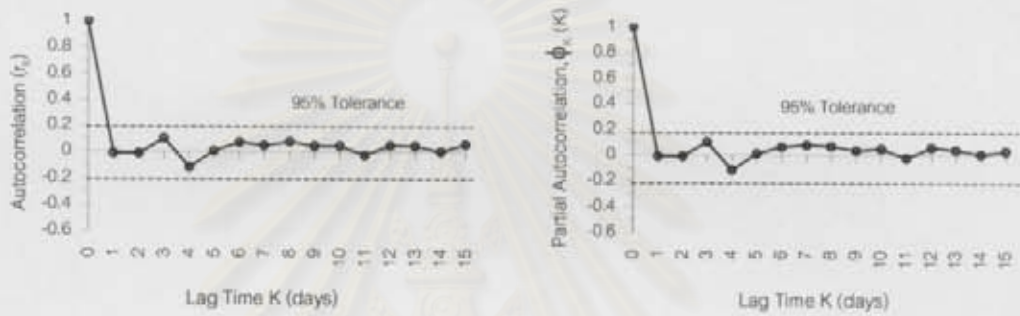


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁₀) + AR(2)

รูป ง-10 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 8 และ 9 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 1



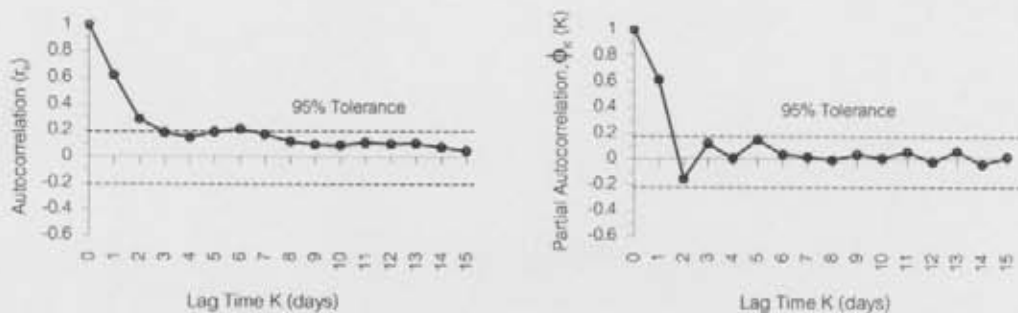
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3₁₀)



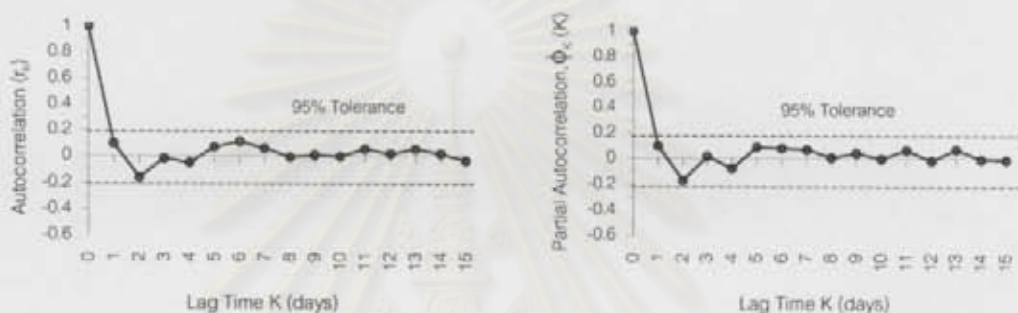
(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3₁₀) + AR(2)

รูป-ง-11 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 10 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 1

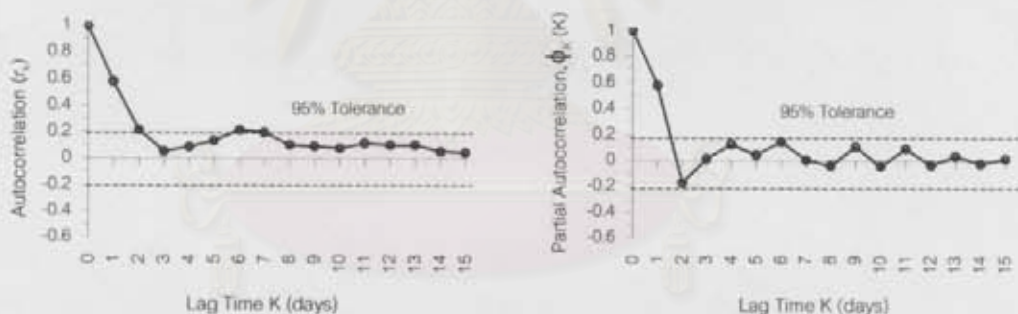
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



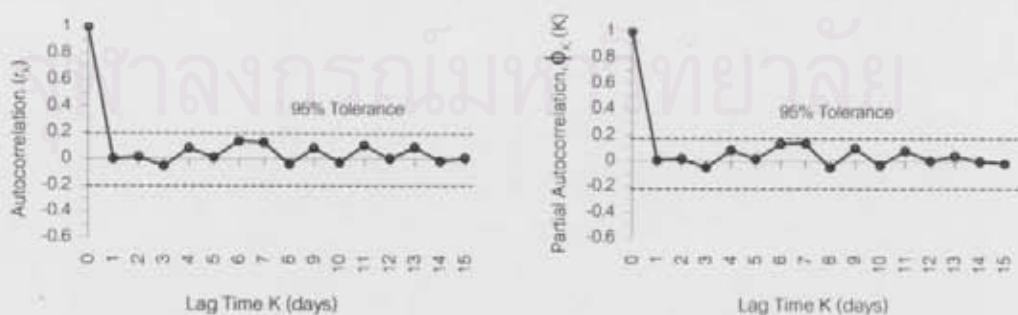
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,2})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,2}) + AR(1)

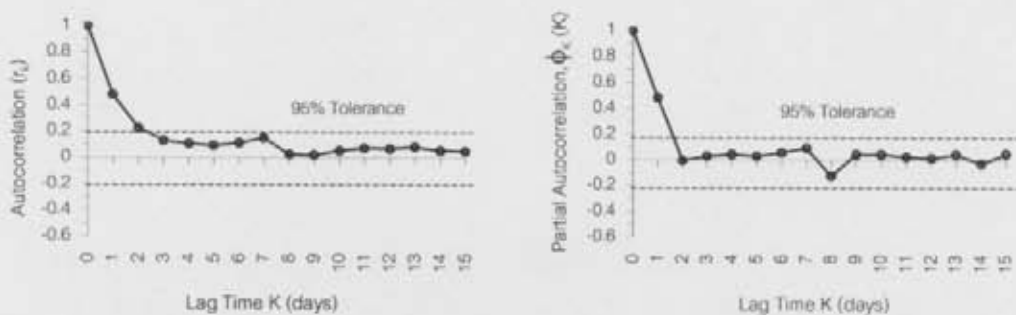
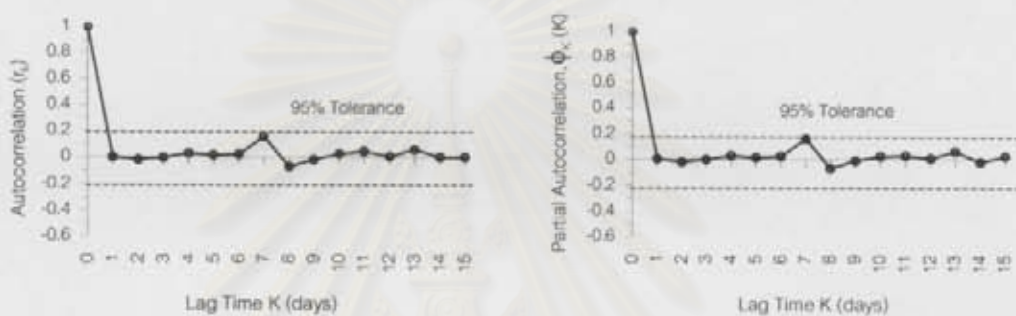
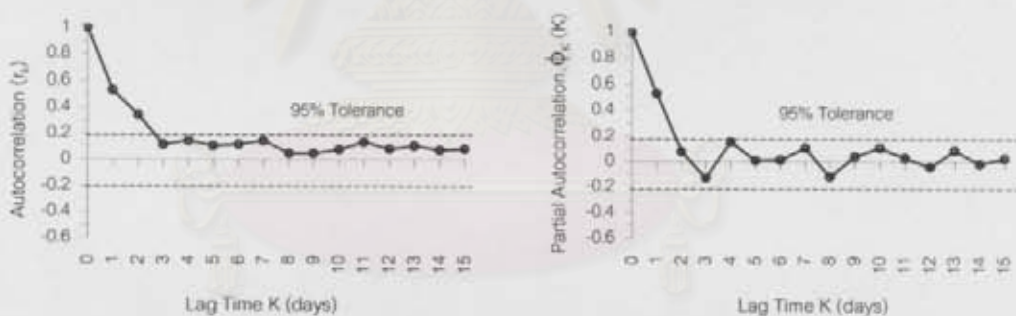
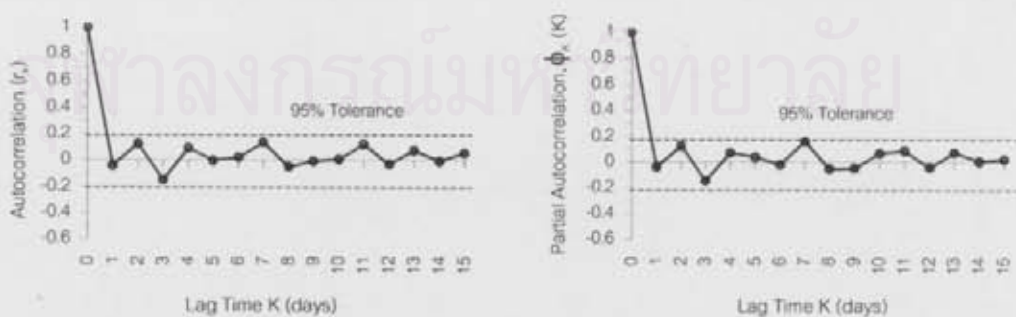


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,3})

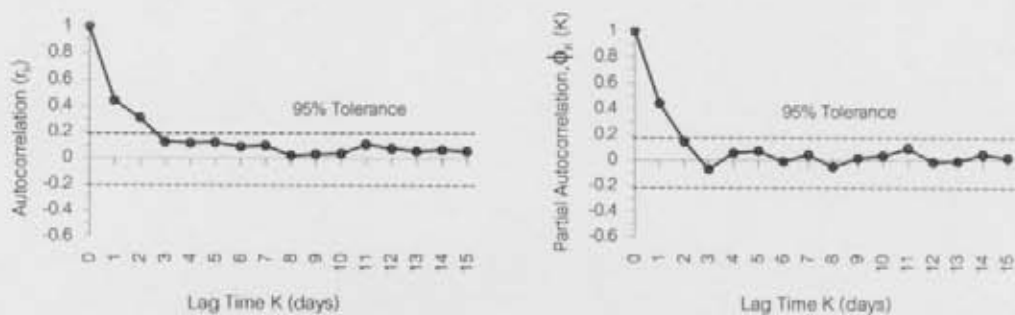


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,3}) + AR(2)

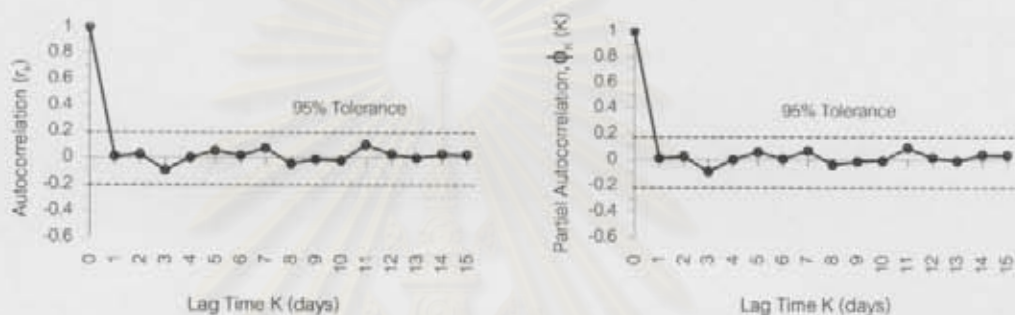
รูป 4-12 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 และ 3 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 1

(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,d})(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,d}) + AR(1)(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{3,d})(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{3,d}) + AR(1)

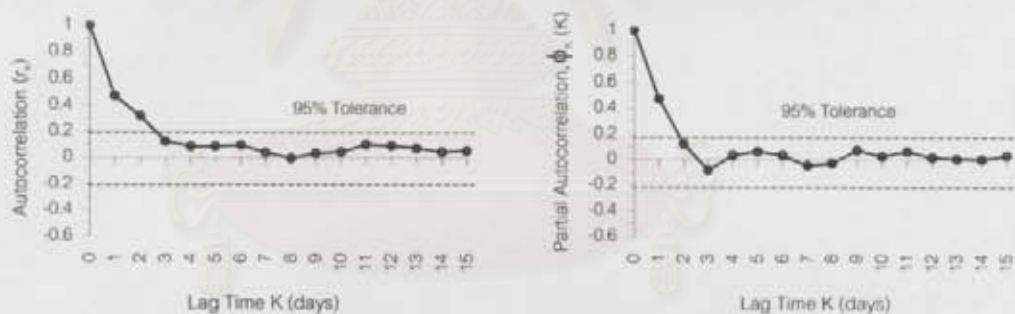
รูป จ-13 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 และ 5 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 1



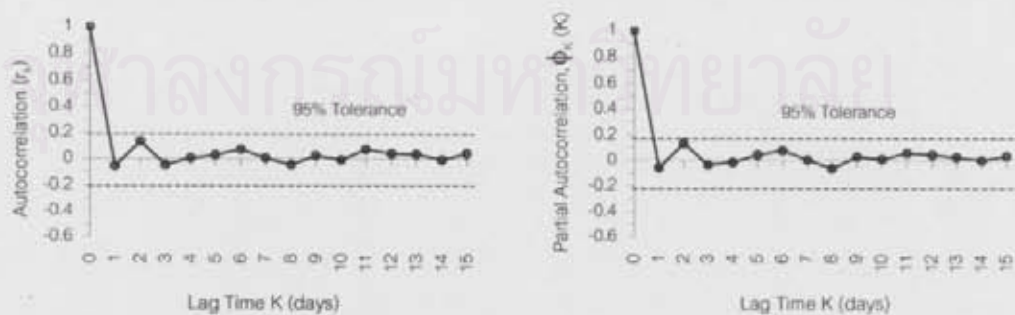
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t,d})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t,d}) + AR(2)

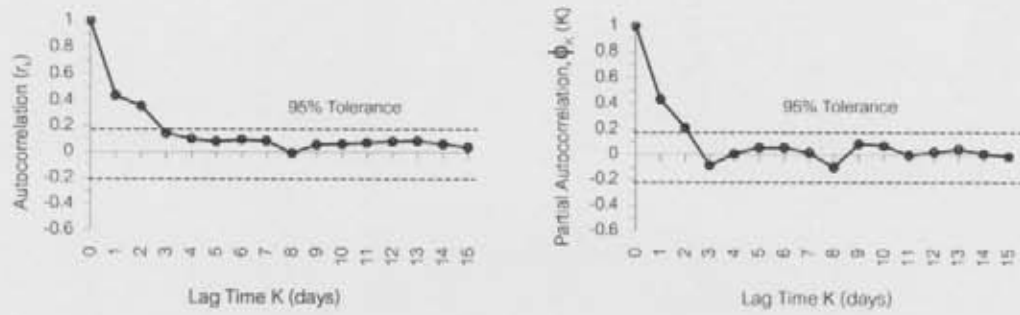


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t,d})

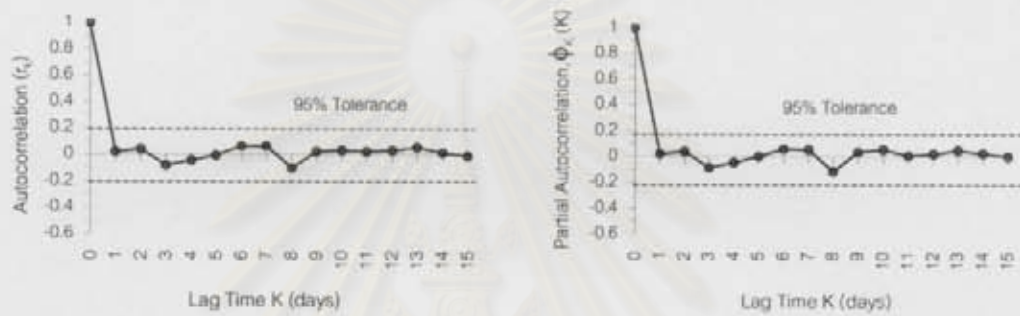


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t,d}) + AR(1)

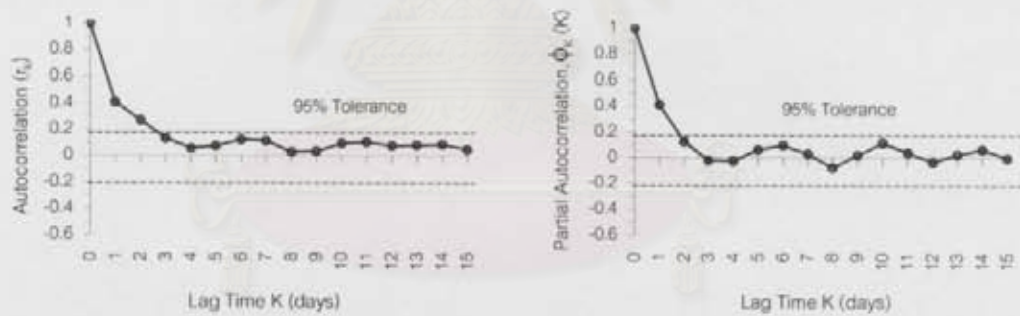
รูป ง-14 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 6 และ 7 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 1



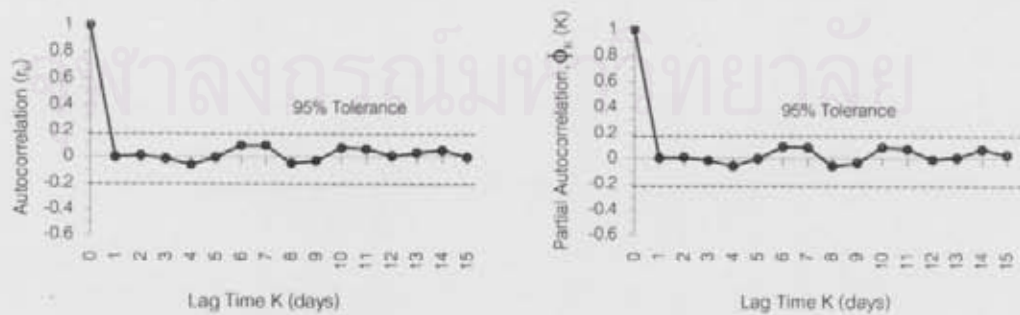
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,9})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,9}) + AR(2)

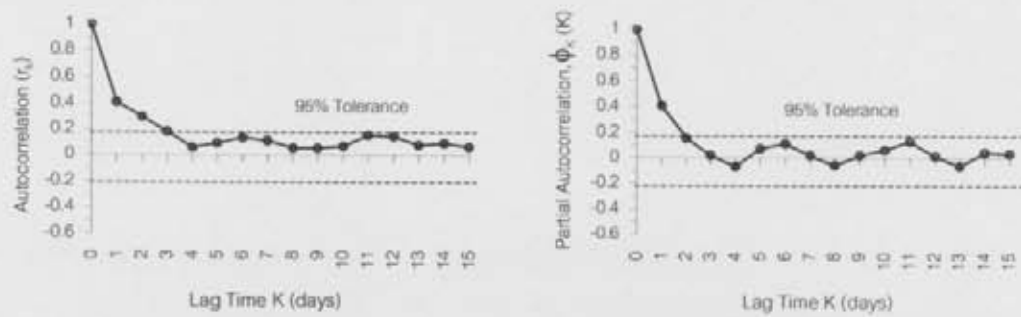


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,9})

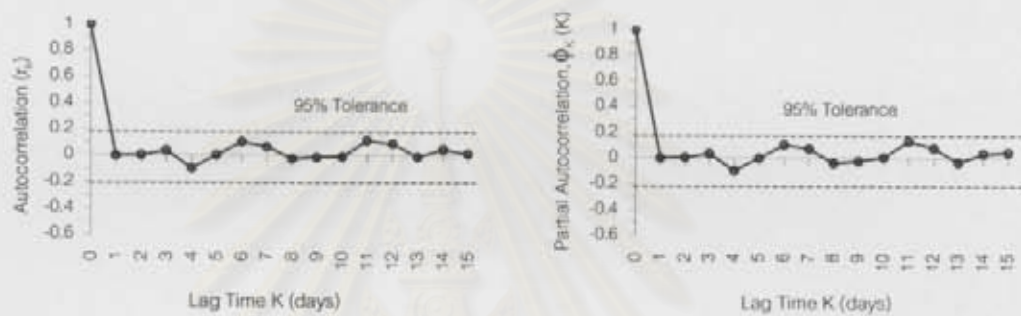


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,9}) + AR(1)

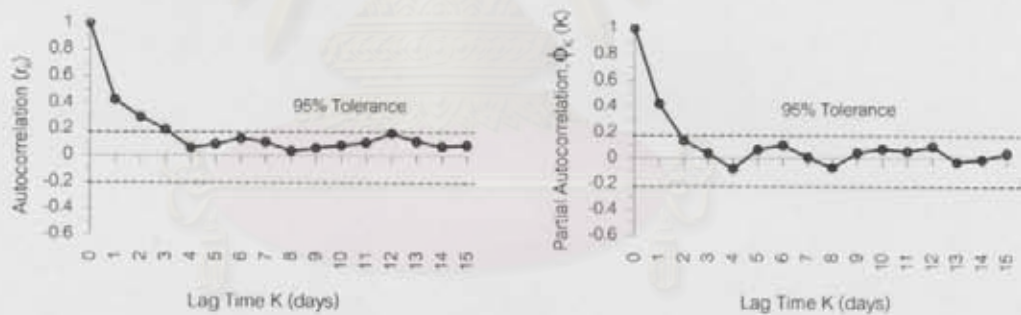
รูป ง-15 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 8 และ 9 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 1



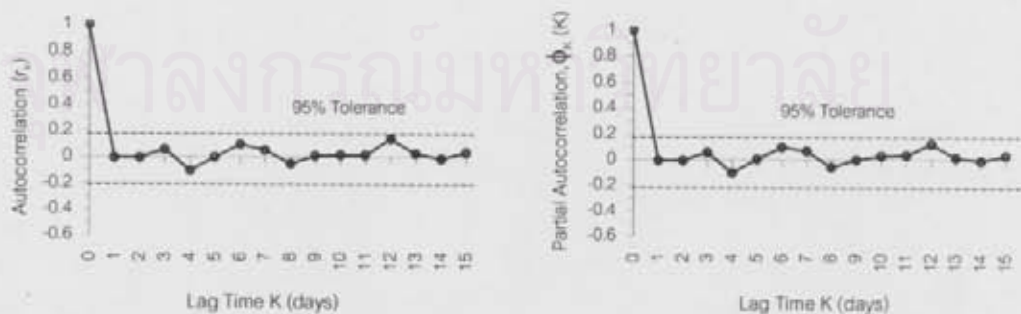
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{10,10})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{10,10}) + AR(2)

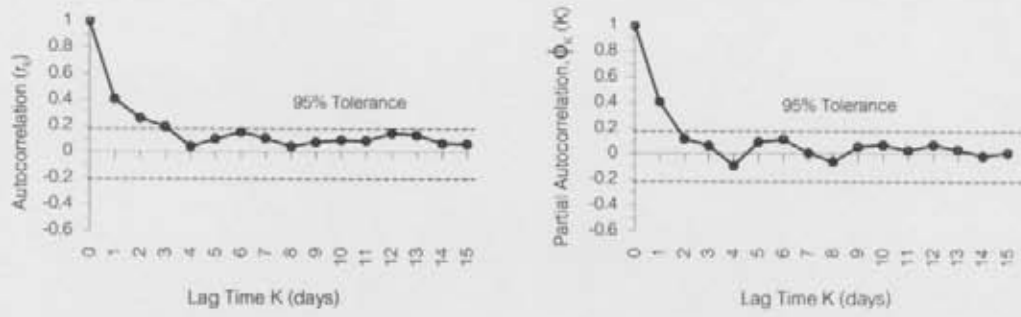


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{11,11})

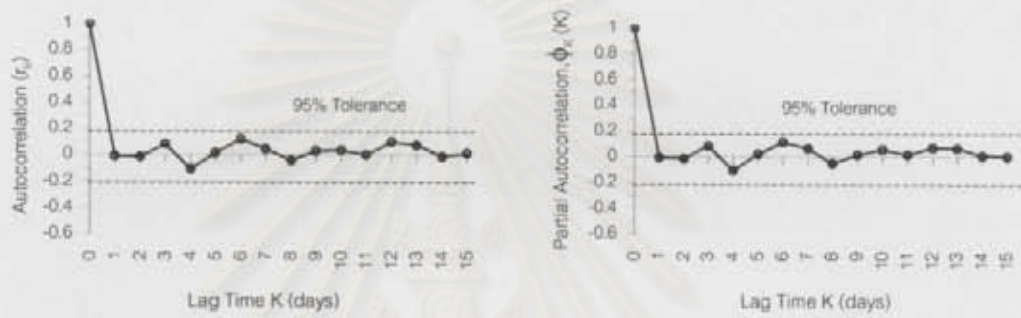


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{11,11}) + AR(2)

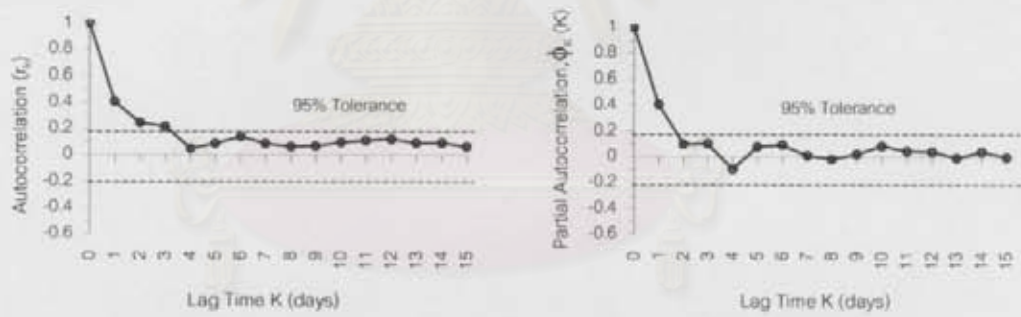
รูป ง-16 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 10 และ 11 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 1



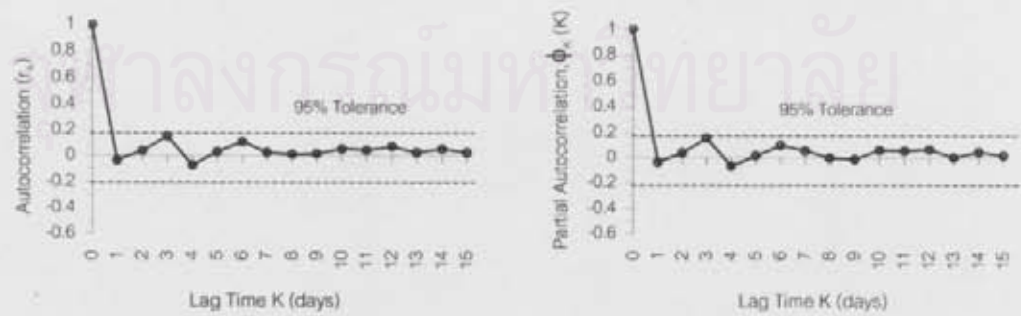
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,12})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,12}) + AR(2)

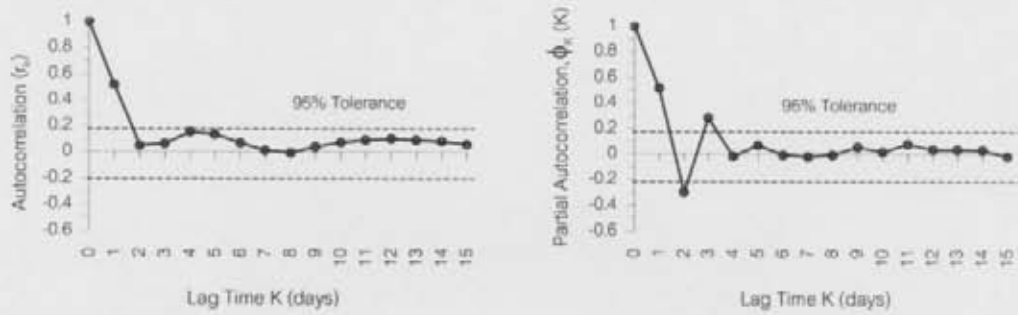


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,13})

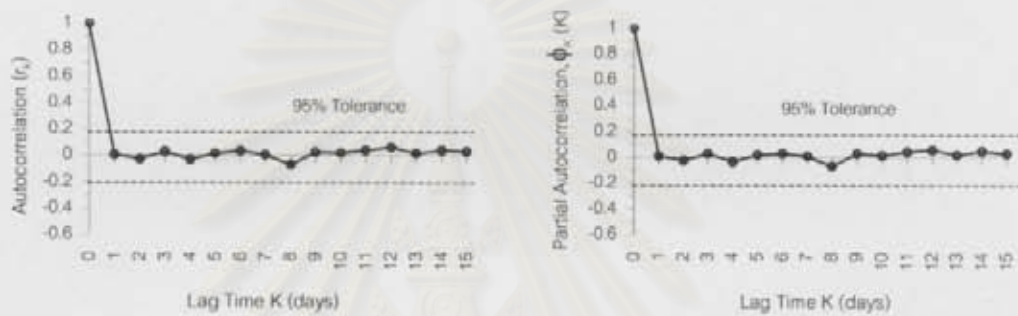


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{1,13}) + AR(1)

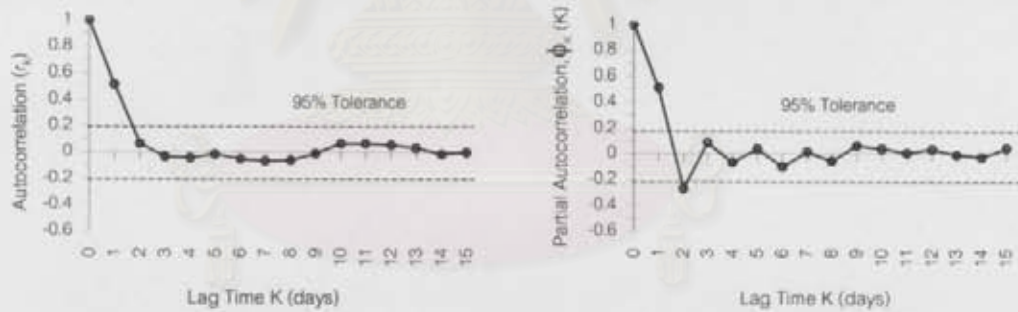
รูป ๑-17 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 12 และ 13 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 1



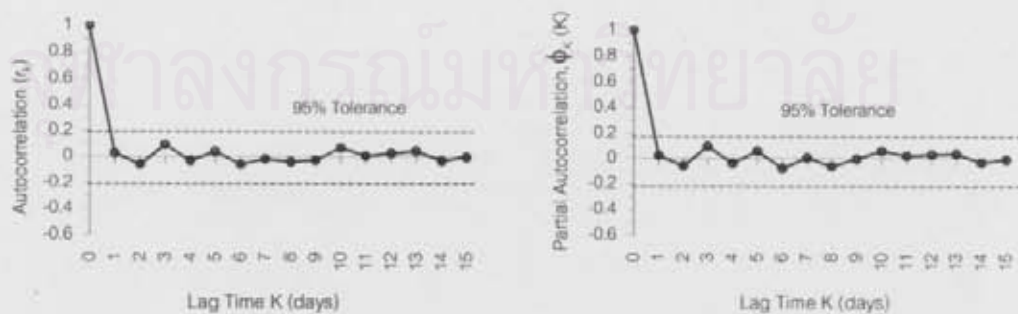
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QS.4B_{1,2})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QS.4B_{1,2}) + AR(3)

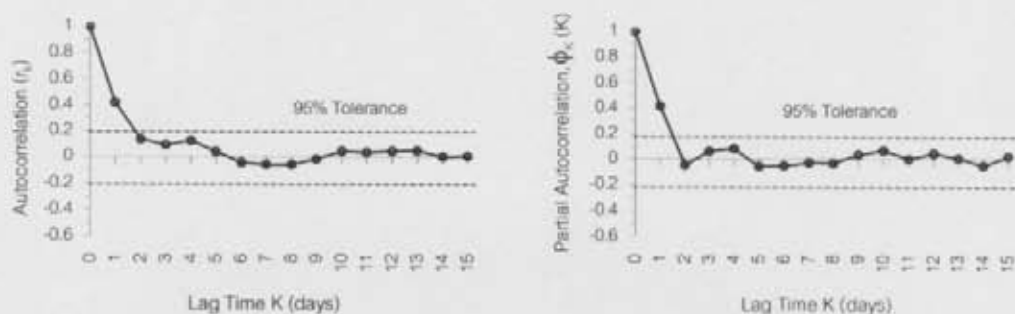


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2_{1,2})

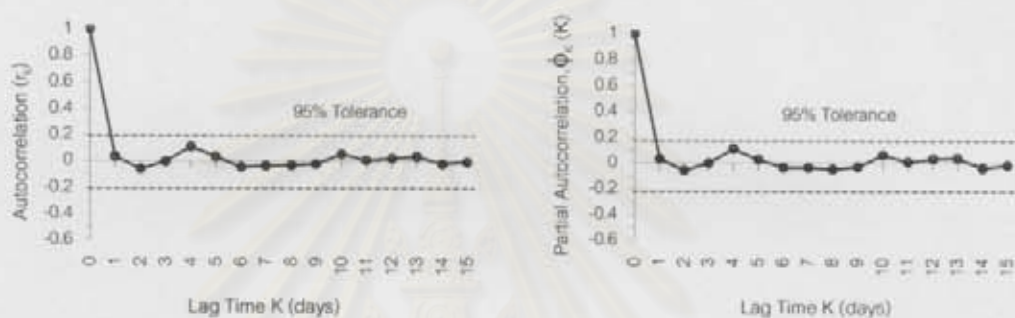


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2_{1,2}) + AR(2)

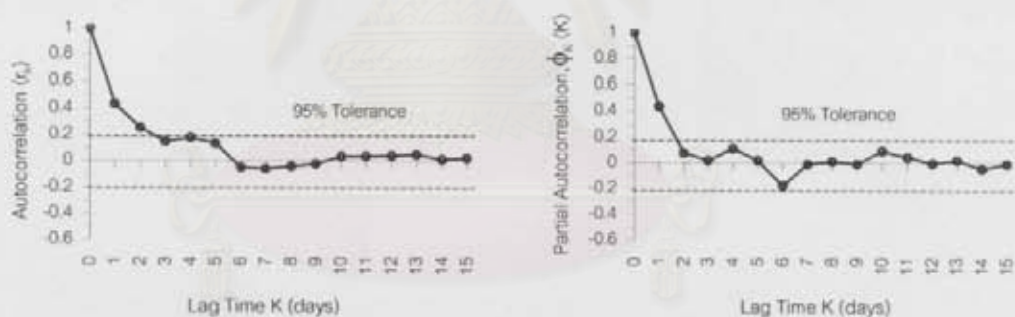
รูป ง-18 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า S.4B และ SM.2 กรณีที่ 2



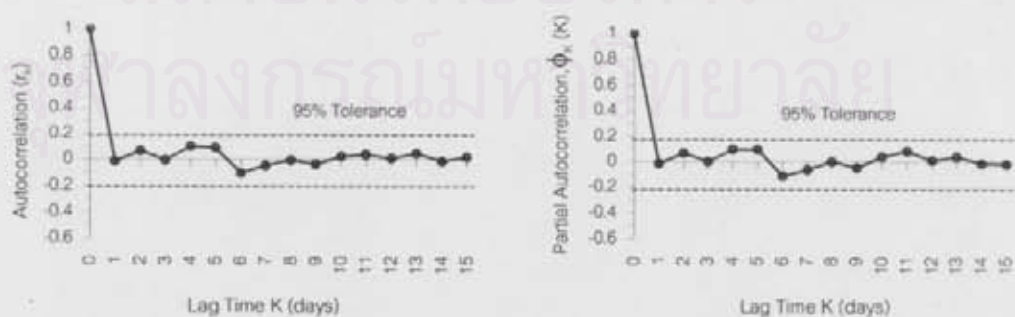
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁) + AR(1)

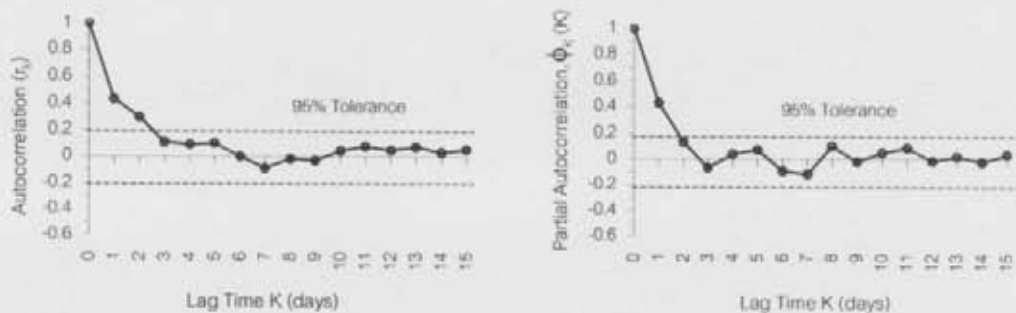


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁)

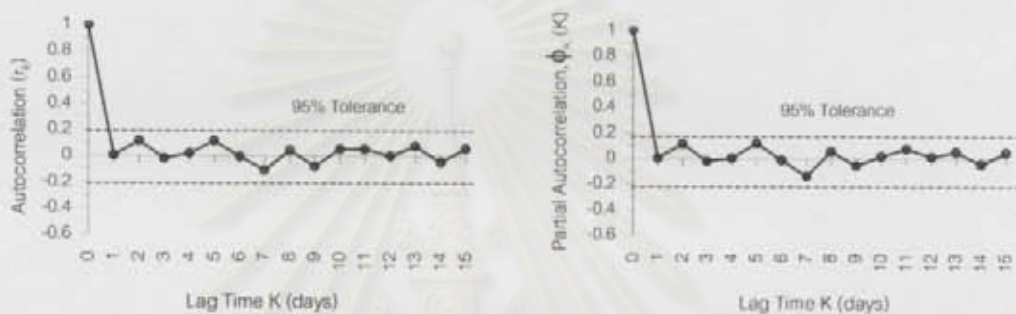


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₁) + AR(1)

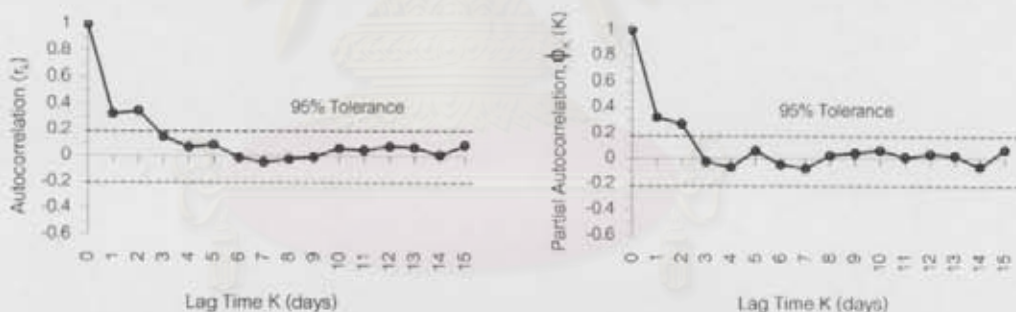
รูป ๑-19 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 และ 4 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.2 กรณีที่ 2



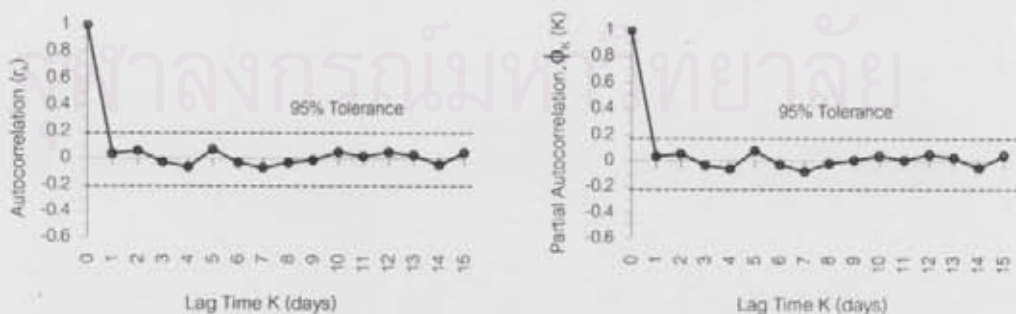
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₆)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₆) + AR(1)

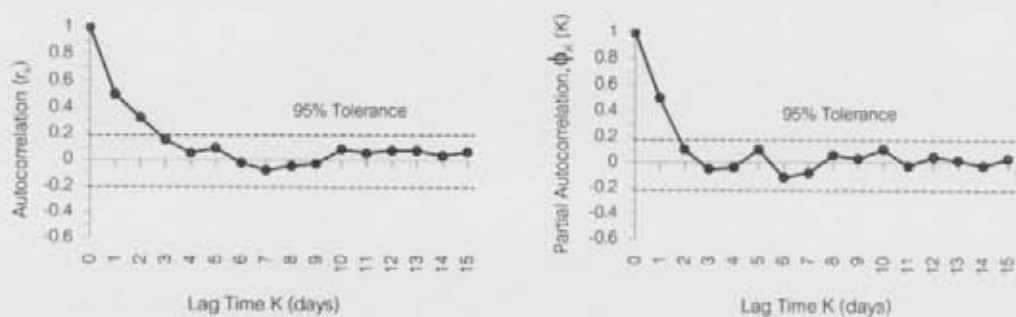


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₆)

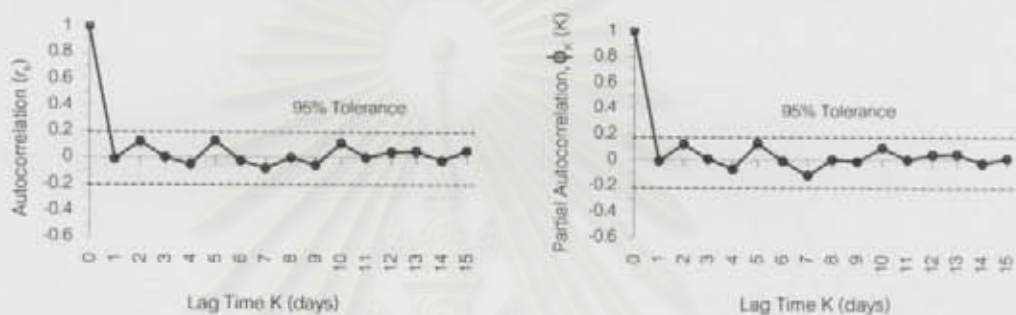


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,₆) + AR(2)

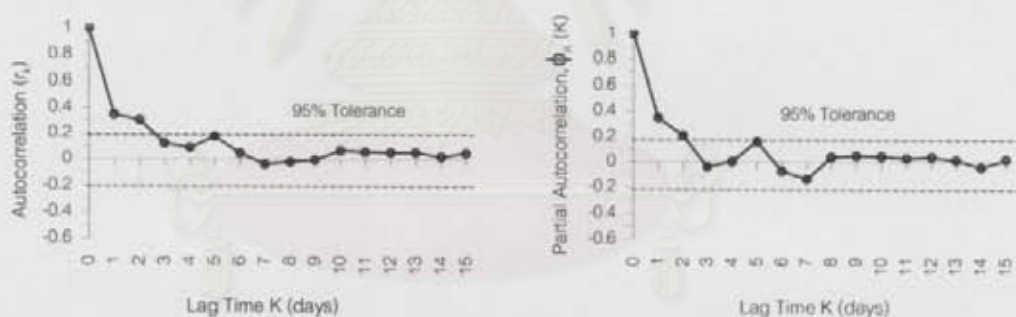
รูป ง-20 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 และ 6 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.2 กรณีที่ 2



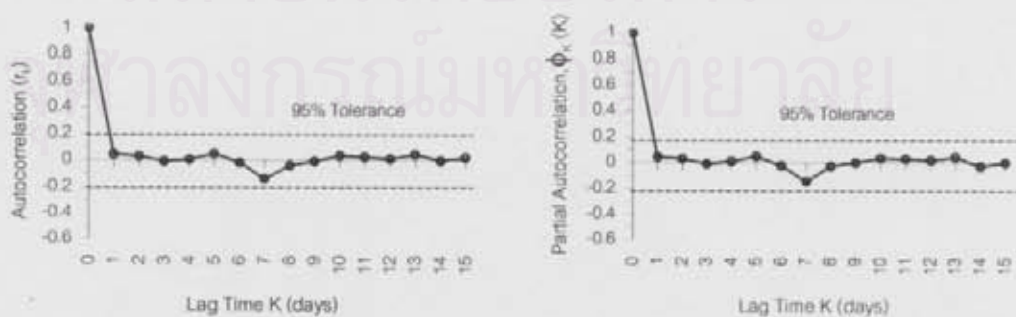
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,_{1,1})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,_{1,1}) + AR(1)

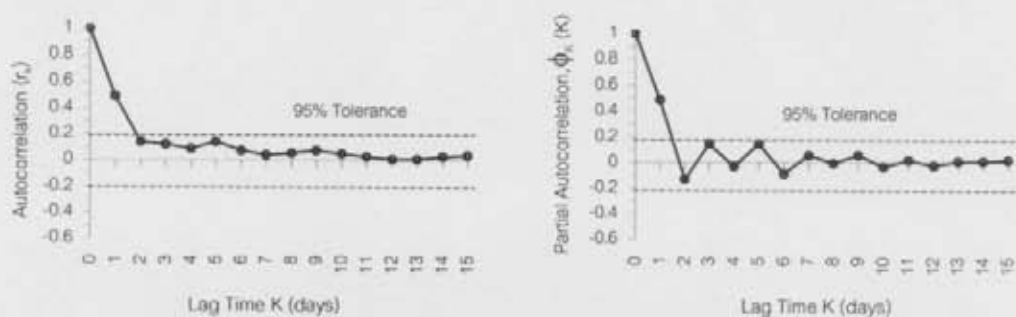


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,_{1,2})

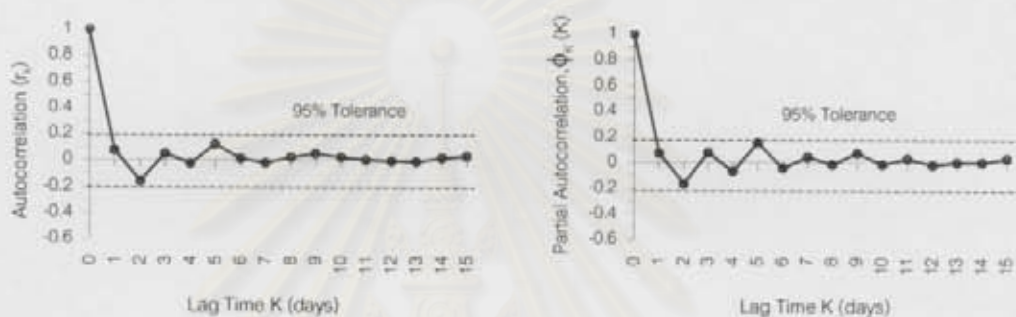


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.2,_{1,2}) + AR(5)

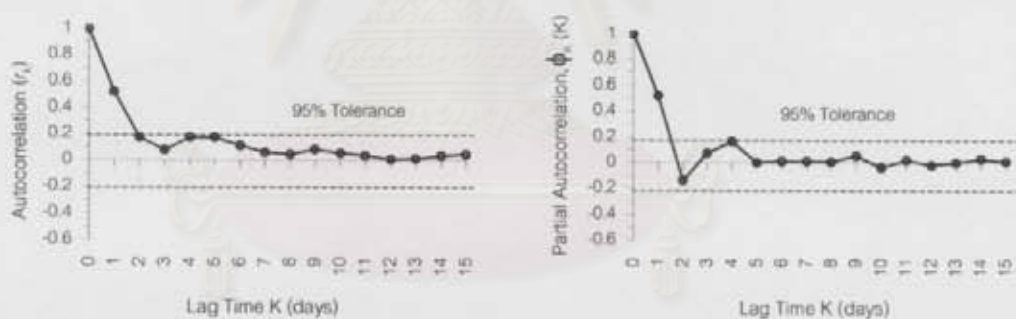
รูป ง-21 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 7 และ 8 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.2 กรณีที่ 2



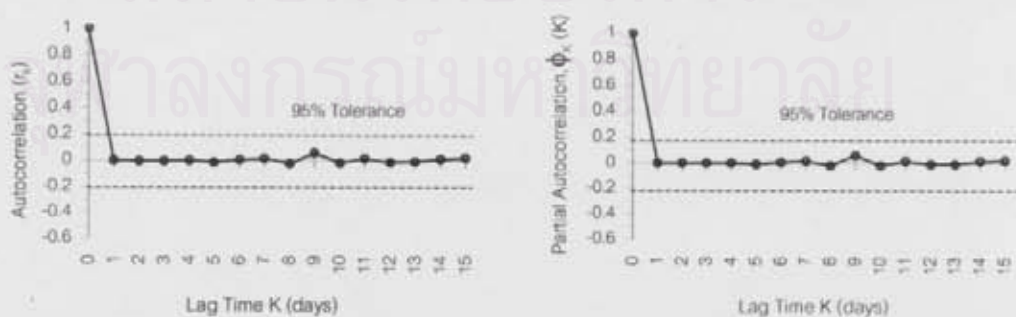
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₂)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₂) + AR(1)

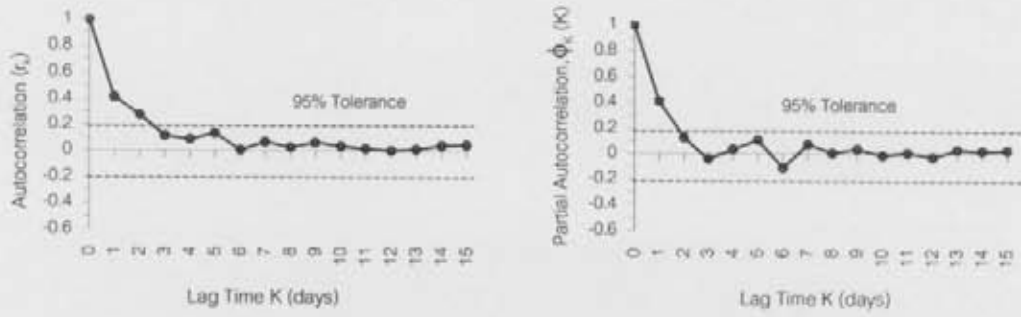


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₂)

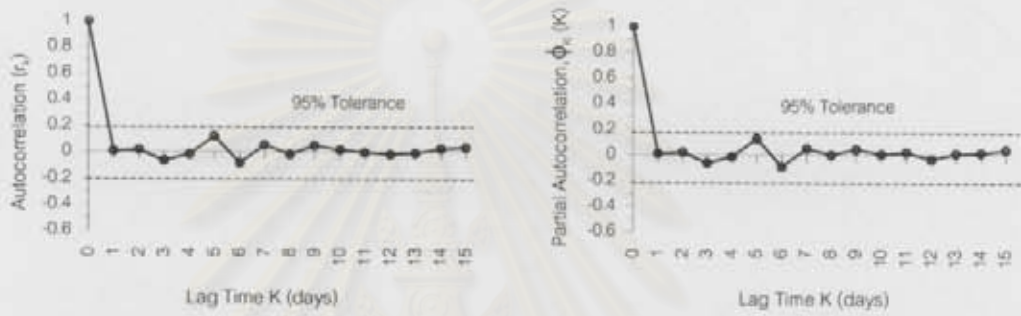


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₂) + AR(4)

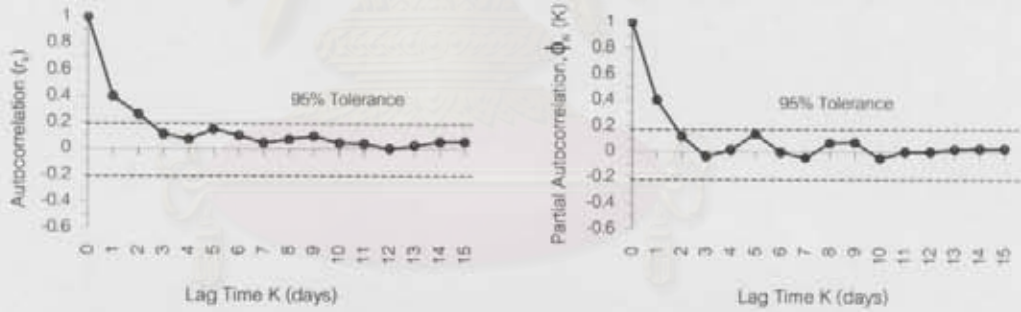
รูป ง-22 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 และ 3 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 2



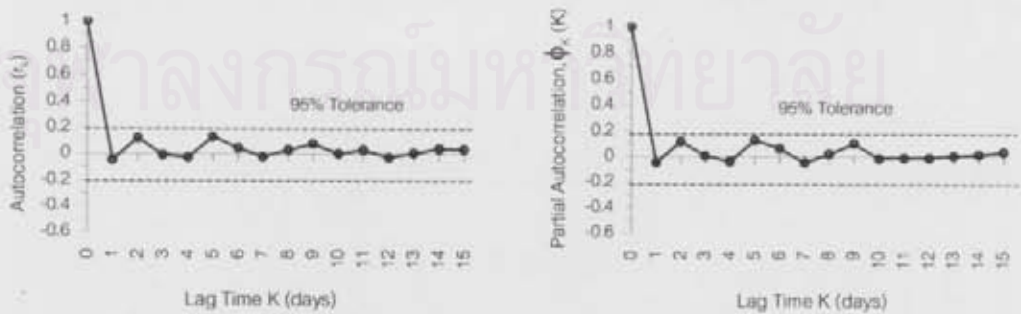
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,4)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,4) + AR(2)

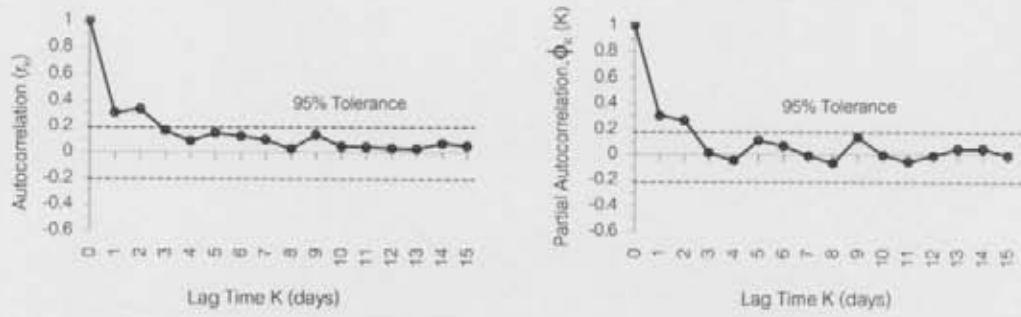


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,5)

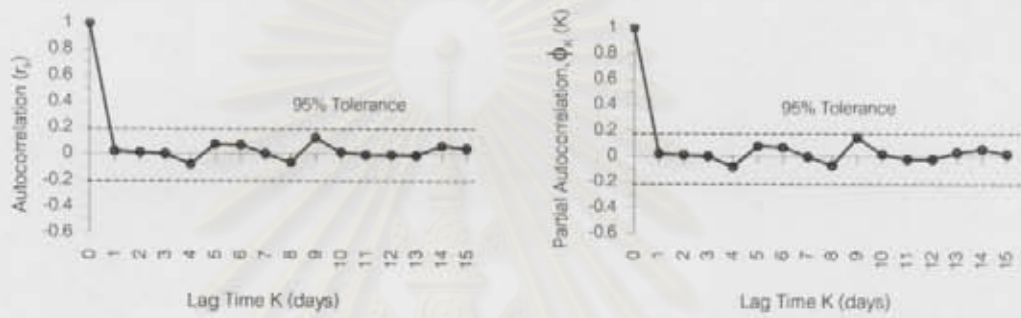


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,5) + AR(1)

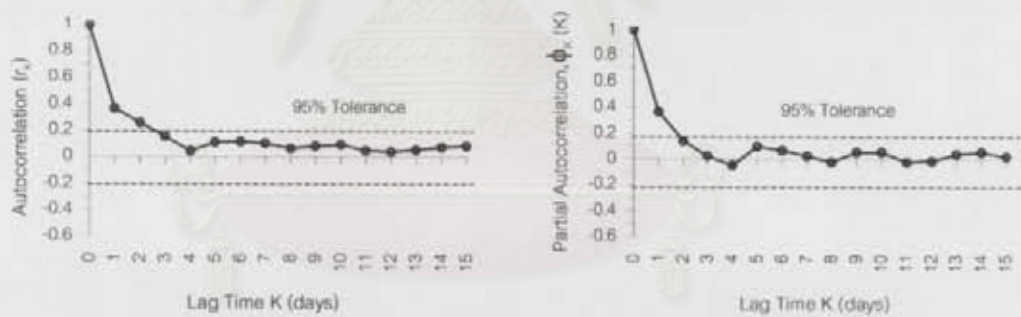
รูป ง-23 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 และ 5 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 2



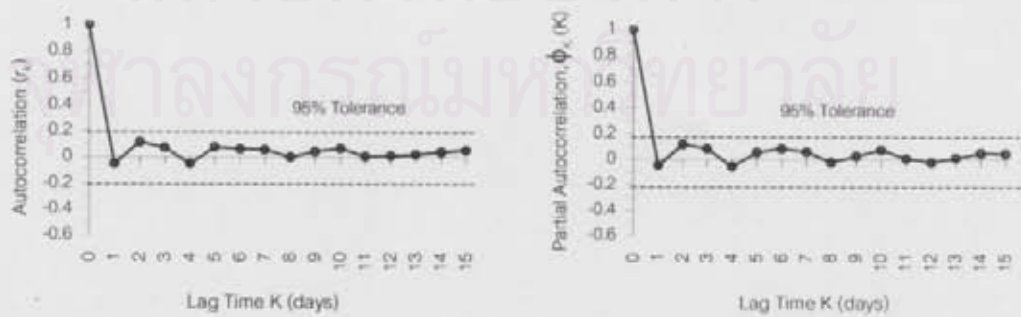
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3₆)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3₆) + AR(2)

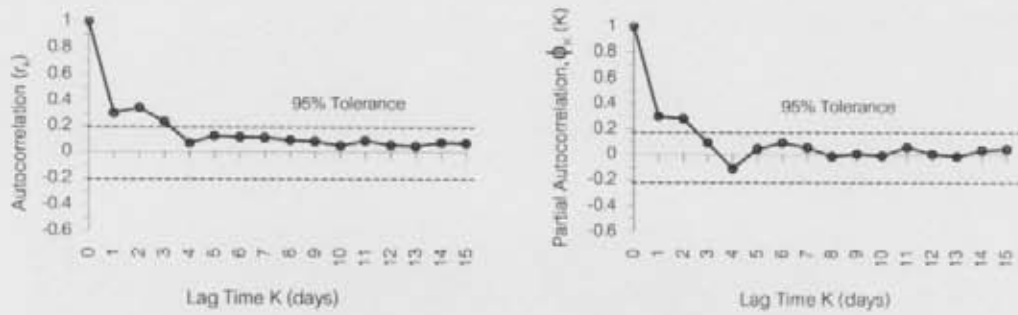


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3₇)

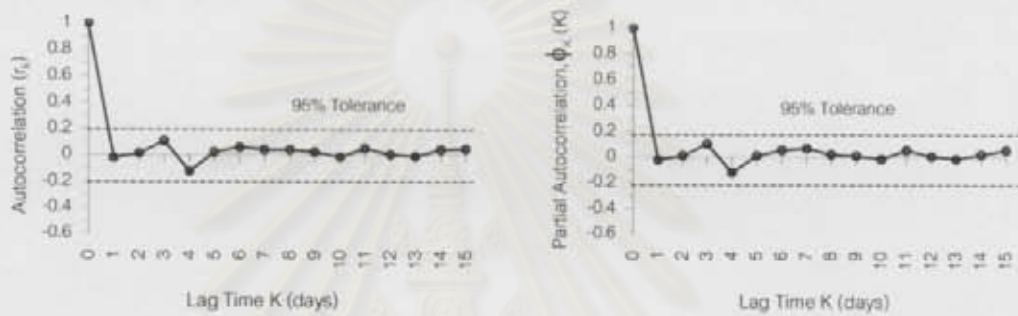


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3₇) + AR(1)

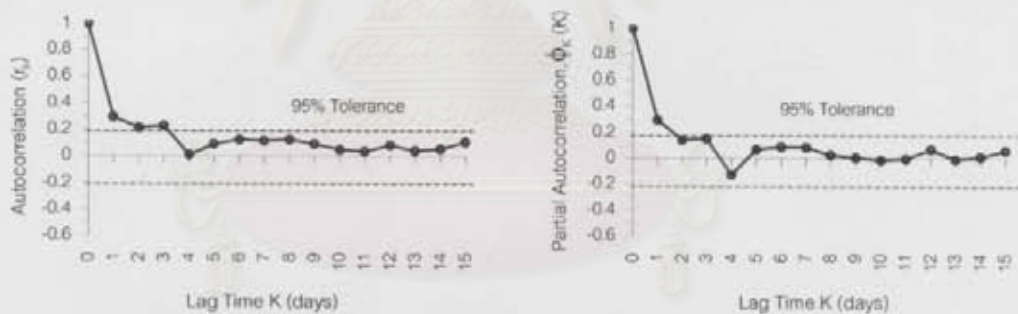
รูป 4-24 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 6 และ 7 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 2



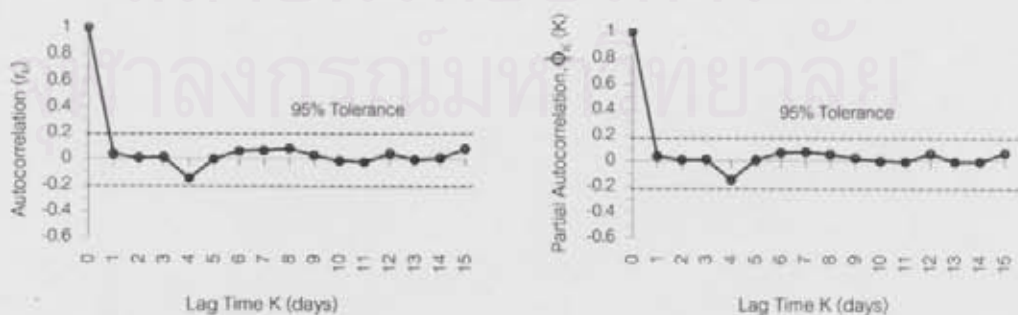
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,9)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,9) + AR(2)

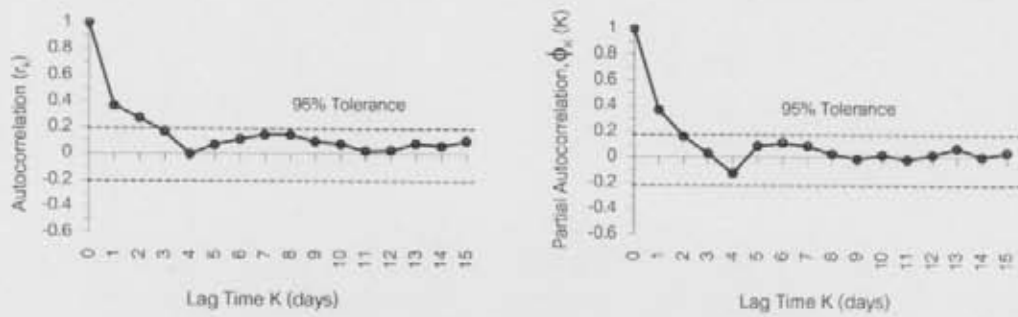


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,9)

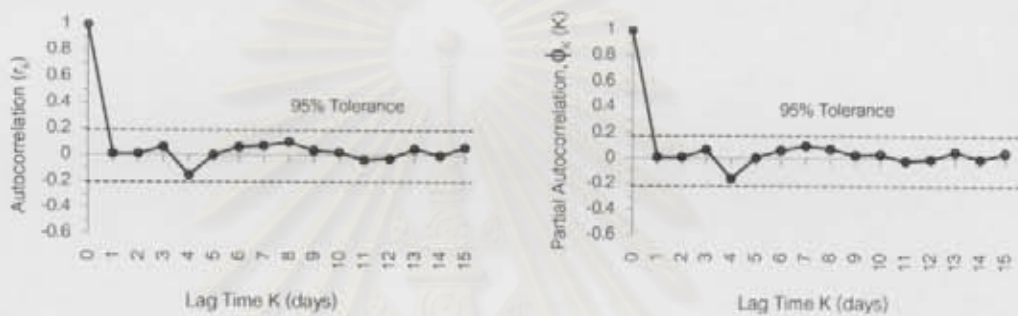


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM,3,9) + AR(3)

รูป ง-25 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 8 และ 9 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 2



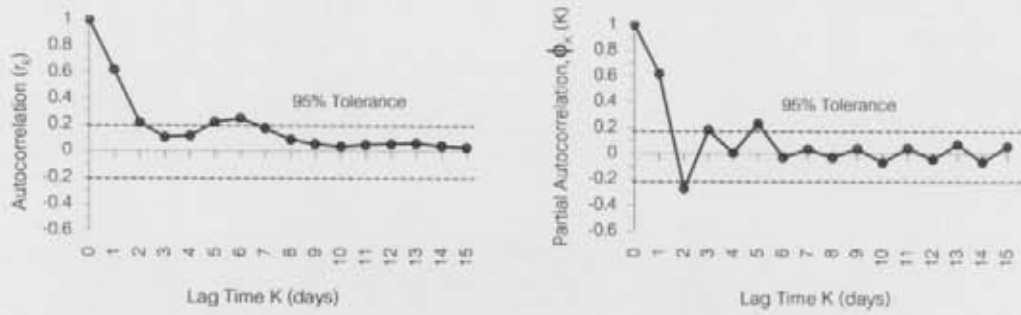
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁₀)



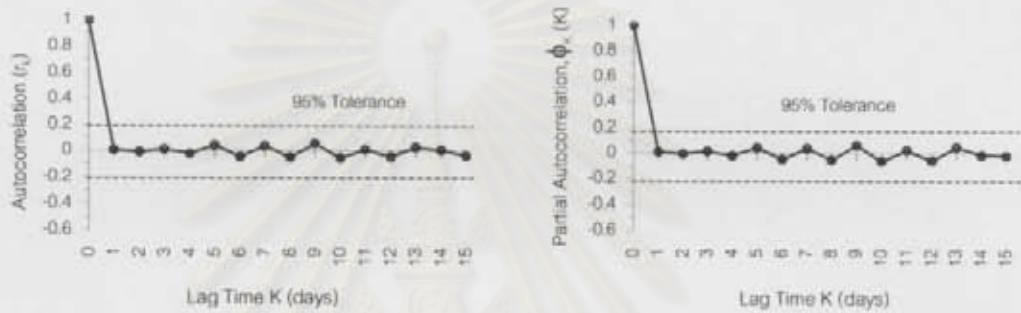
(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QSM.3,₁₀) + AR(2)

รูป ง-26 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 10 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า SM.3 กรณีที่ 2

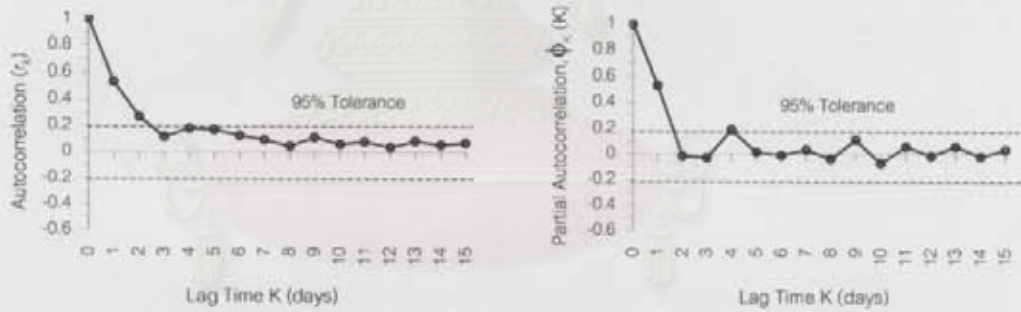
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



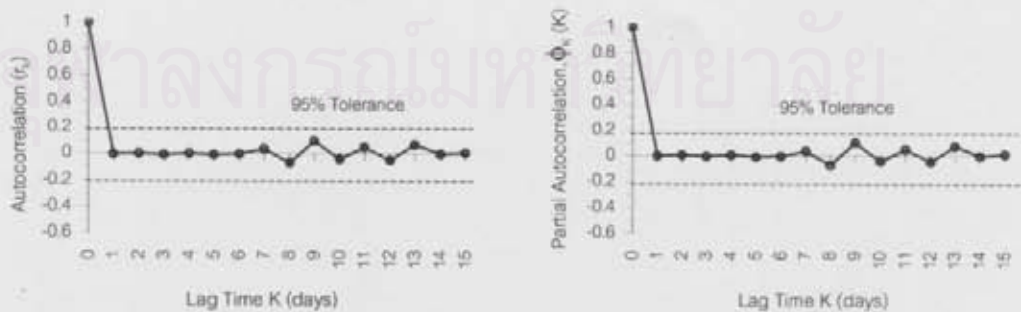
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{2,3})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{2,3}) + AR(5)

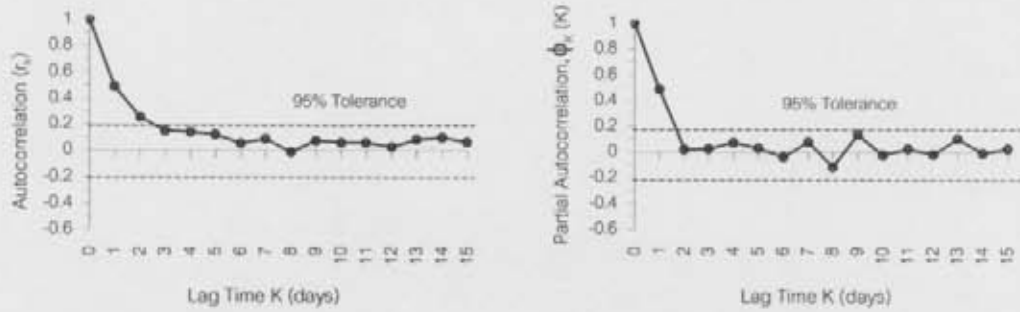


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{2,3})

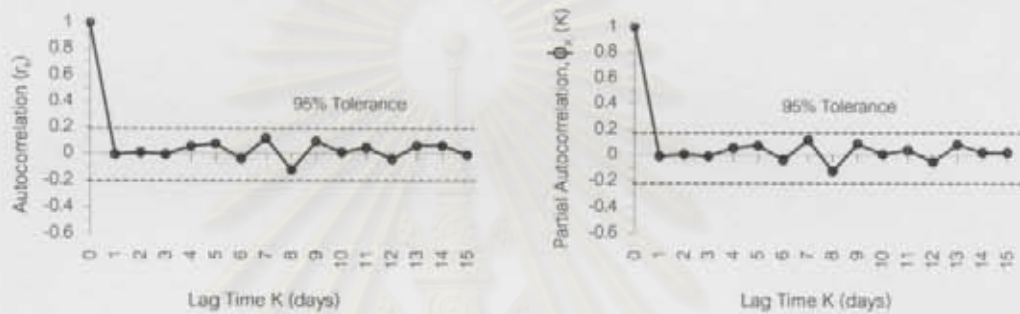


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{2,3}) + AR(4)

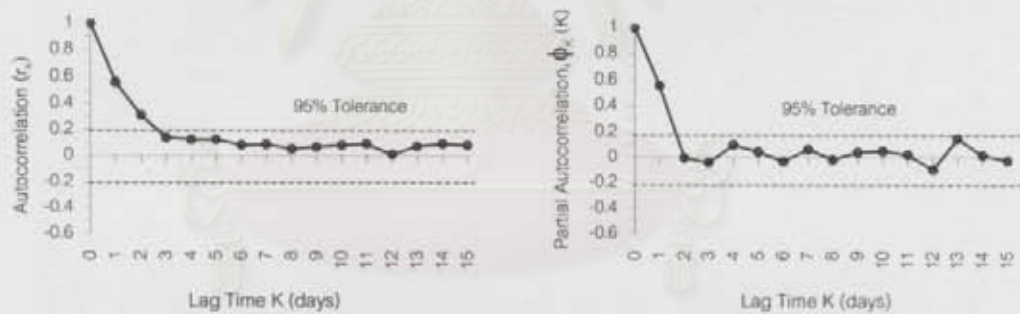
รูป ง-27 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 และ 3 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 2



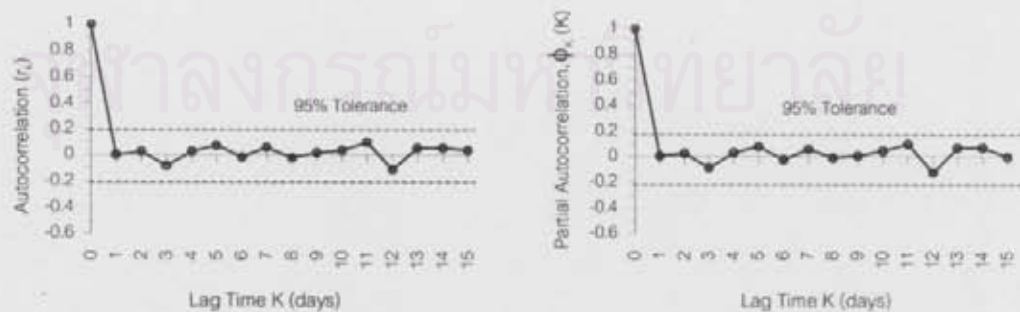
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam,...)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam,...) + AR(1)

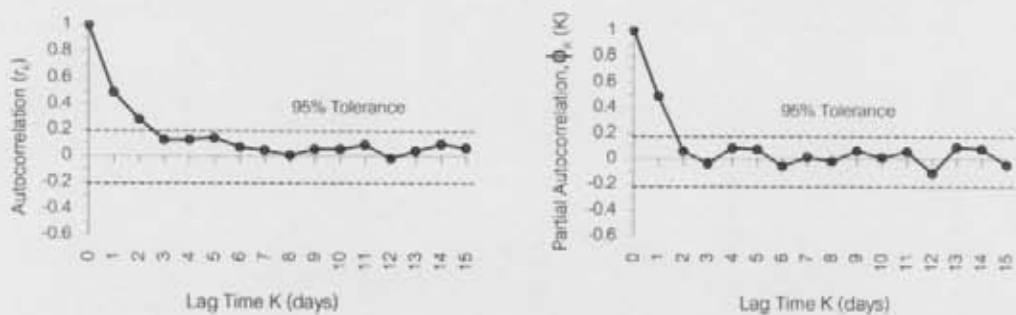


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam,...)

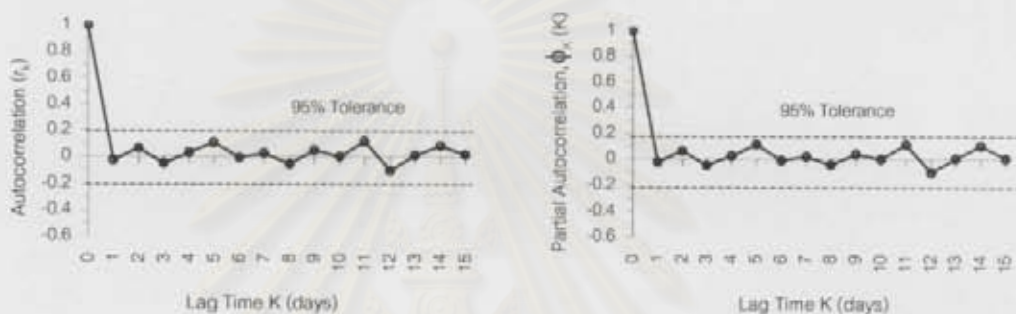


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam,...) + AR(1)

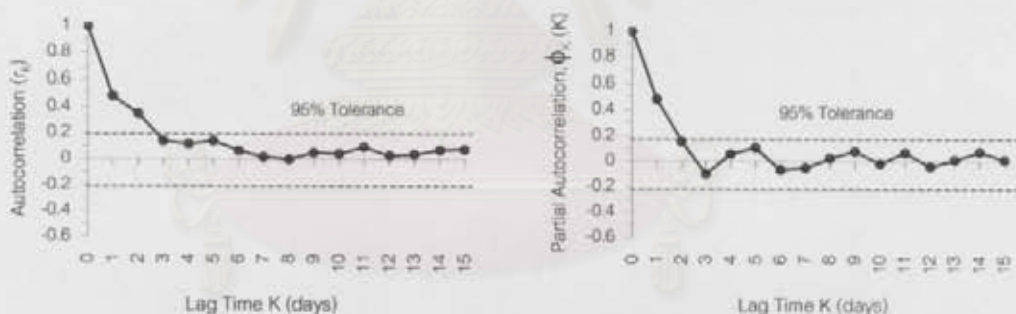
รูป ง-28 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 และ 5 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 2



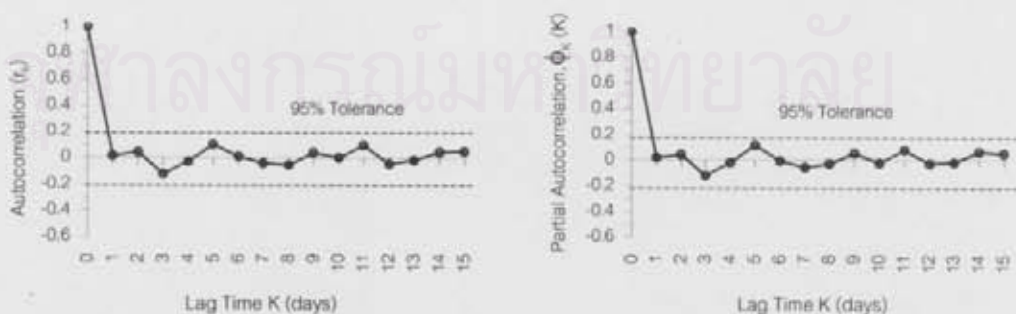
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QDam_{1,d}$)



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QDam_{1,d}$) + AR(1)

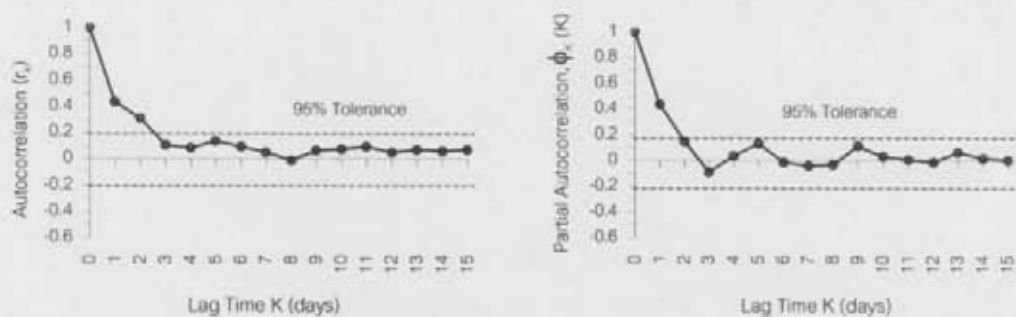
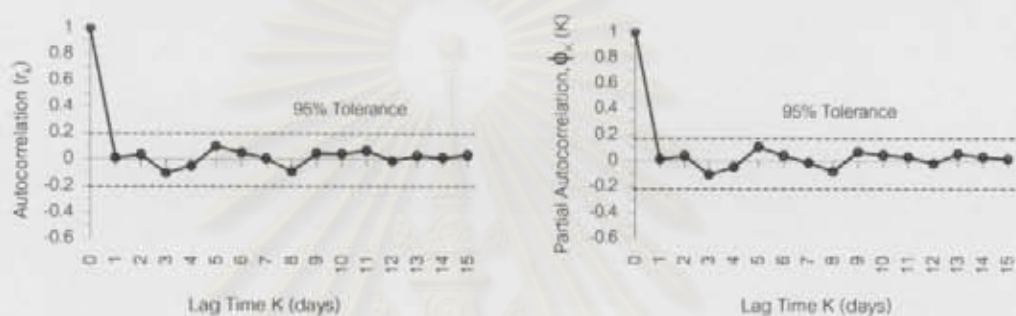
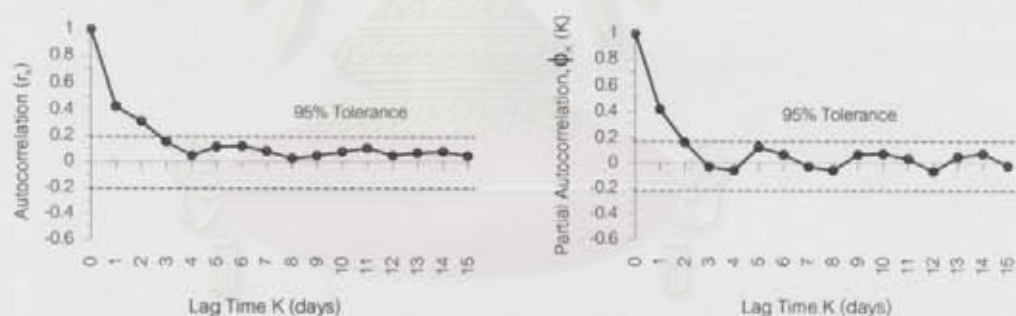
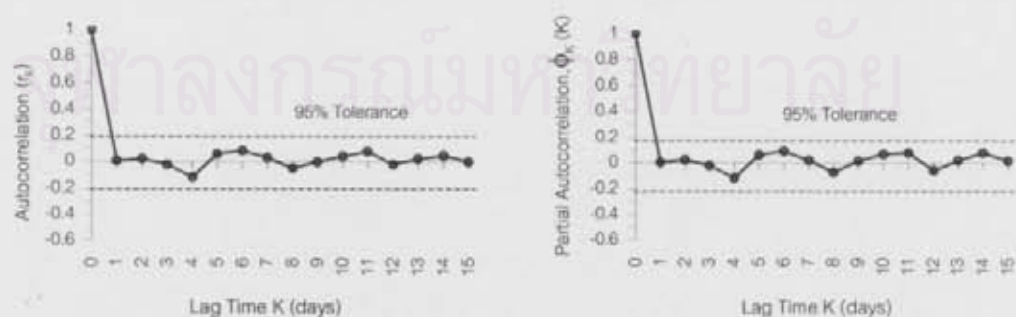


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QDam_{1,d}$)

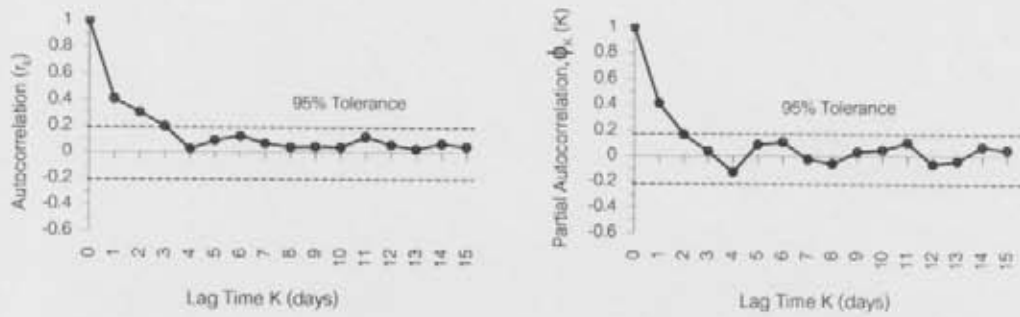


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ($QDam_{1,d}$) + AR(2)

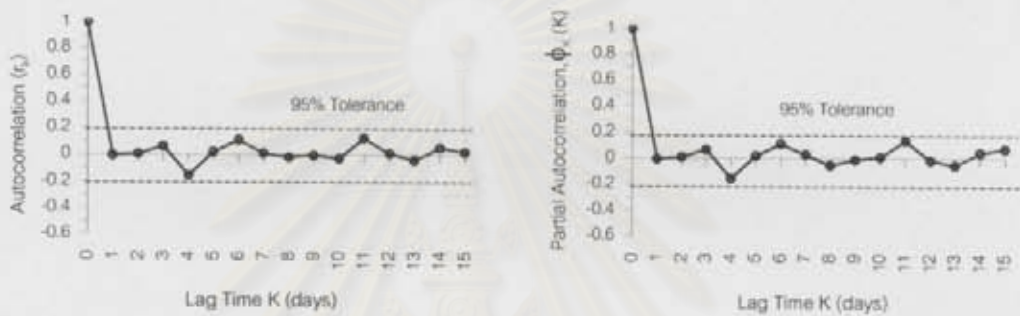
รูป ง-29 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 6 และ 7 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 2

(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam₁₄)(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam₁₄) + AR(2)(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam₁₀)(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam₁₀) + AR(2)

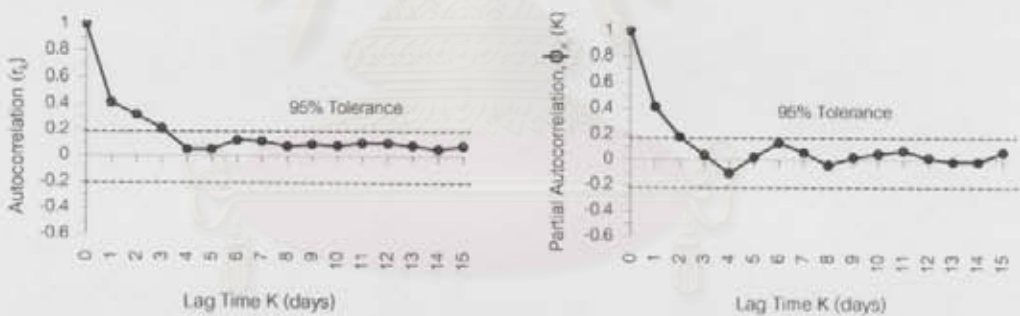
รูป 30 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 8 และ 9 วัน ของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 2



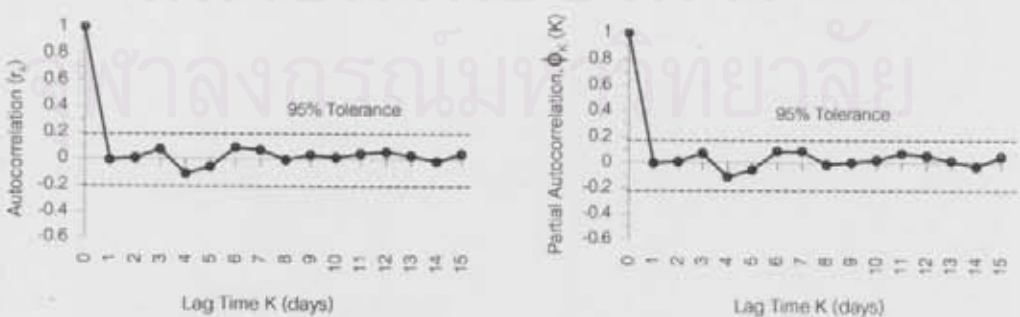
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t-10})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t-10}) + AR(2)

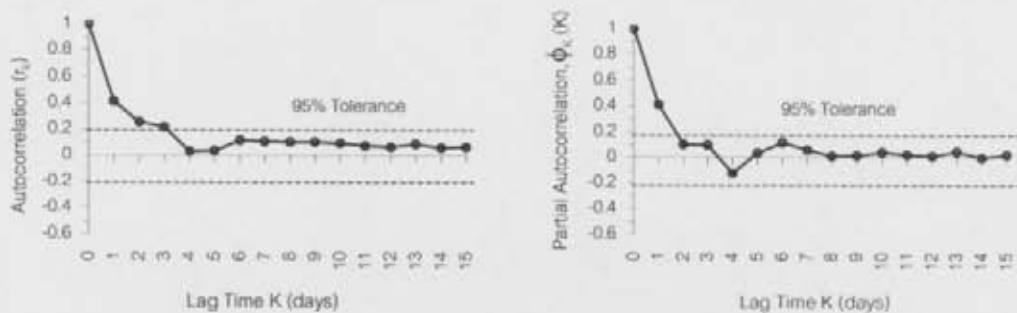


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t-11})

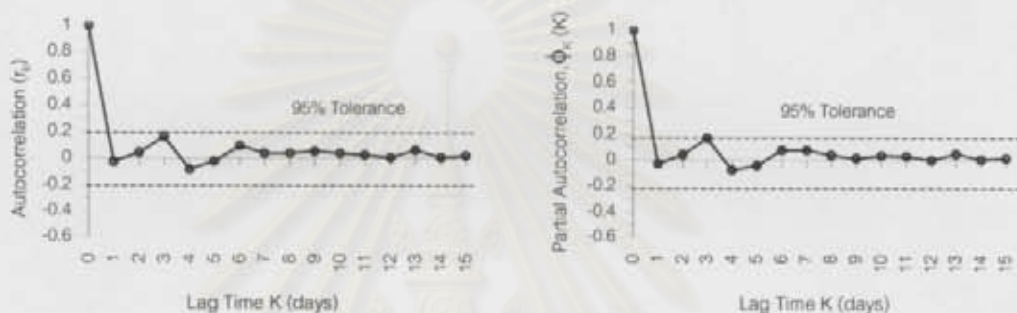


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{t-11}) + AR(2)

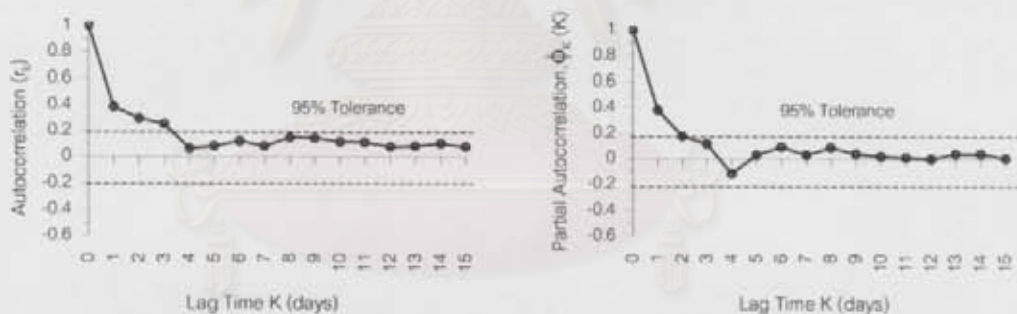
รูป 3-31 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 10 และ 11 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 2



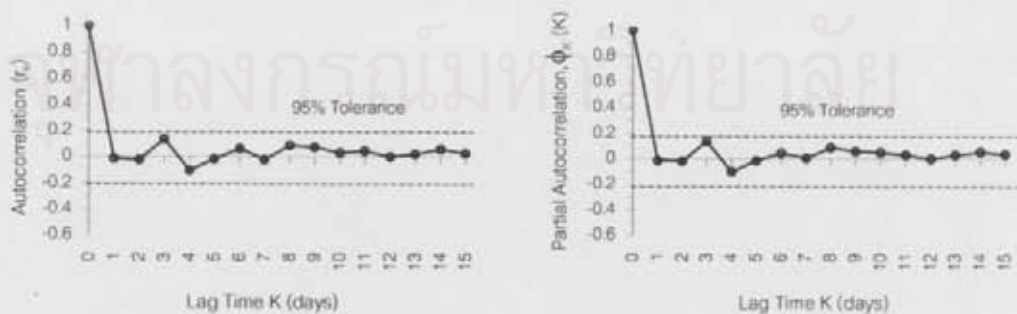
(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{12,13})



(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{12,13}) + AR(1)

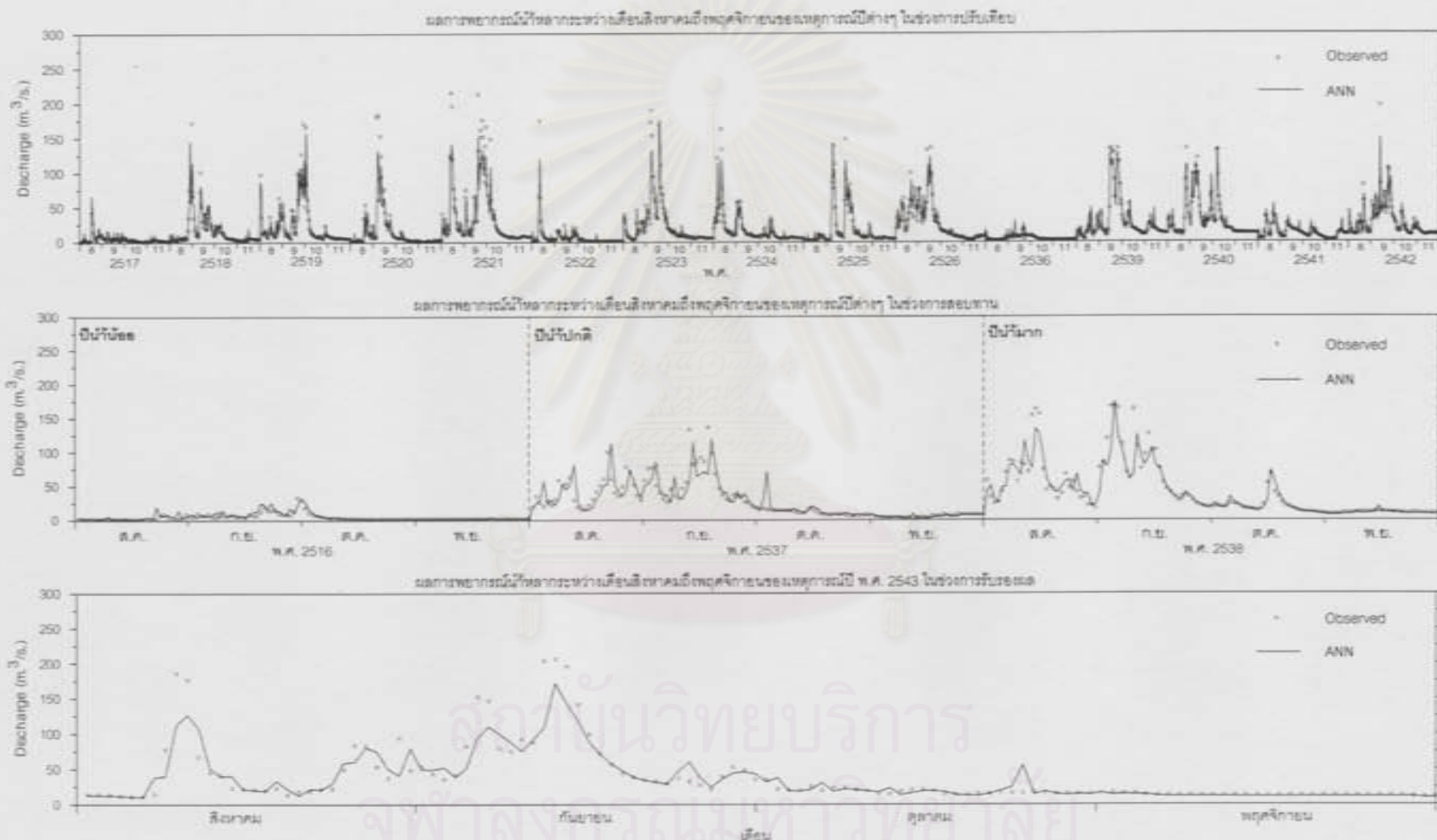


(a) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{12,13})

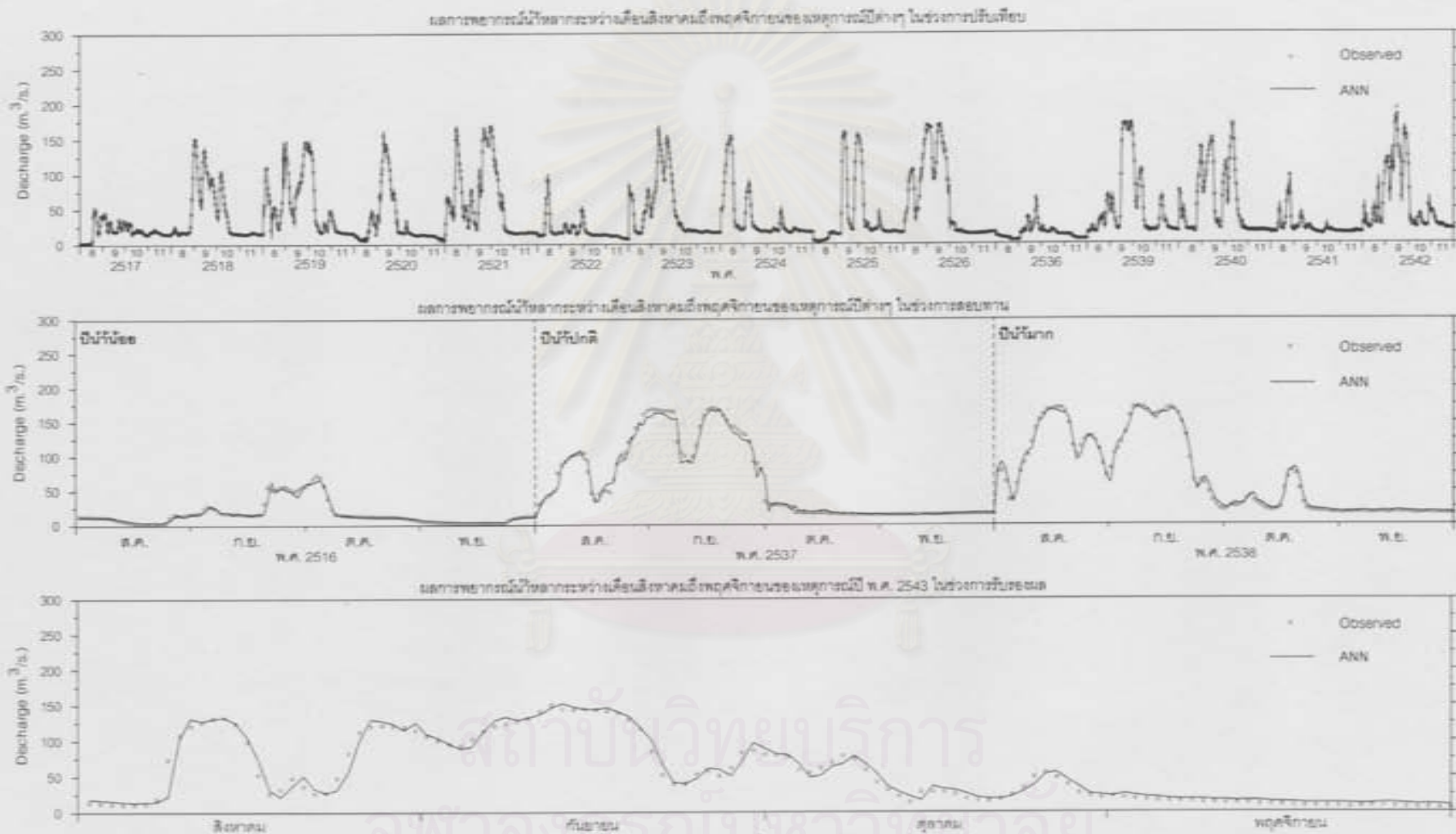


(b) การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN (QDam_{12,13}) + AR(2)

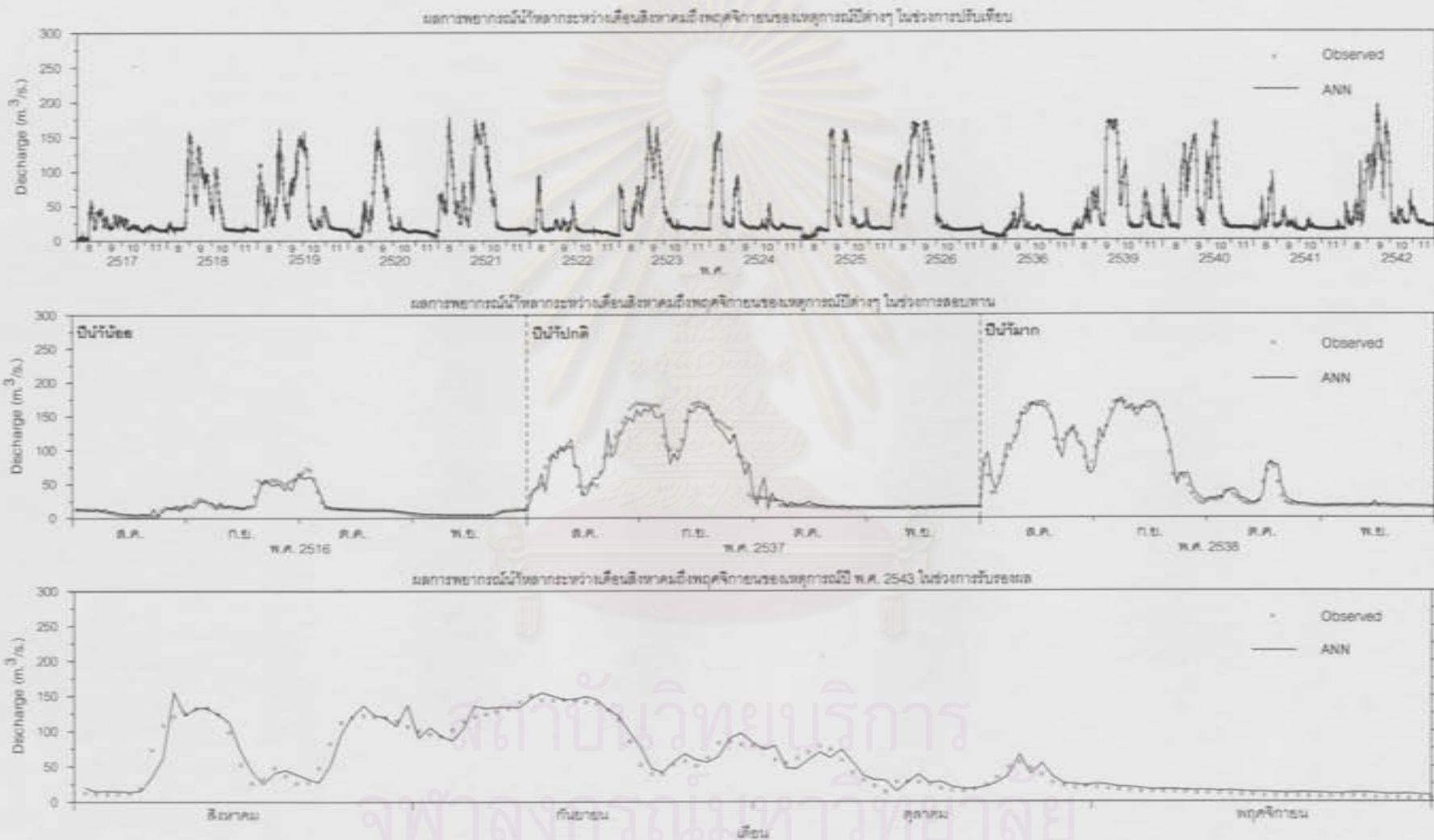
รูป ง-32 การตรวจสอบความเป็นอิสระของอนุกรมค่าความผิดพลาดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 12 และ 13 วันของแบบจำลอง ANN ณ สถานีวัดน้ำท่า Dam. กรณีที่ 2



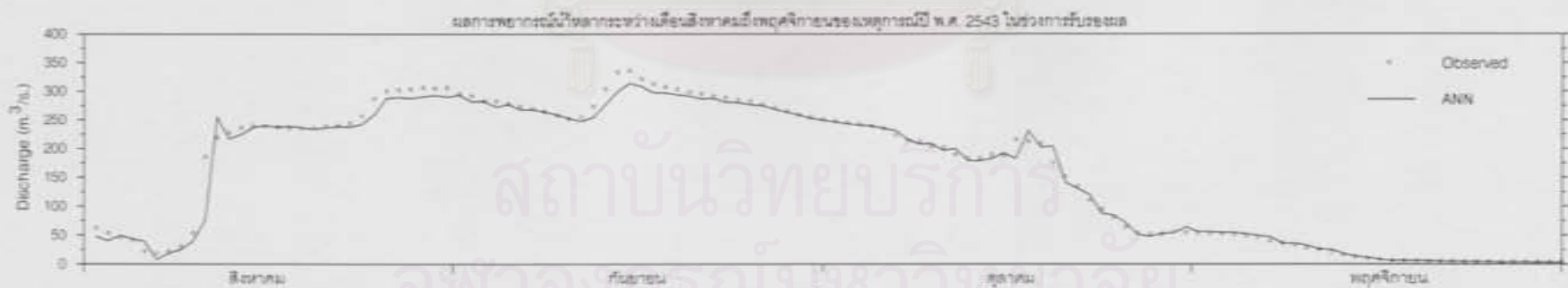
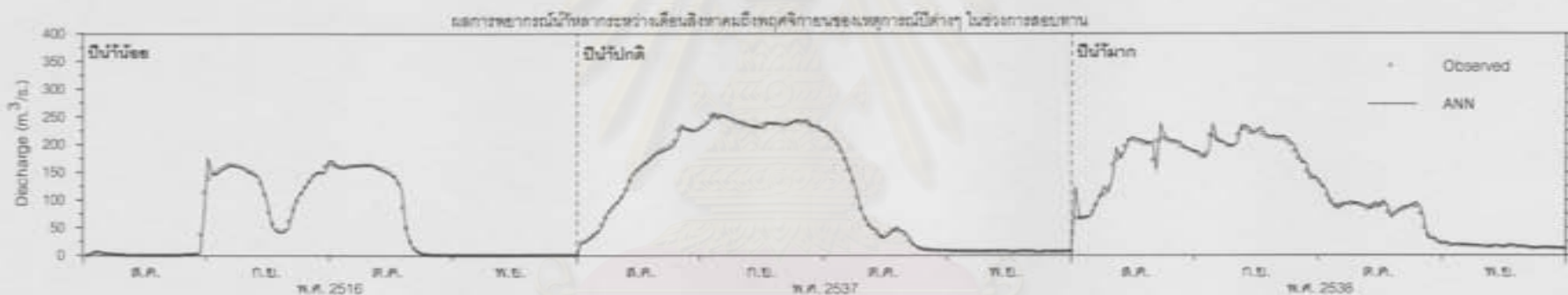
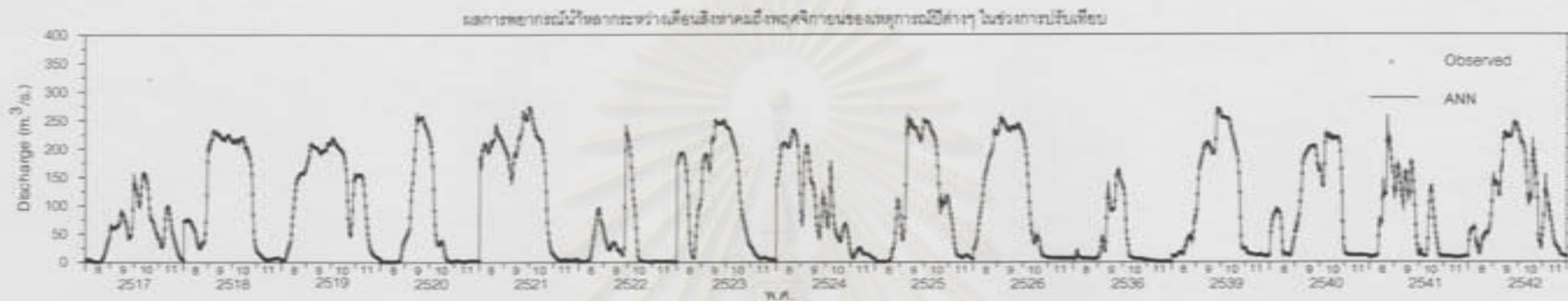
รูป 4-33 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 1 วัน ของเหตุการณ์น้ำหลาก ณ สถานี SM.1



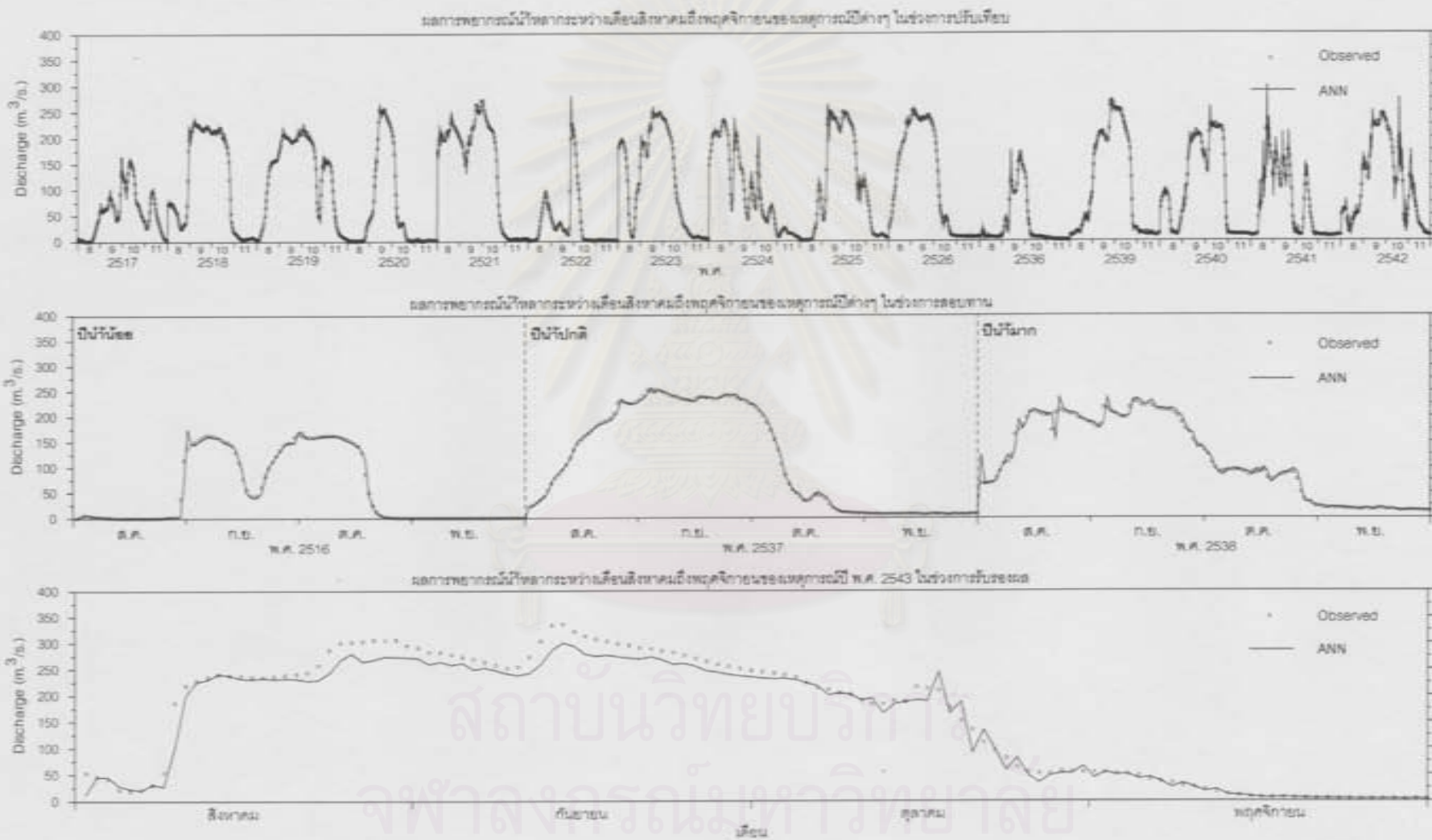
รูปจ-34 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 1 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี S.4B



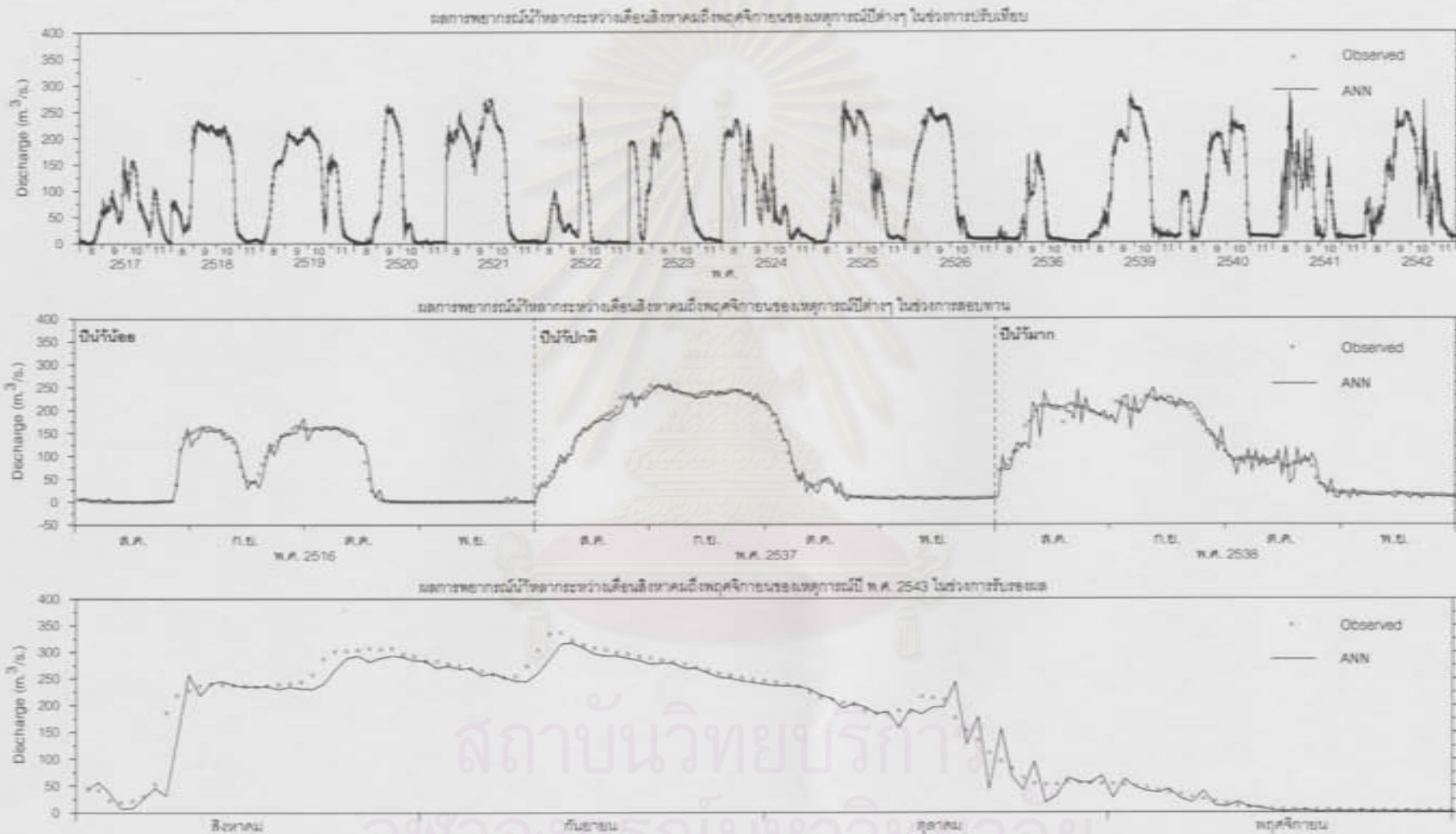
รูป 4-35 แสดงผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 2 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี S.4B



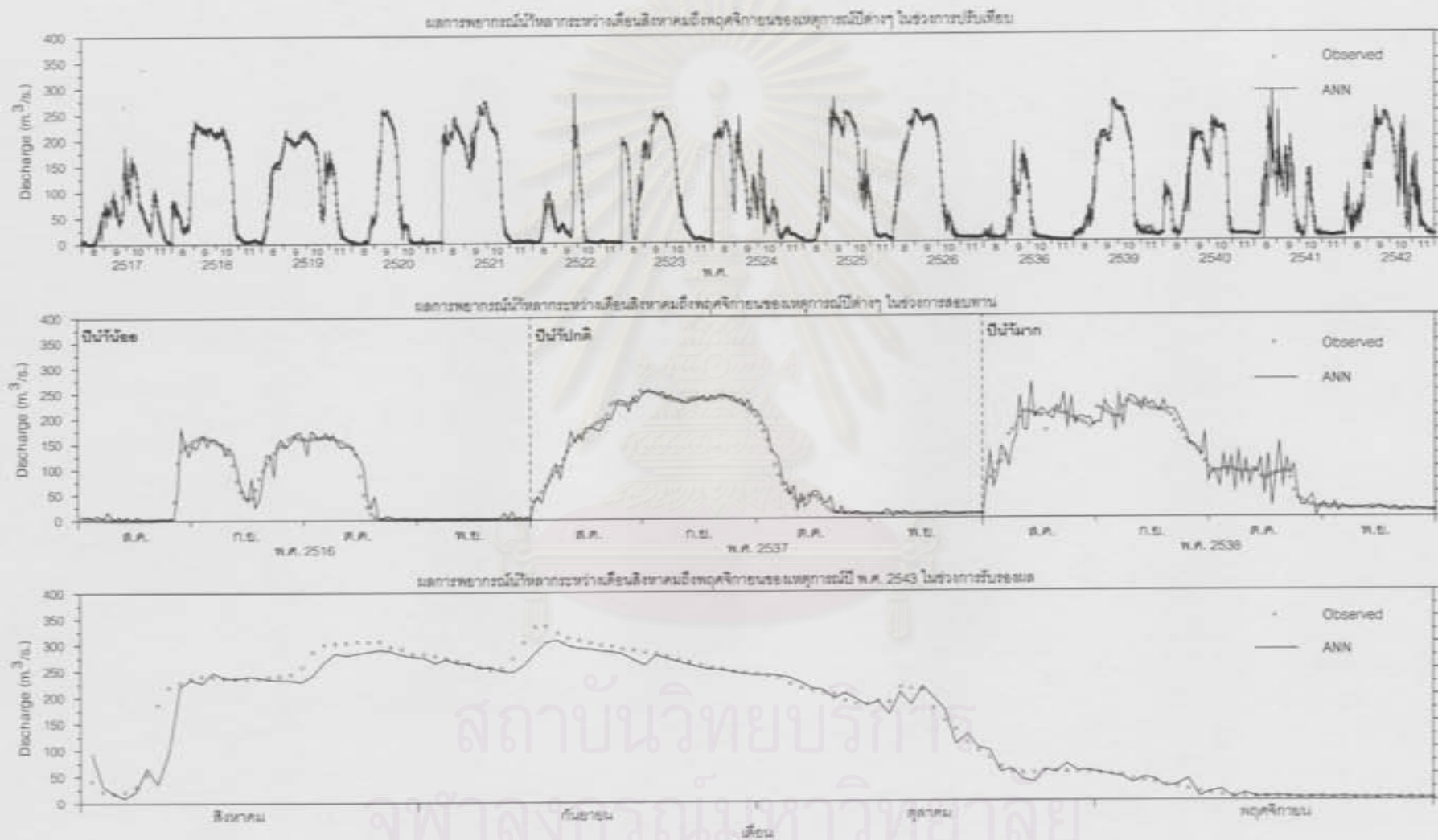
รูป 36 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 1 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



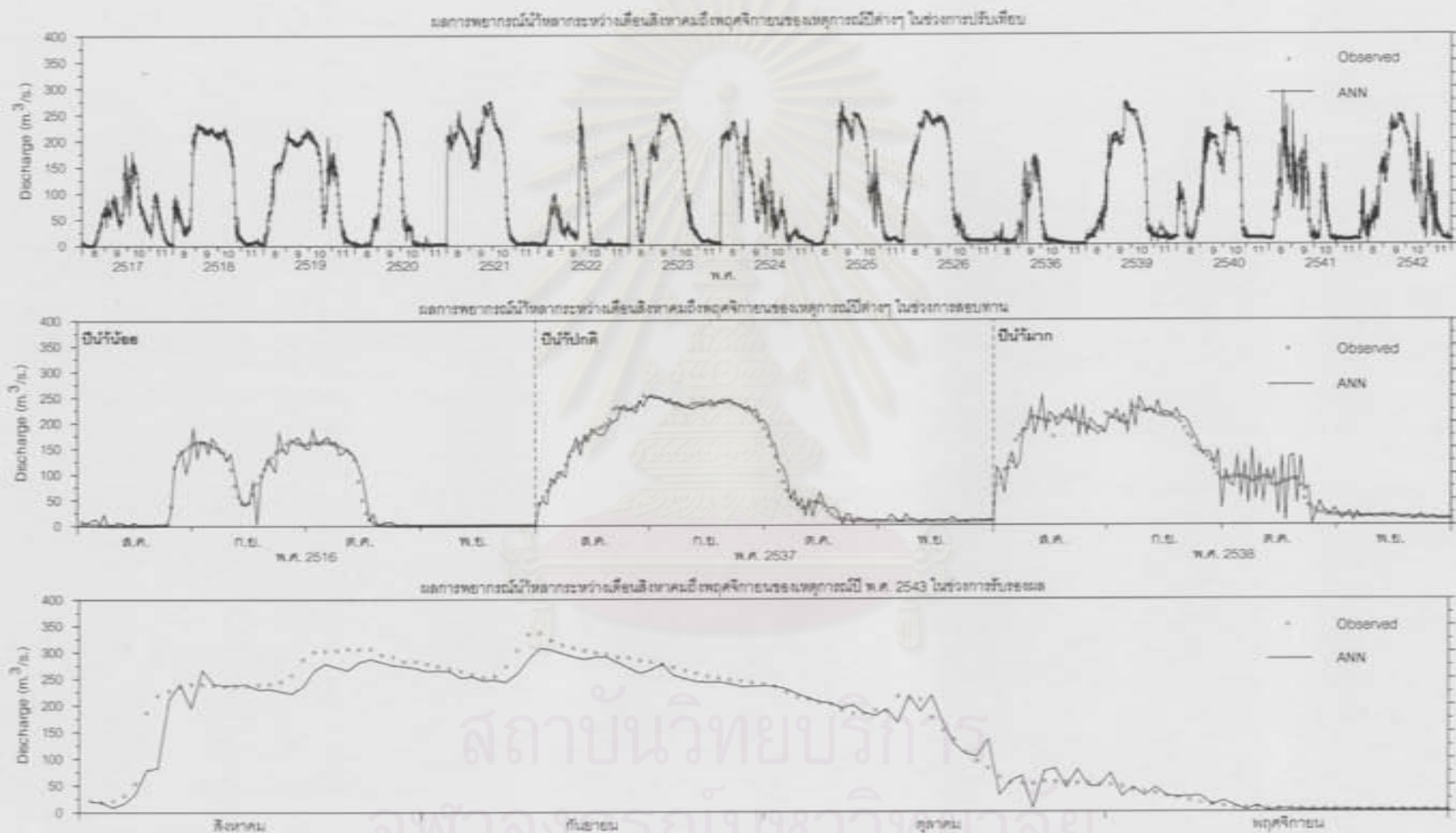
รูป ง-37 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 2 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



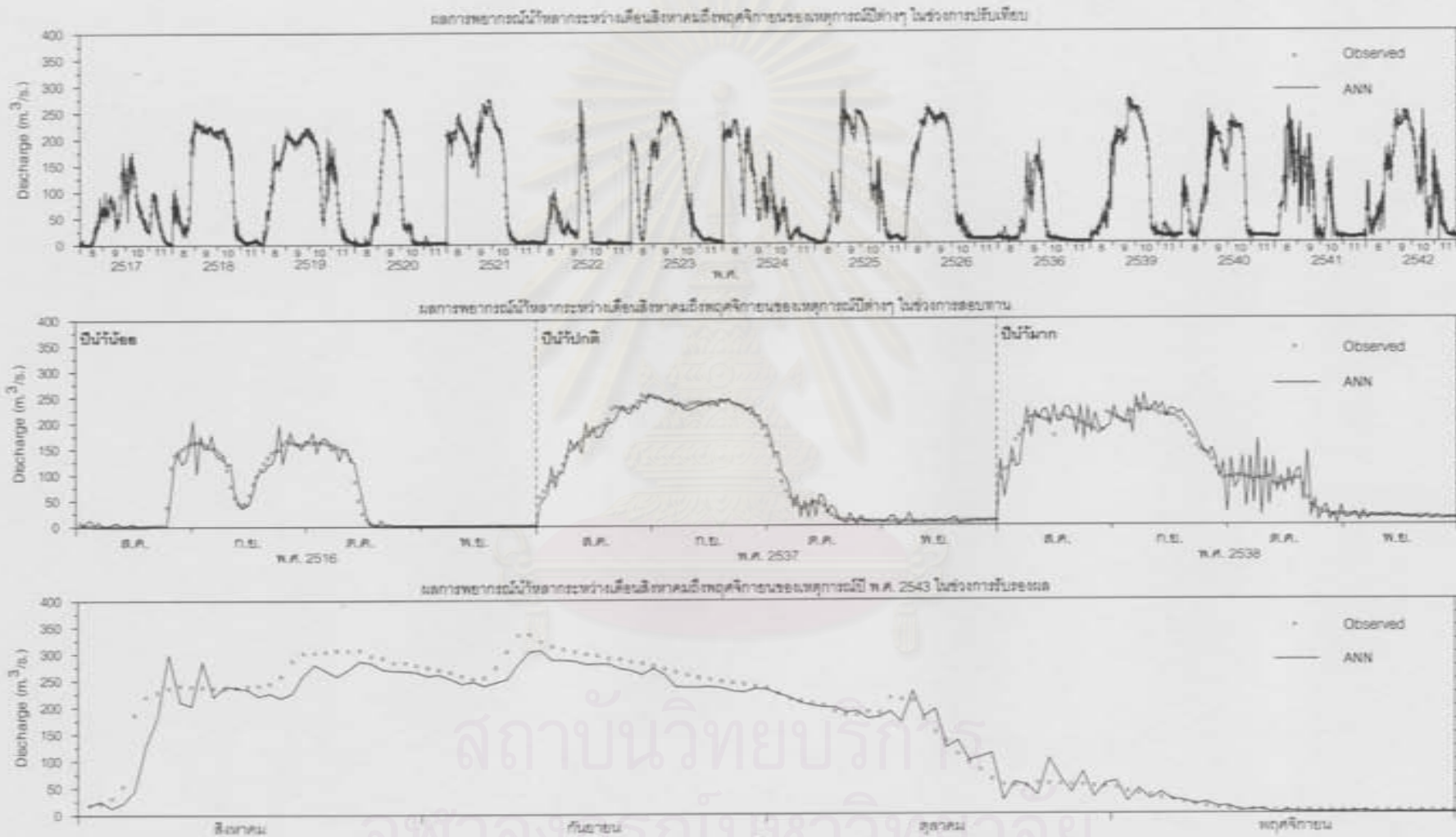
รูป ง-38 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 3 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



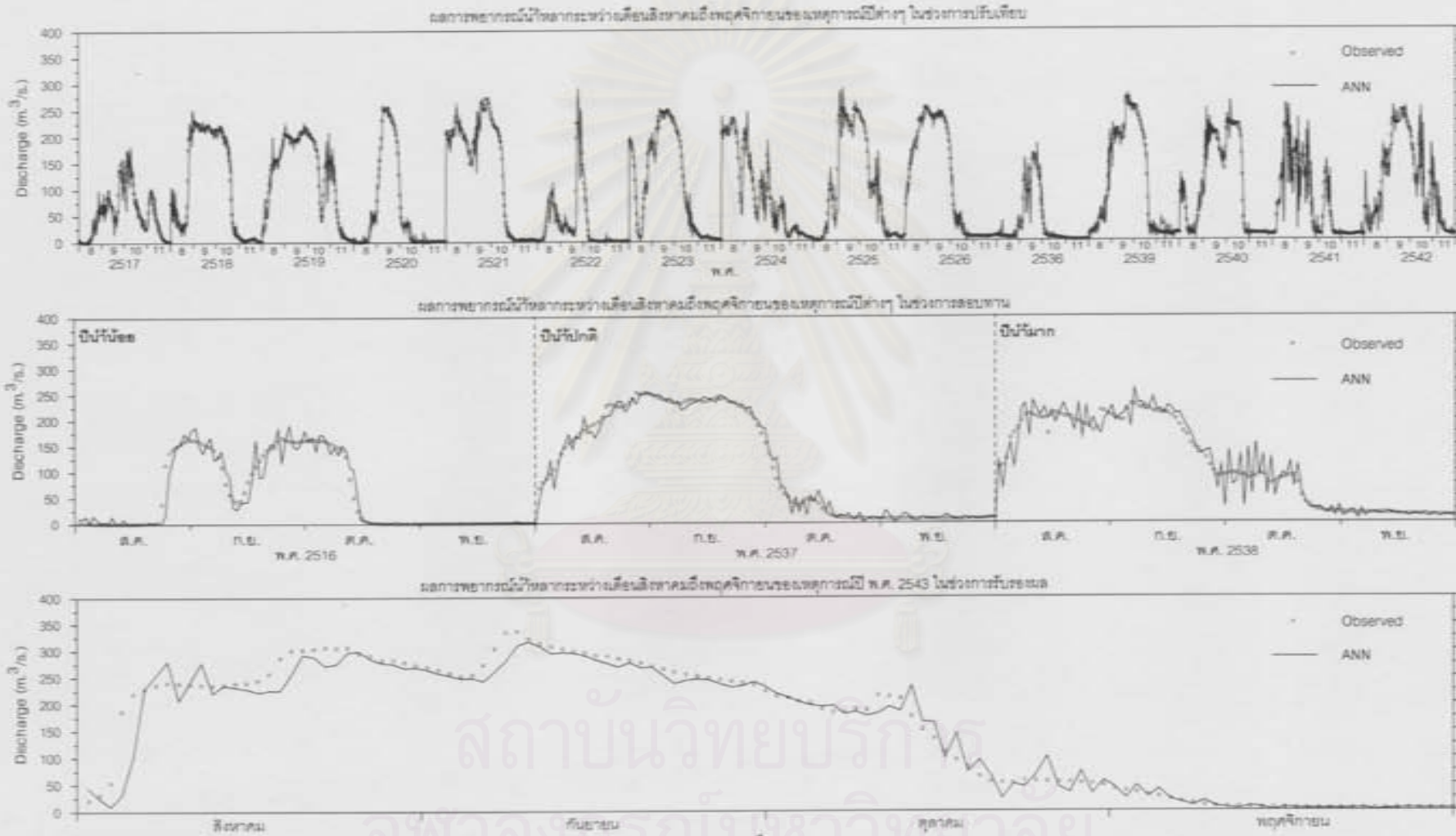
รูป ง-39 แสดงผลการปรับเทียบ สอดทาน และรับร่องผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 4 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



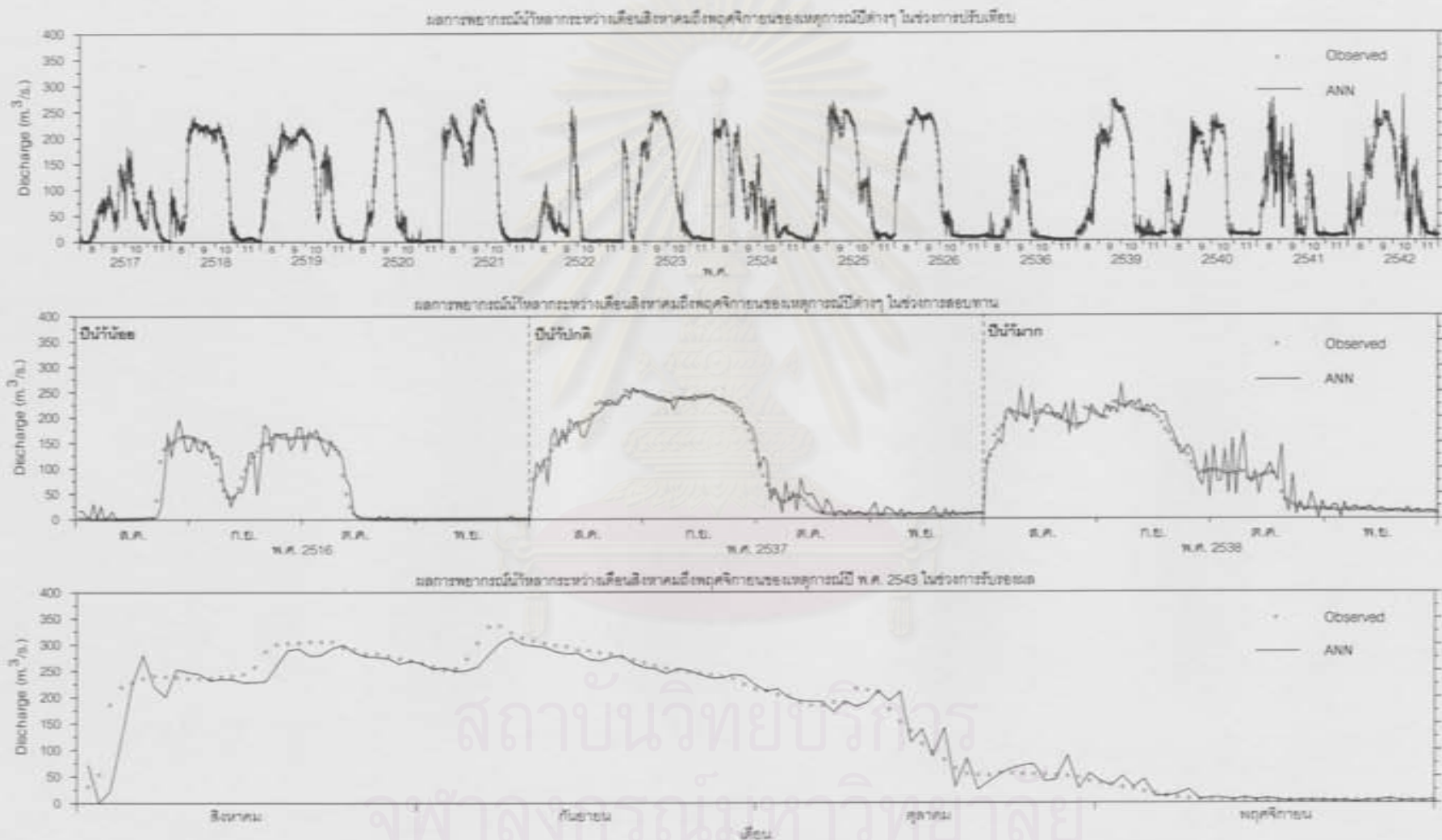
รูป 4-40 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับประมา ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 5 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



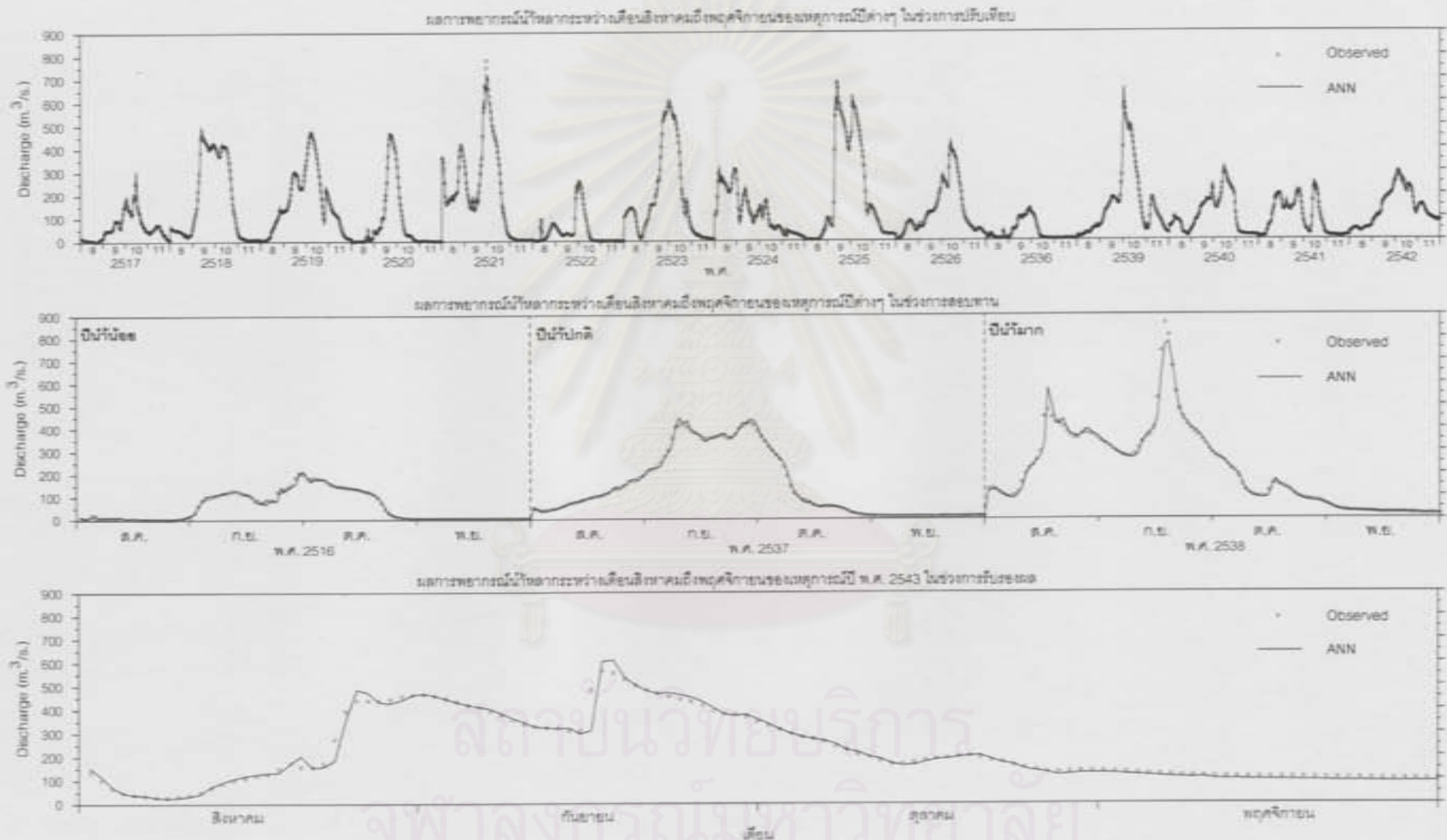
รูป 4-41 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 6 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



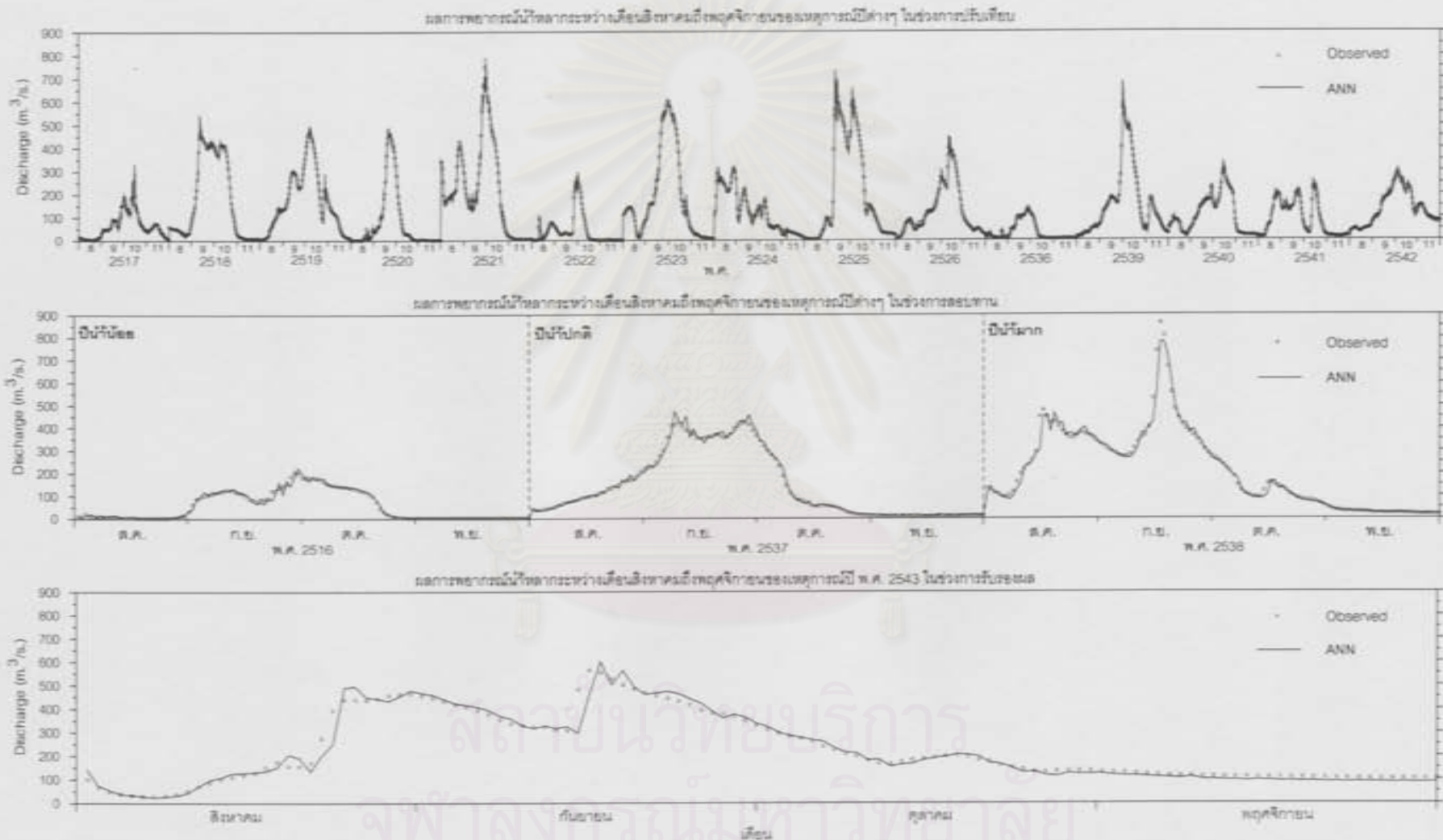
รูป 4-42 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 7 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



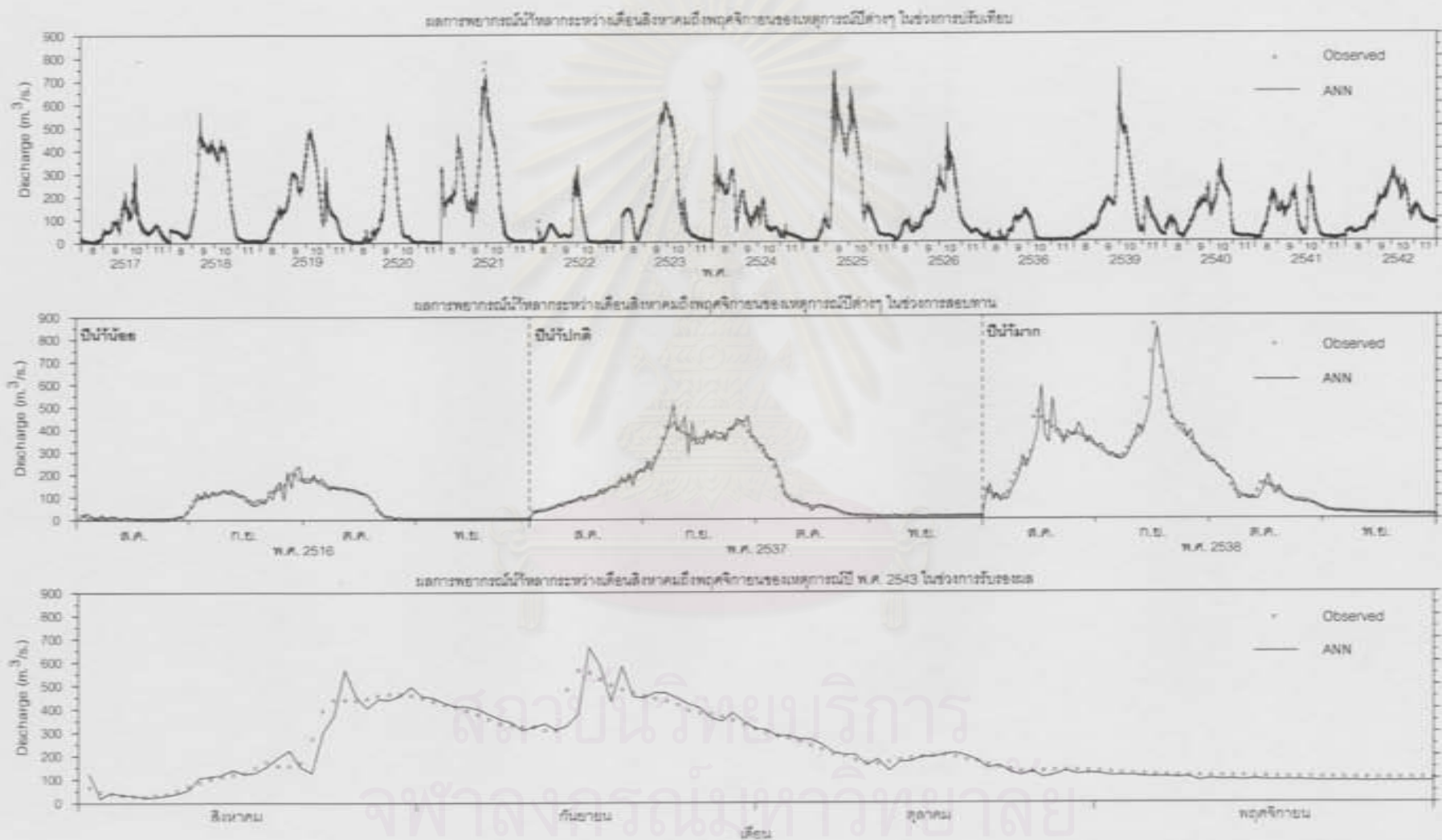
รูป 4-43 แสดงผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับของผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 8 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.2



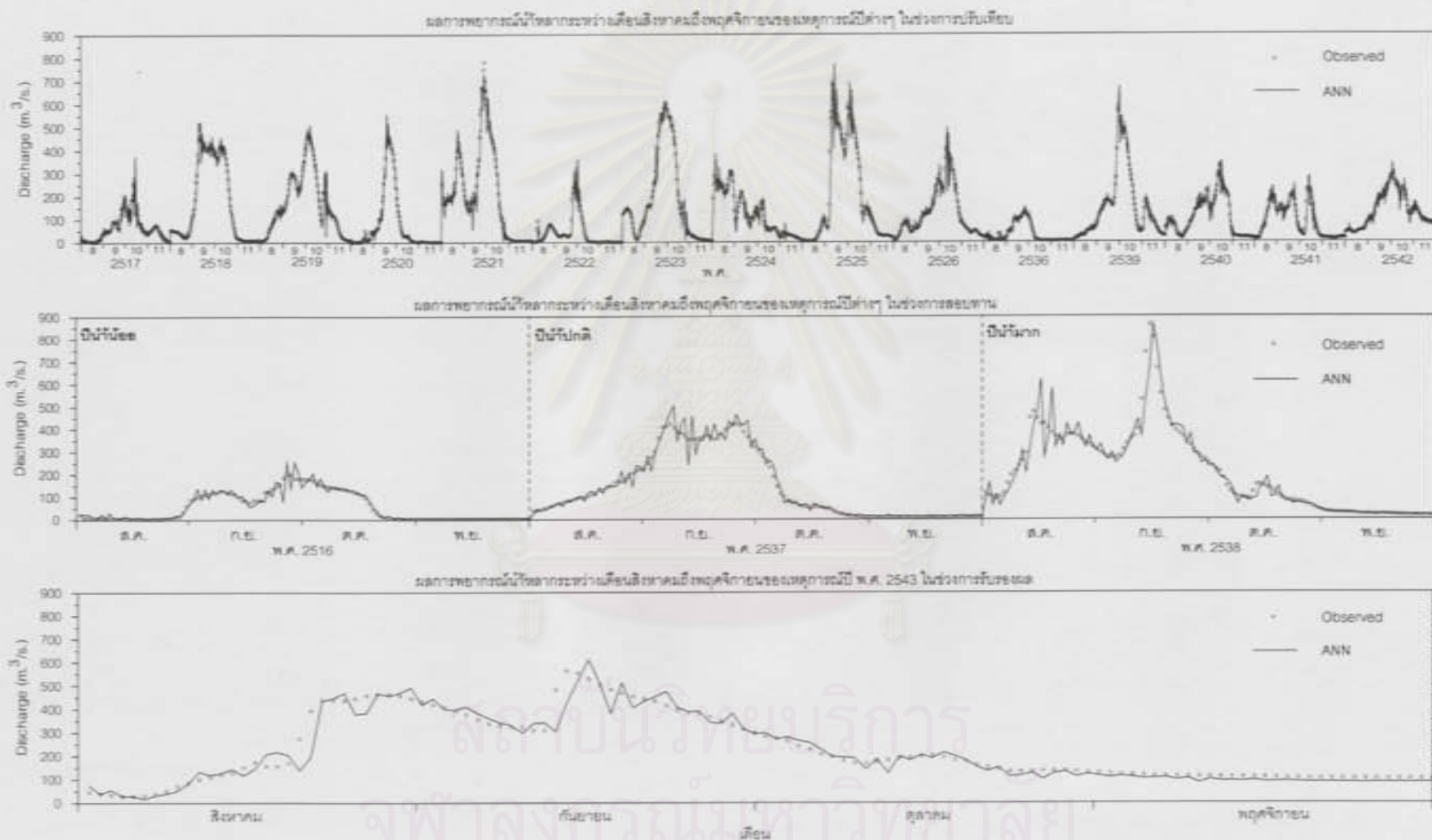
รูป 4-44 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 1 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



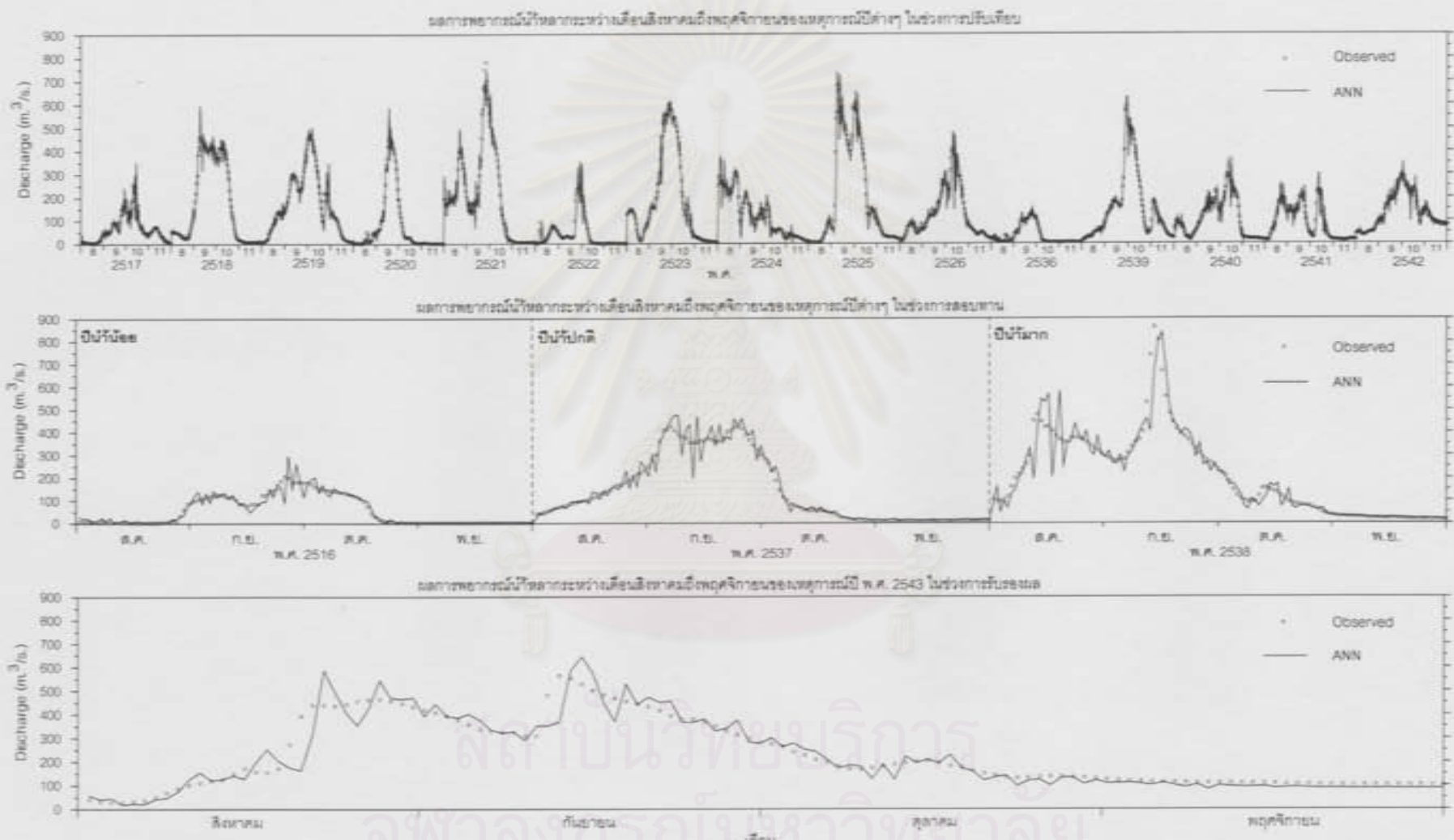
รูป 4-45 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 2 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



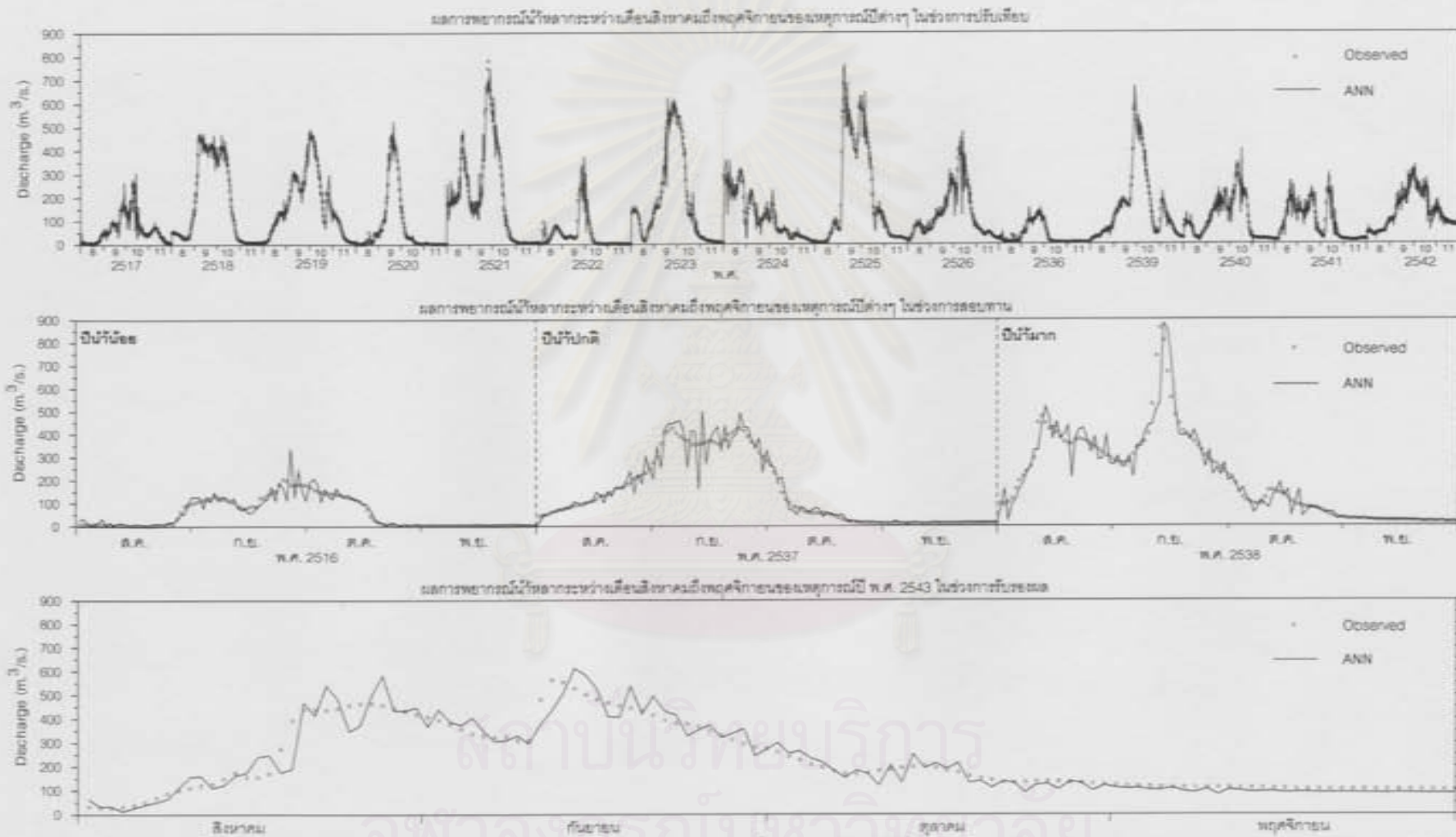
รูป 4-46 แสดงผลการเปรียบเทียบ สบทาน และรับยอด ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 3 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



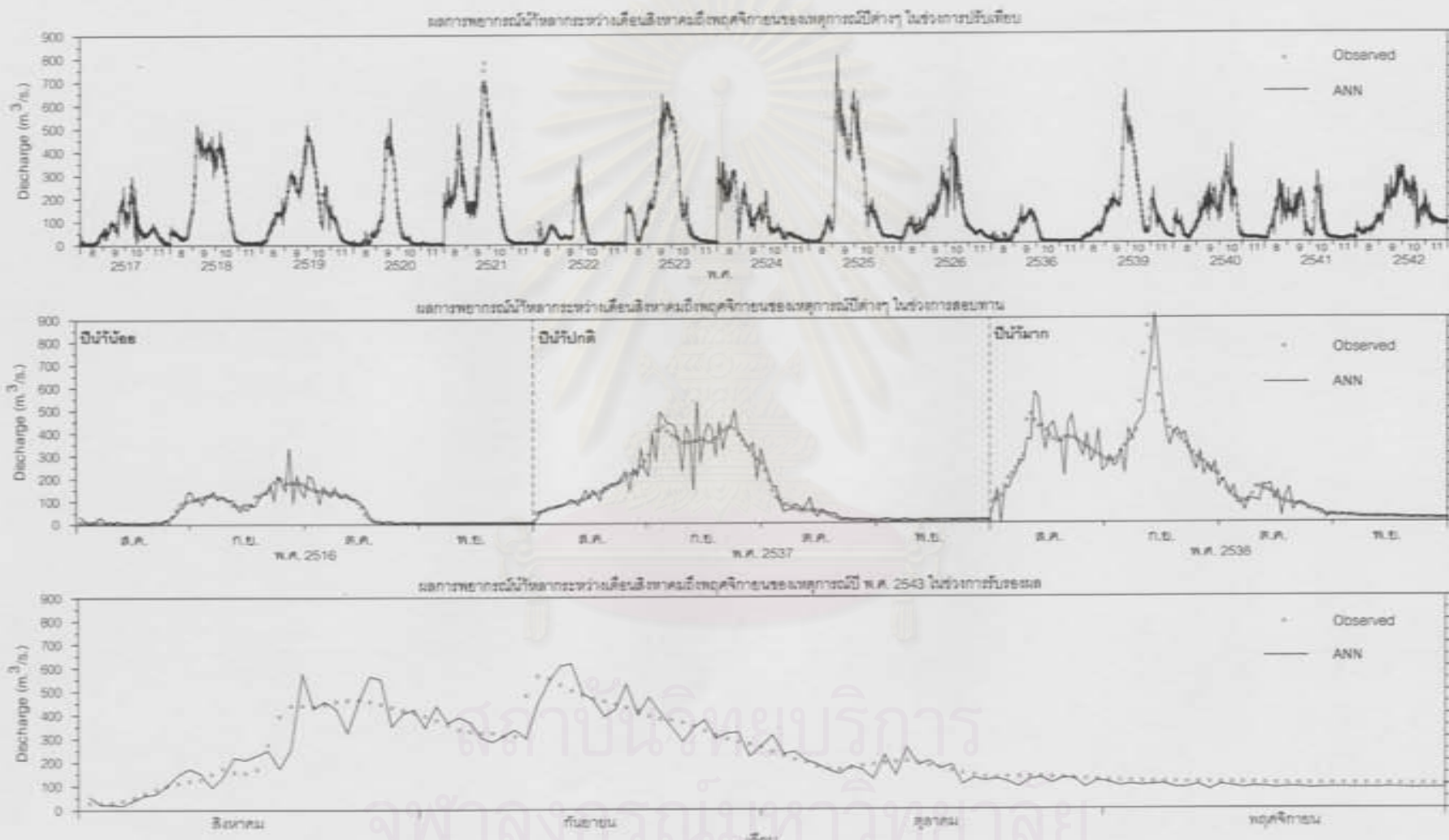
รูป ง-47 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับผล ของการพยากรณ์น้ำลากล่องหน้า 4 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



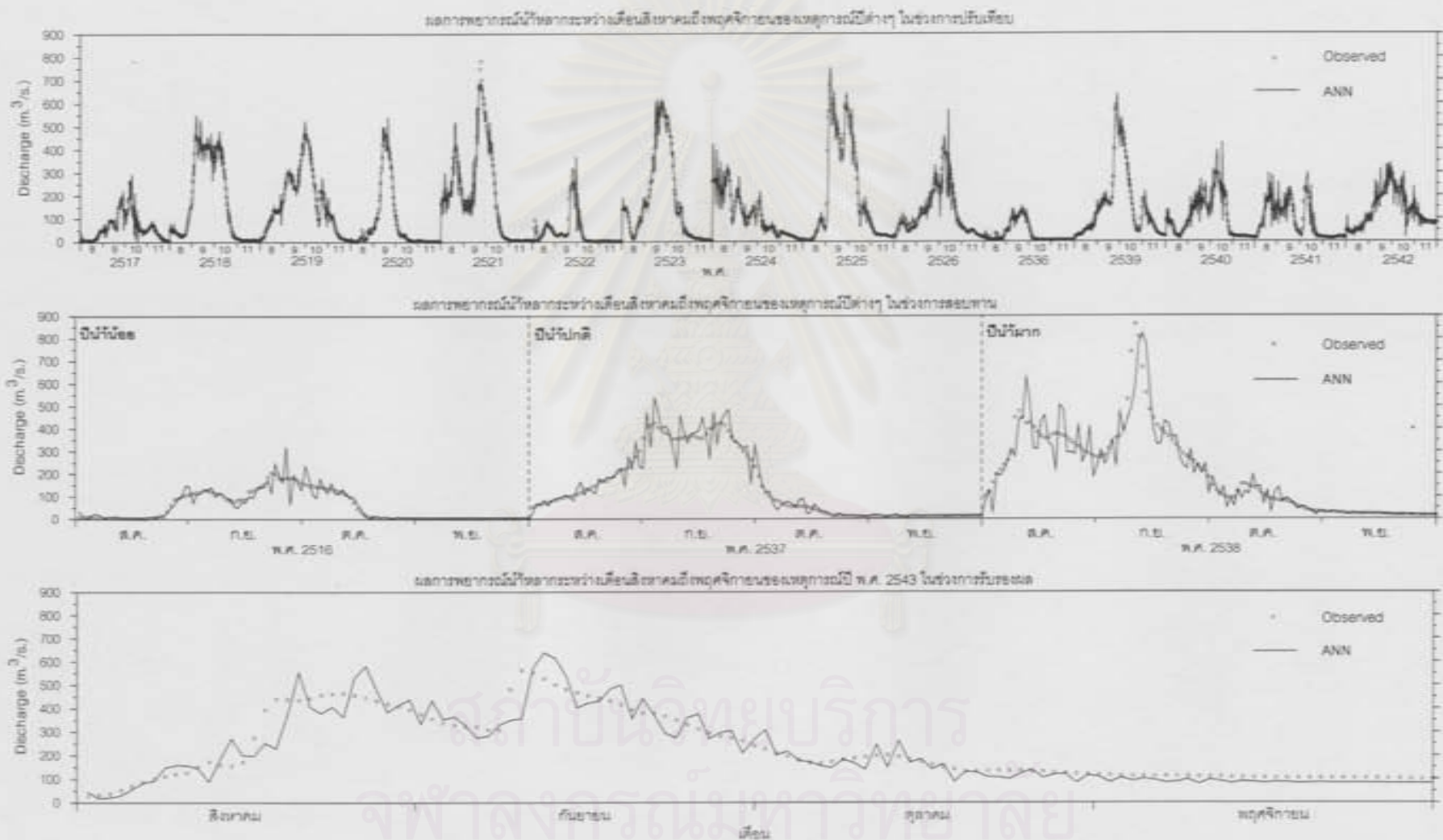
รูป-48 แสดงผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 5 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



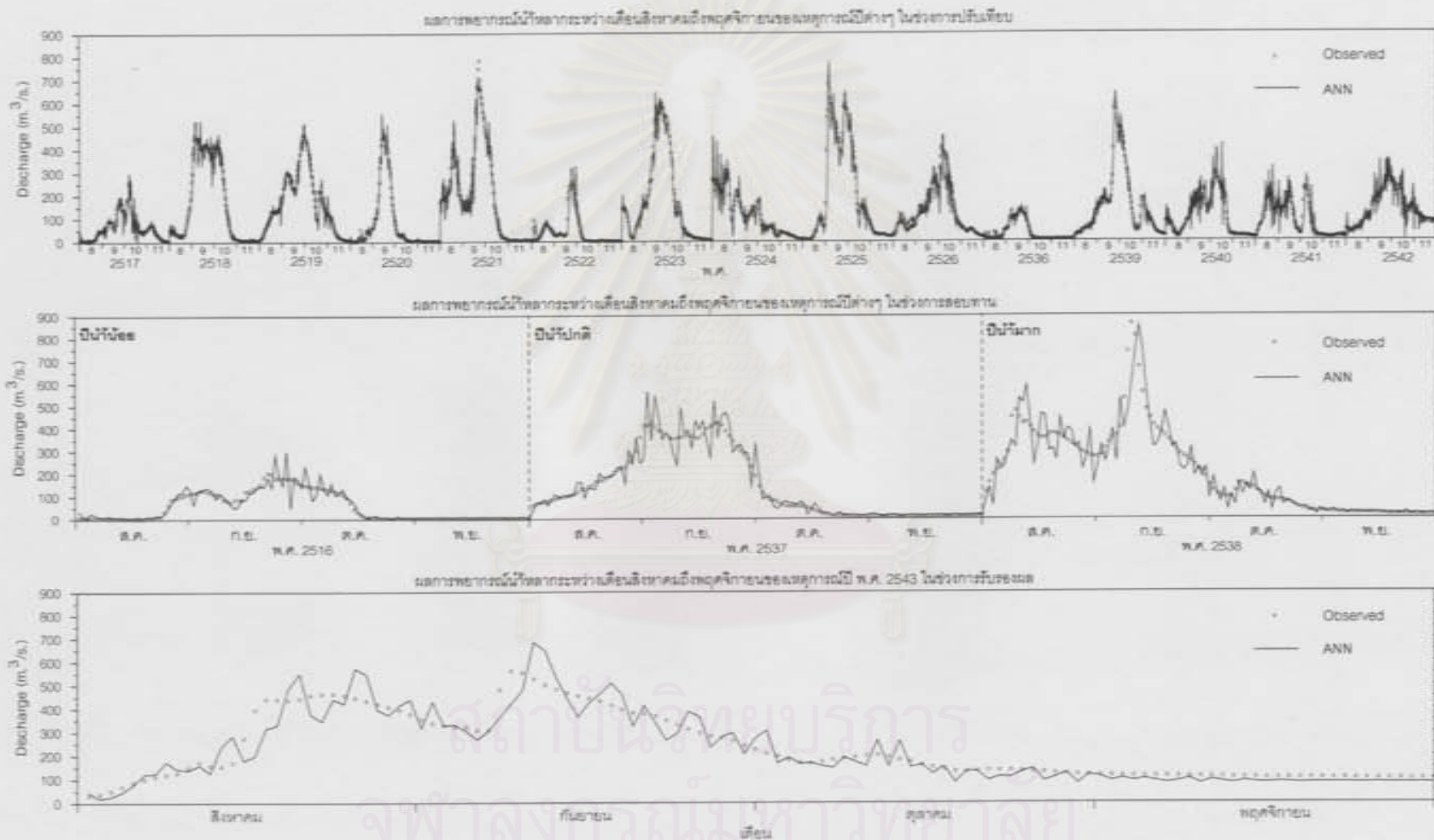
รูป 4-49 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับชมผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 6 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



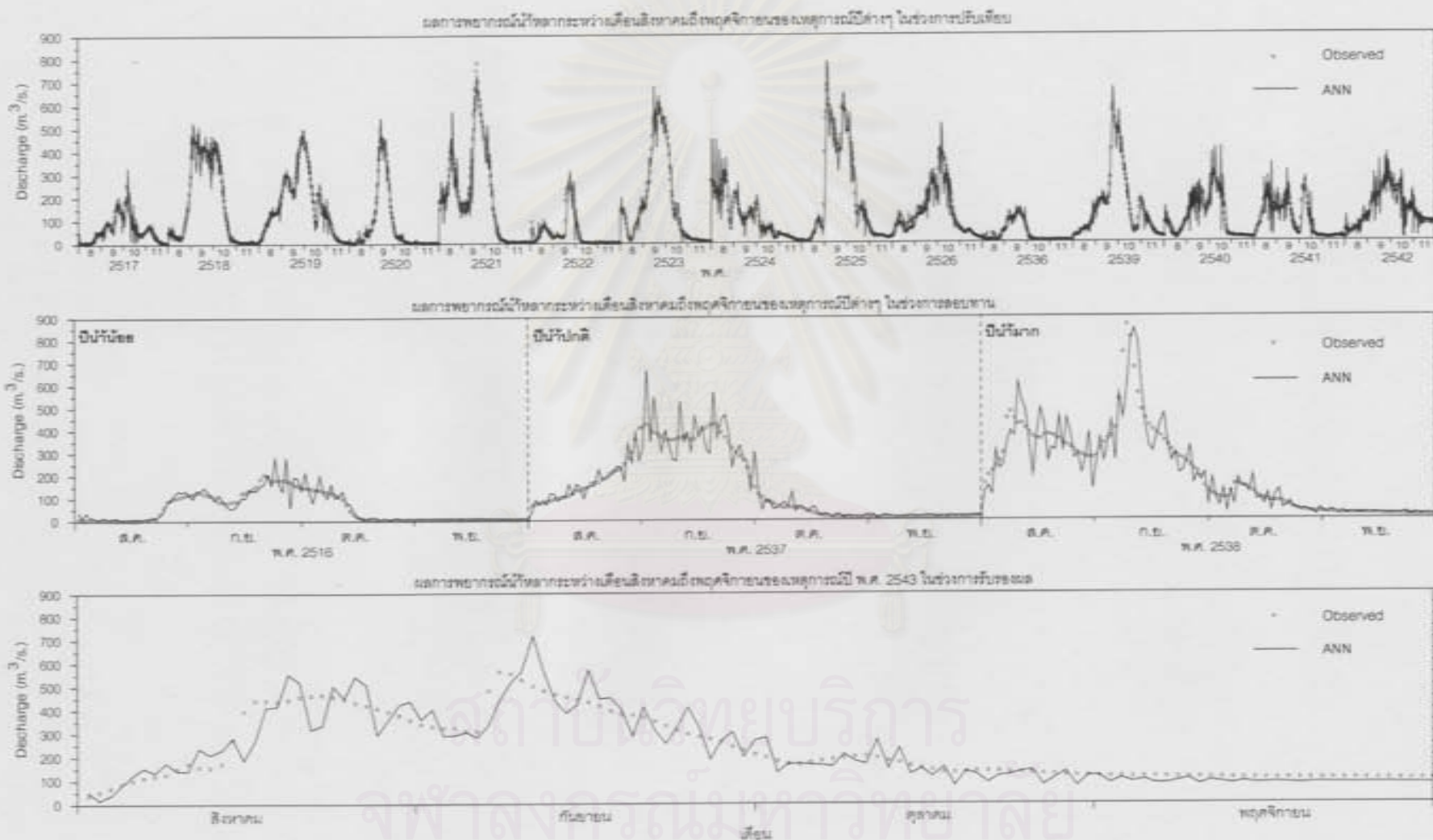
รูปจ-50 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับชมผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 7 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



รูป 4-51 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 8 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



รูป 4-52 แสดงผลการปรับเทียบ สอบทาน และรับรองผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 9 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3



รูป ง-53 แสดงผลการเปรียบเทียบ สอบทาน และรับร่องผล ของการพยากรณ์น้ำหลากล่วงหน้า 10 วัน ของเหตุการณ์ปีต่างๆ ในช่วงฤดูน้ำหลาก ณ สถานี SM.3

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นายไพศาล ช่วยแท้

เกิด : วันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2520 จังหวัดสงขลา

การศึกษา :

พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา, เกียรตินิยมอันดับ 1)
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2544 เข้าศึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรี (วิศวกรรมแหล่งน้ำ)
ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์ทำงาน :

พ.ศ. 2545 ผู้ช่วยสอน วิชาปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2546 ผู้ช่วยนักวิจัย โครงการการประเมินผลโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
(ประสิทธิผลการจัดการน้ำผิวดิน และผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน)
ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เสนอต่อ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

พ.ศ. 2547 วิศวกรแหล่งน้ำ
บริษัท ไพรเกอร์เทคโนโลยีคอนซัลแตนท์ จำกัด