รหัสโครงการ SUT7-712-46-12-41

รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม

(Application of Artificial Neural Networks for Flood Warning)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-712-46-12-41

รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม
(Application of Artificial Neural Networks for Flood Warning)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

เชาวน์ หิรัญตียะกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2546

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2549

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยการสนับสนุนของผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณโครงการพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความกรุณาสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัย เพื่อนร่วมสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้ทั้งแรงกาย แรงใจ และมันสมอง เพื่อช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จ กราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ที่เคยสั่งสอนจนมีวันนี้ สุดท้ายกราบขอบพระคุณบุพการี ญาติ พี่ ผู้ให้ชีวิตและทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้วิจัย

เชาวน์ หิรัญตียะกุล

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาผลกระทบของจำนวน อินพุต, เอาต์พุต และเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้น ในโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนเร้นชั้นเดียวที่มีต่อการทำนายค่าอัตราการไหลในลำน้ำที่สถานีวัดน้ำ M.9 โดยในการศึกษาในครั้งนี้ได้ออกแบบให้โครงข่ายประสาทเทียมมีรูปแบบโครงสร้างที่แตกต่างกันจำนวนทั้งหมด 1,050 รูปแบบ แบ่งออกเป็น 5 กรณีหลัก แต่ละโครงข่ายถูกนำไปผ่านกระบวนการฝึกสอนและนำไปทดสอบการทำนายผลด้วยข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากสถานีวัด จากผลการศึกษาพบว่าจำนวนของอินพุตและเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้นไม่มีผลกระทบต่อการทำนายค่าอัตราการไหลในขณะที่จำนวนเอาต์พุตส่งผลต่อการทำนายค่าอัตราการไหลอย่างชัดเจน กล่าวคือโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุตจำนวน 1 หน่วย จะให้ผลการทำนายที่ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุตจำนวน 2 และ 3 หน่วย ตามลำดับ เมื่อเทียบความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุต 5 หน่วย จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนเร้น 12 เซลล์ และจำนวนเอาต์พุต 1 หน่วย สามารถทำนายค่าอัตราการไหลที่ดีที่สุดด้วยค่า $R^2 = 0.9780$

Abstract

The objective of this research is to study the effects of the number of input, output and neural in the single-hidden layer of artificial neural network (ANN) on forecasting stream flow rate at M.9 water station. There are 1050 different structure networks designed by varying the number of input, output and the neural in a hidden layer of ANN. These are separated into five cases of study. Each network for each case is trained by three different data sets taken from the year during the critical flooding disaster in the last decade nearby this water station. The result shows that the number of input and the number of neural in hidden layer of network do not affect the forecast of flow rate. In contrast, the number of output data has a significant effect on the forecasting flow rate. The network containing only one output can give forecasts better than one containing two and three output respectively. The best forecasting can be obtained from 5 inputs, 12 neural in hidden layer and 1 output network with a determination coefficient value (R^2) of 0.9780.

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	3
บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	4
2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
3.1 บทนำ	8
3.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม	8
3.2.1 แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม	8
3.2.2 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียม	11
3.3 ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้น	15
3.4 กฎการเรียนรู้	16
3.5 การเรียนรู้แบบแพร่กลับ	17
3.6 สรุปหลักการทั่วไปของกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับ	19

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ **หน้า**

บทที่ 4 วิธีดำเนินการศึกษา

4.1 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าอัตราการไหลรายวัน 21

4.2 การเตรียมข้อมูลน้ำท่าเพื่อการเรียนรู้และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม 22

4.2.1 ข้อมูลอัตราการไหล 22

4.2.2 การแปลงค่าข้อมูลน้ำท่า 24

4.3 โครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมนและกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับ 25

4.4 กระบวนการแพร่ไปข้างหน้าและกระบวนการแพร่กลับ 26

4.5 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม 27

4.6 ขั้นตอนการดำเนินงานศึกษา 31

4.7 การประเมินผลการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม 32

บทที่ 5 ผลการศึกษา

5.1 ผลการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายค่าอัตราการไหล 33

5.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษา 39

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา

6.1 สรุปผลการศึกษา 41

6.2 ข้อเสนอแนะ 44

บรรณานุกรม 45

ภาคผนวก ก. ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 47

ภาคผนวก ข. ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม MATLAB 54

ภาคผนวก ค. ผลการเรียนรู้ชุดข้อมูลตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียม 61

ภาคผนวก ง. ผลการทำนายอัตราการไหลของโครงข่ายประสาทเทียม 72

ภาคผนวก จ. กราฟแสดงผลการทำนายที่ดีที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียม ในแต่ละกรณีศึกษา 88

ประวัติผู้วิจัย 114

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 โครงสร้างของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมที่มีข้อมูลอินพุตหน่วยเดียว	9
3.2 โครงสร้างของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุตหลายหน่วย	9
3.3 สัญลักษณ์ของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม	11
3.4 การเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียมที่เป็นโครงข่ายแบบชั้น	11
3.5 สัญลักษณ์ของการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียมที่เป็นโครงข่ายแบบชั้นเดียว	13
3.6 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีหลายชั้น	14
3.7 สัญลักษณ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวน N ชั้น	14
3.8 ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม	15
4.1 แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่า M.9 อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ	23
4.2 สัญลักษณ์ของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมน	25

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงรายละเอียดการแบ่งชุดข้อมูลเพื่อใช้ในกระบวนการเรียนรู้และการทำนาย	24
4.2 แสดงการแบ่งลักษณะการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการศึกษา	27
4.3 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี A	28
4.4 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี B	29
4.5 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี C	29
4.6 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี D	30
4.7 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี E	30

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันความเสียหายเนื่องจากปัญหาอุทกภัยทวีความรุนแรงขึ้นเพิ่มมากขึ้นซึ่งอาจเป็นผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติและผลกระทบที่เกิดการกิจกรรมของมนุษย์ ดังนั้นเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากอุทกภัยจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ที่สามารถเฝ้าระวังและแจ้งเตือนภัยก่อนที่จะเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองอุทกวิทยาเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือเตือนภัยน้ำท่วม โดยระบบของแบบจำลองทางอุทกวิทยาสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ แบบจำลองเชิงกำหนด (Deterministic Model) และ แบบจำลองสโทแคสติก (Stochastic Model) สำหรับแบบจำลองทางอุทกวิทยา แบบจำลองเชิงกำหนดอาศัยข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อใช้ในการจำลองสภาพการเคลื่อนที่ของน้ำตามกระบวนการทางอุทกวิทยา เริ่มตั้งแต่การตกของฝน การดัก การระเหย การคายระเหย การซึมลงบนผิวดิน การไหลหลากของน้ำฝนส่วนเกิน การไหลของน้ำใต้ดิน การไหลในทางน้ำธรรมชาติ เป็นต้น แบบจำลองประเภทนี้เหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพ กล่าวคือจะต้องมีการสำรวจและวัดคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆอย่างต่อเนื่องและครอบคลุมทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานมาป้อนให้แก่แบบจำลอง แต่สำหรับพื้นที่ซึ่งขาดแคลนข้อมูลทางกายภาพทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ การนำเอาแบบจำลองทางอุทกวิทยาประเภทแรกมาประยุกต์ใช้งานอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้มากหากต้องการนำมาใช้สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม ดังนั้นแบบจำลองทางอุทกวิทยาแบบที่สองจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวนี้อาศัยความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลที่ป้อนเข้าและนำออกจากแบบจำลองในเชิงสถิติที่มีอยู่เท่านั้นโดยไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลทางกายภาพและกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำตามกระบวนการทางอุทกวิทยาแต่อย่างใด

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองสโทแคสติกชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจนำมาศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือเตือนภัยน้ำท่วมในช่วงหลายที่ผ่านมา โดยแนวคิดพื้นฐานการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมเกิดจากการพยายามเลียนแบบกลไกการทำงานของระบบเซลล์ประสาทของมนุษย์ซึ่งมีกลไกการเรียนรู้ปัญหาเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหา แต่เนื่องจากการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการเตือนภัยน้ำท่วมจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในตัวแบบจำลองเป็นอย่างดีก่อนนำไปประยุกต์ใช้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้นำเสนอผลศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมเพื่อศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีต่อความสามารถในการทำนายอัตราการไหลรายวันใน

ลำน้ำ ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปเป็นความรู้เพื่อประกอบการพิจารณาออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการเตือนภัยน้ำท่วมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบโครงสร้าง ได้แก่ จำนวนอินพุต, จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น และจำนวนเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีผลต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลรายวันในลำน้ำ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. โครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้มีองค์ประกอบโครงสร้างจำนวน 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลอินพุต, ชั้นข้อมูลซ่อนเร้น และชั้นข้อมูลเอาต์พุต โดยในชั้นข้อมูลซ้อนเร้นเป็นแบบชั้นเดี่ยว (Single Hidden Layer)

2. ในโครงข่ายประสาทเทียมใช้ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นแบบ log-sigmoid ทั้งในชั้นซ่อนเร้นและชั้นข้อมูลเอาต์พุต ใช้ค่าคงที่การเรียนและค่าโมเมนตัมในกระบวนการเรียนรู้เท่ากับ 0.1 และ 0.9 ตามลำดับ

3. เพื่อศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลได้ทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนองค์ประกอบโครงสร้างแต่ละส่วนดังนี้ เปลี่ยนแปลงจำนวนอินพุตตั้งแต่ 1-7 หน่วย, เปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น 1-30 หน่วย และเปลี่ยนแปลงจำนวนเอาต์พุต 1-3 หน่วย ตามลำดับ ซึ่งสามารถแยกเป็นกรณีศึกษาออกแบบได้ทั้งหมด 5 กรณี มีโครงข่ายที่ออกแบบทั้งหมดจำนวน 1,050 รูปแบบ

4. เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบโครงข่ายเอลแมน (Elman Network) ซึ่งอยู่ในกล่องเครื่องมือ (Toolbox) ของโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับและการทำนายอัตราการไหลรายวัน

5. ข้อมูลอัตราการไหลรายวันที่นำมาใช้ศึกษาได้มาจากสถานีวัดน้ำท่า M.9 ในเขตลุ่มน้ำมูล โดยได้คัดเลือกค่าอัตราการไหลรายวันของปีน้ำที่เกิดวิกฤตอุทกภัยในพื้นที่เทศบาลเมือง จังหวัดศรี-สะเกษ ซึ่งอยู่ใกล้กับสถานีวัดน้ำท่าดังกล่าว ข้อมูลอัตราการไหลรายวันที่คัดเลือกมาของแต่ละปีน้ำจะถูกนำมาใช้ทั้งในกระบวนเรียนรู้และขบวนการทำนายอัตราการไหลเพื่อสังเกตผลกระทบขององค์ประกอบต่างๆ ของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีต่อการทำนายค่าอัตราการไหล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

1. เตรียมข้อมูลอัตราการไหลรายวันในปีน้ำที่เกิดวิกฤตอุทกภัย ได้แก่ ปีน้ำ พ.ศ.2539, 2543 และ 2544 โดยแปลงค่าข้อมูลอัตราการไหลในแต่ละปีน้ำให้อยู่ในช่วงค่าที่สอดคล้องกับการนำไปป้อนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม

2. ออกแบบรูปแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมให้มีจำนวนองค์ประกอบโครงสร้างแต่ละส่วนแตกต่างกันไปโดยทำการเปลี่ยนแปลง จำนวนอินพุต, จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น และจำนวนเอาต์พุต ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยแยกเป็นทั้งหมด 5 กรณีศึกษาเพื่อตรวจสอบผลกระทบที่มีต่อผลการทำนายอัตราการไหลของโครงข่ายประสาทเทียม

3. นำข้อมูลอัตราการไหลรายวันที่แปลงค่าแล้วนำไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบไว้ จากนั้นนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ผ่านกระบวนการเรียนรู้ไปทดสอบการทำนายค่าอัตราการไหลรายวัน

4. ประเมินความสามารถของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีองค์ประกอบของโครงสร้างที่แตกต่างกันเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลกระทบขององค์ประกอบของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

จากการศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบของโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลรายวันสามารถนำไปใช้ในการประกอบการพิจารณาการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมต่อไป

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN.) เป็นการจำลองการคำนวณที่เลียนแบบมาจากระบบการทำงานของระบบเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ การศึกษาเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มต้นขึ้นตั้งแต่ Warren McCulloch และ Walter Pitts ได้นำเสนอแบบจำลองของระบบประสาทเทียมรุ่นแรกในปี ค.ศ.1943 โดยระบบใยประสาทเทียมที่นำเสนอนี้ถูกเรียกว่า เพอร์เซ็พตรอน (Perceptron) ซึ่งประกอบด้วย อินพุต (Input, X_i), ค่าน้ำหนัก (Weights,W_i) และค่าจุดเปลี่ยนระดับ (Threshoulding) โดยหลักการพื้นฐานของการทำงานของเพอร์เซ็พตรอน เริ่มจากการป้อนอินพุตให้แก่ระบบ อินพุตแต่ละตัวจะถูกนำไปคูณเข้ากับค่าน้ำหนักจากนั้นเชื่อมต่อข้อมูลทุกชุดด้วยการรวมผลคูณทั้งหมดที่ได้แต่ละคู่เข้าไว้ด้วยกัน ผลรวมของผลคูณระหว่างอินพุตกับค่าน้ำหนักทั้งหมดที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าจุดเปลี่ยนระดับที่กำหนดไว้ หากผลรวมที่ได้มีค่ามากกว่าค่าจุดเปลี่ยนระดับ เอาต์พุต (Output, O_i) ที่ได้จากเพอร์เซ็พตรอน จะมีค่าเป็นหนึ่ง แต่หากผลรวมที่ได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าจุดเปลี่ยนระดับที่กำหนดไว้เอาต์พุตจากเพอร์เซ็พตรอนจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเพอร์เซ็พตรอนดังกล่าวนี้มีโครงสร้างเพียงชั้นเดียว (Single Layer) ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจนเป็นผลให้การนำความรู้เกี่ยวกับใยประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้งานไม่เป็นที่แพร่หลาย แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างเพอร์เซ็พตรอนดังกล่าวนี้นี้ถือได้ว่าเป็นพื้นฐานในการพัฒนาไปเป็นโครงข่ายประสาทเทียมรุ่นต่อมามาจนถึงปัจจุบัน

ในปี ค.ศ.1986 ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมได้กลับมาเป็นที่สนใจของนักวิจัยมากขึ้นอีกครั้งเมื่อ Rumelhart และคณะได้ทำการคิดค้น เพอร์เซ็พตรอนแบบหลายชั้น (Multiple Perceptron) ขึ้นมาเพื่อลดข้อจำกัดของเพอร์เซ็พตรอนแบบชั้นเดียวซึ่งสามารถแบ่งแยกได้เพียงแบบเชิงเส้น (Linearly Separable) เท่านั้น นอกจากนั้นยังได้นำเสนอกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Backpropagation) แต่ก็มีการตั้งคำถามเกี่ยวกับความเร็วของการเรียนรู้ว่าอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสมหรือไม่ อีกทั้งขั้นตอนการคำนวณหาจำนวนเพอร์เซ็พตรอนที่เหมาะสมสำหรับแต่ละโครงข่ายยังไม่มีทฤษฎีรองรับอย่างแน่นอน ดังนั้นการนำเอาความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้งานจึงทำได้เพียง วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อหาจำนวนเพอร์เซ็พตรอนที่เหมาะสมในแต่ละกรณีที่ทำการศึกษาเท่านั้น ซึ่งในเวลาต่อมาการเรียนรู้แบบแพร่กลับได้ถูกพัฒนาจนถูกนำไปประยุกต์ใช้กับ โครงข่ายของการเกิดซ้ำ (Recurrent Networks) ซึ่งมีโครงสร้างของโครงข่ายแบบ Dynamic Network ทำให้ผลของข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องมากขึ้น ต่อมาในปี ค.ศ.1988 นักวิจัยชื่อ

Nielsen ได้ค้นพบว่าโครงข่ายของการเกิดซ้ำที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการทำนายค่าข้อมูลต่างๆ ได้ดี

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งยังมีการสร้างเครื่องมืออำนวยความสะดวกเพื่อช่วยลดขั้นตอนในการใช้งานดียิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่นการสร้างกล่องเครื่องมือของโครงข่ายประสาทเทียมในโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการพัฒนาอัลกอริทึมใหม่เองทั้งหมดช่วยให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา ดังนั้นจึงมีการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมถูกนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในหลากหลายสาขาวิชามากขึ้นรวมทั้งในงานด้านอุทกวิทยา ดังจะได้จะได้นำเสนอผลการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาศึกษาและประยุกต์ใช้ในช่วงเวลาที่ผ่านมาในหัวข้อถัดไป

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Rumelhart และคณะ (1986) ได้นำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหลายชั้นที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อช่วยในการปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของโครงข่ายประสาทเทียม โดยในการคำนวณหาค่าน้ำหนักอาศัยหลักการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ของ Gradient Descent ซึ่งประกอบไปด้วย 2 สถานะ โดยในสถานะแรกเป็นการกระจายจากข้อมูลอินพุตผ่านเข้าแต่ละหน่วยที่อยู่ในแต่ละชั้นของโครงข่ายเพื่อนำไปคำนวณหาค่าเอาต์พุตออกจากโครงข่ายเอาต์พุตที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ หากเอาต์พุตที่ได้แตกต่างจากค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้จะเข้าสู่สถานะที่สองซึ่งเป็นกระบวนการแบบแพร่กลับผ่านแต่ละหน่วยที่อยู่ในแต่ละชั้นของโครงข่ายเพื่อปรับแก้ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยทำการปรับแก้ค่าน้ำหนักเพื่อให้ค่าข เอาต์พุตมีค่าแตกต่างจกค่าเป้าหมายมากที่สุด

French และคณะ (1992) ได้ทำการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายความเข้มของปริมาณฝนซึ่งเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และระยะเวลา โดยภายในโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยชั้นข้อมูลทั้งหมดจำนวนสามชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลอินพุต (Input Layer), ชั้นข้อมูลซ่อนเร้น (Hidden Layer) และชั้นข้อมูลเอาต์พุต (Output Layer) โครงข่ายถูกประยุกต์ใช้กับกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับโดยชุดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตเป็นข้อมูลความเข้มของฝนรายชั่วโมงที่อยู่ในรูปของลำดับเวลา เมื่อโครงข่ายผ่านกระบวนการเรียนรู้จึงนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการทำนายความเข้มฝนล่วงหน้า 1 ชั่วโมงโดยใช้ข้อมูลความเข้มฝนปัจจุบัน ผลที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปของอนุกรมเวลาและกับข้อมูลความเข้มฝนที่เกิดขึ้นจริงพบว่าความเข้มฝนที่ได้จากการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

Siang (1992) ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อทำนายคุณภาพน้ำรายเดือน (อุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่าง และสภาพความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า) และทำนายปริมาณน้ำท่ารายเดือนในแม่น้ำโขง ณ เมืองเวียงจันทร์ ประเทศลาว โดยโครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนสามชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลอินพุต, ชั้นข้อมูลซ่อนเร้น และชั้นข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งภายในชั้นของข้อมูลซ่อนเร้นมีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมอยู่ตั้งแต่ 1–3 หน่วย จากผลการทำนายพบว่าให้ผลที่ดีกว่าผลที่ได้จากการทำนายที่ได้จากแบบจำลอง Box Jenkins

Songyot และ Phien (1997) ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อทำนายน้ำท่ารายวันของลุ่มน้ำแม่กลอง ในประเทศไทย โดยโครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนสามชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลอินพุต, ชั้นข้อมูลซ่อนเร้น และชั้นข้อมูลเอาต์พุต ในชั้นข้อมูลเอาต์พุตมีจำนวนเพียง 1 หน่วย เมื่อนำผลที่ได้จากการทำนายไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงพบว่าให้ผลการศึกษาที่ดี โดยพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่จะให้ผลการทำนายที่ดีกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก

Nam, Phien และ Gupta (1998) ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อทำนายน้ำท่ารายเดือนของพื้นที่ลุ่มน้ำดำซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศเวียตนาม โดยมีข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่าเป็นอินพุต จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ทำนายได้ในแต่ละสถานีอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง นอกจากนี้ยังได้เพิ่มการตรวจสอบผลการทำนายจากโครงข่ายประสาทเทียมโดยวิธี อนุกรมความผิดพลาด (Error Series) ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการทำนายยังคงสามารถใช้ได้ดีเหมือนเดิม

กิตติพงษ์ และ วุฒิชัย (2542) นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันของลำน้ำหลายสายในประเทศไทย จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่ารายวันในลำน้ำที่ทำนายได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ปวันรัตน์, ขวัญใจ และ พงษ์ศักดิ์ (2542) ได้ใช้โปรแกรม Matlab ในการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อคำนวณหาค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายวันในลุ่มน้ำยมบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย โดยทำการออกแบบโครงสร้างใยประสาทเทียมออกเป็น 5 รูปแบบ แล้วนำเอาโครงข่ายที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดมาใช้ พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลการทำนายที่ดี

เสรี (2543) ได้ใช้โปรแกรม Matlab ในการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลรายเดือนของแม่น้ำมูล โดยทำการออกแบบโครงสร้างใยประสาทเทียมออกเป็น 6 รูปแบบโครงข่ายจากนั้นเลือกเอาโครงข่ายที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดมาใช้ พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลการทำนายที่ดี

เสรี และคณะ (2544) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับสร้างแบบจำลองเพื่อใช้พยากรณ์ระดับน้ำรายวันที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้ข้อมูลฝนและระดับน้ำพบแบบจำลองที่ได้มีประสิทธิภาพและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์ (2545) พัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมสำหรับเทศบาลเมืองชุมพร โดยระบบเตือนภัยน้ำท่วมแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบเตือนภัยล่วงหน้าโดยใช้วิธีค่าดัชนีความชื้นของดินซึ่งเกิดจากฝนตกร่วมกับกราฟความสัมพันธ์แบบสหแกนและระบบเตือนภัยน้ำท่วมในช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่วมโดยใช้แบบจำลอง Mike11 เพื่อจำลองสภาพการไหลของน้ำและระดับน้ำในพื้นที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ยังได้นำเอาแบบจำลองไปสอบเทียบกับเหตุการณ์น้ำท่วมจริงในช่วงเวลาที่มีอุทกภัยที่รุนแรงจริง พบว่าระบบเตือนภัยน้ำท่วมที่ได้พัฒนาให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

นลินี และ เสรี (2545) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับสร้างแบบจำลองเพื่อใช้พยากรณ์อนุกรมเวลาของระดับน้ำเพื่อเป็นเครื่องมือในการเตือนภัยน้ำท่วมในลุ่มน้ำยม โดยได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองชุด ชุดแรกใช้สำหรับการเรียนรู้ของใยประสาทเทียมและอีกชุดเพื่อการทดสอบ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับสามารถคำนวณให้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับการพยากรณ์ในช่วงเวลาสั้นๆ

ภูวดล และ ชูโชค (2545) ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเป็นเป็นข้อมูลนำเข้าในการเรียนรู้ของแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองที่ได้ให้ผลการทำนายที่มีประสิทธิภาพในช่วงเรียนรู้และช่วงการทดสอบอยู่ในระดับสูง กล่าวคือสามารถนำไปใช้ในการทำนายปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

ระบบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมเกิดขึ้นจากการพยายามเลียนแบบการทำงานของระบบประสาทในสมองมนุษย์ โดยในสมองของมนุษย์จะมีจำนวนเซลล์ประสาท (neuron) อยู่ประมาณ 10^{11} เซลล์เชื่อมต่อกันอย่างซับซ้อนเพื่อทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากระบบประสาทสัมผัสที่มีอยู่ทั่วร่างกายและนำผลที่ได้จากการประมวลสั่งงานไปยังอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ในการจำลองระบบประมวลผลของสมองมนุษย์สามารถทำได้โดยการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีปแบบโครงสร้างและการทำงานคล้ายกับในระบบสมองของมนุษย์ จากนั้นทำการฝึกสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้นให้รู้จักปรับเปลี่ยนตัวเองเพื่อตอบสนองต่อข้อมูลที่ได้รับตามกฎการเรียนรู้ เมื่อกระบวนการเรียนรู้สิ้นสุดโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าวจะมีความสามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเอาความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งงานทางด้านอวกาศ ธนาคาร การป้องกันความปลอดภัย อิเลคทรอนิกส์ บันเทิง ประกันโรงงาน แพทย์ หุ่นยนต์ การสื่อสารโทรคมนาคม ขนส่ง ตลอดจนการนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านอุทกวิทยา เป็นต้น

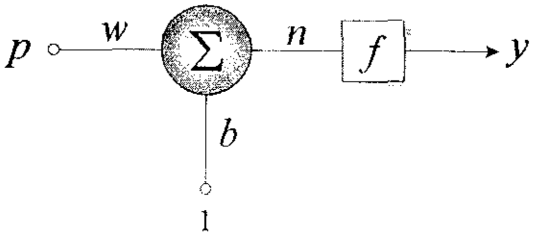
3.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม (artificial neuron model) และสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียมเป็นโครงข่ายประสาทเทียม (neural network architecture) โดยรายละเอียดของส่วนประกอบหลักทั้งสองดังต่อไปนี้

3.2.1 แบบจำลองของเซลล์ประสาทเทียม

โครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียมเกิดจากการพยายามจำลองรูปแบบการทำงานของสมองมนุษย์เพื่อนำมาใช้ในงานการเรียนรู้รูปแบบของชุดข้อมูลตัวอย่างและทำให้เป็นกรณีทั่วไปเพื่อนำไปใช้งานที่กำหนดไว้ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ใน รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียมพื้นฐานที่มีจำนวน ข้อมูลอินพุต (input, p) เพียงข้อมูลเดียว โดยข้อมูลอินพุต ดังกล่าวจะถูกนำไปคูณด้วยน้ำหนัก (weight, w) และนำไปรวมเข้ากับ ค่าไบอัส (bias or offset, b) ซึ่งอาจถือว่าเป็นข้อมูลอินพุตอีกตัวหนึ่งที่มีค่าน้ำหนักคงที่เท่ากับ 1 ผลรวมที่ได้นั้นเรียกว่า ข้อมูลเอาต์พุตสุทธิ (net

output, n) ซึ่งข้อมูลเอาต์พุตสุทธิ จะถูกส่งต่อให้กับ ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้น (non-linear activation function, f) เพื่อเปลี่ยนเป็น ข้อมูลเอาต์พุต(output, y) ในขั้นตอนสุดท้าย

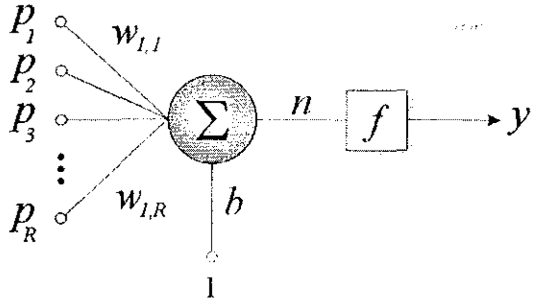


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมที่มีข้อมูลอินพุตหน่วยเดียว (single-input neuron)

จากโครงสร้างของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมสามารถนำมาเขียนให้อยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y = f(wp + b) \qquad \text{... (3.1)}$$

เมื่อสังเกตจากสมการจะพบว่าข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมนี้จะมีค่าขึ้นอยู่กับ ค่าน้ำหนัก, ค่าไบอัส และชนิดฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้น ดังนั้นจึงถือว่าทั้งสามส่วนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของเซลล์ประสาทเทียม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าน้ำหนักและค่าไบอัสจะถูกปรับเปลี่ยนค่าตามกฎการเรียนรู้ ส่วนชนิดฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นจะถูกเลือกโดยผู้ออกแบบเซลล์ประสาทเทียมตั้งแต่ต้นดังจะได้แสดงรายละเอียดต่อไปในหัวข้อ 3.3



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุตหลายหน่วย (multiple-input neuron)

ในบางกรณีแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมอาจจะมีจำนวนข้อมูลอินพุตมากกว่าหนึ่งหน่วย ดังแสดงใน รูปที่ 3.2 เป็นโครงสร้างของแบบจำลองเซลล์ประสาทที่มีข้อมูลอินพุตจำนวน R หน่วย โดยแต่ละข้อมูลอินพุตจะมีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันคูณเข้าก่อนนำไปรวมกับค่าไบอัสเพื่อให้เกิดเป็นข้อมูลเอาต์พุตสุทธิ สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \ldots + w_{1,R}p_R + b \qquad \ldots (3.2)$$

หากเขียนให้อยู่ในรูปสมการเมตริกซ์จะได้ว่า

$$n = \mathbf{W}\mathbf{p} + b \qquad \ldots (3.3)$$

เมื่อ **W** และ **p** เป็น เมตริกซ์แถวของน้ำหนักและเมตริกซ์หลักของข้อมูลอินพุต ตามลำดับ

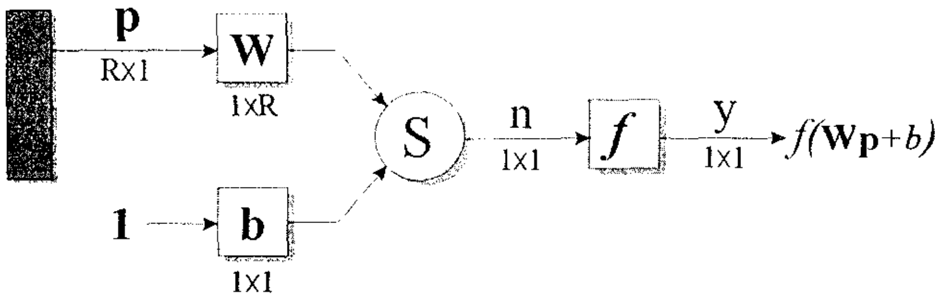
$$\mathbf{W}_{1\times R} = \{w_{1,1} \quad w_{1,2} \quad \cdots \quad w_{1,R}\} \qquad \ldots (3.4)$$

$$\mathbf{p}_{R\times 1} = \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_R \end{Bmatrix} \qquad \ldots (3.5)$$

ดังนั้นข้อมูลนำออกที่ได้จากการนำข้อมูลเอาต์พุตสุทธิผ่านเข้าสู่ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นจึงสามารถเขียนได้เป็น

$$y = f(\mathbf{W}\mathbf{p} + b) \qquad \ldots (3.6)$$

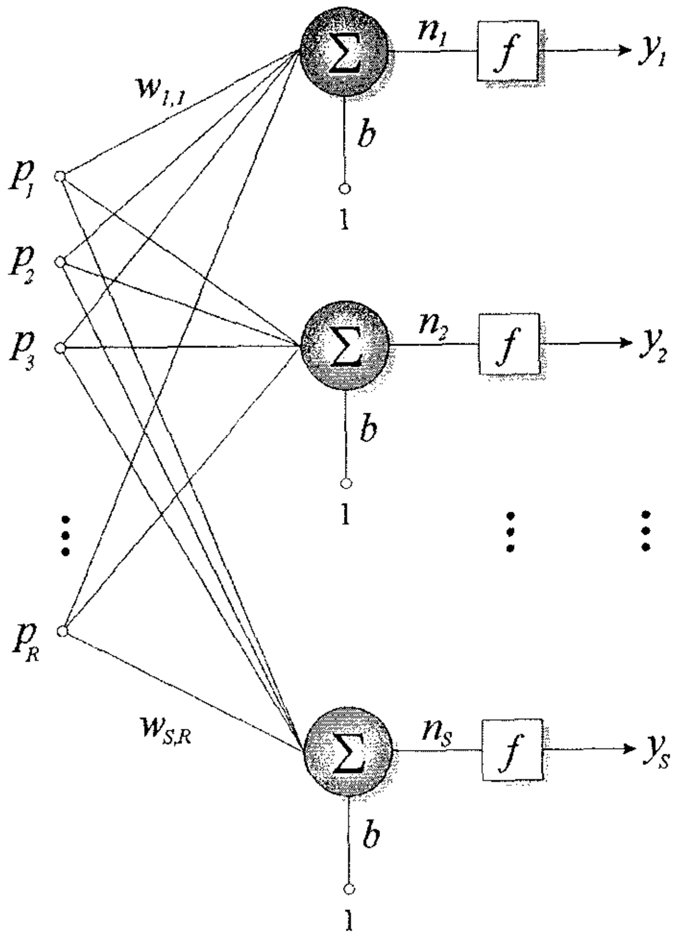
เมื่อเซลล์ประสาทเทียมถูกนำไปเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายที่มีเซลล์ประสาทเทียมจำนวนมากอาจเขียนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นโดยการใช้สัญลักษณ์ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สัญลักษณ์ของแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม

3.2.2 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียม

ในการนำเอาเซลล์ประสาทเทียมไปใช้งานนั้นมักนำเอาเซลล์ประสาทเทียมหลายเซลล์ไปเชื่อมต่อกันแบบขนานเป็นชั้น (Layer) ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียมที่เป็นโครงข่ายแบบชั้นเดียว (single layer)

ใน รูปที่ 3.4 เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบขึ้นจากการนำเอาเซลล์ประสาทเทียมจำนวน S เซลล์ มาต่อแบบขนานทำให้เกิดเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (single layer) โดยโครงข่ายประสาทเทียมนี้มีจำนวนข้อมูลอินพุตเท่ากับ R หน่วย ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปของเมตริกซ์ตัวแปรได้ดังนี้

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{Wp} + \mathbf{b}) \qquad \ldots (3.7)$$

เมื่อ $\mathbf{y}, \mathbf{W}, \mathbf{p}$ และ $\mathbf{b}$ เป็น เมตริกซ์ของ ข้อมูลเอาต์พุต, น้ำหนัก, ข้อมูลอินพุตและค่าไบอัส ตามลำดับ

$$\mathbf{y}_{S\times 1} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_S \end{Bmatrix} \qquad \ldots (3.8)$$

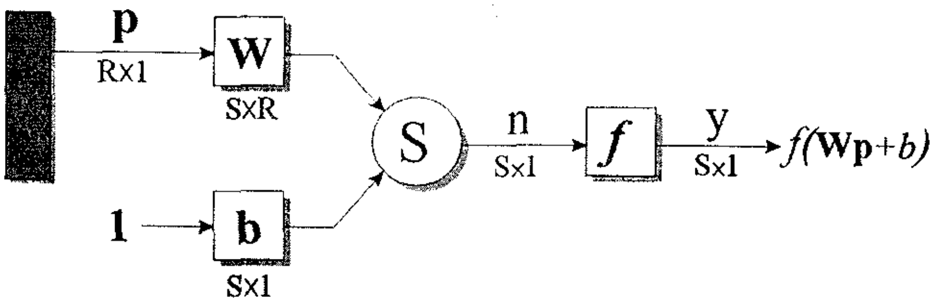
$$\mathbf{W}_{S\times R} = \begin{Bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \cdots & w_{1,R} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \cdots & w_{2,R} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{S,1} & w_{S,1} & \cdots & w_{S,R} \end{Bmatrix} \qquad \ldots (3.9)$$

$$\mathbf{p}_{R\times 1} = \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_R \end{Bmatrix} \qquad \ldots (3.10)$$

$$\mathbf{b}_{S\times 1} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_S \end{Bmatrix} \qquad \ldots (3.11)$$

โดยทั่วไปแล้วจำนวนของข้อมูลอินพุตกับจำนวนชั้นของเซลล์ประสาทเทียมที่นำมาต่อขนานกันเป็นชั้นนั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เช่นเดียวกันกับชนิดฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นของแต่ละเซลล์ประสาท

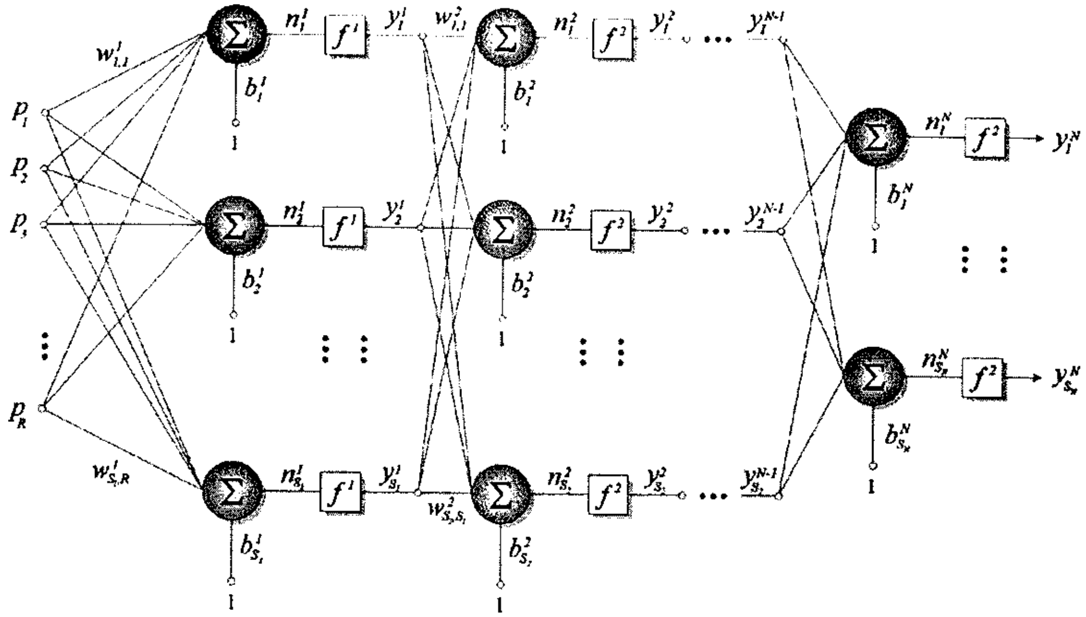
เทียมก็ไม่จำเป็นต้องเลือกใช้เป็นชนิดเดียวกันทั้งหมด สำหรับสัญลักษณ์ของการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียมที่เป็นโครงข่ายแบบชั้นเดียวสามารถเขียนได้ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 3.5



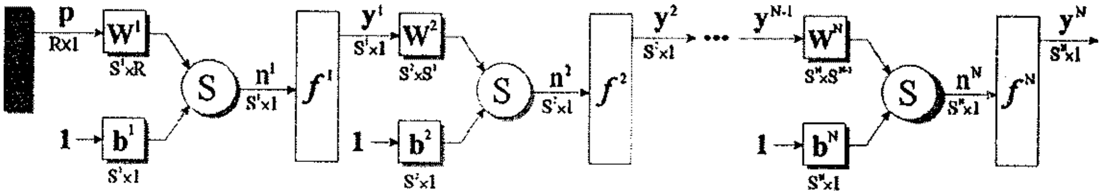
รูปที่ 3.5 สัญลักษณ์ของการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทเทียมที่เป็นโครงข่ายแบบชั้นเดียว

ในทางปฏิบัติโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างหลายชั้น (multiple layer network) จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างชั้นเดียว ตัวอย่างของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีหลายชั้นที่แสดงไว้ใน รูปที่ 3.6 แต่ละชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเมตริกซ์น้ำหนัก ค่าไบอัส ข้อมูลเอาต์พุตสุทธิ และข้อมูลเอาต์พุตของแต่ละชั้น โดยแต่ละชั้นของโครงข่ายอาจมีจำนวนของเซลล์ประสาทเทียมไม่เท่ากันได้ โครงข่ายชั้นแรกของโครงข่ายประสาทเทียมมักถูกเรียกว่า ชั้นข้อมูลอินพุต (input layer) มีจำนวนข้อมูลรับเข้าเท่ากับ R ข้อมูล ส่วนชั้นที่ 1, 2, ... จะมีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมจำนวน $S^1, S^2, \ldots$ เซลล์ และในชั้นสุดท้ายจะเป็นชั้นข้อมูลเอาต์พุต (output layer) ซึ่งมีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมเท่ากับ S^N เซลล์ ตามลำดับ โดยข้อมูลเอาต์พุตในชั้นแรกจะเป็นข้อมูลอินพุตของชั้นที่สองและข้อมูลเอาต์พุตในชั้นที่สองจะเป็นข้อมูลอินพุตของชั้นที่สาม ฯลฯ เป็นเช่นนี้จนถึงชั้นสุดท้าย สำหรับชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมที่ไม่ได้เป็น ชั้นข้อมูลอินพุตชั้นแรกและชั้นข้อมูลเอาต์พุตชั้นสุดท้ายนั้นจะถูกเรียกว่า ชั้นซ่อนเร้น (hidden layer) ซึ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตและชั้นข้อมูลเอาต์พุตของแต่ละชั้นมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\mathbf{y}^1 = \mathbf{f}^1(\mathbf{W}^1\mathbf{p} + \mathbf{b}^1) \quad \mathbf{y}^2 = \mathbf{f}^2(\mathbf{W}^2\mathbf{y}^1 + \mathbf{b}^2) \quad \ldots \quad \mathbf{y}^N = \mathbf{f}^N(\mathbf{W}^N\mathbf{y}^{N-1} + \mathbf{b}^N) \qquad \ldots (3.12)$$



รูปที่ 3.6 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีหลายชั้น



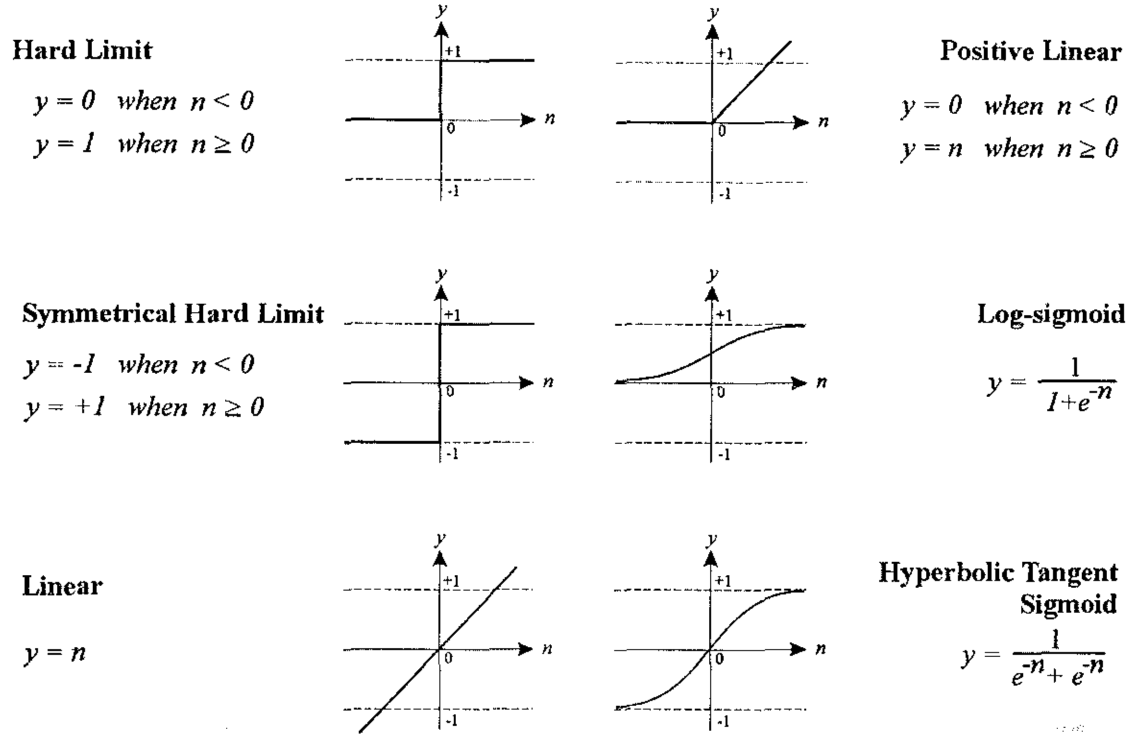
รูปที่ 3.7 สัญลักษณ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวน N ชั้น

สำหรับ รูปที่ 3.7 เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างหลายชั้น เมื่อสังเกตโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างหลายชั้นจะพบว่ามีพารามิเตอร์ที่ต้องออกแบบจำนวนมาก ดังนั้นสิ่งแรกของการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างหลายชั้นผู้ออกแบบต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเสียก่อน ได้แก่ จำนวนของข้อมูลอินพุต จำนวนข้อมูลเอาต์พุต จำนวนชั้นซ่อนเร้นของโครงข่าย จำนวนเซลล์ประสาทในแต่ละชั้นซ่อนเร้น ชนิดของฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นของแต่ละเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ในแต่ละชั้น อย่างไรก็ตามวิธีการกำหนดพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่มีกฎเกณฑ์ที่ชัดเจน ในบางปัญหาการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนเร้นน้อยกว่าอาจมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนเร้น

มากกว่าก็เป็นได้ แต่ในการใช้งานทั่วไปโครงข่ายที่มีชั้นซ่อนเร้นหนึ่งหรือสองชั้นก็เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

3.3 ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้น

ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้น (non-linear activation function) ที่ถูกนำมาใช้ในเซลล์ประสาทเทียมมีอยู่หลายแบบด้วยกันทั้งที่เป็นแบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น การเลือกใช้ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นในเซลล์ประสาทเทียมจะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบที่จะนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานในโครงข่ายประสาทเทียมมีอยู่หลายแบบดังแสดงใน รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม

3.4 กฎการเรียนรู้

เมื่อได้ทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมโดยเลือก จำนวนข้อมูลอินพุต จำนวนข้อมูลเอาต์พุตจำนวนชั้นของโครงข่าย จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในแต่ละชั้นและชนิดของฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการหาค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ ค่าน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสของแต่ละเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ภายในโครงสร้างของโครงข่าย ซึ่งขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ทั้งสองดังกล่าวนี้เรียกว่า กฎการเรียนรู้ (learning rule or training algorithm) โดยจุดประสงค์ของการเรียนรู้ก็คือการฝึกสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำงานตามที่กำหนดให้ กฎการเรียนรู้นั้นสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

1. กฎการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (supervised)
2. กฎการเรียนรู้แบบไม่ต้องมีผู้ฝึกสอน (unsupervised)
3. กฎการเรียนรู้แบบเสริมความเข้มแข็ง (reinforcement)

โดยกฎการเรียนรู้แต่ละแบบมีรายละเอียดที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของการนำไปประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม แต่สำหรับในการศึกษานี้จะได้นำเอากฎการเรียนรู้แบบที่มีผู้ฝึกสอนชนิดหนึ่งที่มีชื่อเรียกว่า กฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับ มาใช้ในการศึกษาซึ่งจะได้นำเสนอรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

สิ่งที่จำเป็นสำหรับกฎการเรียนรู้แบบที่มีผู้ฝึกสอนที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ก็คือจะต้องมีชุดข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง (examples or training set) เพื่อใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งอยู่ในรูปของคู่ข้อมูลอินพุต (input) และเป้าหมาย (target) ที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมตอบสนองต่อรูปแบบของชุดข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

$$\{\mathbf{p}_1,\mathbf{t}_1\},\{\mathbf{p}_2,\mathbf{t}_2\},\ldots,\{\mathbf{p}_Q,\mathbf{t}_Q\} \qquad \ldots (3.13)$$

เมื่อ $\mathbf{p}_i$, $\mathbf{t}_i$ เป็น ข้อมูลอินพุตและค่าเป้าหมายของข้อมูลรับเข้านั้นๆ ตามลำดับ

เมื่อข้อมูลอินพุตถูกป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเป้าหมายของข้อมูลอินพุตนั้นๆ หากค่าทั้งสองแตกต่างกันโครงข่ายประสาทเทียมก็จะย้อนกับไปทำการปรับค่าน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสตามกฎการเรียนรู้ที่เลือกไว้เพื่อให้ข้อมูลนำออกจากโครงข่ายลู่เข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด

3.5 การเรียนรู้แบบแพร่กลับ

กฎการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนในยุคเริ่มต้นของการพัฒนาความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมนั้นนั้นมีหลายประเภท เช่น กฎการเรียนรู้เพอร์เซ็พตรอนของ Frank Rosenblat และ กฎการเรียนรู้ของวิโดร์ว-ฮอฟฟ์ (Bernard Widrow and Marcian Hoff) เป็นต้น แต่เนื่องจากกฎการเรียนรู้ดังกล่าวล้วนสามารถใช้ฝึกสอนได้กับเพียงโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวและรูปแบบปัญหาจะต้องเป็นเชิงเส้น (linearly separable) เท่านั้น จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1974 ได้มีการนำเสนอ กฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (backpropagation) โดย Pual Werbos ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับโครงข่ายประสาทเทียมป้อนไปหน้า (feedforward) แบบหลายชั้นได้ ซึ่งกฎการเรียนรู้ดังกล่าวได้รับความนิยมและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

วิธีการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับให้กับกับโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวน N ชั้น เริ่มต้นจากการป้อนคู่ข้อมูลชุดตัวอย่างในรูป ข้อมูลอินพุต-ข้อมูลเป้าหมาย ให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม

$$\{\mathbf{p}_1,\mathbf{t}_1\},\{\mathbf{p}_2,\mathbf{t}_2\},\ldots,\{\mathbf{p}_Q,\mathbf{t}_Q\} \qquad \ldots (3.14)$$

ข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลเอาต์พุตในชั้นแรกของของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\mathbf{y}^0 = \mathbf{p} \qquad \ldots (3.15)$$

ส่วนข้อมูลเอาต์พุตของชั้นต่อไปสามารถคำนวณหาได้จาก

$$\mathbf{y}^{l+1} = \mathbf{f}^{l+1}(\mathbf{W}^{l+1}\mathbf{y}^l + \mathbf{b}^{l+1}) \qquad \ldots (3.16)$$

เมื่อ $l = 0,1,2,\ldots,N-1$ เป็นลำดับของชั้นซ่อนเร้นในโครงข่าย ตามลำดับ

จากสมการที่ผ่านมาจะพบว่าข้อมูลเอาต์พุตจากชั้นสุดท้าย (N) ของโครงข่ายประสาทเทียมก็คือ $\mathbf{y}^N$ นั่นเอง เมื่อป้อนข้อมูลอินพุต $\mathbf{p}$ ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม โครงข่ายประสาทเทียมจะนำเอาข้อมูลที่ได้รับไปคำนวณหาข้อมูลเอาต์พุตในแต่ละชั้นไปเป็นลำดับ ด้วยค่าน้ำหนักและค่าไบอัสที่กำหนดไว้เริ่มต้น จนกระทั่งได้ข้อมูลเอาต์พุตจากโครงข่ายประสาทเทียมในชั้นสุดท้าย $\mathbf{y}^N$ ข้อมูลเอาต์พุตนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเป้าหมาย $\mathbf{t}$ ด้วยกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อทำการปรับพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมอันได้แก่ น้ำหนักประสาทและค่าโน้มเอียง เพื่อให้มีความ

คลาดเคลื่อนแบบกำลังสอง (mean square error) ระหว่างข้อมูลนำออกในชั้นสุดท้ายกับข้อมูลเป้าหมายให้น้อยที่สุดต่อไป

จะพบว่าสำหรับแต่ละชุดของข้อมูลอินพุตและข้อมูลเป้าหมายที่ป้อนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียมจะต้องมีการคำนวณค่าข้อมูลเอาต์พุตของแต่ละชั้นของโครงข่ายถัดไปเรื่อยๆ จนได้ข้อมูลเอาต์พุตในชั้นสุดท้าย กระบวนการดังกล่าวนี้จะถูกเรียกว่า การป้อนไปหน้า (feedforward) หลังจากได้ข้อมูลเอาต์พุตของโครงข่ายในชั้นสุดท้ายแล้ว ก็ทำการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนแบบกำลังสองเพื่อนำไปปรับพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมใหม่ซึ่งเป็นกระบวนที่ถูกเรียกว่า การแพร่กลับ (backpropagation) นั่นเอง กระบวนการทั้งสองนี้จะเกิดขึ้นสลับกันไปเรื่อยๆ และจะยุติลงเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนแบบกำลังสอง (mean square error) ระหว่างข้อมูลเอาต์พุตในชั้นสุดท้ายกับค่าเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุดหรืออยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดให้กับโครงข่าย

สำหรับรายละเอียดของที่มาของกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับในการปรับพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมจะไม่ขอนำมาเสนอในที่นี้ เนื่องจากมีปรากฏอยู่ในหนังสือตำราที่เกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมทั่วไป แต่จะได้นำเสนอเฉพาะรายละเอียดของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ดังกล่าวเท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$\mathbf{W}^m_{new}(k+1) = \eta\mathbf{W}^m_{old}(k) - (1-\eta)\alpha\delta^m(k)\mathbf{y}^{m-1}(k) \qquad \text{... (3.17)}$$

$$\mathbf{b}^m_{new}(k+1) = \mathbf{b}^m_{old}(k) - (1-\eta)\alpha\delta^m(k) \qquad \text{... (3.18)}$$

โดยที่ α เป็น ค่าคงที่ของการเรียนรู้ (learning rate) มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง 0-1, η เป็น ค่าคงที่โมเมนตัม (momentum) มีช่วงค่าอยู่ระหว่าง 0-1, ค่า k เป็น จำนวนรอบที่ของการเรียนรู้ และ δ^m เป็น ค่าความไวของค่าความผิดพลาด (error sensitivity) ของชั้นข้อมูลเอาต์พุตที่ m เมื่อ m เป็นชั้นข้อมูลเอาต์พุตใดๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมที่อยู่ใน รูปที่ 3.7 ตามลำดับ สำหรับค่าความไวของค่าความผิดพลาดของแต่ละชั้นข้อมูลเอาต์พุต δ^m ในแต่ละรอบ k สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\delta^m = f'(n^m_i)\sum_{l=1}^{S^{m+1}}\delta^{m+1}_l w^{m+1}_{i,l} \quad \text{สำหรับ m ที่เป็นชั้นข้อมูลเอาต์พุตใดๆ} \qquad \text{... (3.19)}$$

$$\delta^N = -2(t_i - y^N_i)f'(n^N_i) \quad \text{สำหรับ m=N ซึ่งเป็นชั้นข้อมูลเอาต์พุตชั้นสุดท้าย} \qquad \text{... (3.20)}$$

เมื่อ $i = 1,2,\ldots,S^N$ เป็น ลำดับของเซลล์ประสาทที่อยู่ในชั้นโครงข่าย l โดยที่ S^N เป็น จำนวนเซลล์ประสาททั้งหมดที่อยู่ในแต่ละชั้นโครงข่ายใยประสาทลำดับที่ l

เนื่องจากประสิทธิภาพการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมมีความสัมพันธ์กับค่าค่าคงที่ของการเรียนรู้ ค่าคงที่โมเมนตัม และจำนวนรอบที่ของการเรียนรู้ โดยตรง ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าถ้าใช้ค่าคงที่ของการเรียนรู้ที่มีค่าสูงจะทำให้ผลการคำนวณของโครงข่ายลู่เข้าสู่ค่าเป้าหมายได้เร็วขึ้นแต่จะค่าที่คำนวณได้จะมีการแกว่งตัวไม่ราบเรียบ Rumelhart และคณะ (1986) ได้เสนอวิธีลดการแกว่งของข้อมูลเพื่อให้ผลการคำนวณเอาต์พุตสู่ค่าเป้าหมายเป็นไปอย่างราบเรียบโดยการกำหนดค่าโมเมนตัมสูงๆ ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ค่า $\alpha = 0.1$ และ $\eta = 0.9$ ด้วยจำนวนรอบของกระบวนการเรียนรู้จำนวน $k = 10{,}000$ รอบ

3.6 สรุปหลักการทั่วไปของกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับ

กระบวนการทำงานของกฎการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถสรุปได้เป็น 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนด จำนวนข้อมูลอินพุต จำนวนข้อมูลเอาต์พุต จำนวนชั้นซ่อนเร้นในโครงข่าย จำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ในแต่ละชั้น ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นแต่ละชั้น ค่าน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสของแต่ละเซลล์ประสาทเทียม

กระบวนการป้อนไปหน้า:

ขั้นตอนที่ 2 ป้อนตัวอย่างของชุดข้อมูลอินพุตและข้อมูลเป้าหมายให้แก่โครงข่ายประสาทเทียมในรูปของเมตริกซ์

$$\{\mathbf{p}_1,\mathbf{t}_1\},\{\mathbf{p}_2,\mathbf{t}_2\},\ldots,\{\mathbf{p}_Q,\mathbf{t}_Q\}$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณข้อมูลเอาต์พุตของเซลล์ประสาทเทียมทุกตัวในโครงข่ายประสาทเทียม

$$\mathbf{y}^{l+1} = \mathbf{f}^{l+1}(\mathbf{W}^{l+1}\mathbf{y}^{l} + \mathbf{b}^{l+1})$$

ขั้นตอนที่ 4 ทำการคำนวณหาผลต่างระหว่างข้อมูลเอาต์พุต ($\mathbf{y}$) และข้อมูลเป้าหมาย ($\mathbf{t}$) ถ้าผลต่างที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้กระบวนการเรียนรู้ถือว่าสิ้นสุด แต่หากผลต่างที่เกิดขึ้นมีค่าเกินช่วงที่ยอมรับได้กระบวนการเรียนรู้จะเข้าสู่กระบวนการแพร่กลับซึ่งอยู่ในขั้นตอนต่อไป

กระบวนการแพร่กลับ:

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนแบบกำลังสองเพื่อนำมาใช้ปรับค่าน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสให้เป็นค่าน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสตัวใหม่ดังนี้

$$\mathbf{W}_{new}^{m}(k+1) = \eta\mathbf{W}_{old}^{m}(k) - (1-\eta)\alpha\delta^{m}(k)\mathbf{y}^{m-1}(k)$$
$$\mathbf{b}_{new}^{m}(k+1) = \mathbf{b}_{old}^{m}(k) - (1-\eta)\alpha\delta^{m}(k)$$

ขั้นตอนที่ 6 นำค่าน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสตัวใหม่ที่คำนวณได้ใน ขั้นตอนที่ 5 ย้อนกลับไปสู่กระบวนการเรียนรู้แบบป้อนไปหน้าซึ่งก็คือกลับไปที่ ขั้นตอนที่ 2 ใหม่อีกครั้ง

บทที่ 4
วิธีดำเนินการศึกษา

4.1 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าอัตราการไหลรายวัน

ในอดีตการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานนั้นค่อนข้างอยู่ในวงจำกัด เนื่องจากการเขียนโปรแกรมเพื่อรองรับการทำงานมีความยุ่งยากและซับซ้อน แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรมแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการให้การนำเอาใยประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ได้สะดวกยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีการนำเอาโปรแกรมสำเร็จรูปเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายสาขาวิชามากขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้ก็ได้นำเอาโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกพัฒนาเป็นกล่องเครื่องมือ (Toolbox) ของโปรแกรม Matlab มาใช้ในการทำนายค่าอัตราการไหลเพื่อใช้ในการเตือนภัยน้ำท่วม ดังนั้นการทำการศึกษาเพื่อเข้าใจกลไกการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความสำคัญมากขึ้น เพื่อสามารถนำเอาความรู้ที่ได้ไปใช้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

สำหรับรายละเอียดวิธีและขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมสำเร็จรูปของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการศึกษานี้มีรูปแบบเช่นเดียวกับที่ได้แสดงไว้ในบทที่ผ่านมา โดยเริ่มต้นจากการออกแบบ จำนวนข้อมูลอินพุต จำนวนชั้นซ่อนเร้น จำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ในแต่ละชั้นซ่อนเร้น และจำนวนข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมจากนั้นทำการฝึกสอนให้โครงข่ายได้เรียนรู้รูปแบบของชุดข้อมูลตัวอย่างในรูป ชุดข้อมูลอินพุตและข้อมูลเป้าหมาย ผ่านกระบวนการเรียนรู้ด้วยกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับ เมื่อโครงข่ายสามารถเรียนรู้รูปแบบของชุดข้อมูลจากกระบวนการเรียนรู้แล้วความสามารถหรือประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกทดสอบในขั้นตอนการทำนาย โดยการนำเอาข้อมูลอินพุตอีกชุดที่มีรูปแบบเดียวกับชุดข้อมูลตัวอย่างมาป้อนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม หลังจากโครงข่ายประสาทเทียมนำเอาข้อมูลอินพุตไปคำนวณและได้ข้อมูลเอาต์พุตที่ออกมา ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเอาต์พุตที่แท้จริงของชุดข้อมูลทดสอบต่อไป

ในการศึกษาในครั้งนี้สนใจที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบขององค์ประกอบของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหล ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทำการออกแบบโครงข่ายให้มีรูปแบบโครงสร้างที่มีองค์ประกอบโครงสร้างที่แตกต่างกันโดยทำการเปลี่ยนแปลง จำนวนข้อมูลอินพุต, จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น และจำนวนข้อมูลเอาต์พุต ภายในโครงข่ายประสาทเทียม หลังจากได้ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแล้วแต่ละโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำไปการฝึกสอนผ่าน กระบวนการเรียนรู้ด้วยชุดข้อมูลตัวอย่าง โครงข่ายที่ได้รับการเรียนรู้ชุดข้อมูลตัวอย่างซึ่งอยู่ในรูปคู่ลำดับ ข้อมูลอินพุต-ข้อมูล

เป้าหมาย แล้วจะถูกนำไปทดสอบความสามารถทำนายค่าด้วยข้อมูลชุดทดสอบซึ่งอยู่ในรูปคู่ลำดับข้อมูลอินพุต-ข้อมูลเอาต์พุต ซึ่งชุดข้อมูลตัวอย่างและข้อมูลทดสอบในการศึกษานี้จะเป็นค่าอัตราการไหลรายวันดังจะได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

4.2 การเตรียมข้อมูลน้ำท่าเพื่อการเรียนรู้และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม

4.2.1 ข้อมูลอัตราการไหล

เนื่องจากในขั้นตอนการศึกษาถึงผลกระทบขององค์ประกอบของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลรายวันจำเป็นต้องมีข้อมูลอัตราการไหลเพื่อใช้ทั้งในกระบวนการเรียนรู้และการทำนายค่า โดยการศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษาเฉพาะในกรณีการนำข้อมูลอัตราการไหลรายวันของวันย้อนหลังในอดีตเพื่อนำมาทำนายข้อมูลอัตราการไหลรายวันของในอนาคต ในงานศึกษานี้ได้เลือกเอาข้อมูลอัตราการไหลรายวันของสถานี M.9 ของลำห้วยสำราญตอนล่างซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ 3,026 ตารางกิโลเมตร อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ มาใช้ประกอบการศึกษาเนื่องจากในช่วงเวลาทศวรรษที่ผ่านมาได้เกิดวิกฤตอุทกภัยถึงสามครั้งภายในเขตเทศบาลเมืองที่อยู่บริเวณลำห้วยสำราญ อุทกภัยแต่ละครั้งได้สร้างความเสียหายต่อพื้นที่ในเขตเทศบาลเมืองซึ่งอยู่ใกล้บริเวณสถานีวัดเป็นจำนวนมากซึ่งเป็นผลที่เกิดจากความล่าช้าในการเตือนภัยน้ำท่วม ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้จริงผู้ศึกษาจึงได้เลือกเอาข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำที่เกิดอุทกภัยรุนแรงสามปีน้ำมาใช้เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างและชุดข้อมูลทดสอบในกระบวนการเรียนรู้และการทำนายค่าของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ พ.ศ. 2539, 2543 และ 2544 ตามลำดับ ในรูปที่ 4.4 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำ M.9 ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำของกรมชลประทานที่ติดตั้งเพื่อวัดปริมาณน้ำท่าในลำห้วยสำราญซึ่งเป็นลำห้วยสาขาหนึ่งของแม่น้ำมูล

รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่า M.9 อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ

(ที่มา: Google Earth Version 3.0 - November, 2005.)

จากข้อมูลอัตราการไหลที่เลือกนำมาใช้จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะถูกนำมาใช้เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับขั้นตอนในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม อีกส่วนจะถูกนำมาใช้เป็นชุดข้อมูลทดสอบสำหรับขั้นตอนการทำนายค่าอัตราการไหล รายละเอียดข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำทั้งสามปีถูกแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.1-ก.3 เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงข้อมูลอัตราการไหลที่ถูกนำมาใช้ทั้งในขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้และทำนายค่าสำหรับในการศึกษานี้ จึงได้ทำการแบ่งและเรียกชื่อข้อมูลออกตามรายละเอียดที่แสดงใน ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดการแบ่งชุดข้อมูลเพื่อใช้ในกระบวนการเรียนรู้และการทำนาย

กรณีทดสอบ	ปีน้ำ พ.ศ.	
	ชุดข้อมูลตัวอย่าง	ชุดข้อมูลทดสอบ
Test 1	2539	2543
Test 2	2539	2544
Test 3	2543	2544

4.2.2 การแปลงค่าข้อมูลน้ำท่า

เนื่องจากเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ภายในโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับอาศัยฟังก์ชั่นโลจิสติกเป็นฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นดังได้แสดงรายละเอียดไว้ใน หัวข้อ 3.3 ซึ่งฟังก์ชั่นโลจิสติกรับข้อมูลเอาต์พุตสุทธิและข้อมูลเอาต์พุตที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เท่านั้น ดังนั้นข้อมูลน้ำท่ารายวันในแต่ละปีน้ำที่ป้อนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียมจำเป็นต้องผ่านการแปลงค่าให้ให้สอดคล้องกับช่วงค่าดังกล่าวนี้ด้วย ซึ่งในการศึกษานี้ได้เลือกการแปลงค่าแบบเชิงเส้น (Linear Transformation) เพื่อแปลงค่าข้อมูลอัตราการไหลทั้งหมดให้อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.9 แทนเนื่องจากค่าที่ได้จากฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นชนิดนี้ไม่มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ที่แท้จริงนั่นเอง โดยรายละเอียดของการแปลงค่าข้อมูลอัตราการไหลมีดังนี้ กำหนดให้ค่าต่ำสุดและสูงสุดของค่าอัตราการไหลรายวันในแต่ละปีที่ต้องการแปลงค่าจะมีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.9 ตามลำดับ ส่วนค่าอื่นๆ ที่อยู่ระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุดจะถูกแปลงด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$Q' = 0.1 + \frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}}(0.8) \qquad \ldots (4.1)$$

เมื่อ Q เป็น ค่าน้ำท่ารายวันที่อยู่ในปีที่ต้องการแปลงค่าข้อมูล

Q' เป็น ค่าน้ำท่ารายวันที่อยู่ในปีที่ถูกแปลงค่าให้อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.9

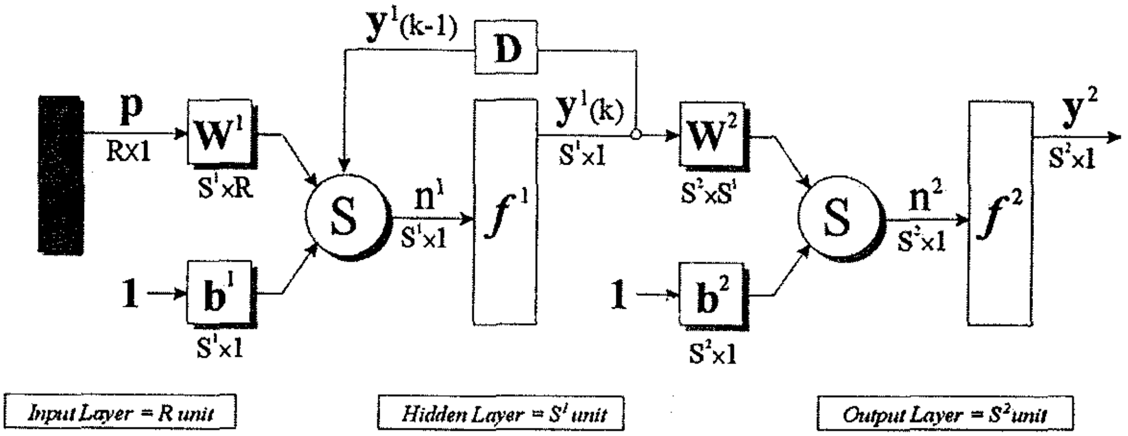
$Q_{\min}$ เป็น ค่าน้ำท่ารายวันน้อยที่สุดในปีที่ต้องการแปลงค่าข้อมูล

$Q_{\max}$ เป็น ค่าน้ำท่ารายวันมากที่สุดในปีที่ต้องการแปลงค่าข้อมูล

ผลการแปลงค่าข้อมูลน้ำท่ารายวันในแต่ละปีที่เกิดอุทกภัยรุนแรงทั้งสามปีได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.4-ก.6 ตามลำดับ

4.3 โครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมนและกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับ

เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในการคำนวณมากขึ้น ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีรูปแบบการเรียนรู้แบบแพร่กลับที่เรียกว่า โครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมน (Elman Networks) ใช้ในการศึกษา โครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมนนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการคำนวณได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับทั่วไป เนื่องจากเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ภายในโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการนำข้อมูลเอาต์พุตที่ออกจากฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นวนกลับนำมาป้อนเป็นข้อมูลอินพุตของเซลล์ประสาทเทียมนั้นอีกครั้งหนึ่งโดยอาศัย การถ่วงเวลา (Time Delay) ก่อนส่งเอาต์พุตที่ได้นำไปเป็นอินพุตของชั้นซ่อนเร้นของโครงข่ายประสาทเทียมที่อยู่ในชั้นถัดไป สัญลักษณ์ของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมนถูกแสดงรายละเอียดไว้ใน รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 สัญลักษณ์ของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมน

4.4 กระบวนการแพร่ไปข้างหน้าและกระบวนการแพร่กลับ

สำหรับกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ไปข้างหน้าของโครงข่ายประสาทเทียมมีรายละเอียดเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา ซึ่งสิ่งจำเป็นของกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมนี้ก็คือการเตรียมชุดข้อมูลอัตราเพื่อใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม โดยจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปคู่ข้อมูลอินพุตกับชุดข้อมูลเป้าหมายเรียงตามลำดับ จากนั้นจึงนำเอาชุดคู่ข้อมูลอินพุตกับค่าเป้าหมายป้อนให้แก่โครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกกำหนดค่าน้ำหนักและไบอัสเบื้องต้นไว้ก่อนแล้ว ข้อมูลอินพุตที่ป้อนเข้าไปในโครงข่ายจะถูกนำไปคูณกับค่าน้ำหนักและรวมเข้ากับค่าไบอัสเพื่อให้ได้ค่าข้อมูลเอาต์พุตสุทธิ ข้อมูลเอาต์พุตสุทธิที่ได้ถูกส่งต่อให้แก่ฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นจนได้ข้อมูลเอาต์พุตออกจากเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ในแต่ละชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมก่อนส่งต่อไปเป็น

ข้อมูลอินพุตให้กับชั้นต่อไปเป็นลำดับ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวดำเนินไปจนกระทั่งได้ข้อมูลเอาต์พุตจากชั้นสุดท้ายของโครงข่ายประสาทเทียม แต่เนื่องจากในการศึกษาในครั้งนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมน ดังนั้นข้อมูลนำออกที่ถูกส่งออกจากฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นของแต่จะถูกส่งวนกลับเข้ามาเป็นข้อมูลอินพุตอีกครั้งหนึ่งก่อนส่งไปเป็นข้อมูลอินพุตให้แก่เซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ในชั้นถัดไปโดยเกิดขึ้นเช่นนี้ไปเรื่อยจนถึงชั้นซ่อนเร้นสุดท้าย เมื่อได้ข้อมูลเอาต์พุตจากชั้นสุดท้ายแล้วถือว่ากระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ไปข้างหน้าของโครงข่ายประสาทเทียมสิ้นสุดลง

ส่วนในกระบวนการแพร่กลับนั้นจะเริ่มต้นที่การนำเอาค่าข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการแบบแพร่ไปข้างหน้านำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลเป้าหมายเพื่อคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนและนำไปคำนวณหาค่าปรับแก้ของน้ำหนักประสาทและค่าไบอัสของแต่ละเซลล์ประสาทที่อยู่ในแต่ละชั้นซ่อนเร้นต่อไป ในสถานะดังกล่าวนี้ของจะถือว่าโครงข่ายประสาทเทียมได้รับการฝึกสอนโดยกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับ การป้อนข้อมูลอินพุทเพื่อให้แพร่ไปข้างหน้าและแพร่กลับหนึ่งครั้งถือว่าโครงข่ายได้รับการเรียนรู้หนึ่งรอบ กระบวนการเรียนรู้ดังกล่าวจะดำเนินไปจนกระทั่งเกิดความแตกต่างระหว่างค่าข้อมูลเอาต์พุตกับค่าเป้าหมายเป็นศูนย์ หรือ เท่ากับค่าน้อยที่สุดที่กำหนดไว้ หรือ ครบตามรอบที่กำหนดไว้ ซึ่งในการศึกษานี้เลือกยุติกระบวนการเรียนรู้ที่ 10,000 รอบ เนื่องจากการทดลองฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าที่จำนวนรอบการเรียนรู้ดังกล่าวค่าน้ำหนักและค่าไบอัสในโครงข่ายเริ่มคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

4.5 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้มุ่งหวังที่จะศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลเป็นหลัก ดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความสำคัญต่อการศึกษา ซึ่งผู้ทำการศึกษาได้ออกแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความแตกต่างกันในองค์ประกอบพื้นฐานอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ จำนวนข้อมูลอินพุตซึ่งในการศึกษานี้เป็นข้อมูลอัตราการไหลรายวันของวันย้อนหลังในอดีต, จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น และจำนวนข้อมูลเอาต์พุตซึ่งในการศึกษานี้เป็นข้อมูลอัตราการไหลรายวันของวันทำนายในอนาคต โดยสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโครงสร้างให้แตกต่างกันตามรายละเอียดดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลอินพุตตั้งแต่ 1 ถึง 7 หน่วย
2. เปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้นจาก 1 ถึง 30 หน่วย
3. เปลี่ยนแปลงจำนวนข้อมูลเอาต์พุตตั้งแต่ 1 ถึง 3 หน่วย

จากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าว สามารถจำแนกการออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมออกทั้งหมดเป็น 5 กรณี ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงการแบ่งลักษณะการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการศึกษา

กรณี	จำนวนอินพุต (หน่วยข้อมูล)	จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น (เซลล์)	จำนวนเอาต์พุต (หน่วยข้อมูล)	วันทำนาย
A	1-7	1-30	1	Q_{t+1}
B	1-7	1-30	1	Q_{t+2}
C	1-7	1-30	1	Q_{t+3}
D	1-7	1-30	2	Q_{t+1}, Q_{t+2}
E	1-7	1-30	3	Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3}

หมายเหตุ: *เมื่อ t เป็นวันปัจจุบัน และ Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} เป็นค่าน้ำท่าที่ต้องการทำนายล่วงหน้าในวันที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ*

โดยในแต่ละกรณีจะมีโครงข่ายย่อยอยู่จำนวน $7 \times 30 = 210$ โครงข่าย รวมทั้งหมดทุกกรณีเป็นจำนวน 1,050 โครงข่าย ดังนั้นเพื่อง่ายต่อความเข้าใจและการเรียกจึงได้กำหนดวิธีการตั้งชื่อโครงข่ายย่อยดังกล่าวด้วย ตัวอักษรภาษาอังกฤษหนึ่งตัวกับตัวเลขสามชุดแทน จำนวนอินพุต-จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น-จำนวนเอาต์พุต ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น โครงข่าย B 5-25-1 ก็คือ โครงข่ายประสาทเทียมในกรณี B ที่มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมอยู่จำนวน 25 เซลล์ โครงข่ายดังกล่าวใช้ข้อมูลอัตราการไหลย้อนหลังจำนวนทั้งหมด 5 วัน เพื่อทำนายค่าอัตราการไหลรายวันจำนวนหนึ่งวันในวันที่สองนับจากวันปัจจุบัน, โครงข่าย D 3-10-2 ก็คือ โครงข่ายประสาทเทียมในกรณี D ซึ่งมีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมอยู่จำนวน 10 เซลล์ โครงข่ายดังกล่าวใช้ข้อมูลอัตราการไหลย้อนหลังจำนวนทั้งหมด 3 วัน เพื่อทำนายค่าอัตราการไหลรายวันจำนวนสองวันคือในอีกสองวันถัดจากวันปัจจุบัน เป็นต้น รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของจำนวนข้อมูลรับเข้าและจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้นในแต่ละกรณีได้ถูกแจกแจงไว้ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 ถึง 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี A

โครงข่ายประสาทเทียม	ความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตและและข้อมูลเอาต์พุต
A 1-x-1	$Q_{t+1} = f(Q_t)$
A 2-x-1	$Q_{t+1} = f(Q_t, Q_{t-1})$
A 3-x-1	$Q_{t+1} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2})$
A 4-x-1	$Q_{t+1} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$
A 5-x-1	$Q_{t+1} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$
A 6-x-1	$Q_{t+1} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$
A 7-x-1	$Q_{t+1} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$

หมายเหตุ:

เมื่อ x เป็น จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้นที่เปลี่ยนแปลงจาก 1 ถึง 30 หน่วย

Q_{t+1} เป็น ค่าอัตราการไหลรายวันของวันถัดไปอีก 1 วัน

Q_i เป็น ค่าอัตราการไหลรายวันของวันย้อนหลัง 7 วัน ตามลำดับ โดย $i = t$ ถึง t-6

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี B

โครงข่ายประสาทเทียม	ความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตและและข้อมูลเอาต์พุต
B 1-x-1	$Q_{t+2} = f(Q_t)$
B 2-x-1	$Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1})$
B 3-x-1	$Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2})$
B 4-x-1	$Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$
B 5-x-1	$Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$
B 6-x-1	$Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$
B 7-x-1	$Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$

หมายเหตุ: *เมื่อ Q_{t+2} เป็น ค่าอัตราการไหลรายวันของวันถัดไปอีก 2 วัน*

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี C

โครงข่ายประสาทเทียม	ความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตและและข้อมูลเอาต์พุต
C 1-x-1	$Q_{t+.} = f(Q_t)$
C 2-x-1	$Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1})$
C 3-x-1	$Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2})$
C 4-x-1	$Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$
C 5-x-1	$Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$
C 6-x-1	$Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$
C 7-x-1	$Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$

หมายเหตุ: Q_{t+3} เป็น ค่าอัตราการไหลรายวันของวันถัดไปอีก 3 วัน

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี D

โครงข่ายประสาทเทียม	ความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตและและข้อมูลเอาต์พุต
D 1-x-2	$Q_{t+1}, Q_{t+2} = f(Q_t)$
D 2-x-2	$Q_{t+1}, Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1})$
D 3-x-2	$Q_{t+1}, Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2})$
D 4-x-2	$Q_{t+1}, Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$
D 5-x-2	$Q_{t+1}, Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$
D 6-x-2	$Q_{t+1}, Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$
D 7-x-2	$Q_{t+1}, Q_{t+2} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$

หมายเหตุ: *เมื่อ Q_{t+1}, Q_{t+2} เป็น ค่าอัตราการไหลรายวันของวันถัดไป 1 และ 2 วัน ตามลำดับ*

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในกรณี E

โครงข่ายประสาทเทียม	ความสัมพันธ์ของข้อมูลอินพุตและและข้อมูลเอาต์พุต
E 1-x-3	$Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} = f(Q_t)$
E 2-x-3	$Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1})$
E 3-x-3	$Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2})$
E 4-x-3	$Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$
E 5-x-3	$Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$
E 6-x-3	$Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5})$
E 7-x-3	$Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3} = f(Q_t, Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, Q_{t-5}, Q_{t-6})$

หมายเหตุ: *เมื่อ $Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3}$ เป็น ค่าอัตราการไหลรายวันของวันถัดไป 1, 2 และ 3 วัน ตามลำดับเมื่อนับจากวันปัจจุบัน*

4.6 ขั้นตอนการดำเนินงานศึกษา

สำหรับลำดับหรือขั้นตอนการศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เริ่มต้นโดยการนำข้อมูลอัตราการไหลรายวันของแต่ละปีน้ำมาแปลงค่าให้อยู่ในช่วง 0.1-0.9 ดังเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.2 โดยข้อมูลอัตราการไหลรายวันของแต่ละปีน้ำถูกแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.1 ถึง ก.3 ส่วนข้อมูลอัตราการไหลรายวันของแต่ละปีน้ำที่ถูกแปลงค่าแล้ว ถูกแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.4 ถึง ก.6

2. นำข้อมูลอัตราการไหลรายวันที่ถูกแปลงค่าแล้วมาเรียงเป็นชุดคู่ข้อมูล อัตราการไหลย้อนหลัง-อัตราการไหลทำนาย ตามลำดับเวลาและตามรูปแบบของจำนวนข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตของแต่ละโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเตรียมไว้ใช้เป็นชุดข้อมูลตัวอย่างเพื่อฝึกสอนในกระบวนการเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบทำนายค่าอัตราการไหล

3. ออกแบบจำนวนองค์ประกอบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ จำนวนข้อมูลอินพุต, จำนวนข้อมูลเอาต์พุต (ในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เรียกว่า ข้อมูลเป้าหมาย), จำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ในชั้นซ่อนเร้น โดยในการศึกษานี้ได้เลือกออกแบบให้โครงข่ายประสาทเทียมมีชั้นซ่อนเร้นชั้นเดียวและกำหนดชนิดของฟังก์ชั่นกระตุ้นไม่เชิงเส้นทั้งหมด

เป็นแบบ Logistic Function การออกแบบองค์ประกอบของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับแต่ละกรณีศึกษาแสดงไว้ใน ตารางที่ 4.2 ถึง 4.7

4. นำชุดข้อมูลอัตราการไหลในแต่ละปีน้ำที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 4.1 ป้อนให้แก่แต่ละโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งออกแบบไว้สำหรับแต่ละกรณีศึกษา (กรณี A, B, C, D และ E) เพื่อใช้ในกระบวนการเรียนรู้โดยกำหนดให้มีจำนวนรอบการเรียนรู้จำนวน 10,000 รอบ

5. เริ่มขั้นตอนการทำนายโดยนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการฝึกสอนด้วยกระบวนการเรียนรู้แล้วมาป้อนข้อมูลทดสอบ (Test1, Test 2 และ Test3) ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.1

6. นำข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมในขั้นตอนการทำนายมาแปลงค่ากลับจากช่วง 0.1-0.9 ให้อยู่ในช่วง ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด ของค่าอัตราการไหลรายวันจริงโดยอาศัยการย้ายข้างความสัมพันธ์ของค่าอัตราการไหลใน สมการ (4.1) ให้อยู่ในรูปสมการ (4.2)

$$Q = Q_{min} + \frac{(Q'-0.1)(Q_{max} - Q_{min})}{0.8} \quad \dots (4.2)$$

7. นำค่าอัตราการไหลรายวันที่ได้จากการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมในขั้นตอนการทำนายที่แปลงค่าแล้วมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลรายค่าจริงโดยใช้ค่า สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of Determination, R^2) ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดแสดงไว้ใน หัวข้อ 4.6

8. รวบรวมผลการทำนายสำหรับในแต่ละกรณีศึกษาและกรณีทดสอบเพื่อวิเคราะห์และสรุปผลกระทบขององค์ประกอบของโครงสร้างใยประสาทเทียมต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลรายวัน

4.7 การประเมินผลการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมผ่านกระบวนการเรียนรู้ไปทำนายค่าอัตราการไหล ผลที่ได้จากการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง เพื่อประเมินว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้างของโครงข่ายแบบใดให้ผลการทำนายได้ใกล้เคียงค่าจริงที่เกิดขึ้นได้มากที่สุด ซึ่งสำหรับในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of Determination, R^2) เป็นเครื่องมือใช้ในการประเมินความสามารถในการทำนายน้ำท่าของโครงข่ายซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นหากโครงข่ายใดที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดของค่าทำนายกับค่าจริงเข้าใกล้หนึ่งมากเท่าใดนั่นแสดงให้เห็นว่าค่าทั้งสองมีความใกล้เคียงกันมากเท่านั้น แต่หากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดมีค่าเท่ากับหนึ่งพอดีนั่นหมายความว่าข้อมูลที่ได้จาก

การทำนายของโครงข่ายมีค่าเท่ากับค่าจริงทุกค่า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (4.3)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{\mathrm{ANN},i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{\mathrm{ANN},i} - \overline{Q})^2} \quad \ldots (4.3)$$

$$\overline{Q} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{n} \quad \ldots (4.4)$$

เมื่อ $Q_{\mathrm{ANN},i}$ เป็น ค่าอัตราการไหล ท่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม, Q_i เป็น ค่าอัตราการไหล จริง, $\overline{Q}$ เป็น ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราการไหลทั้งปีน้ำ และ n เป็น จำนวนข้อมูลค่าอัตราการไหลที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

บทที่ 5
ผลการศึกษา

5.1 ผลการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายค่าอัตราการไหล

วัตถุประสงค์ของกานศึกษาในครั้งนี้มุ่งความสนใจที่จะหาผลกระทบขององค์ประกอบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ จำนวนข้อมูลอินพุต, จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น และจำนวนเอาต์พุต ต่อความสามารถในการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนเร้นเพียงชั้นเดียว ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบให้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมมีองค์ประกอบโครงสร้างที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณี A, B, C, D และ E ตามลำดับ โดยโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละกรณีศึกษาจะถูกนำไปผ่านกระบวนการเรียนรู้และการทำนายแยกเป็น 3 ชุดทดสอบ ได้แก่ Test 1, Test 2 และ Test 3 ตามลำดับ

จากผลการศึกษานี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเอลแมนเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละกรณีศึกษาผ่านกระบวนการเรียนรู้ซึ่งกำหนดไว้ที่ 10,000 รอบ ได้ผลการเรียนรู้ดังแสดงไว้ใน ภาคผนวก ค. ส่วนผลการทำนายของแต่ละโครงข่ายในแต่ละกรณีได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ง. ผลการทำนายทั้งหมดในแต่ละกรณีสามารถหาโครงข่ายที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดได้ดังแสดงใน ตารางที่ 5.1 ถึง 5.5 สำหรับกราฟที่เปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมกับค่าอัตราการไหลจริงสำหรับในชุดทดสอบแต่ละชุดของแต่ละกรณีศึกษาได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก จ.

ตารางที่ 5.1 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดในกรณี A

ชุดทดสอบ	จำนวนอินพุต	โครงข่ายที่ให้ผลทำนายดีที่สุด	R^2
ชุดที่ 1 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2543	1	A 1-2-1	0.9214
	2	**A 2-14-1**	**0.9665**
	3	A 3-3-1	0.9655
	4	A 4-11-1	0.9627
	5	A 5-13-1	0.9643
	6	A 6-13-1	0.9659
	7	A 7-4-1	0.9646
ชุดที่ 2 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	A 1-5-1	0.9637
	2	A 2-4-1	0.9755
	3	A 3-8-1	0.9750
	4	A 4-4-1	0.9760
	5	**A 5-12-1**	**0.9780**
	6	A 6-19-1	0.9746
	7	A 7-19-1	0.9746
ชุดที่ 3 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2543 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	A 1-4-1	0.9626
	2	A 2-7-1	0.9661
	3	A 3-13-1	0.9652
	4	A 4-27-1	0.9692
	5	A 5-27-1	0.9688
	6	A 6-24-1	0.9696
	7	**A 7-28-1**	**0.9704**

ตารางที่ 5.2 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดในกรณี B

ชุดทดสอบ	จำนวนอินพุต	โครงข่ายที่ให้ผลทำนายดีที่สุด	R^2
ชุดที่ 1 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2543	1	B 1-22-1	0.7669
	2	**B 2-10-1**	**0.8351**
	3	B 3-7-1	0.8235
	4	B 4-8-1	0.8257
	5	B 5-10-1	0.8307
	6	B 6-4-1	0.8271
	7	B 7-18-1	0.8279
ชุดที่ 2 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	B 1-7-1	0.9017
	2	B 2-12-1	0.9019
	3	B 3-30-1	0.9025
	4	**B 4-9-1**	**0.9235**
	5	B 5-15-1	0.9121
	6	B 6-24-1	0.9038
	7	B 7-1-1	0.8986
ชุดที่ 3 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2543 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	B 1-4-1	0.8991
	2	B 2-3-1	0.8843
	3	B 3-17-1	0.8936
	4	B 4-28-1	0.9089
	5	**B 5-23-1**	**0.9140**
	6	B 6-26-1	0.9125
	7	B 7-25-1	0.91371

ตารางที่ 5.3 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดในกรณี C

ชุดทดสอบ	จำนวนอินพุต	โครงข่ายที่ให้ผลทำนายดีที่สุด	R^2
ชุดที่ 1 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2543	1	C 1-17-1	0.6314
	2	C 2-1-1	0.6684
	3	C 3-1-1	0.6561
	4	C 4-3-1	0.6514
	5	**C 5-1-1**	**0.6699**
	6	C 6-16-1	0.6447
	7	C 7-1-1	0.6602
ชุดที่ 2 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	C 1-15-1	0.8457
	2	C 2-4-1	0.8321
	3	C 3-2-1	0.8330
	4	**C 4-8-1**	**0.8505**
	5	C 5-3-1	0.8380
	6	C 6-1-1	0.8402
	7	C 7-2-1	0.8269
ชุดที่ 3 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2543 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	C 1-6-1	0.8475
	2	C 2-3-1	0.8440
	3	C 3-2-1	0.8458
	4	C 4-29-1	0.8437
	5	C 5-17-1	0.8504
	6	C 6-25-1	0.8543
	7	**C 7-30-1**	**0.8605**

ตารางที่ 5.4 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดในกรณี D

ชุดทดสอบ	จำนวนอินพุต	โครงข่ายที่ให้ผลทำนายดีที่สุด	R^2		
			รวมทั้ง 2 วัน	วันทำนายล่วงหน้า วันที่ 1	วันทำนายล่วงหน้า วันที่ 2
ชุดที่ 1 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2543	1	D 1-8-2	0.8426	0.9211	0.7665
	2	**D 2-2-2**	**0.9031**	**0.9689**	**0.8393**
	3	D 3-3-2	0.9017	0.9661	0.8393
	4	D 4-19-2	0.8872	0.9628	0.8156
	5	D 5-1-2	0.8957	0.9613	0.8322
	6	D 6-27-2	0.8882	0.9647	0.8177
	7	D 7-1-2	0.8959	0.9617	0.8322
ชุดที่ 2 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	D 1-16-2	0.9326	0.9637	0.9016
	2	D 2-4-2	0.9385	0.9694	0.9080
	3	D 3-10-2	0.9404	0.9754	0.9058
	4	D 4-18-2	0.9399	0.9720	0.9084
	5	D 5-9-2	0.9402	0.9745	0.9067
	6	**D 6-16-2**	**0.9404**	**0.9711**	**0.9098**
	7	D 7-17-2	0.9341	0.9748	0.8937
ชุดที่ 3 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2543 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	D 1-3-2	0.9290	0.9628	0.9024
	2	D 2-2-2	0.9241	0.9585	0.8897
	3	D 3-3-2	0.9283	0.9599	0.8968
	4	D 4-27-2	0.9305	0.9670	0.8969
	5	D 5-9-2	0.9378	0.9704	0.9094
	6	**D 6-30-2**	**0.9420**	**0.9716**	**0.9126**
	7	D 7-17-2	0.9375	0.9641	0.9111

ตารางที่ 5.5 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดในกรณี E

ชุดทดสอบ	จำนวนอินพุต	โครงข่ายที่ให้ผลทำนายดีที่สุด	R^2			
			รวมทั้ง 3 วัน	วันทำนายล่วงหน้า วันที่ 1	วันทำนายล่วงหน้า วันที่ 2	วันทำนายล่วงหน้า วันที่ 3
ชุดที่ 1 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2543	1	E 1-8-3	0.7705	0.9218	0.7665	0.6320
	2	**E 2-2-3**	**0.8231**	**0.9634**	**0.8462**	**0.6729**
	3	E 3-4-3	0.8174	0.9545	0.8469	0.6624
	4	E 4-3-3	0.8012	0.9321	0.8295	0.6539
	5	E 5-3-3	0.8128	0.9577	0.8407	0.6531
	6	E 6-2-3	0.8146	0.9536	0.8409	0.6608
	7	E 7-7-3	0.8052	0.9583	0.8228	0.6416
ชุดที่ 2 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2539 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	E 1-8-3	0.9038	0.9638	0.9016	0.8462
	2	E 2-4-3	0.9022	0.9742	0.8983	0.8377
	3	E 3-25-3	0.9042	0.9733	0.9055	0.8358
	4	**E 4-8-3**	**0.9070**	**0.9688**	**0.9065**	**0.8473**
	5	E 5-26-3	0.9022	0.9757	0.9057	0.8270
	6	E 6-4-3	0.9047	0.9662	0.9030	0.8459
	7	E 7-17-3	0.8977	0.9685	0.8967	0.8290
ชุดที่ 3 ข้อมูลฝึกสอน - ปีน้ำ 2543 ผลการทำนาย - ปีน้ำ 2544	1	E 1-6-3	0.8988	0.9629	0.8998	0.8474
	2	E 2-3-3	0.8971	0.9527	0.8988	0.8465
	3	E 3-2-3	0.8965	0.9520	0.8984	0.8460
	4	E 4-17-3	0.8955	0.9663	0.9031	0.8376
	5	E 5-9-3	0.9048	0.9625	0.9037	0.8497
	6	**E 6-18-3**	**0.9065**	**0.9606**	**0.9035**	**0.8633**
	7	E 7-16-3	0.9018	0.9602	0.9029	0.8456

5.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษา

จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมาสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการทำนายค่าอัตราการไหลได้ออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่อยู่ในชั้นซ่อนเร้น ตัวอย่างเช่น ในตารางแสดงผลการเรียนรู้ในกรณี A ซึ่งปรากฏอยู่ในภาคผนวก ค.1 จะพบว่าโครงข่ายประสาทเทียม A 1-1-1 และ A 1-30-1 ใช้เวลาในกระบวนการเรียนรู้ 18.30 และ 116.33 วินาที ตามลำดับ ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการที่โครงข่ายมีค่าน้ำหนักและไบอัสเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนเซลล์ประสาทเทียมที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง หากพิจารณาระยะเวลาในกระบวนการเรียนรู้กับจำนวนอินพุตและเอาต์พุตพบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

2. ความสามารถของการทำนายค่าอัตราการไหลของโครงข่ายประสาทเทียมไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้นของโครงข่ายประสาทเทียมที่อยู่ในชั้นซ่อนเร้น เนื่องจากเมื่อพิจารณาโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดทุกกรณีศึกษาและกรณีทดสอบพบว่าจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้นที่ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดมีค่ากระจายตั้งแต่ 1 จนถึง 30 เซลล์

3. เมื่อพิจารณาจำนวนอินพุตซึ่งในการศึกษานี้คือจำนวนอัตราการไหลของวันย้อนหลังซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1-7 หน่วย ต่อความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลพบว่ามีแนวโน้มที่โครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุตมากกว่าจะมีความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลที่ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุตน้อยกว่า เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมในเกือบทุกกรณีศึกษาพบว่าโครงข่ายที่มีจำนวนอินพุต 4-7 หน่วย ให้ผลการทำนายที่ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุต 1-3 หน่วย แต่ที่ไม่สามารถสรุปผลกระทบดังกล่าวได้อย่างชัดเจนเพราะจากมีบางโครงข่าย เช่น ในกรณีศึกษา A, B, D และ E โครงข่ายที่มีจำนวนอินพุต 2 หน่วยให้ผลการทำนายค่าอัตราการไหลได้สูงกว่าโครงข่ายที่มีจำนวนอินพุตที่มากกว่าในชุดทดสอบ Test 1

4. เมื่อเทียบความสามารถรวมในการทำนายค่าอัตราการไหลของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุตต่างกัน พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุตน้อยกว่า (กรณีศึกษา A, B และ C มีจำนวนเอาต์พุตจำนวน 1 หน่วย) จะมีความสามารถทำนายผลได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุตที่มากกว่ากรณีศึกษา D และ E ตามลำดับ (กรณีศึกษา D และ E มีจำนวนเอาต์พุตจำนวน 2 และ 3 หน่วย ตามลำดับ)

แต่หากแยกพิจารณาการทำนายอัตราการไหลแยกรายวันจะพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุต 1 หน่วย มีความสามารถทำนายอัตราการไหลสูงกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุต 2 และ 3 หน่วย ด้วยตามลำดับ ตัวอย่างเช่นเมื่อเทียบความสามารถทำนายอัตราการไหลของกรณีศึกษา A ซึ่งถูกออกแบบให้ทำนายค่าอัตราการไหลของวันถัดไปในวันที่ 1 กับ การทำนายอัตราการไหลในวันถัดไปวันที่ 1 ในกรณีศึกษา D และ E เป็นต้น

5. เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุตเท่ากับ 1 หน่วย ซึ่งได้แก่ ในกรณีศึกษา A, B และ C ซึ่งทำนายอัตราการไหลล่วงหน้าหนึ่งวันในวันที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับพบว่าผลการทำนายของวันล่วงหน้าที่ห่างจากวันปัจจุบันมากความสามารถในการทำนายอัตราการไหลก็จะลดลงตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวอาจเป็นผลจากการที่รูปแบบชุดข้อมูลของอัตราการไหลย้อนหลังกับอัตราการไหลของวันทำนายที่ห่างกันมากจะมีความซับซ้อนของรูปแบบชุดข้อมูลที่มากขึ้นนั่นเอง

6. สำหรับในโครงข่ายที่ให้ผลการทำนายที่ให้ผลที่ดีที่สุดในการศึกษานี้คือ โครงข่ายประสาทเทียม A 5-12-1 ซึ่งใช้ชุดทดสอบ Test 2 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดของกระบวนการทำนายค่าอัตราการไหลสูงถึง 0.9780 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา รูปที่ จ.2 ซึ่งอยู่ในภาคผนวก จ. พบว่าในช่วงเวลาที่มีค่าอัตราการไหลสูงและมีการเปลี่ยนแปลงในทันทีจะได้ผลการทำนายจากโครงข่ายประสาทเทียมที่สูงกว่าอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายและค่าจริงนั้นจะมีค่ามากสำหรับช่วงที่มีค่าอัตราการไหลรายวันต่ำๆ แต่ค่าคลาดเคลื่อนจะลดลงในช่วงที่มีค่าอัตราการไหลสูงๆ

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษา

6.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมต่อความสามารถในการทำนายอัตราการไหลของสถานีวัดจำนวน 1 สถานี โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของวันย้อนหลังของสถานีวัดเดียวกันเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการทำนาย สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้ในการศึกษานี้เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อนเร้นชั้นเดียวโดยได้ประยุกต์ใช้โครงข่ายเอลแมนซึ่งมีผลการศึกษาว่าให้ผลการทำนายที่ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากมีการนำข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณของแต่ละเซลล์ประสาทเทียมย้อนไปใช้ป้อนเป็นอินพุตของเซลล์ประสาทเทียมเดียวกันอีกครั้งหนึ่งในขั้นตอนการแพร่ไปข้างหน้า

การศึกษานี้ได้ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมให้มีโครงสร้างที่แตกต่างกันทั้งหมดเป็นจำนวน 1,050 โครงข่าย โดยทำการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโครงสร้างอันได้แก่ จำนวนข้อมูลอินพุต, จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น และจำนวนข้อมูลเอาต์พุต แยกออกเป็นเป็นกรณีศึกษาทั้งหมด 5 กรณีศึกษา แบ่งเป็นกรณีศึกษาละ 210 กรณี ดังนี้

1. กรณี A เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุตเป็นอัตราการไหลย้อนหลังเป็นจำนวน 1-7 วัน มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมจำนวน 1-30 เซลล์ และมีจำนวนข้อมูลเอาต์พุตซึ่งเป็นอัตราการไหลทำนายล่วงหน้าจำนวน 1 วัน คือ วันที่ 1 นับถัดจากวันปัจจุบัน
2. กรณี B เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุตเป็นอัตราการไหลย้อนหลังเป็นจำนวน 1-7 วัน มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมจำนวน 1-30 เซลล์ และมีจำนวนข้อมูลเอาต์พุตซึ่งเป็นอัตราการไหลทำนายล่วงหน้าจำนวน 1 วัน คือ วันที่ 2 นับถัดจากวันปัจจุบัน
3. กรณี C เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุตเป็นอัตราการไหลย้อนหลังเป็นจำนวน 1-7 วัน มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมจำนวน 1-30 เซลล์ และมีจำนวนข้อมูลเอาต์พุตซึ่งเป็นอัตราการไหลทำนายล่วงหน้าจำนวน 1 วัน คือ วันที่ 3 นับถัดจากวันปัจจุบัน
4. กรณี D เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุตเป็นอัตราการไหลย้อนหลังเป็นจำนวน 1-7 วัน มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมจำนวน 1-30 เซลล์ และมีจำนวนข้อมูลเอาต์พุตซึ่งเป็นอัตราการไหลทำนายล่วงหน้าจำนวน 2 วัน คือ วันที่ 1 และ 2 นับถัดจากวันปัจจุบัน ตามลำดับ

5. กรณี E เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุตเป็นอัตราการไหลย้อนหลังเป็นจำนวน 1-7 วัน มีจำนวนเซลล์ประสาทเทียมจำนวน 1-30 เซลล์ และมีจำนวนข้อมูลเอาต์พุตซึ่งเป็นอัตราการไหลทำนายล่วงหน้าจำนวน 1 วัน คือ วันที่ 1, 2 และ 3 นับถัดจากวันปัจจุบัน ตามลำดับ

โครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดที่ถูกออกแบบไว้จะถูกนำทดสอบด้วยชุดทดสอบที่จัดไว้จำนวนทั้งหมด 3 ชุด โดยข้อมูลทดสอบแต่ละชุดจะประกอบไปด้วยข้อมูลสองชุดย่อย ข้อมูลชุดแรกเป็นข้อมูลชุดตัวอย่างซึ่งถูกจัดเรียงในรูปคู่ลำดับของ ข้อมูลอินพุต-ข้อมูลเป้าหมาย ข้อมูลอินพุตของข้อมูลชุดนี้จะถูกป้อนให้แก่โครงข่ายเพื่อคำนวณหาค่าข้อมูลเอาต์พุตและค่าข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์หาค่าปรับแก้น้ำหนักและไบอัสที่อยู่ในแต่ละเซลล์ประสาทเทียมของโครงข่ายด้วยกฎการเรียนรู้แบบแพร่กลับเพื่อให้เอาต์พุตที่ออกจากโครงข่ายมีค่าแตกต่างจากข้อมูลเป้าหมายน้อยที่สุด ส่วนข้อมูลชุดที่สองเป็นชุดข้อมูลสำหรับใช้ในขั้นตอนการทำนายค่าอัตราการไหล ข้อมูลทั้งสองชุดจะอยู่ในรูปคู่ลำดับของ ข้อมูลอินพุต-ข้อมูลเอาต์พุต ข้อมูลอินพุตในข้อมูลชุดนี้จะถูกป้อนให้กับโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการเรียนรู้แบบแพร่กลับด้วยข้อมูลชุดตัวอย่างแล้วเพื่อนำไปคำนวณหาค่าข้อมูลเอาต์พุต ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายนี้คือผลที่ได้จากการทำนายซึ่งจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเอาต์พุตของข้อมูลชุดที่สองที่เป็นค่าข้อมูลจริงเพื่อคำนวณหาความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลของโครงข่ายประสาทเทียมด้วยค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ข้อมูลทดสอบทั้งสามนี้ได้มาจากการนำข้อมูลอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บริเวณสะพานรถไฟข้ามลำห้วยสำราญ ในบริเวณเขตเทศบาลเมือง จังหวัดศรีสะเกษ ในปีที่เกิดวิกฤตอุทกภัยในรอบทศวรรษที่ผ่านมาเพื่อนำมาจัดเรียงในรูปแบบข้อมูลอัตราการไหลย้อนหลังและข้อมูลอัตราการไหลทำนายตามลำดับเวลา รายละเอียดของการแบ่งชุดทดสอบทั้งสามมีดังต่อไปนี้

1. ชุดทดสอบที่ 1 (Test 1) ที่มีคู่ลำดับของชุดข้อมูลอัตราการไหลของวันย้อนหลังกับข้อมูลอัตราการไหลของวันล่วงหน้าของปีน้ำ 2539 เป็นข้อมูลตัวอย่าง ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ส่วนในขั้นตอนการทำนายใช้ชุดข้อมูลอัตราการไหลของวันย้อนหลังกับขอมูลอัตราการไหลของวันล่วงหน้าของปีน้ำ 2543 เป็นข้อมูลอินพุต-เอาต์พุต

2. ชุดทดสอบที่ 2 (Test 2) ที่มีคู่ลำดับของชุดข้อมูลอัตราการไหลของวันย้อนหลังกับข้อมูลอัตราการไหลของวันล่วงหน้าของปีน้ำ 2539 เป็นข้อมูลตัวอย่าง ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ส่วนในขั้นตอนการทำนายใช้ชุดข้อมูลอัตราการไหลของวันย้อนหลังกับขอมูลอัตราการไหลของวันล่วงหน้าของปีน้ำ 2544 เป็นข้อมูลอินพุต-เอาต์พุต

3. ชุดทดสอบที่ 3 (Test 3) ที่มีคู่ลำดับของชุดข้อมูลอัตราการไหลของวันย้อนหลังกับข้อมูลอัตราการไหลของวันล่วงหน้าของปีน้ำ 2543 เป็นข้อมูลตัวอย่าง ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ส่วนใน

ขั้นตอนการทำนายใช้ชุดข้อมูลอัตราการไหลของวันย้อนหลังกับขอมูลอัตราการไหลของวันล่วงหน้าของปีน้ำ 2544 เป็นข้อมูลอินพุต-เอาต์พุต

หลังจากนำโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละโครงข่ายที่ได้ออกแบบไว้ไปทดสอบกับชุดทดสอบทั้งสามชุดสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. มีแนวโน้มว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุตซึ่งเป็นข้อมูลอัตราการไหลย้อนหลังที่มากกว่าจะช่วยให้ความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุตน้อยกว่า แต่ไม่สามารถสรุปผลดังกล่าวได้ชัดเจนเนื่องจากมีบางกรณีทดสอบที่โครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุตเพียงแค่ 2 หน่วย สามารถทำนายอัตราการไหลได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนอินพุตมากกว่า

2. เมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้นของโครงข่ายประสาทเทียมมากขึ้นพบว่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ นอกจากนี้ยังไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความสามารถของการทำนายอัตราการไหลกับจำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น

3. จากการศึกษานี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมให้มีจำนวนเอาต์พุตตั้งแต่ 1 ถึง 3 หน่วย พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุต 1 หน่วย มีความสามารถในการทำนายที่ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนเอาต์พุต 2 และ 3 หน่วย ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าโครงข่ายที่มีจำนวนเอาต์พุต 1 หน่วย เท่ากันแต่ถูกกำหนดให้ทำนายอัตราการไหลของวันต่างกันยังให้ผลที่แตกต่างกันอีกด้วย กล่าวคือหากเอาต์พุตเป็นวันทำนายอัตราการไหลของวันล่วงหน้า 1 วัน จะให้ผลการทำนายที่แม่นยำกว่าเอาต์พุตที่ทำนายอัตราการไหลของวันล่วงหน้าวันที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

4. ในการศึกษานี้อาศัย ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด เป็นดัชนีชีวัดความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจากผลการศึกษานี้พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความสามารถในการทำนายค่าอัตราการไหลสูงสุดคือโครงข่าย A 5-12-1 ซึ่งมีจำนวนอินพุต 5 หน่วย, จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น 12 เซลล์ และจำนวนเอาต์พุต 1 หน่วย ซึ่งใช้ชุดทดสอบที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนจากผลการทำนายทำนายเฉพาะจุดโดยเฉพาะในช่วงที่มีค่าอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีและมีค่าอัตราการไหลสูงสุด ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดวิกฤตอุทกภัย พบว่ายังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระดับหนึ่ง ซึ่งจากการสังเกตพบว่าช่วงเกิดวิกฤตดังกล่าวอัตราการไหลที่ทำนายได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่าสูงเกินอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นหากนำเอาโครงข่ายดังกล่าวนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการเตือนภัยน้ำท่วมค่าอัตราการไหลที่มีค่ามากกว่าค่าอัตราการ

ไหลจริงจะช่วยให้เพิ่มความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินมากขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องพิจารณาผลดังกล่าวนี้อย่างรอบคอบเนื่องจากอาจมีปัญหาเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือในการเตือนภัย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การนำโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมยังต้องทำการศึกษาถึงผลกระทบขององค์ประกอบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมอีกเพิ่มเติม ตัวอย่างเช่น จำนวนชั้นซ่อนเร้นในโครงข่าย เป็นต้น

2. นอกจากจะนำเอาอัตราการไหลที่สถานีวัดตำแหน่งเดียวมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้และการทำนาย อาจจะนำเอาข้อมูลทางอุทกวิทยาอื่นเข้ามาใช้เพิ่มเติม ตัวอย่างเช่น อัตราการไหลที่สถานีวัดต้นน้ำและท้ายน้ำที่อยู่ในลำน้ำเดียวกันหรือในลุ่มน้ำเดียวกัน, ข้อมูลฝนที่สถานีวัดใกล้เคียง เป็นต้น

3. ควรมีการศึกษาเพื่อนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เพื่อทำนายอัตราการไหลรายชั่วโมงเพิ่มเติม เนื่องจากหากต้องการให้ระบบการเตือนภัยมีความละเอียดมากขึ้น

4. นอกจากโครงข่ายประสาทเทียมของเอลแมนแล้ว ยังมีโครงข่ายประสาทเทียมชนิดอื่นๆ อีกมากที่ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกนำโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายอัตราการไหลในการเตือนภัยน้ำท่วม

5. เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเพียงแบบจำลองที่พยายามอธิบายรูปแบบความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตเท่านั้น ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความสัมพันธ์ชุดข้อมูลอัตราการไหล เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่ต้นน้ำหรือท้ายน้ำ การเปลี่ยนแปลงลำน้ำตามธรรมชาติหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ เป็นต้น จำเป็นที่จะต้องมีการฝึกฝนให้โครงข่ายได้รับการเรียนรู้รูปแบบชุดข้อมูลอยู่อย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มีความสามารถในการทำนายสูงสุด

บรรณานุกรม

กิตติพงษ์ จิระยุติ และ วุฒิชัย บุญผ่อง, แนวทางการประยุกต์ใช้ Artificial Neural Networks (ANNs) ในการทำนายอัตราการไหลรายวันของลำน้ำในประเทศไทย, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5, หน้า WRE 135-141, 2542.

ขวัญใจ รักไทย, ปวันรัตน์ สัมมะสุต และ พงษ์ศักดิ์ บัวคำ, การทำนายระดับน้ำโดยการใช้โครงข่ายใยประสาทเทียม, มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพ, 2542.

ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์ และ ธวิช บูรณธนิต, การพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมสำหรับเทศบาลชุมพร. การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, หน้า WRE 68-73, 2543.

คำเกิง จันทร์ส่อง, การประยุกต์ใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันในลุ่มน้ำยัง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2544.

เทิดเกียรติ สุวัฒนกุล, ทรงสัจ แจ่มพงษา, นลินี จำนงค์พล และ เสรี ศุภราทิตย์, การพัฒนา SOFTWARE ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับทำนายน้ำท่วม, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, หน้า WRE 74-79, 2543.

นลินี จำนงค์พล และ เสรี ศุภราทิตย์, การพยากรณ์อนุกรมเวลาระดับน้ำเพื่อการเตือนภัยน้ำท่วม, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, หน้า WRE 80-85, 2543.

ภูวดล สุขขา และ ชูโชค อายุพงศ์, การทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงธาราโดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียม, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, หน้า WRE 86-90, 2543.

มนัส สังวรศิลป์ และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, นนทบุรี, 2543.

เสรี ศุภราทิตย์, การทำนายอัตราการไหลรายเดือนโดยโครงข่ายใยประสาทเทียม, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6, หน้า WRE91-96, 2543.

Beale, M. and Demuth, H., Neural Network Toolbox User's Guide Version 3, 7th edition, 24 Prime Park Way Natick, MA 01760-1500, The Math Works Inc., 1998.

Chester, M., Neural Networks: a tutorial, Prentice-Hall, 1993.

Ham, F.M. and Kostanic, I., Principles of Neurocomputing for Science & Engineering, McGraw-Hill, 2001.

Hsu, K., Gupta, H. and Sorooshain, S., Streamflow Forecasting Using Artificial Neural Networks. Water Resource Engineering, 967-973, 1998.

Phien H. and Sureerattanan, S., Back-Propagation Networks for Daily Streamflow Forecasting, Development and Management Issues, 1-7, 1998.

Negnevitsky, M., Artificial Intelligence: a guide to intelligent system, Addison-Wesley, 2001

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and McClelland, J.I., Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, Vol.1 Foundation, MIT Press, 318-334, 1986.

Siang, J.J., Application of Back Propagation Method in Forecasting Problems, Thesis No.CS-92-9: Asian Institute of Technology, Bangkoko, Thailand, 1992.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 ในปีน้ำ 2539 (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

วันที่	เดือน											
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1	0.40	0.40	0.40	2.00	1.50	4.20	120.80	64.20	82.80	1.70	0.60	0.40
2	0.40	0.40	0.40	2.10	1.80	5.00	146.40	69.90	77.40	1.60	0.60	0.40
3	0.40	0.40	0.40	2.20	1.50	4.80	175.20	81.30	70.50	1.50	0.60	0.50
4	0.40	0.40	0.40	1.80	1.30	3.80	190.50	97.40	65.40	1.50	0.60	0.50
5	0.40	0.40	0.40	2.10	0.70	3.30	209.00	129.20	57.30	1.50	0.70	0.40
6	0.40	0.40	0.40	2.10	0.50	3.40	249.90	154.00	50.00	1.90	0.60	0.60
7	0.40	0.40	0.40	2.10	0.50	4.70	361.60	170.60	44.00	3.70	0.70	0.60
8	0.40	0.40	0.40	1.90	0.40	5.80	424.60	184.90	39.80	3.80	0.90	0.60
9	0.40	0.40	0.40	1.60	0.50	7.60	440.20	195.50	35.00	2.10	0.90	0.60
10	0.40	0.40	0.40	1.30	0.50	8.00	412.00	209.50	31.70	1.40	0.80	0.50
11	0.40	0.40	0.40	1.10	0.70	9.00	378.00	226.90	27.80	1.30	0.70	0.50
12	0.40	0.40	0.40	1.00	0.60	10.50	343.00	241.30	20.80	2.20	0.70	0.40
13	0.40	0.40	0.40	0.90	0.40	20.40	309.00	247.30	14.70	2.90	0.80	0.40
14	0.40	0.40	0.40	0.70	0.50	39.40	280.50	247.30	14.30	1.00	0.60	0.40
15	0.40	0.40	0.40	0.70	0.60	91.00	248.50	243.10	12.60	0.90	0.50	0.40
16	0.40	0.40	0.40	0.80	0.60	121.20	224.00	227.50	11.80	0.90	0.70	0.40
17	0.40	0.40	0.40	0.70	0.60	135.60	204.00	213.50	11.00	0.90	0.50	0.40
18	0.40	0.40	0.40	0.70	0.50	136.00	184.00	199.00	10.80	0.80	0.50	0.40
19	0.40	0.40	0.40	0.70	0.40	131.20	161.80	197.00	11.90	0.70	0.50	0.40
20	0.40	0.60	0.40	0.60	0.40	127.60	130.40	177.50	12.80	0.80	0.60	0.40
21	0.40	0.40	0.40	0.70	0.40	129.20	108.00	167.40	9.80	0.70	0.60	0.40
22	0.40	0.40	0.40	0.70	0.50	130.40	98.40	152.10	7.70	0.70	1.90	0.40
23	0.40	0.90	0.60	0.70	2.90	129.60	88.50	133.60	6.10	0.70	0.60	0.40
24	0.40	0.90	0.6	0.80	3.30	129.60	82.20	126.40	4.30	0.70	0.50	0.40
25	0.40	1.10	0.80	1.30	4.30	126.00	80.40	121.60	3.70	0.60	0.50	0.40
26	0.40	0.40	1.00	1.50	4.90	122.40	78.60	113.60	3.10	0.60	0.40	0.40
27	0.40	0.40	1.20	1.40	5.30	110.80	74.70	108.40	2.80	0.60	0.40	0.40
28	0.40	0.40	1.80	1.50	5.50	98.80	70.80	100.90	4.20	0.60	0.40	0.50
29	0.40	0.40	2.10	1.30	5.30	91.40	67.80	94.50	3.90	0.60		0.40
30	0.40	0.40	2.10	0.80	4.70	94.90	65.40	89.10	2.40	0.60		0.40
31		0.40		0.80	4.50		64.20		2.10	0.60		0.40

ค่าอัตราการไหลต่ำสุด = 0.40 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าอัตราการไหลสูงสุด = 440.20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 ในปีน้ำ 2543 (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

วันที่	เดือน											
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1	0.40	0.80	11.80	208.20	99.70	389.10	126.10	28.80	3.70	0.70	0.40	0.40
2	0.40	0.40	11.80	197.80	92.10	358.00	126.10	26.90	3.50	0.70	0.40	0.40
3	0.40	0.40	12.00	182.70	85.20	330.10	124.10	25.10	3.10	0.60	0.40	0.40
4	0.40	0.60	10.70	166.60	78.70	300.40	122.10	24.00	3.00	0.70	0.40	0.40
5	0.40	0.40	9.70	156.40	72.50	281.80	119.60	22.90	2.60	0.60	0.40	0.40
6	0.40	0.30	9.30	151.60	67.00	275.20	116.60	21.60	2.10	0.60	0.40	0.40
7	0.40	0.30	9.70	157.00	62.30	267.50	112.10	19.70	1.70	0.60	0.40	0.40
8	0.40	0.30	10.80	163.00	58.50	257.60	107.70	18.50	1.70	0.50	0.40	0.40
9	0.40	0.30	11.80	165.40	57.30	265.30	100.60	17.70	1.60	0.40	0.40	0.50
10	0.40	0.30	11.40	166.60	54.70	260.90	93.00	16.80	1.80	0.40	0.40	0.60
11	0.50	0.30	11.00	184.80	52.50	255.60	87.20	16.10	1.80	0.40	0.40	0.60
12	0.50	0.30	10.20	201.80	48.50	250.60	80.80	15.20	1.60	0.40	0.40	0.60
13	0.50	4.00	9.70	222.30	43.80	245.60	75.10	14.30	1.40	0.40	0.40	0.60
14	0.50	3.80	9.30	235.80	39.70	243.60	72.30	13.40	1.20	0.40	0.40	0.60
15	0.70	1.20	8.70	235.80	36.40	239.60	72.30	12.60	1.00	0.40	0.40	0.60
16	0.80	1.00	9.60	225.90	34.80	236.70	71.80	11.80	1.00	0.40	0.40	0.60
17	0.80	0.80	14.30	223.20	31.20	229.50	73.70	10.90	0.90	0.40	0.40	0.60
18	0.80	1.00	19.10	232.20	26.60	216.90	76.60	10.00	0.90	0.50	0.40	0.60
19	0.80	1.20	24.00	240.60	24.10	206.60	81.90	9.40	0.90	0.50	0.40	0.50
20	0.80	1.60	35.80	238.60	20.80	193.90	85.80	8.70	0.90	0.50	0.40	0.50
21	0.80	2.20	49.90	230.40	18.70	184.10	88.00	8.10	0.90	0.50	0.40	0.50
22	0.80	2.60	58.30	216.00	16.70	173.60	87.20	7.30	0.80	0.50	0.40	0.50
23	0.80	3.80	67.50	195.40	67.00	164.20	82.10	6.50	0.80	0.70	0.40	0.50
24	0.80	5.60	73.2	175.70	308.80	151.60	72.30	5.90	0.80	0.70	0.40	0.50
25	0.80	7.30	84.40	158.20	724.50	138.60	57.90	5.40	0.80	0.70	0.40	0.50
26	0.80	8.50	94.50	148.10	1001.00	129.60	47.90	5.00	0.80	0.50	0.40	0.50
27	1.10	9.40	111.60	138.10	765.00	122.10	42.40	4.60	0.80	0.40	0.40	0.50
28	1.60	9.60	142.10	131.60	600.60	120.10	39.70	4.90	0.70	0.40	0.40	0.50
29	1.80	9.90	176.40	129.60	530.40	120.10	37.00	4.60	0.70	0.40		0.50
30	1.10	10.50	206.60	121.60	477.00	123.60	33.80	3.90	0.70	0.40		0.50
31		11.90		109.10	429.00		31.00		0.70	0.40		0.50

ค่าอัตราการไหลต่ำสุด = 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าอัตราการไหลสูงสุด = 1001.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 ในปีน้ำ 2544 (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

วันที่	เดือน											
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1	0.60	0.50	0.46	1.56	7.90	126.40	137.60	99.90	28.65	1.26	0.46	0.38
2	0.46	0.52	0.46	1.42	7.50	121.20	131.20	104.80	27.45	1.20	0.44	0.40
3	0.44	0.56	0.44	1.40	6.85	122.40	128.40	108.80	21.60	1.14	0.44	0.40
4	0.44	0.58	0.44	1.44	5.95	131.20	124.40	114.00	16.20	1.08	0.44	0.38
5	0.42	0.58	0.40	1.52	4.90	139.20	120.40	119.60	12.70	1.04	0.42	0.38
6	0.42	0.58	0.40	1.48	3.00	145.20	127.60	122.80	9.45	1.12	0.44	0.38
7	0.42	0.60	0.40	1.48	1.78	149.20	125.20	112.80	7.45	1.00	0.44	0.38
8	0.42	0.56	0.46	1.54	1.66	149.20	124.80	118.40	6.95	0.92	0.42	0.44
9	0.42	0.52	0.60	1.60	2.00	152.50	125.60	114.80	6.60	0.90	0.42	0.76
10	0.42	0.50	0.62	1.60	49.75	155.00	124.80	115.20	6.20	0.88	0.42	0.84
11	0.42	0.50	0.52	1.48	112.80	169.00	122.40	109.60	5.65	0.82	0.42	0.82
12	0.42	0.48	0.50	1.32	140.00	177.00	120.80	103.20	4.60	0.80	0.44	0.80
13	0.44	0.48	0.48	1.04	110.80	186.00	118.00	100.60	4.25	0.74	0.48	0.66
14	0.46	0.48	0.42	0.82	13.60	193.00	116.80	98.85	4.30	0.68	0.44	0.56
15	0.50	0.48	0.39	0.68	60.00	196.00	116.40	101.65	4.60	0.68	0.44	0.50
16	0.50	0.48	0.36	0.64	52.25	194.50	113.60	101.30	4.35	0.64	0.40	0.48
17	0.54	0.48	0.34	0.58	46.25	189.00	107.60	98.50	3.95	0.60	0.40	0.46
18	0.56	0.48	0.35	0.50	139.60	184.00	102.40	94.65	3.50	0.58	0.42	0.40
19	0.54	0.52	0.36	0.46	232.00	182.00	97.10	92.20	3.25	0.52	0.42	0.40
20	0.54	0.50	0.35	0.42	264.40	177.50	92.20	91.50	3.35	0.44	0.42	0.40
21	0.52	0.48	0.34	1.68	241.60	171.00	85.90	91.50	3.15	0.54	0.38	0.40
22	0.50	0.48	0.54	1.08	203.00	167.00	78.40	92.55	1.84	0.52	0.40	0.40
23	0.46	0.48	0.44	1.46	165.50	161.50	77.20	89.05	1.72	0.46	0.40	0.40
24	0.46	0.48	1.54	1.82	128.00	158.50	79.30	83.50	1.74	0.44	0.39	0.38
25	0.46	0.46	0.92	2.00	91.50	163.00	80.80	75.70	1.66	0.48	0.38	0.38
26	0.46	0.46	0.90	2.25	73.30	167.00	76.60	66.75	1.62	0.48	0.38	0.35
27	0.46	0.46	1.30	2.30	83.80	165.00	77.50	56.25	1.60	0.40	0.38	0.32
28	0.48	0.48	1.50	5.00	90.45	161.00	80.20	49.25	1.58	0.37	0.38	0.32
29	0.50	0.48	1.64	7.85	101.65	152.50	78.70	41.20	1.46	0.40		0.32
30	0.50	0.46	1.64	8.50	119.60	144.40	90.10	33.40	1.40	0.46		0.35
31		0.46		8.45	124.00		95.00		1.32	0.46		0.35

ค่าอัตราการไหลต่ำสุด = 0.32 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าอัตราการไหลสูงสุด = 264.40 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ก.4 แสดงการแปลงค่าอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 ในปีน้ำ 2539 ให้อยู่ในช่วงค่า 0.1-0.9

วันที่	เดือน											
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.32	0.22	0.25	0.10	0.10	0.10
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.37	0.23	0.24	0.10	0.10	0.10
3	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.42	0.25	0.23	0.10	0.10	0.10
4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.45	0.28	0.22	0.10	0.10	0.10
5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.48	0.33	0.20	0.10	0.10	0.10
6	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.55	0.38	0.19	0.10	0.10	0.10
7	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.76	0.41	0.18	0.11	0.10	0.10
8	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.87	0.44	0.17	0.11	0.10	0.10
9	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.90	0.45	0.16	0.10	0.10	0.10
10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.85	0.48	0.16	0.10	0.10	0.10
11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.79	0.51	0.15	0.10	0.10	0.10
12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.72	0.54	0.14	0.10	0.10	0.10
13	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.66	0.55	0.13	0.10	0.10	0.10
14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.17	0.61	0.55	0.13	0.10	0.10	0.10
15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.26	0.55	0.54	0.12	0.10	0.10	0.10
16	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.32	0.51	0.51	0.12	0.10	0.10	0.10
17	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.35	0.47	0.49	0.12	0.10	0.10	0.10
18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.35	0.43	0.46	0.12	0.10	0.10	0.10
19	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.34	0.39	0.46	0.12	0.10	0.10	0.10
20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.33	0.34	0.42	0.12	0.10	0.10	0.10
21	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.33	0.30	0.40	0.12	0.10	0.10	0.10
22	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.34	0.28	0.38	0.11	0.10	0.10	0.10
23	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.34	0.26	0.34	0.11	0.10	0.10	0.10
24	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.34	0.25	0.33	0.11	0.10	0.10	0.10
25	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.33	0.25	0.32	0.11	0.10	0.10	0.10
26	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.32	0.24	0.31	0.10	0.10	0.10	0.10
27	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.30	0.24	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10
28	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.28	0.23	0.28	0.11	0.10	0.10	0.10
29	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.27	0.22	0.27	0.11	0.10		0.10
30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.27	0.22	0.26	0.10	0.10		0.10
31		0.10		0.10	0.11		0.22		0.10	0.10		0.10

ค่าอัตราการไหลต่ำสุด = 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าอัตราการไหลสูงสุด = 0.90 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ก.5 แสดงการแปลงค่าอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 ในปีน้ำ 2543 ให้อยู่ในช่วงค่า 0.1-0.9

วันที่	เดือน											
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1	0.10	0.10	0.11	0.27	0.18	0.41	0.20	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
2	0.10	0.10	0.11	0.26	0.17	0.39	0.20	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
3	0.10	0.10	0.11	0.25	0.17	0.36	0.20	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.10	0.10	0.11	0.23	0.16	0.34	0.20	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
5	0.10	0.10	0.11	0.22	0.16	0.33	0.20	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
6	0.10	0.10	0.11	0.22	0.15	0.32	0.19	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
7	0.10	0.10	0.11	0.23	0.15	0.31	0.19	0.12	0.10	0.10	0.10	0.10
8	0.10	0.10	0.11	0.23	0.15	0.31	0.19	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
9	0.10	0.10	0.11	0.23	0.15	0.31	0.18	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
10	0.10	0.10	0.11	0.23	0.14	0.31	0.17	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
11	0.10	0.10	0.11	0.25	0.14	0.30	0.17	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
12	0.10	0.10	0.11	0.26	0.14	0.30	0.16	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
13	0.10	0.10	0.11	0.28	0.13	0.30	0.16	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
14	0.10	0.10	0.11	0.29	0.13	0.29	0.16	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
15	0.10	0.10	0.11	0.29	0.13	0.29	0.16	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
16	0.10	0.10	0.11	0.28	0.13	0.29	0.16	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
17	0.10	0.10	0.11	0.28	0.12	0.28	0.16	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
18	0.10	0.10	0.12	0.29	0.12	0.27	0.16	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
19	0.10	0.10	0.12	0.29	0.12	0.26	0.17	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
20	0.10	0.10	0.13	0.29	0.12	0.25	0.17	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
21	0.10	0.10	0.14	0.28	0.11	0.25	0.17	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
22	0.10	0.10	0.15	0.27	0.11	0.24	0.17	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10
23	0.10	0.10	0.15	0.26	0.15	0.23	0.17	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
24	0.10	0.10	0.16	0.24	0.35	0.22	0.16	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
25	0.10	0.11	0.17	0.23	0.68	0.21	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
26	0.10	0.11	0.18	0.22	0.90	0.20	0.14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
27	0.10	0.11	0.19	0.21	0.71	0.20	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
28	0.10	0.11	0.21	0.20	0.58	0.20	0.13	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
29	0.10	0.11	0.24	0.20	0.52	0.20	0.13	0.10	0.10	0.10		0.10
30	0.10	0.11	0.26	0.20	0.48	0.20	0.13	0.10	0.10	0.10		0.10
31		0.11		0.19	0.44		0.12		0.10	0.10		0.10

ค่าอัตราการไหลต่ำสุด = 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าอัตราการไหลสูงสุด = 0.90 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ตารางที่ ก.6 แสดงการแปลงค่าอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า M.9 ในปีน้ำ 2544 ให้อยู่ในช่วงค่า 0.1-0.9

วันที่	เดือน											
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.48	0.52	0.40	0.19	0.10	0.10	0.10
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.47	0.50	0.42	0.18	0.10	0.10	0.10
3	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.47	0.49	0.43	0.16	0.10	0.10	0.10
4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.50	0.48	0.44	0.15	0.10	0.10	0.10
5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.52	0.46	0.46	0.14	0.10	0.10	0.10
6	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.54	0.49	0.47	0.13	0.10	0.10	0.10
7	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.55	0.48	0.44	0.12	0.10	0.10	0.10
8	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.55	0.48	0.46	0.12	0.10	0.10	0.10
9	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.56	0.48	0.45	0.12	0.10	0.10	0.10
10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.25	0.57	0.48	0.45	0.12	0.10	0.10	0.10
11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.44	0.61	0.47	0.43	0.12	0.10	0.10	0.10
12	0.10	0.10	0.10	0.10	0.52	0.64	0.46	0.41	0.11	0.10	0.10	0.10
13	0.10	0.10	0.10	0.10	0.43	0.66	0.46	0.40	0.11	0.10	0.10	0.10
14	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.68	0.45	0.40	0.11	0.10	0.10	0.10
15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.28	0.69	0.45	0.41	0.11	0.10	0.10	0.10
16	0.10	0.10	0.10	0.10	0.26	0.69	0.44	0.41	0.11	0.10	0.10	0.10
17	0.10	0.10	0.10	0.10	0.24	0.67	0.42	0.40	0.11	0.10	0.10	0.10
18	0.10	0.10	0.10	0.10	0.52	0.66	0.41	0.39	0.11	0.10	0.10	0.10
19	0.10	0.10	0.10	0.10	0.80	0.65	0.39	0.38	0.11	0.10	0.10	0.10
20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.90	0.64	0.38	0.38	0.11	0.10	0.10	0.10
21	0.10	0.10	0.10	0.10	0.83	0.62	0.36	0.38	0.11	0.10	0.10	0.10
22	0.10	0.10	0.10	0.10	0.71	0.60	0.34	0.38	0.10	0.10	0.10	0.10
23	0.10	0.10	0.10	0.10	0.60	0.59	0.33	0.37	0.10	0.10	0.10	0.10
24	0.10	0.10	0.104	0.10	0.49	0.58	0.34	0.35	0.10	0.10	0.10	0.10
25	0.10	0.10	0.10	0.11	0.38	0.59	0.34	0.33	0.10	0.10	0.10	0.10
26	0.10	0.10	0.10	0.11	0.32	0.60	0.33	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10
27	0.10	0.10	0.10	0.11	0.35	0.60	0.33	0.27	0.10	0.10	0.10	0.10
28	0.10	0.10	0.10	0.11	0.37	0.59	0.34	0.25	0.10	0.10	0.10	0.10
29	0.10	0.10	0.10	0.12	0.41	0.56	0.34	0.22	0.10	0.10		0.10
30	0.10	0.10	0.10	0.12	0.46	0.54	0.37	0.20	0.10	0.10		0.10
31		0.10		0.12	0.47		0.39		0.10	0.10		0.10

ค่าอัตราการไหลต่ำสุด = 0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ค่าอัตราการไหลสูงสุด = 0.90 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม MATLAB

ข.1 ตัวอย่างคำสั่งแสดงกระบวนการสร้าง, กระบวนการเรียนรู้ข้อมูล และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณี A, B และ C ที่มีข้อมูลอินพุตจำนวน 1 หน่วย

```
y39=zeros(30,350);
y43=zeros(30,350);
y44=zeros(30,350);
TimeStart=0;
TimeEnd=0;
RunTimeStart=zeros(1,6);
RunTimeEnd=zeros(1,6);
RunTime=zeros(1,30);

N=7;      % N = Number of input unit;
M=2       % M = Number of output unit. Output = 1 for Case A, B and C, Output = 2 for Case D
                 and Output = 3 for Case E  respectively;
H=30;     %H = Number of neurons in hidden layear;

for i=1:H
   disp('cycle')
   disp(i)
   net=newelm([0.1 0.9], [i,1], {'logsig','logsig'});          %Create Network;
   net.trainparam.epochs=10000;                                 %Number of Training Cycle
   net.trainparam.show=2500;
   net.trainParam.lr=0.1;                                       %learning rate;
   net.trainParam.mc=0.9;                                       %momentum;
   RunTimeStart=clock;                                          % Time at the Starting Training;
   TimeStart=3600*RunTimeStart(1,4)+60*RunTimeStart(1,5)+RunTimeStart(1,6);
   net=train(net,data39(1:N,:),forcast39(1:M,:));               % Training Process;
   RunTimeEnd=clock;                                            % Time at the Ending of Training;
   TimeEnd=3600*RunTimeEnd(1,4)+60*RunTimeEnd(1,5)+RunTimeEnd(1,6);
      RunTime(1,i)=TimeEnd-TimeStart;                           % calculate Duration of Running;
   % simulating data;
   y39(i,:)=sim(net,data39(1:N,:));                             %Train Result;
   y43(i,:)=sim(net,data43(1:N,:));                             %Forecast for Test 1;
   y44(i,:)=sim(net,data44(1:N,:));                             %Forecast for Test 2;
end

y39=y39.';
y39=[RunTime;y39];
y43=y43.';
y44=y44.';
```

ข.2 ตัวอย่างคำสั่งแสดงกระบวนการสร้าง, กระบวนการเรียนรู้ข้อมูล และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณี A, B และ C ที่มีข้อมูลอินพุตจำนวน 7 หน่วย

```
y39=zeros(30,350);
y43=zeros(30,350);
y44=zeros(30,350);
TimeStart=0;
TimeEnd=0;
RunTimeStart=zeros(1,6);
RunTimeEnd=zeros(1,6);
RunTime=zeros(1,30);

N=7;     % N = Number of input unit;
M=2      % M = Number of output unit. Output = 1 for Case A, B and C, Output = 2 for Case D
              and Output = 3 for Case E  respectively;
H=30;    %H = Number of neurons in hidden layear;

  ı=1:H
  isp('cycle')
  lisp(i)
  net=newelm([0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9],[i,1],{'logsig','logsig'});  %Create Network;
  net.trainparam.epochs=10000;                                          %Number of Training Cycle
  net.trainparam.show=2500;
  net.trainParam.lr=0.1;                                          %learning rate;
  net.trainParam.mc=0.9;                                                %momentum;
  RunTimeStart=clock;                                                   % Time at the Starting Training;
  TimeStart=3600*RunTimeStart(1,4)+60*RunTimeStart(1,5)+RunTimeStart(1,6);
   net=train(net,data39(1:N,:),forcast39(1:M,:));                 % Training Process;
   RunTimeEnd=clock;                                              % Time at the Ending of Training;
  TimeEnd=3600*RunTimeEnd(1,4)+60*RunTimeEnd(1,5)+RunTimeEnd(1,6);
     RunTime(1,i)=TimeEnd-TimeStart;                                    % calculate Duration of Running;
  % simulating data;
  y39(i,:)=sim(net,data39(1:N,:));                                      %Train Result;
  y43(i,:)=sim(net,data43(1:N,:));                                      %Forecast for Test 1;
  y44(i,:)=sim(net,data44(1:N,:));                                      %Forecast for Test 2;
end

y39=y39.';
y39=[RunTime;y39];
y43=y43.';
y44=y44.';
```

ข.3 ตัวอย่างคำสั่งแสดงกระบวนการสร้าง, กระบวนการเรียนรู้ข้อมูล และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณี D ที่มีข้อมูลอินพุตจำนวน 1 หน่วย

```
y39=zeros(60,350);
y43=zeros(60,350);
y44=zeros(60,350);
TimeStart=0;
TimeEnd=0;
RunTimeStart=zeros(1,6);
RunTimeEnd=zeros(1,6);
RunTime=zeros(1,60);

N=1;      % N = Number of input unit;
M=2       % M = Number of output unit. Output = 1 for Case A, B and C, Output = 2 for Case D
              and Output = 3 for Case E  respectively;
H=30;     %H = Number of neurons in hidden layear;

for i=1:H
  disp('cycle')
  disp(i)
  net=newelm([0.1 0.9],[i,2],{'logsig','logsig'});
  net.trainparam.epochs=10000;
  net.trainparam.show=2500;
  net.trainParam.lr=0.1;
  net.trainParam.mc=0.9;
 RunTimeStart=clock;
  TimeStart=3600*RunTimeStart(1,4)+60*RunTimeStart(1,5)+RunTimeStart(1,6);
  net=train(net,data39(1:N,:),forcast39(1:M,:));
  RunTimeEnd=clock;
  TimeEnd=3600*RunTimeEnd(1,4)+60*RunTimeEnd(1,5)+RunTimeEnd(1,6);
  RunTime(1,2*i-1)=TimeEnd-TimeStart;
  y39(2*i-1:2*i,:)=sim(net,data39(1:N,:));
  y43(2*i-1:2*i,:)=sim(net,data43(1:N,:));
  y44(2*i-1:2*i,:)=sim(net,data44(1:N,:));
end

y39=y39.';
y39=[RunTime;y39];
y43=y43.';
y44=y44.';
```

ข.4 ตัวอย่างคำสั่งแสดงกระบวนการสร้าง, กระบวนการเรียนรู้ข้อมูล และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณี D ที่มีข้อมูลอินพุตจำนวน 7 หน่วย

```
y39=zeros(60,350);
y43=zeros(60,350);
y44=zeros(60,350);
TimeStart=0;
TimeEnd=0;
RunTimeStart=zeros(1,6);
RunTimeEnd=zeros(1,6);
RunTime=zeros(1,60);

N=7;      % N = Number of input unit;
M=2       % M = Number of output unit. Output = 1 for Case A, B and C, Output = 2 for Case D
              and Output = 3 for Case E  respectively;
H=30;     %H = Number of neurons in hidden layear;

for i=1:H
   disp('cycle')
   disp(i)
   net=newelm([0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9],[i,2],{'logsig','logsig'});
   net.trainparam.epochs=10000;
   net.trainparam.show=2500;
   net.trainParam.lr=0.1;
   net.trainParam.mc=0.9;
   RunTimeStart=clock;
   TimeStart=3600*RunTimeStart(1,4)+60*RunTimeStart(1,5)+RunTimeStart(1,6);
   net=train(net,data39(1:N,:),forcast39(1:M,:));
   RunTimeEnd=clock;
   TimeEnd=3600*RunTimeEnd(1,4)+60*RunTimeEnd(1,5)+RunTimeEnd(1,6);
   RunTime(1,2*i-1)=TimeEnd-TimeStart;
   y39(2*i-1:2*i,:)=sim(net,data39(1:N,:));
   y43(2*i-1:2*i,:)=sim(net,data43(1:N,:));
   y44(2*i-1:2*i,:)=sim(net,data44(1:N,:));
end

y39=y39.';
y39=[RunTime;y39];
y43=y43.';
y44=y44.';
```

ข.5 ตัวอย่างคำสั่งแสดงกระบวนการสร้าง, กระบวนการเรียนรู้ข้อมูล และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณี E ที่มีข้อมูลอินพุตจำนวน 1 หน่วย

```
y39=zeros(90,350);
y43=zeros(90,350);
y44=zeros(90,350);
TimeStart=0;
TimeEnd=0;
RunTimeStart=zeros(1,6);
RunTimeEnd=zeros(1,6);
RunTime=zeros(1,90);

N=1;      % N = Number of input unit;
M=3       % M = Number of output unit. Output = 1 for Case A, B and C, Output = 2 for Case D
                and Output = 3 for Case E  respectively;
H=30;     %H = Number of neurons in hidden layear;

for i=1:H
  disp('cycle')
  disp(i)
  net=newelm([0.1 0.9],[i,3],{'logsig','logsig'});
  net.trainparam.epochs=10000;
  net.trainparam.show=2000;
  net.trainParam.lr=0.1;
  net.trainParam.mc=0.9;
  start timeing;
  RunTimeStart=clock;
  TimeStart=3600*RunTimeStart(1,4)+60*RunTimeStart(1,5)+RunTimeStart(1,6);
  net=train(net,data39(1:N,:),forcast39(1:M,:));
  RunTimeEnd=clock;
  TimeEnd=3600*RunTimeEnd(1,4)+60*RunTimeEnd(1,5)+RunTimeEnd(1,6);
  RunTime(1,3*i-2)=TimeEnd-TimeStart;
  y39(3*i-2:3*i,:)=sim(net,data39(1:N,:));
  y43(3*i-2:3*i,:)=sim(net,data43(1:N,:));
  y44(3*i-2:3*i,:)=sim(net,data44(1:N,:));
end

y39=y39.';
y39=[RunTime;y39];
y43=y43.';
y44=y44.';
```

ข.6 ตัวอย่างคำสั่งแสดงกระบวนการสร้าง, กระบวนการเรียนรู้ข้อมูล และการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับในกรณี E ที่มีข้อมูลอินพุตจำนวน 7 หน่วย

```
y39=zeros(90,350);
y43=zeros(90,350);
y44=zeros(90,350);
TimeStart=0;
TimeEnd=0;
RunTimeStart=zeros(1,6);
RunTimeEnd=zeros(1,6);
RunTime=zeros(1,90);

N=7;      % N = Number of input unit;
M=3       % M = Number of output unit. Output = 1 for Case A, B and C, Output = 2 for Case D
              and Output = 3 for Case E respectively;
H=30;     %H = Number of neurons in hidden layear;

for i=1:H
  disp('cycle')
  disp(i)
  net=newelm([0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9; 0.1 0.9],[i,3],{'logsig','logsig'});
  net.trainparam.epochs=10000;
  net.trainparam.show=2000;
  net.trainParam.lr=0.1;
  net.trainParam.mc=0.9;
  start timeing;
  RunTimeStart=clock;
  TimeStart=3600*RunTimeStart(1,4)+60*RunTimeStart(1,5)+RunTimeStart(1,6);
  net=train(net,data39(1:N,:),forcast39(1:M,:));
  RunTimeEnd=clock;
  TimeEnd=3600*RunTimeEnd(1,4)+60*RunTimeEnd(1,5)+RunTimeEnd(1,6);
  RunTime(1,3*i-2)=TimeEnd-TimeStart;
  y39(3*i-2:3*i,:)=sim(net,data39(1:N,:));
  y43(3*i-2:3*i,:)=sim(net,data43(1:N,:));
  y44(3*i-2:3*i,:)=sim(net,data44(1:N,:));
end

y39=y39.';
y39=[RunTime;y39];
y43=y43.';
y44=y44.';
```

ภาคผนวก ค.

ผลการเรียนรู้ชุดข้อมูลตัวอย่างของโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ ค.1 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี A เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.71410	18.30	0.71758	17.28	0.98884	34.72	0.65440	31.63	0.98855	37.19	0.98879	34.61	0.98942	34.36
2	0.98053	36.64	0.99511	37.23	0.98880	39.33	0.98901	36.28	0.99168	42.22	0.99470	38.72	0.98953	38.45
3	0.97577	37.36	0.99505	38.34	0.99535	40.45	0.99517	37.42	0.99289	43.53	0.99522	40.69	0.99460	41.11
4	0.98135	42.11	0.99508	42.19	0.99428	45.73	0.99512	40.08	0.99315	47.22	0.99469	42.89	0.99559	43.55
5	0.98134	45.84	0.99504	42.89	0.98660	43.24	0.99396	45.30	0.99485	46.05	0.99306	46.16	0.99485	44.33
6	0.98075	47.89	0.99511	47.97	0.99417	47.95	0.99509	47.23	0.99498	49.41	0.99562	46.98	0.99428	46.17
7	0.98124	51.06	0.99484	51.45	0.99502	53.64	0.99471	51.78	0.99481	54.53	0.99493	48.08	0.99549	48.50
8	0.98137	51.48	0.99202	51.63	0.99479	55.61	0.99492	53.61	0.99514	55.42	0.99487	49.83	0.99514	52.64
9	0.98131	54.53	0.99490	53.58	0.99477	54.81	0.99511	56.73	0.99496	55.91	0.99458	52.70	0.99407	55.77
10	0.98134	57.84	0.99496	56.13	0.99479	57.59	0.99504	60.70	0.99397	59.16	0.99388	54.81	0.99410	54.97
11	0.98125	60.49	0.99463	60.05	0.99480	57.19	0.99472	61.67	0.99550	61.02	0.99502	60.94	0.99480	59.56
12	0.98129	62.08	0.99483	60.84	0.99424	60.25	0.99471	63.42	0.99413	64.06	0.99392	65.28	0.99450	59.50
13	0.98130	68.63	0.99457	60.61	0.99393	65.92	0.99498	67.22	0.99484	65.92	0.99493	63.94	0.99367	63.77
14	0.98075	72.56	0.99460	69.94	0.99324	66.91	0.99494	74.44	0.99465	69.16	0.99501	65.88	0.99466	67.58
15	0.98128	76.52	0.99492	71.05	0.99386	69.39	0.99490	77.81	0.99520	73.75	0.99510	72.67	0.99524	69.02
16	0.98032	77.86	0.99493	77.80	0.99473	71.95	0.99447	80.39	0.99479	77.56	0.99491	71.28	0.99476	71.52
17	0.98072	76.89	0.99490	69.00	0.99437	72.64	0.99492	80.77	0.99503	75.77	0.99533	80.89	0.99504	72.25
18	0.98129	81.20	0.99416	76.31	0.99370	74.53	0.99456	82.92	0.99338	78.30	0.99542	77.34	0.99417	76.39
19	0.98070	84.38	0.99463	77.97	0.99256	79.41	0.99485	87.61	0.99461	80.55	0.99481	77.08	0.99411	77.73
20	0.98018	89.47	0.99423	113.20	0.99453	83.25	0.99470	90.92	0.99391	85.49	0.99361	93.66	0.99431	80.55
21	0.98093	91.02	0.99495	91.44	0.99488	88.27	0.99487	92.55	0.99437	85.52	0.99476	96.77	0.99480	82.22
22	0.97926	95.77	0.99481	92.77	0.99456	85.66	0.99389	92.55	0.99462	89.13	0.99476	97.00	0.99463	84.06
23	0.97973	96.19	0.99487	95.52	0.99316	85.59	0.99485	94.83	0.99393	89.59	0.99440	100.64	0.99492	87.72
24	0.98029	98.44	0.99458	100.30	0.99424	89.66	0.99355	98.59	0.99244	92.28	0.99474	101.84	0.99469	90.88
25	0.97861	99.16	0.99465	98.11	0.99389	89.42	0.99506	96.83	0.99419	91.42	0.99438	99.81	0.99476	92.81
26	0.98093	100.11	0.99418	104.05	0.99302	93.55	0.99452	100.09	0.99463	94.91	0.99457	103.58	0.99405	95.83
27	0.97898	100.05	0.99426	106.89	0.99441	94.98	0.99443	103.86	0.99312	102.41	0.99464	112.91	0.99470	98.66
28	0.97951	105.27	0.99432	104.05	0.99380	96.69	0.99472	106.03	0.99438	100.34	0.99421	112.58	0.99490	98.94
29	0.98056	110.33	0.99412	113.16	0.99375	98.72	0.99377	111.69	0.99405	117.63	0.99261	116.45	0.99395	106.28
30	0.97927	116.33	0.99375	116.61	0.99375	100.41	0.99405	112.66	0.99384	116.66	0.99411	116.92	0.99403	105.11

ตารางที่ ค.2 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี A เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.92116	34.55	0.97744	33.36	0.97735	36.63	0.98017	34.17	0.98011	34.64	0.97956	33.23	0.97950	33.80
2	0.92089	38.75	0.97747	37.88	0.97757	37.70	0.97970	38.39	0.97801	38.22	0.98011	36.69	0.98024	36.92
3	0.92160	38.92	0.97940	41.58	0.98861	38.91	0.98952	40.69	0.97928	39.80	0.98737	38.88	0.97911	38.06
4	0.92521	43.25	0.98503	39.06	0.98775	45.25	0.98472	43.80	0.98775	41.44	0.99006	40.38	0.98718	40.77
5	0.92476	44.91	0.98126	43.95	0.98571	57.47	0.98883	45.36	0.99052	42.64	0.99123	46.64	0.99076	43.73
6	0.92386	48.83	0.99080	49.80	0.98760	53.41	0.99001	48.89	0.99141	45.22	0.99026	47.91	0.98893	47.78
7	0.92616	50.20	0.97921	55.88	0.98820	80.30	0.98879	52.83	0.99042	52.02	0.98991	54.44	0.98902	52.23
8	0.92337	51.53	0.98489	52.64	0.99002	71.72	0.98746	57.34	0.99098	48.63	0.99059	51.81	0.99058	51.92
9	0.92372	54.97	0.98884	58.36	0.99066	60.27	0.99128	55.94	0.98884	51.73	0.99015	56.25	0.99003	58.19
10	0.92396	61.81	0.98709	56.67	0.98687	63.84	0.99001	57.06	0.99001	58.86	0.99106	55.97	0.98998	61.80
11	0.92487	63.63	0.98884	60.88	0.98993	70.45	0.98795	58.11	0.98883	59.98	0.98902	65.09	0.99009	63.53
12	0.92274	59.39	0.98952	62.84	0.98903	71.02	0.98936	59.75	0.98800	61.63	0.98986	65.22	0.99003	60.89
13	0.92291	64.19	0.98891	63.50	0.99060	71.84	0.99080	66.47	0.98983	64.30	0.98957	67.99.	0.99032	64.55
14	0.92373	70.28	0.98950	65.16	0.98816	78.41	0.98861	72.83	0.99041	72.75	0.98962	77.30	0.98823	70.89
15	0.92230	75.75	0.98778	64.75	0.98991	80.58	0.99073	75.02	0.98939	72.77	0.98993	82.44	0.97958	77.66
16	0.92351	77.95	0.98576	69.20	0.98945	83.22	0.98908	79.74	0.98998	74.34	0.98627	83.39	0.98922	81.33
17	0.92284	81.06	0.98722	72.64	0.98930	87.38	0.99048	80.27	0.99071	75.02	0.98810	84.92	0.99031	80.61
18	0.92307	82.63	0.98855	78.63	0.98638	94.13	0.99004	86.69	0.98981	79.49	0.98956	90.34	0.98815	85.48
19	0.92311	86.52	0.98784	80.59	0.98811	98.36	0.98843	89.72	0.98961	83.30	0.99020	95.19	0.98918	91.38
20	0.92346	89.70	0.98642	81.94	0.98850	100.42	0.99001	86.25	0.99082	82.20	0.98915	96.92	0.98952	89.98
21	0.92273	89.23	0.98720	82.94	0.98873	103.48	0.98897	95.31	0.99034	81.50	0.98932	101.26	0.98946	93.73
22	0.92322	94.59	0.98874	85.24	0.98729	107.70	0.98944	95.52	0.98993	84.63	0.98696	98.00	0.98387	94.67
23	0.92345	96.38	0.98904	88.69	0.98847	108.38	0.98801	98.14	0.98824	86.78	0.98971	100.24	0.98893	98.70
24	0.92330	99.84	0.98485	88.98	0.98766	118.98	0.98779	102.02	0.98820	88.88	0.98907	99.41	0.98861	98.83
25	0.92245	101.44	0.98663	89.47	0.98785	107.28	0.98377	94.34	0.98909	93.06	0.98847	97.69	0.98575	90.25
26	0.92274	108.27	0.98847	96.42	0.98733	102.58	0.98749	93.09	0.98972	97.34	0.99018	98.31	0.98212	98.89
27	0.92284	106.38	0.98722	99.17	0.98879	116.42	0.98805	99.20	0.98839	96.70	0.98725	104.55	0.98844	101.42
28	0.92275	113.02	0.98342	100.66	0.98846	117.67	0.98744	110.63	0.98827	99.78	0.98934	109.69	0.98794	103.28
29	0.92240	112.88	0.98696	112.24	0.98847	120.97	0.98610	117.86	0.98939	98.36	0.98406	115.08	0.98630	112.91
30	0.92334	119.14	0.98437	117.11	0.98787	124.20	0.98929	121.97	0.98778	101.06	0.98861	118.78	0.98712	114.84

ตารางที่ ค.3 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี B เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.93351	35.88	0.97049	34.42	0.97015	35.66	0.97025	33.06	0.96997	34.73	0.97147	34.05	0.96971	34.34
2	0.93301	39.02	0.97574	38.41	0.97164	38.20	0.97037	36.06	0.97702	42.02	0.97698	37.69	0.97761	36.66
3	0.93617	40.84	0.97572	40.03	0.97679	38.64	0.97755	37.74	0.97623	43.11	0.97815	37.88	0.97789	39.75
4	0.93636	41.27	0.97470	41.52	0.97734	40.06	0.97701	39.24	0.98025	41.88	0.97761	40.59	0.98150	42.99
5	0.93630	47.22	0.97530	45.25	0.97619	46.42	0.97478	44.64	0.97771	45.58	0.98132	42.97	0.98133	45.41
6	0.93592	50.44	0.97583	52.63	0.97840	46.52	0.97459	45.14	0.98139	48.13	0.97893	47.31	0.98121	47.24
7	0.93627	51.75	0.97571	56.05	0.97729	57.77	0.97770	50.78	0.97961	52.47	0.97989	52.03	0.98123	58.02
8	0.93627	54.16	0.97631	53.88	0.97570	56.78	0.97864	50.39	0.97983	52.86	0.98086	52.25	0.98189	55.70
9	0.93633	58.27	0.97690	59.47	0.97496	66.27	0.97734	57.24	0.97817	57.16	0.97990	54.95	0.98105	61.53
10	0.93634	61.03	0.97461	60.48	0.97655	70.75	0.97746	60.72	0.97904	62.03	0.98012	58.77	0.98103	58.84
11	0.93635	64.28	0.97633	63.95	0.97677	71.66	0.97575	63.45	0.97783	64.58	0.97945	58.94	0.98117	66.14
12	0.93625	63.69	0.97568	62.88	0.97520	64.89	0.97606	62.91	0.97821	65.17	0.97947	61.81	0.97973	61.45
13	0.93634	73.58	0.97572	69.53	0.97779	68.75	0.97855	64.27	0.97975	71.06	0.98160	64.59	0.97991	68.88
14	0.93524	80.58	0.97657	76.17	0.97654	79.74	0.97779	73.09	0.97901	75.88	0.97854	72.44	0.98007	72.33
15	0.93587	77.42	0.97661	78.31	0.97710	80.11	0.97548	77.39	0.97618	78.41	0.98055	74.47	0.98085	71.72
16	0.93596	80.05	0.97548	80.31	0.97280	85.00	0.97660	81.81	0.97776	86.28	0.97814	77.95	0.98058	76.25
17	0.93607	87.34	0.97586	85.86	0.97669	84.92	0.97744	81.23	0.97868	86.52	0.97997	80.20	0.97956	76.94
18	0.93616	89.94	0.97570	87.19	0.97605	85.66	0.97612	81.58	0.97828	85.06	0.97924	81.39	0.97990	78.75
19	0.93581	92.59	0.97530	93.14	0.97701	91.80	0.97683	87.45	0.97828	93.20	0.97961	85.30	0.98084	91.67
20	0.93591	99.92	0.97651	90.59	0.97587	91.84	0.97542	92.02	0.97727	97.88	0.97870	88.50	0.98024	84.36
21	0.93625	99.73	0.97493	95.75	0.97499	92.73	0.97680	93.80	0.97849	97.23	0.97983	90.56	0.97995	85.45
22	0.93614	96.47	0.97546	99.69	0.97595	96.28	0.97570	96.38	0.97767	100.52	0.97780	90.84	0.97921	90.02
23	0.93537	97.88	0.97542	103.75	0.97622	100.91	0.97592	101.23	0.97872	103.80	0.97929	93.94	0.98027	91.97
24	0.93554	98.41	0.97578	106.38	0.97376	106.30	0.97549	102.22	0.97808	106.13	0.97770	95.92	0.98013	93.00
25	0.93565	86.63	0.97576	95.09	0.97374	94.33	0.97755	92.11	0.97843	100.83	0.97887	97.63	0.97936	92.36
26	0.93527	91.31	0.97516	100.78	0.97536	96.92	0.97625	93.86	0.97779	105.23	0.97929	100.69	0.97710	98.13
27	0.93609	96.38	0.97496	110.00	0.97323	103.39	0.97588	101.94	0.97529	112.91	0.97863	105.84	0.97998	96.66
28	0.93583	102.42	0.97549	127.06	0.97618	110.30	0.97517	107.45	0.97675	112.44	0.97840	106.89	0.97704	95.80
29	0.93496	105.64	0.97500	120.34	0.97455	108.94	0.97646	117.69	0.97640	121.55	0.97868	111.11	0.97835	99.13
30	0.93501	110.58	0.97483	119.20	0.97263	117.66	0.97286	121.94	0.97684	123.84	0.97880	111.52	0.97728	102.45

ตารางที่ ค.4 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี B เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.77665	37.92	0.87171	34.70	0.87184	36.34	0.88065	36.27	0.88053	34.47	0.87885	34.94	0.88178	36.59
2	0.77657	41.11	0.87134	36.53	0.93795	39.52	0.92217	38.19	0.89654	38.13	0.93449	39.20	0.90467	38.34
3	0.77651	44.20	0.88730	38.70	0.93562	39.86	0.93380	39.83	0.91765	40.09	0.93680	40.20	0.93319	40.47
4	0.77815	44.67	0.92973	42.78	0.94070	43.06	0.93686	43.66	0.88587	42.19	0.89143	43.24	0.88178	43.86
5	0.77652	46.06	0.92324	43.73	0.94030	46.70	0.93000	45.66	0.93335	44.31	0.91775	45.75	0.87865	47.22
6	0.77664	50.94	0.93937	43.52	0.92471	52.23	0.95204	52.05	0.93070	47.63	0.95484	47.70	0.93676	49.28
7	0.77773	50.94	0.91032	46.39	0.93935	54.05	0.93409	58.08	0.93465	50.92	0.93169	53.42	0.94232	53.86
8	0.77733	53.08	0.93395	48.95	0.92619	57.23	0.93563	54.49	0.90005	53.88	0.91138	51.22	0.92975	53.22
9	0.77763	60.80	0.93045	50.06	0.91549	57.75	0.91361	62.23	0.93537	58.61	0.93001	54.03	0.92396	53.31
10	0.77667	63.73	0.92549	58.17	0.91254	60.47	0.93489	63.02	0.92908	61.11	0.92257	60.80	0.94923	57.08
11	0.77797	61.92	0.92520	66.27	0.92733	63.89	0.93840	67.92	0.94457	61.34	0.93373	66.47	0.92944	62.42
12	0.77761	60.88	0.92532	69.58	0.92720	67.78	0.93117	66.98	0.93427	62.50	0.92874	58.50	0.93839	61.92
13	0.77688	63.42	0.92786	72.67	0.91941	71.56	0.91966	72.25	0.92962	68.92	0.92471	62.13	0.92912	71.09
14	0.77749	69.44	0.93039	83.22	0.91987	73.11	0.91547	74.05	0.91517	72.09	0.93207	73.75	0.93647	74.55
15	0.77730	73.59	0.92766	81.88	0.91774	78.81	0.92703	81.81	0.92743	75.72	0.93193	75.78	0.92797	77.88
16	0.77727	69.31	0.91767	80.88	0.92538	81.36	0.92567	85.44	0.93284	81.50	0.91916	81.77	0.93455	81.77
17	0.77752	74.58	0.92412	75.98	0.91903	82.58	0.91293	85.73	0.91759	80.33	0.91247	83.88	0.91414	79.74
18	0.77709	82.27	0.92292	82.89	0.91202	88.31	0.92392	88.52	0.92387	84.74	0.92864	86.81	0.93227	83.50
19	0.77755	81.03	0.91605	77.89	0.91155	94.95	0.91303	92.97	0.92280	86.16	0.90782	87.66	0.92122	80.20
20	0.77737	89.34	0.91286	84.16	0.91432	101.86	0.92157	98.20	0.91858	90.81	0.92404	90.27	0.91637	91.44
21	0.77729	84.16	0.91452	88.75	0.90664	101.75	0.92330	101.38	0.92093	94.95	0.91789	95.13	0.91119	92.05
22	0.77735	96.88	0.91945	87.33	0.92090	105.31	0.91147	101.06	0.91733	97.59	0.90605	94.42	0.91062	96.28
23	0.77725	90.16	0.92142	91.88	0.90825	108.14	0.91804	108.36	0.91145	101.33	0.92039	100.16	0.90864	98.09
24	0.77738	99.36	0.91040	95.14	0.90722	103.92	0.90321	106.91	0.90371	103.31	0.90990	101.09	0.90952	100.81
25	0.77741	93.75	0.91593	101.09	0.91576	90.83	0.91238	102.56	0.91979	96.17	0.92058	96.22	0.91377	101.92
26	0.77738	94.19	0.92456	97.55	0.90912	99.03	0.91162	106.47	0.91083	100.88	0.91260	94.69	0.91130	106.48
27	0.77721	101.66	0.92464	97.44	0.91256	98.31	0.90742	107.69	0.91619	105.45	0.91217	99.86	0.91664	109.75
28	0.77721	103.02	0.90661	103.50	0.90887	103.97	0.90660	117.61	0.89869	110.42	0.91384	108.38	0.91525	114.50
29	0.77731	113.14	0.91708	111.77	0.90617	109.70	0.90161	118.78	0.89365	114.56	0.90759	112.80	0.89987	116.47
30	0.77726	120.20	0.91789	115.63	0.90344	114.75	0.89836	118.41	0.91822	118.50	0.90992	115.00	0.91703	123.66

ตารางที่ ค.5 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี C เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.87790	35.31	0.93762	33.84	0.93283	37.81	0.93549	38.58	0.93611	39.47	0.93447	36.06	0.93758	38.17
2	0.87708	38.38	0.93725	36.70	0.93734	38.53	0.94400	38.28	0.95430	38.42	0.95479	39.31	0.93708	39.92
3	0.87777	40.22	0.94239	38.22	0.94313	37.58	0.94407	39.00	0.94606	38.03	0.95481	39.30	0.95441	43.47
4	0.87935	41.63	0.94295	41.97	0.94361	40.33	0.94541	41.08	0.95298	40.36	0.95338	42.44	0.95555	45.64
5	0.87924	45.64	0.94021	44.34	0.94739	43.20	0.95133	44.69	0.95391	46.75	0.95236	47.74	0.95825	50.86
6	0.87913	52.38	0.94450	46.66	0.94837	46.88	0.95250	48.05	0.95149	50.77	0.95405	50.50	0.95687	51.14
7	0.87921	47.20	0.94423	52.92	0.93773	52.14	0.95168	51.63	0.95482	54.03	0.95877	53.98	0.95396	57.47
8	0.87923	54.44	0.94558	52.08	0.94761	50.27	0.94652	50.31	0.95429	51.30	0.95675	55.36	0.95923	58.86
9	0.87918	58.27	0.94239	53.72	0.94506	55.05	0.95030	54.08	0.94871	55.28	0.95404	55.91	0.95839	56.34
10	0.87927	62.22	0.94439	55.94	0.94764	59.00	0.94772	57.44	0.95394	59.36	0.95500	59.84	0.95538	61.11
11	0.87917	64.42	0.94293	63.97	0.94725	58.50	0.94987	63.08	0.95342	62.34	0.95591	64.44	0.95840	64.17
12	0.87923	62.89	0.94159	62.75	0.94647	56.02	0.95074	67.28	0.94987	63.55	0.95170	62.55	0.95771	66.13
13	0.87925	67.09	0.94444	65.45	0.94785	61.72	0.94877	67.75	0.95544	66.28	0.95250	69.64	0.95073	71.47
14	0.87911	74.34	0.94314	72.23	0.94448	67.00	0.94822	72.42	0.95201	73.39	0.95174	75.75	0.95645	80.11
15	0.87923	79.03	0.94230	75.14	0.94929	75.20	0.94345	73.77	0.95369	76.70	0.95473	78.55	0.95757	81.77
16	0.87926	82.47	0.94263	80.06	0.94668	79.50	0.94575	79.61	0.94923	78.95	0.95458	81.69	0.95745	85.09
17	0.87919	84.59	0.94387	79.92	0.94215	80.16	0.94864	79.88	0.95211	81.66	0.95327	81.84	0.95338	85.67
18	0.87910	87.05	0.94334	84.19	0.94582	82.11	0.94906	78.86	0.95296	83.27	0.95197	87.28	0.95822	92.38
19	0.87923	90.67	0.94172	86.95	0.94335	85.50	0.94733	84.25	0.95125	87.52	0.95765	91.27	0.95516	95.88
20	0.87914	94.19	0.94209	88.56	0.94565	90.33	0.95024	89.66	0.95067	90.64	0.95601	92.48	0.95671	89.13
21	0.87883	96.66	0.94202	91.72	0.94601	91.88	0.94278	90.47	0.94643	93.03	0.95515	93.23	0.95573	91.72
22	0.87906	99.27	0.94301	93.24	0.94207	94.80	0.94904	87.94	0.95352	95.97	0.94856	99.33	0.95609	94.98
23	0.87868	103.00	0.94202	96.67	0.94313	94.53	0.94706	93.39	0.94998	99.30	0.95354	102.38	0.95265	99.67
24	0.87922	105.56	0.94285	100.03	0.94675	96.50	0.94608	98.34	0.94924	99.98	0.95092	104.44	0.95496	102.61
25	0.87913	91.41	0.94169	105.44	0.94390	89.42	0.94570	100.80	0.94868	96.14	0.95228	98.75	0.95314	89.66
26	0.87906	99.17	0.94191	107.33	0.94053	102.00	0.94873	103.03	0.95079	102.66	0.95298	98.88	0.95235	97.80
27	0.87886	100.24	0.94130	107.52	0.94280	101.70	0.93786	99.56	0.94918	104.16	0.95213	102.08	0.95590	99.66
28	0.87909	108.81	0.94250	116.80	0.94437	100.00	0.94462	99.49	0.95225	112.00	0.95327	108.23	0.95279	106.51
29	0.87899	113.44	0.94126	118.06	0.93990	112.03	0.94607	100.95	0.95114	118.98	0.94919	113.72	0.95142	113.33
30	0.87911	115.97	0.94188	123.09	0.94367	116.33	0.94514	103.98	0.94929	122.88	0.94954	117.66	0.95282	115.63

ตารางที่ ค.6 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี C เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.63939	33.52	0.71074	33.91	0.20360	12.11	0.71983	36.67	0.17578	18.64	0.71601	35.02	0.71835	34.47
2	0.63995	43.50	0.71047	35.66	0.70872	41.77	0.77363	36.34	0.78700	37.28	0.71943	40.81	0.77627	40.14
3	0.64144	37.95	0.71057	39.02	0.78719	40.36	0.75011	37.42	0.78723	42.42	0.77121	38.77	0.71123	43.95
4	0.63980	40.00	0.79248	39.22	0.77504	45.97	0.76811	39.44	0.73159	41.36	0.75938	42.45	0.76405	48.83
5	0.64130	43.70	0.77210	42.45	0.76267	64.34	0.74392	42.64	0.78789	46.16	0.73383	46.09	0.80166	48.23
6	0.64161	44.55	0.75962	42.77	0.78129	57.47	0.77870	49.74	0.71859	52.88	0.75367	54.74	0.77737	52.36
7	0.64089	48.70	0.76186	49.02	0.73314	55.81	0.76095	52.53	0.74756	54.66	0.76965	60.86	0.77698	54.56
8	0.64070	49.30	0.77172	48.36	0.75698	55.95	0.78760	50.78	0.79544	53.58	0.75279	57.09	0.75374	51.83
9	0.64050	53.50	0.74056	50.81	0.76482	66.28	0.75456	53.16	0.77785	59.67	0.72736	57.14	0.74241	57.33
10	0.64120	53.66	0.75943	54.08	0.74213	66.64	0.75311	55.13	0.73550	62.22	0.76527	57.13	0.77840	59.61
11	0.64114	60.08	0.75168	58.09	0.76146	66.95	0.74781	61.56	0.74547	67.09	0.78444	65.92	0.74652	63.97
12	0.64113	59.09	0.74809	57.22	0.75078	68.66	0.75664	61.83	0.75644	69.94	0.75716	63.48	0.74754	66.25
13	0.64080	62.73	0.74167	60.36	0.73700	71.52	0.74343	65.47	0.77627	71.03	0.74158	69.20	0.74636	68.72
14	0.64113	62.98	0.75592	65.92	0.73711	77.89	0.75244	73.17	0.73704	80.77	0.73407	76.83	0.75365	74.42
15	0.64092	64.13	0.75114	70.00	0.74140	81.66	0.74604	76.05	0.74985	81.72	0.72696	81.44	0.75657	78.11
16	0.64039	69.59	0.72991	70.86	0.71543	78.56	0.74632	78.33	0.74636	84.17	0.73628	88.64	0.72678	82.67
17	0.64032	74.41	0.73651	77.36	0.74344	79.55	0.73854	80.64	0.73652	86.22	0.73305	88.94	0.74026	83.69
18	0.64104	75.34	0.73725	77.03	0.73767	84.44	0.73053	83.36	0.73101	88.03	0.74148	91.83	0.72974	87.28
19	0.64048	76.78	0.73491	91.78	0.73463	87.39	0.71673	85.83	0.72880	92.30	0.75109	96.24	0.73735	89.95
20	0.64058	77.66	0.73328	78.39	0.72708	90.23	0.74014	90.06	0.72193	95.28	0.74445	97.59	0.72918	92.17
21	0.64093	81.03	0.73675	83.14	0.72082	91.56	0.72566	94.14	0.72245	100.11	0.73264	101.17	0.72608	97.11
22	0.64080	84.09	0.74319	83.09	0.72669	96.81	0.74178	96.58	0.70939	102.24	0.72884	104.47	0.72641	98.06
23	0.64046	87.09	0.72814	89.70	0.74646	99.55	0.73230	100.26	0.73348	105.97	0.71929	112.53	0.74370	102.95
24	0.64116	87.50	0.72917	87.17	0.73581	102.51	0.73095	105.42	0.71073	108.92	0.70946	114.22	0.72173	105.81
25	0.64073	85.16	0.72601	92.09	0.72514	88.09	0.73327	88.59	0.72692	91.14	0.73315	96.66	0.72765	90.38
26	0.64067	92.44	0.73349	90.58	0.72523	91.20	0.72865	91.66	0.71341	95.80	0.71323	99.78	0.72814	95.50
27	0.63934	91.63	0.73721	93.75	0.71385	97.61	0.73534	94.39	0.72348	101.01	0.71290	104.51	0.71520	97.36
28	0.64054	104.38	0.71775	96.53	0.72202	110.20	0.72721	108.69	0.71826	118.19	0.72699	114.05	0.71735	105.20
29	0.63961	109.59	0.73343	100.17	0.72278	117.09	0.72293	113.06	0.71636	120.94	0.71409	117.78	0.71555	114.86
30	0.64045	110.86	0.72379	101.25	0.73262	120.00	0.70928	116.28	0.73450	124.14	0.72442	118.48	0.71905	120.28

ตารางที่ ค.7 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี D เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.76747	22.36	0.97825	37.89	0.97780	36.47	0.64713	23.78	0.97787	38.72	0.97876	38.63	0.97877	37.27
2	0.80653	13.91	0.97708	41.75	0.98419	39.44	0.98138	38.78	0.97857	43.28	0.97850	40.08	0.97830	41.05
3	0.26786	44.80	0.98487	39.98	0.97781	40.92	0.98440	42.03	0.98438	44.94	0.98469	46.36	0.98420	42.22
4	0.95872	44.39	0.98362	42.31	0.98413	44.03	0.98625	43.53	0.98500	46.27	0.98538	51.52	0.98452	43.92
5	0.95505	52.30	0.98281	44.72	0.98576	45.22	0.98528	45.63	0.98667	48.77	0.98404	51.81	0.98425	45.41
6	0.26719	58.31	0.98489	45.70	0.98633	49.61	0.98455	50.97	0.98655	57.52	0.98724	51.19	0.98606	47.84
7	0.95875	60.59	0.98412	48.06	0.98581	52.23	0.98560	53.28	0.98665	57.02	0.98766	54.16	0.98733	65.66
8	0.95888	57.97	0.98536	51.23	0.98602	53.88	0.98517	54.64	0.98730	56.11	0.98670	56.39	0.98592	65.89
9	0.95875	59.63	0.98533	53.84	0.98572	59.58	0.98641	61.47	0.98499	63.20	0.98501	59.09	0.98660	68.70
10	0.95889	64.27	0.98556	55.67	0.98558	63.52	0.98628	63.47	0.98574	65.91	0.98740	58.00	0.98614	71.58
11	0.95869	73.83	0.98573	58.08	0.98558	67.45	0.98503	68.94	0.98506	73.75	0.98634	64.80	0.98782	83.75
12	0.95884	74.98	0.98501	60.08	0.98544	69.94	0.98614	69.03	0.98637	73.69	0.98688	68.27	0.98735	76.77
13	0.95870	78.19	0.98535	62.11	0.98651	72.72	0.98577	72.06	0.98620	76.06	0.98749	78.17	0.98689	83.48
14	0.95885	86.38	0.98548	65.95	0.98570	75.66	0.98531	76.94	0.98568	79.84	0.98524	90.27	0.98730	93.61
15	0.95855	94.95	0.98523	67.05	0.98471	80.61	0.98624	84.22	0.98618	89.14	0.98804	91.36	0.98773	96.28
16	0.95889	92.45	0.98492	69.30	0.98555	82.78	0.98585	83.03	0.98702	91.67	0.98567	93.28	0.98657	101.70
17	0.95885	91.47	0.98505	72.52	0.98601	84.66	0.98593	86.56	0.98716	95.14	0.98724	94.95	0.98738	103.45
18	0.95882	91.84	0.98505	74.86	0.98376	88.64	0.98542	88.42	0.98687	91.02	0.98559	99.47	0.98650	105.05
19	0.95816	100.61	0.98502	75.98	0.98609	89.28	0.98578	92.02	0.98688	98.38	0.98741	102.28	0.98692	88.45
20	0.95871	106.06	0.98444	80.34	0.98563	94.95	0.98535	91.52	0.98575	122.72	0.98669	102.22	0.98743	83.95
21	0.95765	113.05	0.98552	82.11	0.98511	96.95	0.98492	94.56	0.98714	133.00	0.98703	104.00	0.98830	90.73
22	0.95872	107.88	0.98540	85.25	0.98466	98.63	0.98606	97.98	0.98714	132.66	0.98604	111.84	0.98671	92.05
23	0.95840	110.28	0.98500	85.72	0.98377	101.81	0.98505	102.56	0.98525	135.84	0.98759	109.44	0.98654	97.92
24	0.95827	112.86	0.98523	88.55	0.98349	105.76	0.98535	104.03	0.98574	127.33	0.98753	114.80	0.98749	95.53
25	0.95852	106.08	0.98518	92.11	0.98499	98.05	0.98560	100.73	0.98639	98.97	0.98742	113.61	0.98707	95.84
26	0.95782	111.55	0.98509	94.11	0.98472	103.48	0.98569	103.66	0.98533	106.23	0.98605	115.70	0.98599	99.84
27	0.95864	112.39	0.98521	99.11	0.98465	107.20	0.98571	106.14	0.98561	106.06	0.98732	121.13	0.98807	99.95
28	0.95822	111.94	0.98499	103.98	0.98403	113.42	0.98491	114.53	0.98446	112.92	0.98680	119.91	0.98692	101.27
29	0.95853	117.03	0.98520	111.33	0.98434	119.63	0.98462	114.84	0.98525	119.52	0.98641	129.41	0.98602	115.64
30	0.02267	2.28	0.98523	116.75	0.98446	121.33	0.98390	120.45	0.98575	124.36	0.98616	130.92	0.98678	108.78

ตารางที่ ค.8 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี D เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.84710	36.06	0.00000	1.19	0.00000	10.53	0.92529	37.38	0.92577	39.17	0.92520	37.59	0.92588	37.95
2	0.84691	38.86	0.92651	39.25	0.94040	40.52	0.92631	39.11	0.92630	39.02	0.92699	40.48	0.92621	40.45
3	0.85193	41.61	0.92947	41.34	0.92621	42.14	0.93277	41.84	0.92706	42.50	0.93408	42.13	0.93052	43.31
4	0.85057	43.91	0.22821	43.88	0.94139	44.66	0.92772	44.22	0.93255	43.16	0.93244	45.17	0.92747	46.25
5	0.85066	46.78	0.95397	45.97	0.94414	46.88	0.94422	45.06	0.93744	45.56	0.92541	48.56	0.93291	49.81
6	0.85036	51.88	0.95247	49.69	0.92255	48.49	0.96593	48.17	0.94502	47.03	0.95427	50.75	0.94246	53.58
7	0.85086	59.69	0.94979	53.19	0.19334	52.25	0.94078	51.22	0.94278	49.86	0.94716	54.80	0.94171	57.42
8	0.85116	62.06	0.95185	52.73	0.96273	56.47	0.95852	51.75	0.95853	50.95	0.95996	54.00	0.95373	56.11
9	0.85052	66.14	0.18993	59.23	0.94172	55.91	0.18250	55.03	0.92833	53.19	0.95842	55.52	0.94691	61.14
10	0.85095	71.83	0.95135	60.67	0.95829	60.11	0.95184	58.16	0.95712	62.94	0.95130	47.11	0.96190	64.77
11	0.85103	75.19	0.95505	66.59	0.95895	66.66	0.95699	58.89	0.95439	66.31	0.95915	67.08	0.95875	67.00
12	0.85092	76.66	0.95027	69.11	0.95375	69.00	0.95607	60.05	0.95541	61.70	0.95580	66.17	0.95660	69.03
13	0.85105	78.73	0.95446	70.86	0.95423	71.28	0.95481	62.59	0.95350	65.22	0.95991	69.75	0.95787	72.69
14	0.85040	80.91	0.95648	77.45	0.95312	75.97	0.95883	67.33	0.95394	70.75	0.96204	77.59	0.95607	77.81
15	0.85046	87.53	0.94032	81.99	0.94917	83.13	0.94914	67.47	0.95701	68.81	0.95772	82.33	0.95648	79.63
16	0.85036	91.25	0.95321	83.30	0.95382	84.39	0.94898	69.73	0.94870	71.17	0.95206	92.66	0.95114	85.41
17	0.85025	87.77	0.95385	83.27	0.94696	86.25	0.95950	73.17	0.95593	73.27	0.95824	96.28	0.94453	87.97
18	0.85011	89.92	0.95301	86.49	0.95484	87.22	0.95491	76.06	0.95403	74.63	0.95503	91.75	0.95243	90.28
19	0.85072	95.44	0.95271	90.11	0.95213	90.61	0.95821	80.00	0.94926	79.52	0.95509	97.69	0.94758	93.17
20	0.84999	106.01	0.95264	96.19	0.94816	96.39	0.95443	80.94	0.95849	82.58	0.95480	99.45	0.95214	95.52
21	0.85020	107.08	0.95286	98.94	0.94946	98.67	0.94764	83.91	0.95497	81.81	0.95168	104.06	0.95338	104.56
22	0.85039	111.08	0.95173	102.13	0.95038	101.16	0.95182	87.63	0.95172	86.27	0.94644	107.05	0.95039	102.83
23	0.85005	127.31	0.95076	104.30	0.94955	106.47	0.95005	89.78	0.95444	90.27	0.95020	107.59	0.95218	117.80
24	0.85016	129.84	0.94880	108.03	0.95019	110.08	0.95614	93.13	0.94828	91.52	0.95317	116.03	0.95417	122.39
25	0.85014	102.80	0.94936	101.72	0.94903	111.55	0.95245	95.52	0.95121	93.64	0.95023	111.58	0.95937	119.38
26	0.85046	105.59	0.95314	106.11	0.94790	108.49	0.95540	97.95	0.95367	96.16	0.94923	112.58	0.95454	120.83
27	0.85042	105.41	0.94764	106.23	0.94956	112.34	0.94946	100.11	0.95594	99.14	0.93868	116.14	0.94886	111.92
28	0.85046	115.20	0.94395	112.92	0.95165	116.42	0.94876	101.19	0.95205	99.78	0.94809	125.34	0.94996	119.13
29	0.85048	117.02	0.94605	117.27	0.94973	118.78	0.94720	118.50	0.94920	103.66	0.95391	127.02	0.94925	119.45
30	0.85031	120.95	0.94664	120.59	0.94280	124.64	0.94135	122.34	0.94771	107.01	0.95110	126.94	0.94945	124.58

ตารางที่ ค.9 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี E เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.92623	40.20	0.95998	41.22	0.94756	39.27	0.95239	40.67	0.42423	39.73	0.92594	39.45	0.95170	38.72
2	0.92688	42.36	0.96109	46.55	0.96164	42.89	0.95975	42.39	0.96762	41.97	0.96046	41.77	0.96183	43.84
3	0.92859	45.28	0.96886	49.86	0.96410	45.89	0.96059	45.06	0.96418	48.63	0.96060	43.52	0.97230	46.08
4	0.93207	35.27	0.97011	49.72	0.96102	49.77	0.96911	48.22	0.97153	48.70	0.97147	46.02	0.97164	49.58
5	0.93209	50.42	0.97010	50.50	0.97220	49.31	0.97124	49.86	0.97287	53.53	0.97311	49.97	0.96780	52.58
6	0.93131	52.33	0.97122	54.38	0.97130	56.17	0.97210	52.94	0.96869	54.42	0.97427	50.94	0.97387	54.47
7	0.93242	56.64	0.97068	56.38	0.97182	60.92	0.97021	55.77	0.97299	57.55	0.97767	53.08	0.97532	57.47
8	0.93232	59.06	0.97083	59.19	0.97172	58.94	0.97277	58.58	0.97407	57.83	0.97325	56.77	0.97543	55.86
9	0.93232	63.36	0.97100	64.48	0.97215	70.83	0.97436	64.80	0.97302	61.09	0.97655	57.66	0.97666	61.61
10	0.93213	67.78	0.97108	67.17	0.97078	66.39	0.97246	67.50	0.97607	67.38	0.97771	59.61	0.97434	62.16
11	0.93224	71.64	0.97065	69.95	0.97064	66.83	0.97211	71.73	0.97303	72.34	0.97713	62.70	0.97692	69.97
12	0.93230	71.80	0.97019	68.99	0.97118	79.67	0.97440	71.61	0.97545	71.30	0.97712	64.24	0.97859	68.25
13	0.93202	76.58	0.97179	73.28	0.97215	73.00	0.97199	74.53	0.97545	74.84	0.97615	65.34	0.97713	71.70
14	0.93226	82.94	0.97222	85.91	0.97200	75.13	0.97350	79.64	0.97354	76.64	0.97304	67.20	0.97640	74.94
15	0.93235	86.27	0.97121	89.14	0.97248	78.58	0.97238	83.64	0.97498	82.78	0.97609	71.72	0.97704	79.36
16	0.93218	89.36	0.97118	88.11	0.97165	80.05	0.97256	87.05	0.97373	90.20	0.97602	74.02	0.97708	91.91
17	0.93206	91.36	0.97077	93.03	0.97275	83.28	0.97307	89.22	0.97526	86.00	0.97762	79.27	0.97442	85.66
18	0.93220	92.74	0.97117	89.97	0.97196	86.84	0.97228	92.22	0.97688	79.69	0.97427	80.59	0.97726	84.45
19	0.93229	97.41	0.97097	98.81	0.97227	90.31	0.97275	95.20	0.97559	86.83	0.97607	83.03	0.97485	87.38
20	0.93234	102.55	0.97091	102.13	0.97277	93.39	0.97280	98.72	0.97395	91.64	0.97616	86.13	0.97627	89.11
21	0.93216	106.14	0.97022	102.24	0.97171	101.03	0.97279	103.16	0.97429	97.89	0.97579	86.86	0.97626	91.17
22	0.93213	105.58	0.97113	104.34	0.97026	105.67	0.97253	105.20	0.97385	104.69	0.97706	88.59	0.97641	96.91
23	0.93221	108.69	0.97066	106.81	0.97172	100.95	0.97207	108.97	0.97527	107.42	0.97347	91.52	0.97552	97.36
24	0.93211	112.41	0.97055	113.03	0.97231	98.14	0.97237	110.16	0.97568	110.56	0.97678	94.16	0.97767	102.83
25	0.93220	102.14	0.97054	97.19	0.97175	104.39	0.97268	103.63	0.97216	112.09	0.97636	97.19	0.97647	106.94
26	0.93174	115.08	0.97026	101.50	0.97118	107.26	0.97288	107.23	0.97215	113.08	0.97647	99.28	0.97499	116.28
27	0.93209	116.95	0.97069	115.14	0.97050	110.41	0.97164	116.63	0.97364	112.22	0.97357	102.81	0.97723	112.39
28	0.93208	120.45	0.97057	117.97	0.97049	113.58	0.97040	117.47	0.97401	125.13	0.97656	103.23	0.97608	114.84
29	0.93204	122.16	0.97027	124.42	0.97126	116.09	0.97267	122.30	0.97443	125.19	0.97412	104.80	0.97435	114.45
30	0.93188	125.47	0.97077	126.89	0.97030	120.48	0.97241	126.78	0.97384	127.36	0.43062	109.33	0.97584	116.55

ตารางที่ ค.10 ผลการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในกรณี E เมื่อใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543

จำนวนเซลล์ประสาทเทียม	จำนวนอินพุต													
	1		2		3		4		5		6		7	
	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)	R^2	เวลา (s)
1	0.73053	41.69	0.80024	43.03	0.73505	41.30	0.80495	39.50	0.50937	39.39	0.81086	39.75	0.80946	40.20
2	0.77774	44.69	0.85042	46.50	0.84662	45.31	0.85331	43.70	0.85404	43.80	0.85303	42.09	0.85820	42.42
3	0.78021	47.22	0.84661	39.67	0.86582	47.67	0.85772	45.86	0.85471	48.44	0.85256	45.13	0.85354	44.67
4	0.77973	49.59	0.84641	51.89	0.84772	50.16	0.85372	49.09	0.87690	49.33	0.85026	48.28	0.85356	46.66
5	0.78074	52.00	0.86936	52.30	0.89336	52.63	0.87919	52.89	0.87472	52.20	0.88765	51.14	0.85244	49.39
6	0.78038	56.03	0.88430	54.20	0.88635	52.19	0.86105	57.20	0.86066	56.31	0.87522	61.38	0.89381	52.67
7	0.78111	58.14	0.87943	59.45	0.88706	53.39	0.86139	60.28	0.86829	58.30	0.87322	58.98	0.87871	53.97
8	0.77835	61.88	0.85426	64.02	0.87801	58.70	0.87459	59.91	0.89670	59.67	0.87442	63.30	0.87494	58.28
9	0.78132	64.53	0.89461	61.67	0.89594	62.47	0.88711	66.22	0.88651	61.41	0.90461	65.25	0.89293	59.98
10	0.78106	65.08	0.87312	63.80	0.89222	65.08	0.87931	69.75	0.88560	65.83	0.89886	64.66	0.89294	62.31
11	0.78095	69.50	0.88885	73.13	0.88624	66.81	0.87371	73.56	0.90783	69.97	0.88642	67.83	0.89235	64.23
12	0.77949	73.70	0.88325	70.47	0.88506	67.09	0.89867	75.92	0.90205	69.86	0.89486	71.16	0.88667	67.06
13	0.78036	75.78	0.89179	76.33	0.88232	73.25	0.89606	79.27	0.89349	74.34	0.89343	72.48	0.89339	70.45
14	0.78132	82.88	0.87730	89.89	0.88415	75.23	0.89144	84.47	0.89128	82.67	0.88418	73.64	0.89826	75.08
15	0.78111	85.38	0.88284	95.06	0.88837	78.22	0.88305	88.48	0.85838	84.33	0.89501	79.41	0.88313	75.52
16	0.78080	86.84	0.88623	94.16	0.88813	79.42	0.89682	89.30	0.89402	86.83	0.89741	84.14	0.88026	78.89
17	0.78100	88.08	0.88720	94.38	0.88645	86.80	0.88218	94.22	0.88142	89.67	0.88538	84.28	0.89179	82.91
18	0.78060	92.49	0.88714	97.58	0.88159	80.56	0.88576	96.38	0.88627	93.13	0.88185	86.97	0.88392	79.47
19	0.78079	98.63	0.89080	105.42	0.88014	86.34	0.88445	100.31	0.89047	97.63	0.89409	88.03	0.88597	79.24
20	0.78073	100.66	0.87856	103.31	0.88706	87.06	0.88679	99.72	0.88501	99.47	0.87993	94.59	0.88530	83.72
21	0.78063	102.75	0.88456	105.59	0.88184	89.97	0.87782	104.95	0.88970	103.81	0.88587	94.14	0.88448	88.80
22	0.78077	106.64	0.88354	110.48	0.88807	93.97	0.88230	107.08	0.88274	108.58	0.88115	100.80	0.88280	90.88
23	0.78046	111.86	0.88503	117.64	0.88075	102.05	0.87708	111.19	0.89037	110.56	0.88656	108.20	0.88839	96.39
24	0.78059	111.27	0.88267	118.99	0.87802	128.56	0.88563	114.02	0.88703	112.52	0.88522	106.98	0.89652	95.33
25	0.78042	109.45	0.87554	119.55	0.88697	107.41	0.88717	98.42	0.88053	106.95	0.88562	108.77	0.89039	98.30
26	0.78057	111.17	0.88328	120.27	0.88365	111.05	0.87999	103.61	0.88087	111.22	0.87986	111.83	0.88219	104.81
27	0.78065	117.34	0.88392	117.16	0.87589	112.73	0.87864	106.63	0.88604	112.30	0.88917	116.20	0.88816	104.66
28	0.78038	121.34	0.87346	122.31	0.88332	117.72	0.87556	120.94	0.87015	122.97	0.88420	122.13	0.87990	107.41
29	0.78033	127.70	0.87701	127.17	0.87845	120.80	0.88368	123.13	0.87907	124.83	0.88047	128.08	0.87255	113.95
30	0.78042	130.31	0.88015	129.44	0.87389	124.22	0.87898	130.39	0.88678	127.83	0.26633	128.14	0.87970	124.30

ภาคผนวก ง.

ผลการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ ง.1 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2543 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี A ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (TEST 1)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.59645	0.42648	0.96444	0.50147	0.95119	0.94917	0.95563
2	0.92137	0.96250	0.96420	0.94962	0.95130	0.94944	0.96045
3	0.91269	0.96049	0.96552	0.95136	0.93364	0.94491	0.94314
4	0.92059	0.96193	0.95640	0.95504	0.93036	0.93144	0.96461
5	0.92112	0.96641	0.94644	0.94208	0.94874	0.95172	0.95337
6	0.91955	0.96176	0.95374	0.95401	0.94137	0.94515	0.93399
7	0.92082	0.95967	0.95482	0.94040	0.95896	0.96164	0.95418
8	0.92062	0.96224	0.96128	0.94513	0.96192	0.94579	0.93300
9	0.92057	0.96205	0.95991	0.95846	0.95990	0.94217	0.93412
10	0.92070	0.95853	0.96504	0.95534	0.93663	0.94231	0.93912
11	0.92093	0.95962	0.95530	0.96273	0.95838	0.94450	0.93348
12	0.91930	0.96283	0.95962	0.95076	0.95711	0.94692	0.93166
13	0.92081	0.95706	0.94252	0.94509	0.96433	0.96585	0.94587
14	0.91955	0.96648	0.95420	0.95971	0.95801	0.95464	0.95099
15	0.92066	0.96380	0.95233	0.95090	0.95730	0.96044	0.95189
16	0.91886	0.96013	0.96268	0.94126	0.95917	0.92952	0.94976
17	0.91960	0.96294	0.95887	0.95830	0.95554	0.94647	0.94899
18	0.92024	0.95544	0.94976	0.94620	0.93436	0.96364	0.94556
19	0.91836	0.96275	0.93565	0.95829	0.95484	0.94182	0.94526
20	0.91886	0.95970	0.95741	0.95288	0.94915	0.93948	0.94313
21	0.91994	0.96046	0.96526	0.95552	0.94081	0.96360	0.95303
22	0.91755	0.96395	0.96108	0.93899	0.95481	0.95397	0.95550
23	0.91820	0.96172	0.94738	0.95532	0.94888	0.94548	0.95413
24	0.91901	0.95835	0.95788	0.94479	0.91902	0.95012	0.95229
25	0.91669	0.96098	0.94998	0.95875	0.94645	0.94353	0.94018
26	0.91912	0.95867	0.94600	0.94950	0.94821	0.94836	0.93498
27	0.91643	0.95606	0.95938	0.95288	0.93635	0.95103	0.95989
28	0.91811	0.95887	0.95137	0.95437	0.95365	0.94180	0.95436
29	0.91949	0.95972	0.95273	0.94651	0.95216	0.93454	0.93957
30	0.91660	0.96029	0.95137	0.95172	0.94082	0.93740	0.93573

ตารางที่ ง.2 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี A ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (*TEST 2*)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.83382	0.82922	0.96958	0.78005	0.97047	0.96239	0.96239
2	0.96307	0.97525	0.96950	0.96686	0.97204	0.96288	0.96288
3	0.96026	0.97530	0.97292	0.97071	0.95448	0.96764	0.96764
4	0.96360	0.97551	0.97383	0.97595	0.96789	0.96566	0.96566
5	0.96370	0.97532	0.96295	0.96230	0.96766	0.96774	0.96774
6	0.96311	0.97512	0.97225	0.97091	0.96428	0.96147	0.96147
7	0.96353	0.97445	0.97253	0.96961	0.96889	0.96246	0.96246
8	0.96364	0.97138	0.97503	0.97043	0.97393	0.94636	0.94636
9	0.96358	0.97522	0.97466	0.97089	0.97581	0.96402	0.96402
10	0.96363	0.97480	0.97485	0.97186	0.97184	0.96281	0.96281
11	0.96354	0.97475	0.97288	0.97248	0.96878	0.95964	0.95964
12	0.96338	0.97498	0.97282	0.97136	0.97796	0.96734	0.96734
13	0.96359	0.97483	0.96949	0.96886	0.97160	0.96640	0.96640
14	0.96309	0.97462	0.96902	0.97345	0.97534	0.97111	0.97111
15	0.96351	0.97480	0.97257	0.97226	0.97169	0.96653	0.96653
16	0.96279	0.97476	0.97292	0.96814	0.96801	0.96977	0.96977
17	0.96306	0.97450	0.97324	0.97163	0.97320	0.96755	0.96755
18	0.96348	0.97452	0.97034	0.96954	0.96714	0.96941	0.96941
19	0.96296	0.97422	0.96596	0.97087	0.97439	0.97465	0.97465
20	0.96272	0.97427	0.97441	0.97301	0.97322	0.96491	0.96491
21	0.96321	0.97469	0.97345	0.97257	0.96696	0.96824	0.96824
22	0.96216	0.97441	0.97409	0.96530	0.96496	0.97067	0.97067
23	0.96244	0.97468	0.97004	0.97084	0.97225	0.96942	0.96942
24	0.96279	0.97466	0.97352	0.96751	0.96352	0.96653	0.96653
25	0.96180	0.97431	0.97193	0.97211	0.96412	0.96557	0.96557
26	0.96311	0.97425	0.96976	0.96990	0.96882	0.96686	0.96686
27	0.96197	0.97411	0.97418	0.97257	0.97151	0.97233	0.97233
28	0.96232	0.97447	0.97161	0.97116	0.97049	0.97106	0.97106
29	0.96297	0.97392	0.97201	0.97164	0.97154	0.96477	0.96477
30	0.96213	0.97378	0.97115	0.97343	0.96724	0.96542	0.96542

ตารางที่ ง.3 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี A ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543 (TEST 3)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.95677	0.96308	0.96315	0.96123	0.95848	0.95878	0.95816
2	0.95582	0.96321	0.96350	0.96138	0.95780	0.95707	0.95824
3	0.95731	0.96041	0.95654	0.95650	0.95784	0.94546	0.95691
4	0.96257	0.95524	0.95625	0.95589	0.92606	0.93183	0.96292
5	0.96234	0.96016	0.94624	0.94594	0.94281	0.94383	0.94812
6	0.96119	0.95746	0.95553	0.95779	0.93547	0.93182	0.94081
7	0.96255	0.96612	0.95414	0.95224	0.95735	0.94783	0.95600
8	0.96084	0.95913	0.95490	0.95110	0.95608	0.92165	0.93122
9	0.96083	0.95531	0.95717	0.94695	0.93057	0.93392	0.73148
10	0.96131	0.96011	0.96036	0.94351	0.94923	0.95838	0.94741
11	0.96168	0.95805	0.95439	0.96187	0.96811	0.92132	0.95698
12	0.95910	0.95813	0.95517	0.96141	0.94751	0.95704	0.95549
13	0.96037	0.95740	0.96523	0.96763	0.94016	0.94771	0.92583
14	0.96071	0.95614	0.95809	0.95772	0.96162	0.94623	0.88798
15	0.95859	0.95890	0.96262	0.96358	0.96463	0.95419	0.95075
16	0.96035	0.95947	0.95999	0.96243	0.95813	0.94479	0.96348
17	0.96035	0.96139	0.96026	0.95678	0.96702	0.94605	0.96278
18	0.95982	0.95806	0.95893	0.96138	0.96575	0.96563	0.95812
19	0.96026	0.95866	0.96233	0.96733	0.95621	0.93804	0.95279
20	0.96080	0.96268	0.96158	0.96093	0.96291	0.96356	0.96108
21	0.95938	0.96039	0.95706	0.96543	0.94331	0.94983	0.93107
22	0.96034	0.95613	0.95621	0.96284	0.95823	0.96192	0.91701
23	0.96050	0.95891	0.95861	0.95556	0.96570	0.95380	0.90644
24	0.96050	0.96345	0.95512	0.96767	0.95667	0.96961	0.96991
25	0.95893	0.96097	0.96410	0.96343	0.95679	0.95793	0.96324
26	0.95914	0.95781	0.96496	0.96150	0.95706	0.96915	0.96005
27	0.95962	0.95816	0.95989	0.96924	0.96876	0.96540	0.93186
28	0.95882	0.96395	0.95567	0.95869	0.95749	0.95878	0.97037
29	0.95874	0.96187	0.96151	0.96698	0.96238	0.96109	0.96326
30	0.96059	0.96446	0.96266	0.95964	0.96376	0.95866	0.95572

ตารางที่ ง.4 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2543 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี B ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (TEST 1)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.75821	0.84783	0.84155	0.81835	0.81043	0.81425	0.80900
2	0.75724	0.82191	0.83421	0.81261	0.81206	0.75508	0.78804
3	0.76461	0.81519	0.81167	0.79687	0.79792	0.80034	0.80463
4	0.76593	0.83168	0.79707	0.81248	0.79474	0.82706	0.79841
5	0.76556	0.81611	0.82113	0.77750	0.78570	0.77113	0.80001
6	0.76308	0.81781	0.80041	0.80431	0.79496	0.79691	0.80054
7	0.76682	0.81974	0.82350	0.79807	0.81985	0.80912	0.79595
8	0.76470	0.82077	0.81757	0.82567	0.80827	0.78557	0.79447
9	0.76661	0.81882	0.79219	0.81967	0.81019	0.81452	0.81038
10	0.76528	0.83508	0.80540	0.81374	0.83075	0.82025	0.80156
11	0.76562	0.82181	0.82208	0.80062	0.81752	0.81000	0.79096
12	0.76469	0.81477	0.82326	0.76673	0.82175	0.79059	0.80255
13	0.76622	0.82151	0.80652	0.80322	0.81002	0.81455	0.79355
14	0.76147	0.82281	0.80640	0.80129	0.81674	0.79606	0.81592
15	0.76254	0.81861	0.81499	0.78682	0.79157	0.81073	0.80686
16	0.76368	0.82046	0.78699	0.79602	0.79696	0.79110	0.80877
17	0.76242	0.81725	0.81383	0.81005	0.80123	0.80772	0.80512
18	0.76453	0.82341	0.80794	0.79424	0.80821	0.77084	0.82786
19	0.76255	0.81741	0.81523	0.80778	0.81096	0.80759	0.81663
20	0.76318	0.82027	0.81701	0.81242	0.80580	0.79677	0.79298
21	0.76437	0.81364	0.81714	0.80368	0.81150	0.80609	0.80971
22	0.76687	0.82463	0.81741	0.78575	0.80503	0.76932	0.80204
23	0.76176	0.80980	0.81648	0.78511	0.81587	0.80619	0.81513
24	0.76200	0.82047	0.80818	0.79721	0.80627	0.80678	0.79208
25	0.76271	0.81718	0.81066	0.80563	0.80876	0.80079	0.81200
26	0.76329	0.81817	0.81658	0.79659	0.81308	0.80564	0.79974
27	0.76419	0.81813	0.80945	0.79285	0.80524	0.80465	0.81661
28	0.76269	0.81681	0.80806	0.78601	0.80771	0.80168	0.79593
29	0.76082	0.81563	0.81080	0.79253	0.79519	0.80680	0.78304
30	0.76101	0.82187	0.80522	0.79595	0.80742	0.78982	0.79418

ตารางที่ ง.5 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี B ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (*TEST 2*)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.89880	0.89688	0.89640	0.89773	0.89544	0.88641	0.89861
2	0.89847	0.90114	0.89377	0.89790	0.88834	0.89569	0.89529
3	0.90064	0.90172	0.89529	0.89273	0.89531	0.89119	0.89120
4	0.90134	0.89999	0.88840	0.90339	0.87761	0.89462	0.88457
5	0.90152	0.90132	0.89576	0.89873	0.89225	0.84359	0.89346
6	0.89994	0.90129	0.88700	0.90515	0.87531	0.88641	0.86747
7	0.90167	0.90034	0.89246	0.89760	0.89123	0.88282	0.85664
8	0.90085	0.89848	0.90158	0.88853	0.89849	0.87056	0.87691
9	0.90138	0.89918	0.89563	0.92346	0.89472	0.89660	0.87642
10	0.90104	0.89881	0.90124	0.89238	0.89352	0.87801	0.88078
11	0.90120	0.89899	0.89741	0.89892	0.89839	0.88680	0.88606
12	0.90088	0.90194	0.90115	0.89998	0.88937	0.88308	0.88791
13	0.90134	0.89993	0.88983	0.88473	0.88296	0.87244	0.88819
14	0.89992	0.90043	0.90019	0.89346	0.88965	0.89324	0.88663
15	0.90029	0.89953	0.89630	0.90999	0.91206	0.86729	0.86815
16	0.90056	0.90047	0.89649	0.89693	0.88512	0.89288	0.87483
17	0.90044	0.89957	0.89876	0.89516	0.90272	0.89007	0.88592
18	0.90079	0.89933	0.89934	0.90090	0.88732	0.88456	0.88746
19	0.90032	0.90009	0.89725	0.90122	0.89969	0.88277	0.87751
20	0.90044	0.90026	0.89721	0.90254	0.89695	0.90022	0.87974
21	0.90086	0.89943	0.90145	0.90093	0.90126	0.88779	0.88667
22	0.90109	0.89865	0.90074	0.90201	0.89277	0.88940	0.89670
23	0.90001	0.90038	0.89738	0.90400	0.90523	0.88709	0.88193
24	0.90011	0.89928	0.90143	0.89835	0.88891	0.90379	0.88200
25	0.90028	0.89960	0.90077	0.89543	0.89343	0.88358	0.88804
26	0.90021	0.89996	0.90235	0.89950	0.90072	0.88867	0.88594
27	0.90073	0.90057	0.90058	0.90439	0.90071	0.89543	0.88749
28	0.90033	0.89992	0.89902	0.89909	0.90042	0.89474	0.89367
29	0.89971	0.90037	0.90072	0.89895	0.89884	0.89018	0.89202
30	0.89976	0.89913	0.90249	0.89974	0.90402	0.89337	0.88636

ตารางที่ ง.6 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี B ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543 (TEST 3)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.89461	0.89620	0.89656	0.88785	0.88202	0.88035	0.88311
2	0.89436	0.89695	0.83891	0.84237	0.88138	0.87456	0.87915
3	0.89514	0.88426	0.87279	0.80265	0.84286	0.84596	0.87033
4	0.89909	0.83625	0.86164	0.85384	0.89649	0.87409	0.88432
5	0.89516	0.84607	0.83441	0.82884	0.85392	0.86186	0.89241
6	0.89508	0.83694	0.87278	0.85514	0.84735	0.82396	0.81521
7	0.89870	0.87351	0.85407	0.86001	0.83278	0.84384	0.83435
8	0.89675	0.84994	0.87784	0.84963	0.89794	0.79997	0.85728
9	0.89810	0.84542	0.86803	0.86301	0.85076	0.76034	0.73242
10	0.89546	0.85295	0.86885	0.85683	0.88389	0.88719	0.83410
11	0.89855	0.84724	0.85670	0.86336	0.85016	0.87510	0.87375
12	0.89857	0.85832	0.87629	0.86775	0.84910	0.88005	0.83035
13	0.89648	0.84074	0.88486	0.89611	0.85247	0.85883	0.85890
14	0.89721	0.84635	0.88061	0.87639	0.88497	0.87991	0.85249
15	0.89703	0.85324	0.88454	0.87521	0.88423	0.90855	0.88553
16	0.89767	0.85841	0.85823	0.87447	0.87952	0.84380	0.90341
17	0.89737	0.85757	0.89364	0.89634	0.88417	0.89483	0.89839
18	0.89758	0.85001	0.88769	0.88189	0.88256	0.89921	0.86198
19	0.89803	0.85917	0.88437	0.88530	0.86123	0.89885	0.88922
20	0.89727	0.86699	0.88209	0.88319	0.87848	0.90404	0.90836
21	0.89648	0.86183	0.89176	0.87853	0.88729	0.90212	0.85863
22	0.89680	0.86351	0.86020	0.89124	0.89863	0.90492	0.86170
23	0.89610	0.85772	0.89302	0.88600	0.91397	0.86664	0.85474
24	0.89784	0.87133	0.88957	0.89647	0.87455	0.90488	0.90299
25	0.89680	0.86904	0.88811	0.88183	0.90426	0.89250	0.91371
26	0.89726	0.85266	0.88470	0.90554	0.89834	0.91247	0.87373
27	0.89608	0.85543	0.88700	0.88176	0.90743	0.88684	0.88678
28	0.89631	0.87327	0.88334	0.90892	0.89620	0.88379	0.84393
29	0.89646	0.86335	0.89190	0.89548	0.89878	0.87801	0.90884
30	0.89633	0.85889	0.89249	0.90339	0.90423	0.89307	0.86114

ตารางที่ ง.7 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2543 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี C ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (TEST 1)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.62561	0.66835	0.65609	0.64181	0.66986	0.64188	0.66023
2	0.62333	0.66573	0.65202	0.64654	0.63462	0.63198	0.65314
3	0.62752	0.64467	0.64058	0.65135	0.61271	0.62259	0.63987
4	0.63016	0.63441	0.62305	0.63975	0.62640	0.63900	0.62934
5	0.63108	0.64538	0.62220	0.62279	0.63214	0.64293	0.58867
6	0.63007	0.63570	0.62214	0.63250	0.63132	0.61882	0.61108
7	0.63068	0.64438	0.65240	0.60212	0.61864	0.62003	0.62424
8	0.63019	0.63685	0.62412	0.62471	0.62811	0.62684	0.62402
9	0.63076	0.63229	0.63244	0.61928	0.62652	0.60951	0.64627
10	0.63010	0.63719	0.61707	0.63514	0.62067	0.61918	0.62653
11	0.63015	0.63184	0.61387	0.60142	0.62083	0.63818	0.62008
12	0.63041	0.63418	0.62510	0.63486	0.62587	0.63995	0.62786
13	0.62995	0.64261	0.61821	0.60566	0.60501	0.62665	0.62288
14	0.62889	0.64008	0.62897	0.62199	0.63667	0.62239	0.60471
15	0.63100	0.64096	0.61911	0.63010	0.63392	0.64063	0.62008
16	0.62987	0.63994	0.61918	0.62637	0.61683	0.64469	0.63336
17	0.63139	0.63701	0.64367	0.61900	0.64000	0.63203	0.64278
18	0.62859	0.63665	0.62913	0.62134	0.64361	0.63350	0.63473
19	0.63042	0.63157	0.63127	0.62506	0.61889	0.61464	0.62289
20	0.62942	0.63264	0.61883	0.62359	0.64576	0.62866	0.62125
21	0.62802	0.64053	0.62898	0.61820	0.62546	0.63974	0.63164
22	0.62840	0.64540	0.63915	0.62253	0.63067	0.63243	0.63831
23	0.62563	0.63636	0.63240	0.61635	0.63440	0.63040	0.61843
24	0.63041	0.63395	0.62523	0.62080	0.62597	0.61992	0.62368
25	0.62950	0.63792	0.63723	0.61528	0.61401	0.62865	0.62156
26	0.62922	0.64237	0.63430	0.61689	0.63372	0.63915	0.62751
27	0.62785	0.63985	0.63312	0.63142	0.61736	0.63343	0.62773
28	0.62910	0.63779	0.63416	0.61564	0.63042	0.62347	0.63398
29	0.62726	0.63099	0.62719	0.61194	0.62245	0.61509	0.61790
30	0.62944	0.64171	0.63140	0.62039	0.63229	0.62681	0.61353

ตารางที่ ง.8 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี C ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (TEST 2)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.84450	0.82857	0.82930	0.83937	0.83169	0.84015	0.82034
2	0.84382	0.82765	0.83301	0.83123	0.77900	0.78191	0.82689
3	0.84483	0.83018	0.83225	0.82891	0.83801	0.76872	0.75731
4	0.84479	0.83210	0.83045	0.83211	0.79468	0.79525	0.78390
5	0.84559	0.82676	0.82684	0.81655	0.78615	0.79409	0.74545
6	0.84492	0.82360	0.80792	0.79877	0.80786	0.80774	0.79309
7	0.84532	0.82043	0.82972	0.81439	0.78667	0.77933	0.80391
8	0.84522	0.82105	0.81162	0.85054	0.79781	0.77101	0.76693
9	0.84545	0.82800	0.82395	0.80828	0.82482	0.79145	0.75703
10	0.84490	0.82658	0.81303	0.83920	0.80323	0.80332	0.79085
11	0.84494	0.82519	0.81302	0.81578	0.79564	0.78845	0.77176
12	0.84512	0.82957	0.81939	0.80901	0.81543	0.83778	0.77056
13	0.84517	0.82261	0.81698	0.81083	0.80421	0.81003	0.81822
14	0.84493	0.82104	0.82134	0.81837	0.79840	0.81760	0.74722
15	0.84572	0.82427	0.81300	0.83985	0.80771	0.79669	0.75753
16	0.84476	0.82429	0.82194	0.82950	0.81603	0.80165	0.76122
17	0.84538	0.82256	0.83037	0.82605	0.80276	0.81246	0.80728
18	0.84502	0.82156	0.82633	0.83081	0.80556	0.80386	0.75747
19	0.84534	0.83095	0.82453	0.81401	0.79998	0.79153	0.76766
20	0.84517	0.82573	0.81702	0.80669	0.81148	0.79308	0.76689
21	0.84503	0.82765	0.81738	0.81507	0.81895	0.78542	0.77811
22	0.84499	0.82373	0.83047	0.80957	0.79940	0.81713	0.76931
23	0.84444	0.82580	0.82934	0.81846	0.81073	0.78979	0.78600
24	0.84555	0.82280	0.82008	0.81422	0.80636	0.80949	0.78393
25	0.84532	0.82318	0.82210	0.81975	0.80524	0.79516	0.79650
26	0.84530	0.82339	0.82124	0.81131	0.79991	0.80347	0.79494
27	0.84494	0.82477	0.81976	0.81980	0.81293	0.80463	0.78161
28	0.84517	0.82158	0.82395	0.81773	0.79619	0.79910	0.78786
29	0.84468	0.82603	0.81480	0.81191	0.80637	0.80832	0.79718
30	0.84537	0.82186	0.82204	0.81782	0.81219	0.80308	0.77841

ตารางที่ ง.9 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี C ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543 (TEST 3)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.84327	0.84379	0.56499	0.82803	0.54539	0.82314	0.82685
2	0.84394	0.84382	0.84581	0.77214	0.76964	0.82299	0.79774
3	0.84725	0.84403	0.79178	0.79975	0.79348	0.78713	0.82767
4	0.84372	0.77962	0.79771	0.80217	0.75948	0.81432	0.80799
5	0.84695	0.80581	0.79803	0.77595	0.79645	0.81872	0.69997
6	0.84747	0.80885	0.78765	0.77282	0.82492	0.75860	0.80060
7	0.84622	0.80090	0.81329	0.82263	0.78805	0.73948	0.76885
8	0.84540	0.78866	0.78503	0.77718	0.79777	0.76773	0.76712
9	0.84521	0.79814	0.79618	0.80066	0.77554	0.83816	0.81709
10	0.84698	0.79388	0.82965	0.71192	0.82948	0.80744	0.75571
11	0.84664	0.80164	0.80690	0.79890	0.84232	0.73733	0.80590
12	0.84678	0.81248	0.81073	0.80632	0.82888	0.79644	0.81036
13	0.84575	0.80011	0.81829	0.81794	0.81238	0.81937	0.78485
14	0.84682	0.79642	0.82070	0.82063	0.83597	0.83599	0.79722
15	0.84619	0.81117	0.81582	0.82405	0.80938	0.84044	0.80898
16	0.84559	0.82006	0.83585	0.82424	0.79839	0.82481	0.78947
17	0.84532	0.81800	0.82749	0.82279	0.85041	0.83660	0.80559
18	0.84648	0.80053	0.81571	0.83982	0.83528	0.80135	0.85079
19	0.84522	0.81385	0.81788	0.83532	0.80761	0.82156	0.78073
20	0.84559	0.81502	0.81384	0.84250	0.84430	0.83472	0.84750
21	0.84629	0.82746	0.81794	0.82234	0.81059	0.80296	0.80853
22	0.84629	0.80821	0.82830	0.82850	0.83887	0.82397	0.75298
23	0.84535	0.81556	0.81446	0.80653	0.82924	0.81850	0.78280
24	0.84691	0.82296	0.81855	0.83472	0.81893	0.84194	0.82655
25	0.84574	0.82843	0.81480	0.82515	0.84263	0.85434	0.84170
26	0.84566	0.80927	0.81833	0.83249	0.82960	0.83030	0.80722
27	0.84434	0.81582	0.82111	0.81252	0.84045	0.81596	0.84548
28	0.84561	0.83160	0.82579	0.83953	0.83683	0.85164	0.79979
29	0.84515	0.82291	0.81899	0.84375	0.83709	0.83424	0.80858
30	0.84615	0.82002	0.82912	0.82723	0.84177	0.84145	0.86054

ตารางที่ ง.10 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2543 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี D ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (TEST 1)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.56757	0.90297	0.89938	0.35518	0.89574	0.88307	0.89594
2	0.57403	0.90311	0.87862	0.88131	0.87435	0.87796	0.86474
3	0.16450	0.89422	0.90172	0.86724	0.86052	0.84836	0.87325
4	0.84248	0.88917	0.89037	0.88454	0.88884	0.86670	0.87926
5	0.83471	0.89515	0.86921	0.87170	0.87678	0.86314	0.85207
6	0.16325	0.88494	0.89060	0.86901	0.87216	0.88254	0.86964
7	0.84198	0.88895	0.88579	0.85952	0.86743	0.87325	0.85377
8	0.84264	0.88535	0.88812	0.86499	0.89441	0.86588	0.87462
9	0.84206	0.89092	0.88882	0.88367	0.88286	0.86374	0.86252
10	0.84257	0.89189	0.89543	0.88269	0.88223	0.87004	0.87138
11	0.84196	0.88625	0.88476	0.85500	0.87701	0.87458	0.87863
12	0.84199	0.88944	0.88926	0.87532	0.86779	0.87292	0.87599
13	0.84151	0.89018	0.88708	0.87383	0.88765	0.87438	0.86736
14	0.84207	0.88950	0.88569	0.87687	0.88459	0.88323	0.86440
15	0.84132	0.88605	0.88732	0.87777	0.88461	0.88122	0.87673
16	0.84256	0.88839	0.88329	0.86924	0.88948	0.86668	0.86837
17	0.84200	0.88319	0.88738	0.86854	0.88484	0.88070	0.88258
18	0.84162	0.88319	0.88129	0.86672	0.87219	0.86561	0.86904
19	0.84052	0.88645	0.88456	0.88720	0.87157	0.87807	0.87334
20	0.84101	0.88486	0.88730	0.88033	0.87631	0.86521	0.88270
21	0.83995	0.89384	0.87910	0.86978	0.87828	0.88372	0.88566
22	0.84219	0.88893	0.88644	0.87791	0.86252	0.87412	0.87250
23	0.84013	0.88512	0.88127	0.86402	0.86386	0.88255	0.87653
24	0.83846	0.88929	0.88067	0.86984	0.87273	0.87729	0.88128
25	0.84026	0.88956	0.88642	0.87848	0.87074	0.87653	0.86264
26	0.83992	0.88470	0.88248	0.87985	0.86790	0.86979	0.86498
27	0.84134	0.89005	0.87863	0.87806	0.87170	0.88821	0.88238
28	0.84056	0.88300	0.88222	0.86643	0.87306	0.87563	0.87501
29	0.84015	0.89123	0.87618	0.86938	0.87420	0.87840	0.87469
30	0.00946	0.89024	0.88562	0.87751	0.87930	0.88238	0.87499

ตารางที่ ง.11 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี D ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีนำ 2539 (TEST 2)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.84078	0.93381	0.93459	0.78252	0.93586	0.92025	0.93158
2	0.79313	0.93308	0.92451	0.92887	0.92760	0.92334	0.92471
3	0.26007	0.93738	0.93212	0.93533	0.92922	0.91652	0.93182
4	0.93259	0.93850	0.93929	0.93421	0.93449	0.92807	0.91529
5	0.92980	0.93533	0.92828	0.93663	0.92839	0.93215	0.91195
6	0.25892	0.93763	0.93701	0.93671	0.92897	0.93068	0.92869
7	0.93246	0.93778	0.93878	0.92972	0.92913	0.90970	0.92319
8	0.93254	0.93806	0.93490	0.93747	0.92926	0.92423	0.91974
9	0.93239	0.93702	0.93676	0.93287	0.94024	0.93806	0.92273
10	0.93255	0.93678	0.94036	0.93037	0.93911	0.92387	0.92262
11	0.93240	0.93665	0.93427	0.93304	0.93828	0.93097	0.92314
12	0.93238	0.93712	0.93666	0.93355	0.93213	0.93252	0.92528
13	0.93229	0.93704	0.93061	0.93113	0.93062	0.92022	0.92733
14	0.93239	0.93724	0.93611	0.93456	0.93640	0.93930	0.92496
15	0.93223	0.93743	0.93994	0.93130	0.93630	0.92413	0.91839
16	0.93259	0.93697	0.93610	0.93573	0.92695	0.94036	0.92778
17	0.93239	0.93670	0.93356	0.93288	0.92902	0.93038	0.93415
18	0.93224	0.93727	0.93757	0.93988	0.93066	0.93310	0.91229
19	0.93184	0.93678	0.93361	0.93593	0.93038	0.93016	0.92716
20	0.93211	0.93707	0.93784	0.93670	0.93940	0.92642	0.92678
21	0.93142	0.93708	0.93488	0.93839	0.92753	0.92964	0.91661
22	0.93244	0.93669	0.93776	0.93277	0.92888	0.93144	0.92901
23	0.93177	0.93744	0.93701	0.93562	0.93698	0.92647	0.93225
24	0.93153	0.93670	0.93747	0.93591	0.93361	0.92586	0.92831
25	0.93184	0.93670	0.93575	0.93553	0.93454	0.92378	0.92466
26	0.93152	0.93714	0.93538	0.93465	0.93408	0.93144	0.92925
27	0.93217	0.93725	0.93612	0.93675	0.93436	0.92520	0.92135
28	0.93180	0.93717	0.93520	0.93760	0.93488	0.92778	0.92485
29	0.93189	0.93688	0.93389	0.93694	0.93604	0.93231	0.93233
30	0.03198	0.93620	0.93752	0.93586	0.93707	0.92940	0.92860

ตารางที่ ง.12 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี D ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543 (TEST 3)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.92503	0.24295	0.26619	0.92554	0.92048	0.92291	0.92062
2	0.92419	0.92407	0.90899	0.92221	0.92101	0.91887	0.91910
3	0.92903	0.92310	0.92827	0.92370	0.91902	0.91911	0.91801
4	0.92601	0.28284	0.92329	0.92247	0.92095	0.91898	0.91833
5	0.92802	0.90532	0.90453	0.91753	0.92196	0.92261	0.92338
6	0.92585	0.89479	0.92718	0.91190	0.93112	0.89800	0.91140
7	0.92814	0.91405	0.22241	0.89024	0.91328	0.90864	0.89341
8	0.92755	0.89694	0.91067	0.90586	0.90613	0.90748	0.89980
9	0.92605	0.22642	0.91892	0.23633	0.93784	0.89324	0.91421
10	0.92822	0.90597	0.91613	0.91913	0.92650	0.92483	0.91106
11	0.92737	0.90570	0.91667	0.90651	0.89810	0.91014	0.90323
12	0.92708	0.90370	0.91611	0.90122	0.88893	0.89182	0.90141
13	0.92833	0.90119	0.91634	0.92730	0.93432	0.90005	0.92034
14	0.92659	0.90229	0.91782	0.91610	0.92280	0.87333	0.91953
15	0.92682	0.91186	0.91956	0.91775	0.91111	0.89136	0.93620
16	0.92573	0.90784	0.91955	0.91617	0.92206	0.91343	0.87017
17	0.92498	0.90500	0.92408	0.91076	0.89424	0.89156	0.93750
18	0.92588	0.90541	0.91818	0.90955	0.91979	0.92663	0.92105
19	0.92732	0.90576	0.91898	0.92274	0.93687	0.93345	0.92632
20	0.92552	0.91021	0.91643	0.91989	0.90198	0.90712	0.92781
21	0.92617	0.90257	0.91395	0.92699	0.93459	0.93492	0.90397
22	0.92671	0.90706	0.92479	0.91981	0.92173	0.93885	0.93690
23	0.92544	0.91053	0.92225	0.91080	0.92981	0.91348	0.92941
24	0.92576	0.91010	0.92631	0.90360	0.91060	0.92378	0.91225
25	0.92600	0.91204	0.91401	0.92471	0.91959	0.91645	0.92916
26	0.92662	0.90878	0.91756	0.91850	0.93140	0.93591	0.91208
27	0.92654	0.90994	0.92561	0.93054	0.91383	0.93159	0.90474
28	0.92696	0.91488	0.91590	0.92593	0.92489	0.92601	0.93419
29	0.92661	0.91457	0.92210	0.91504	0.92556	0.90274	0.91154
30	0.92585	0.91481	0.91525	0.92569	0.92259	0.94196	0.93156

ตารางที่ ง.13 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2543 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี E ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2539 (TEST 1)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.75085	0.80394	0.76938	0.73307	0.25386	0.72190	0.69027
2	0.75956	0.82311	0.81177	0.79198	0.76713	0.81463	0.78376
3	0.76201	0.80683	0.81520	0.80123	0.81284	0.80331	0.78688
4	0.76890	0.80083	0.81745	0.78904	0.78052	0.78492	0.76484
5	0.76728	0.79789	0.79566	0.77953	0.78112	0.79089	0.78398
6	0.76648	0.78998	0.78899	0.78672	0.80009	0.79166	0.78679
7	0.76992	0.79816	0.79597	0.79845	0.77627	0.78029	0.80522
8	0.77052	0.79670	0.78936	0.79815	0.79241	0.77159	0.77575
9	0.77024	0.80143	0.80322	0.77956	0.79081	0.78612	0.77846
10	0.76809	0.80086	0.78930	0.77849	0.79148	0.78915	0.76410
11	0.76907	0.79523	0.79961	0.78918	0.77963	0.77316	0.78699
12	0.76925	0.80679	0.80184	0.77994	0.78931	0.79609	0.78514
13	0.76784	0.79714	0.79546	0.79433	0.79093	0.79445	0.77632
14	0.76932	0.80363	0.79148	0.77451	0.78452	0.79025	0.79246
15	0.77008	0.80114	0.79260	0.77394	0.77791	0.79870	0.78053
16	0.76826	0.79875	0.79377	0.79033	0.78660	0.79779	0.78564
17	0.76844	0.80074	0.78993	0.78821	0.79505	0.78092	0.78258
18	0.76892	0.80199	0.79786	0.79158	0.79011	0.78178	0.78929
19	0.76968	0.80051	0.78987	0.78813	0.78014	0.79749	0.79032
20	0.76973	0.80115	0.79295	0.77498	0.79775	0.78729	0.78140
21	0.76770	0.80370	0.79553	0.78086	0.78336	0.78761	0.77561
22	0.76797	0.80033	0.79014	0.78261	0.79159	0.78877	0.78333
23	0.76880	0.79965	0.79450	0.77627	0.79218	0.78581	0.79546
24	0.76708	0.80092	0.79555	0.78626	0.79008	0.79721	0.79610
25	0.76862	0.80163	0.80158	0.78139	0.79142	0.79355	0.79025
26	0.76746	0.79635	0.79507	0.77791	0.80208	0.78560	0.79396
27	0.76880	0.79797	0.79132	0.78009	0.78702	0.77994	0.78837
28	0.76780	0.79674	0.80001	0.78586	0.79235	0.78850	0.78314
29	0.76863	0.79545	0.79517	0.77614	0.79155	0.79440	0.78691
30	0.76765	0.80081	0.79448	0.78452	0.78946	0.25849	0.79151

ตารางที่ ง.14 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี E ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีนำ 2539 (TEST 2)

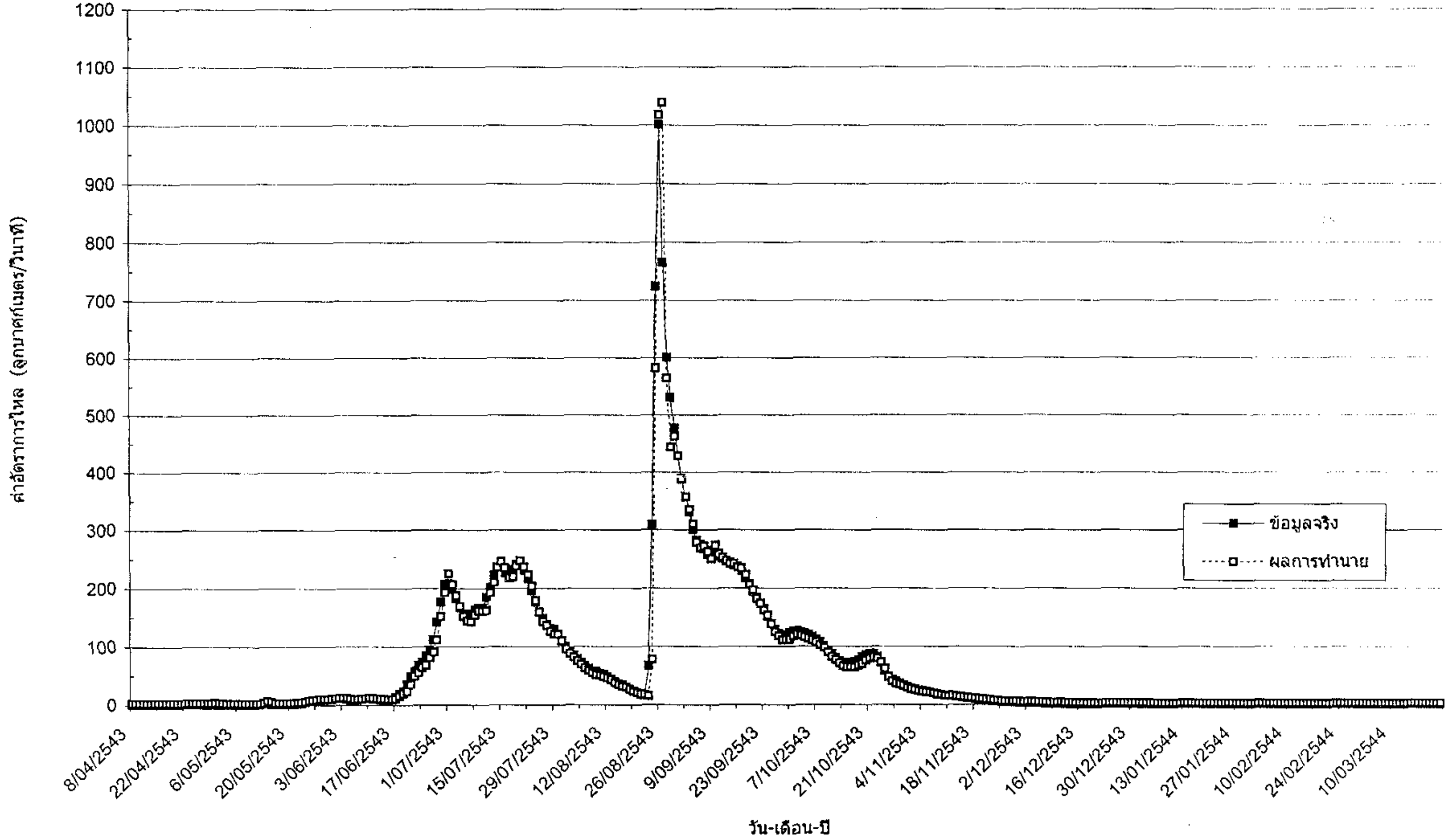
จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.89790	0.89627	0.88382	0.87743	0.38942	0.87531	0.86291
2	0.89929	0.89854	0.89401	0.90149	0.88918	0.89988	0.88474
3	0.90078	0.89531	0.89670	0.89448	0.89294	0.89857	0.88432
4	0.90315	0.90217	0.89569	0.89074	0.89272	0.90474	0.88840
5	0.90232	0.90011	0.90275	0.90452	0.89832	0.89633	0.89760
6	0.90272	0.89950	0.89904	0.89812	0.90096	0.87023	0.88174
7	0.90351	0.90058	0.89689	0.90481	0.89005	0.87160	0.88585
8	0.90378	0.90094	0.89456	0.90702	0.89004	0.89991	0.87861
9	0.90369	0.90034	0.89930	0.89146	0.89557	0.88430	0.87122
10	0.90296	0.90049	0.89851	0.89170	0.88399	0.88284	0.88482
11	0.90312	0.89851	0.89912	0.89994	0.89401	0.87647	0.87505
12	0.90327	0.89911	0.89670	0.89093	0.88246	0.87885	0.86574
13	0.90314	0.89802	0.89702	0.89591	0.88092	0.88328	0.87539
14	0.90334	0.89865	0.89627	0.89145	0.88983	0.90446	0.87061
15	0.90363	0.89761	0.89623	0.89463	0.88751	0.89173	0.87458
16	0.90302	0.89962	0.89704	0.89511	0.89088	0.88437	0.87418
17	0.90313	0.90005	0.89417	0.89330	0.88911	0.87021	0.89768
18	0.90320	0.89782	0.89561	0.89727	0.87670	0.89834	0.87243
19	0.90366	0.89872	0.89489	0.89663	0.88491	0.88014	0.88315
20	0.90362	0.89937	0.89691	0.89562	0.89675	0.88486	0.88565
21	0.90309	0.89881	0.89616	0.89563	0.88742	0.88523	0.87469
22	0.90285	0.89810	0.89558	0.89537	0.89228	0.87443	0.87623
23	0.90330	0.90005	0.89495	0.89789	0.88926	0.89422	0.89180
24	0.90281	0.89855	0.89979	0.89906	0.88619	0.88115	0.87159
25	0.90318	0.89843	0.90420	0.89478	0.89975	0.88724	0.87440
26	0.90290	0.89944	0.89864	0.89765	0.90222	0.87999	0.88611
27	0.90330	0.89858	0.89642	0.89766	0.89191	0.89507	0.87713
28	0.90294	0.89864	0.90152	0.90111	0.89208	0.88770	0.87712
29	0.90334	0.89992	0.89673	0.89820	0.89288	0.89193	0.88582
30	0.90297	0.89950	0.89857	0.89766	0.89509	0.38208	0.88442

ตารางที่ ง.15 ผลการทำนายอัตราการไหลปีน้ำ 2544 โดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในกรณี E ซึ่งเรียนรู้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของปีน้ำ 2543 (TEST 3)

จำนวนเซลล์ประสาทเทียมในชั้นซ่อนเร้น	ค่า R^2 ที่ทำนายโดยโครงข่ายใยประสาทเทียมที่มีจำนวนข้อมูลอินพุต						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0.86663	0.88587	0.78460	0.87758	0.50392	0.88837	0.88780
2	0.89480	0.89640	0.89651	0.88835	0.88581	0.88362	0.88724
3	0.89394	0.89707	0.88036	0.88498	0.88510	0.88366	0.88652
4	0.89102	0.89642	0.89464	0.88867	0.84399	0.88469	0.88546
5	0.89363	0.87127	0.88303	0.86000	0.86741	0.86970	0.88480
6	0.89883	0.86707	0.87339	0.87652	0.88211	0.86780	0.77181
7	0.89435	0.86676	0.85471	0.88934	0.87561	0.90004	0.86590
8	0.89271	0.89451	0.85666	0.89154	0.86864	0.79962	0.86431
9	0.89468	0.86542	0.87348	0.86582	0.90484	0.87105	0.86795
10	0.89461	0.87780	0.87407	0.86341	0.86892	0.86668	0.88496
11	0.89354	0.86912	0.87762	0.80696	0.86350	0.87366	0.87547
12	0.89209	0.87363	0.88428	0.85681	0.87431	0.88611	0.87788
13	0.89246	0.86105	0.86492	0.87546	0.86928	0.87946	0.87530
14	0.89401	0.87089	0.87168	0.87572	0.85764	0.86773	0.83123
15	0.89475	0.86983	0.87468	0.87288	0.88954	0.87345	0.88615
16	0.89622	0.85465	0.87795	0.87782	0.86236	0.85816	0.90176
17	0.89258	0.86193	0.86519	0.89549	0.89599	0.88023	0.83222
18	0.89481	0.86664	0.88626	0.88260	0.88168	0.90649	0.89363
19	0.89393	0.86109	0.87669	0.87935	0.88389	0.87510	0.86289
20	0.89542	0.87330	0.86925	0.88395	0.88494	0.89721	0.87368
21	0.89447	0.86945	0.88435	0.87993	0.88633	0.87336	0.86240
22	0.89373	0.86771	0.88336	0.86951	0.89177	0.87760	0.87506
23	0.89371	0.86569	0.88062	0.88490	0.87790	0.87003	0.87434
24	0.89395	0.86347	0.88262	0.87251	0.90237	0.88667	0.83490
25	0.89495	0.87532	0.88257	0.88847	0.88513	0.88031	0.89135
26	0.89284	0.86961	0.88071	0.86769	0.89894	0.89582	0.88129
27	0.89491	0.86530	0.88671	0.88919	0.87488	0.89060	0.87735
28	0.89397	0.87760	0.87204	0.88596	0.90164	0.90021	0.87398
29	0.89334	0.87295	0.88618	0.88231	0.88639	0.90047	0.88205
30	0.89464	0.87139	0.88517	0.89129	0.89812	0.37104	0.89921

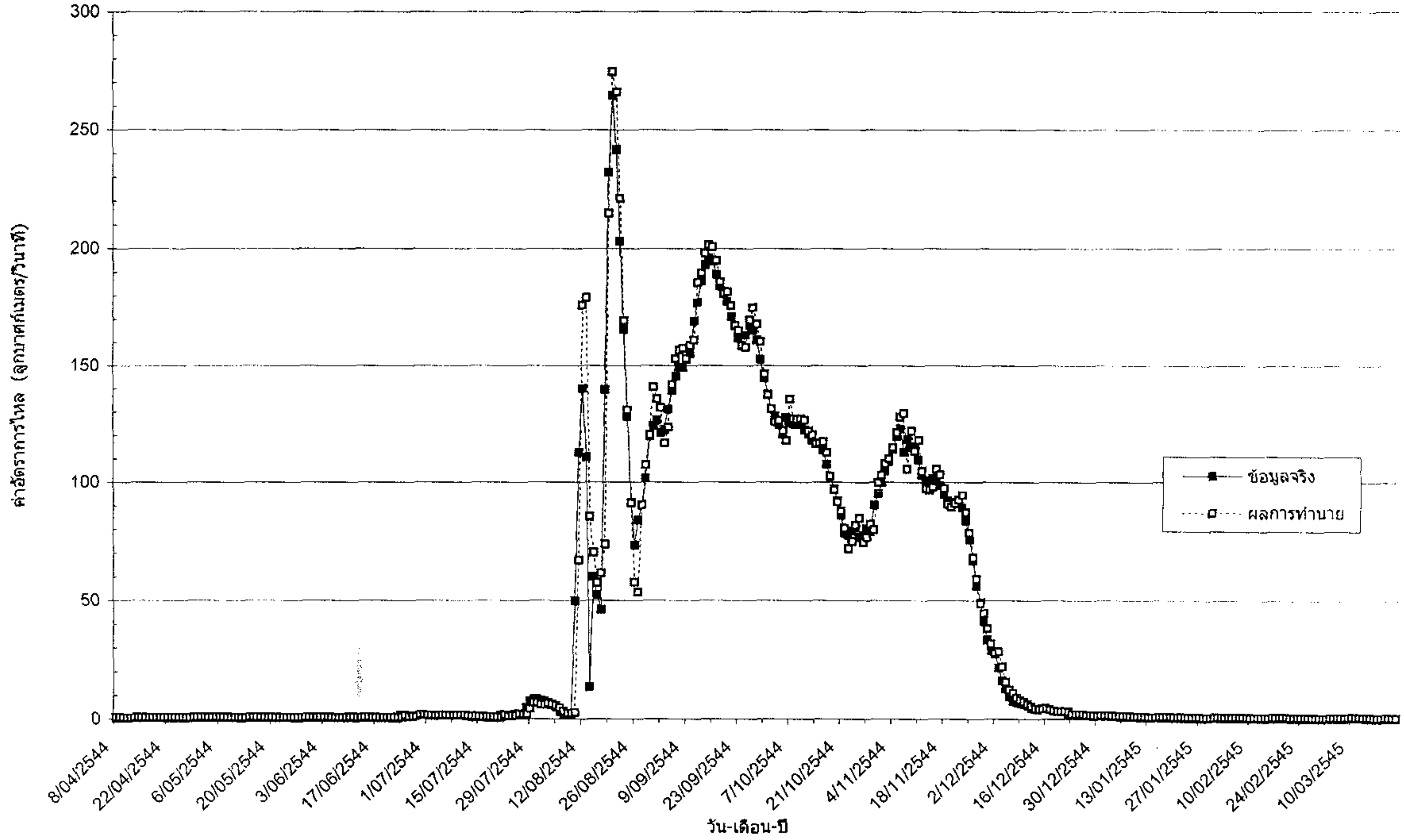
ภาคผนวก จ.

กราฟแสดงผลทำนายที่ดีที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียม ในแต่ละกรณีศึกษา

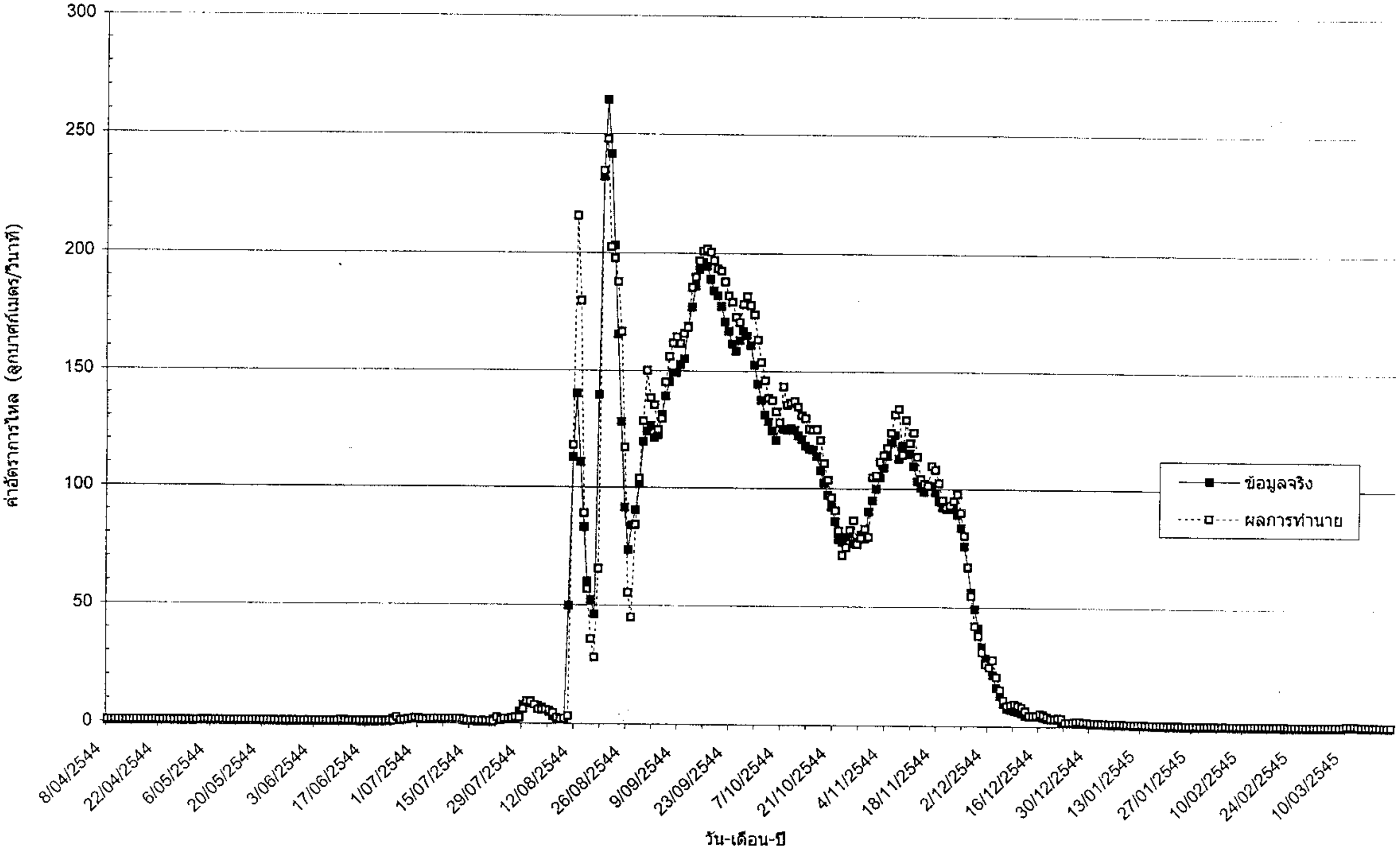


รูปที่ จ.1 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case A ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1

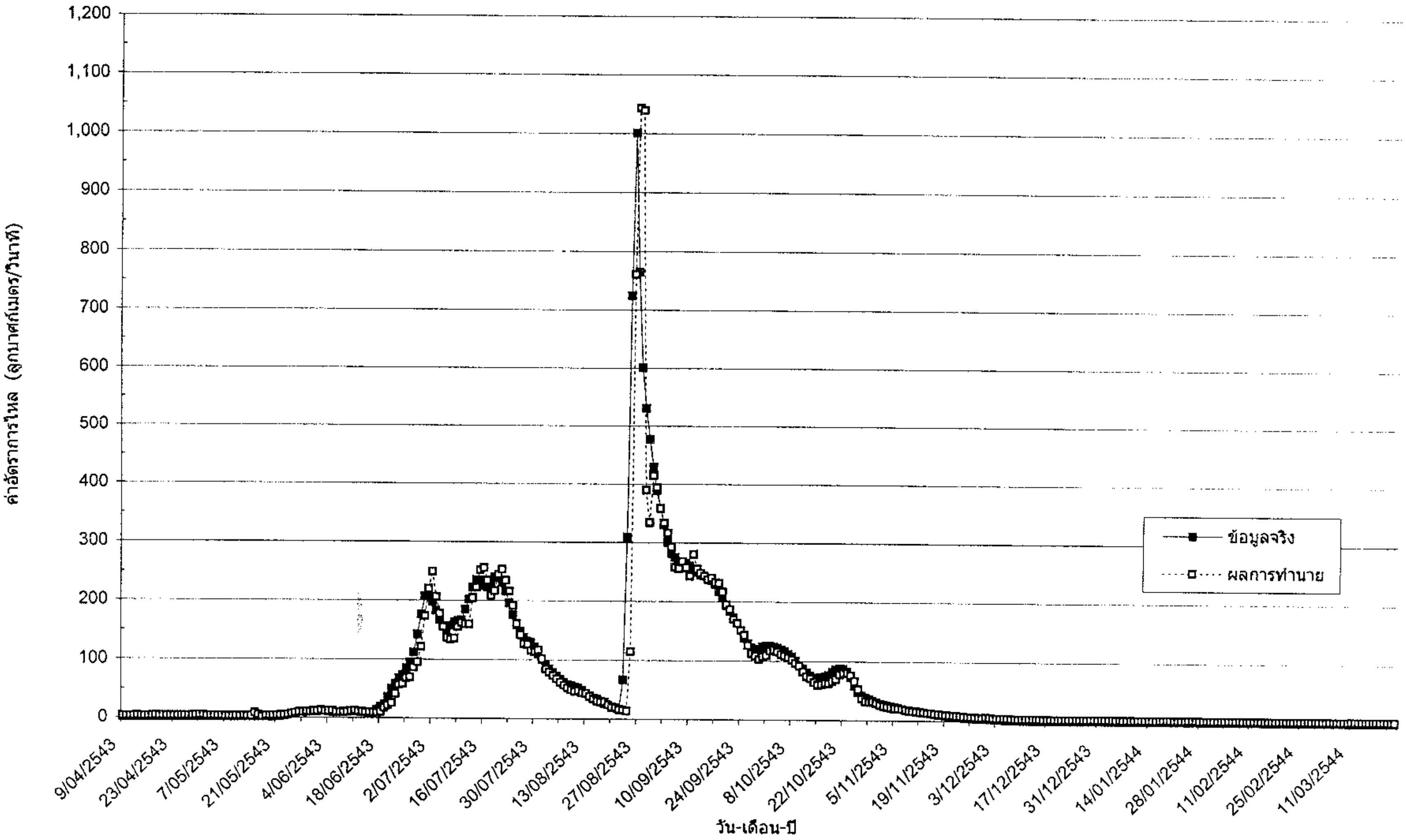
(โครงข่าย A 2-14-1, R^2 = 0.9665)



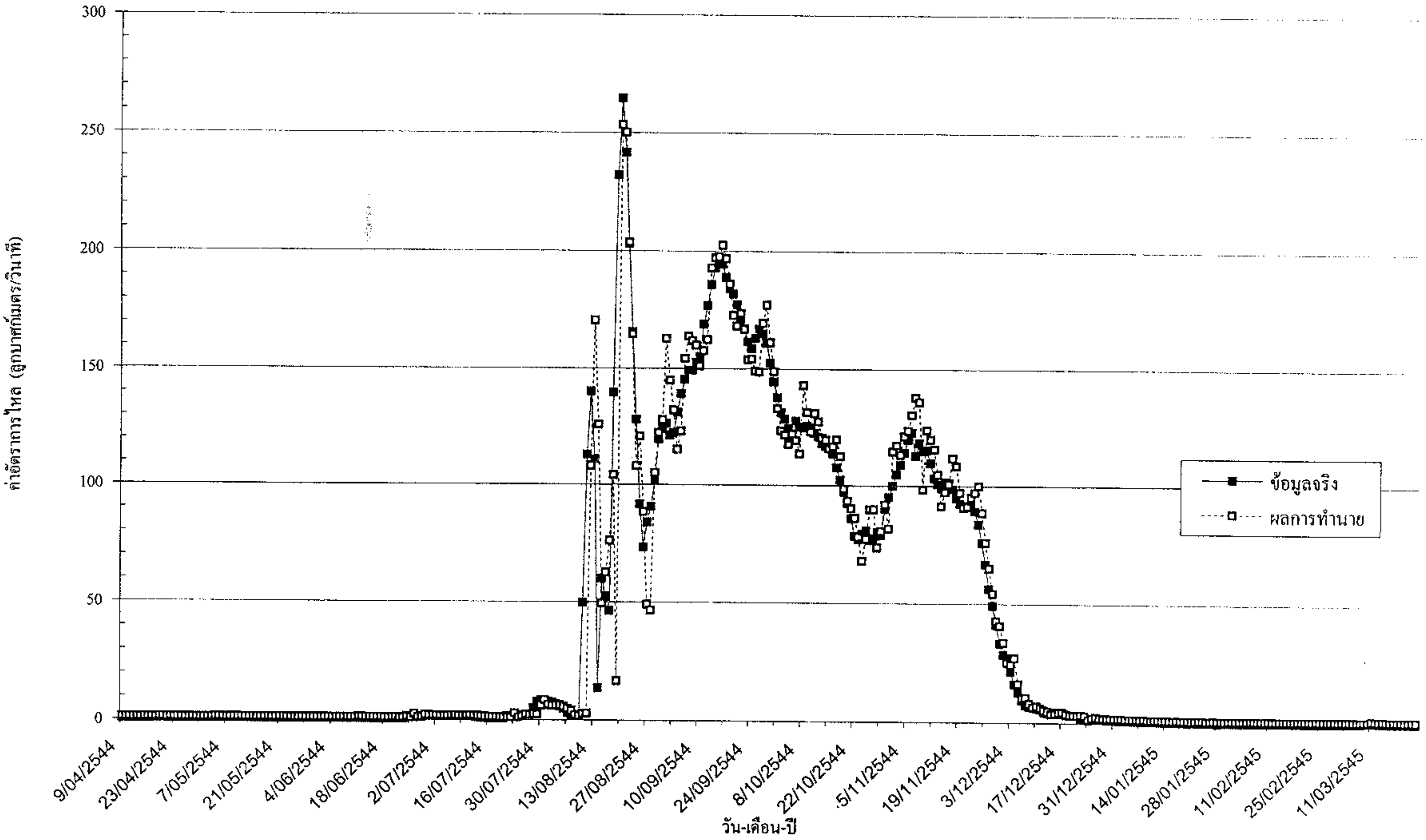
รูปที่ จ.2 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case A ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 2
(โครงข่าย A 5-12-1, R^2 = 0.9870)



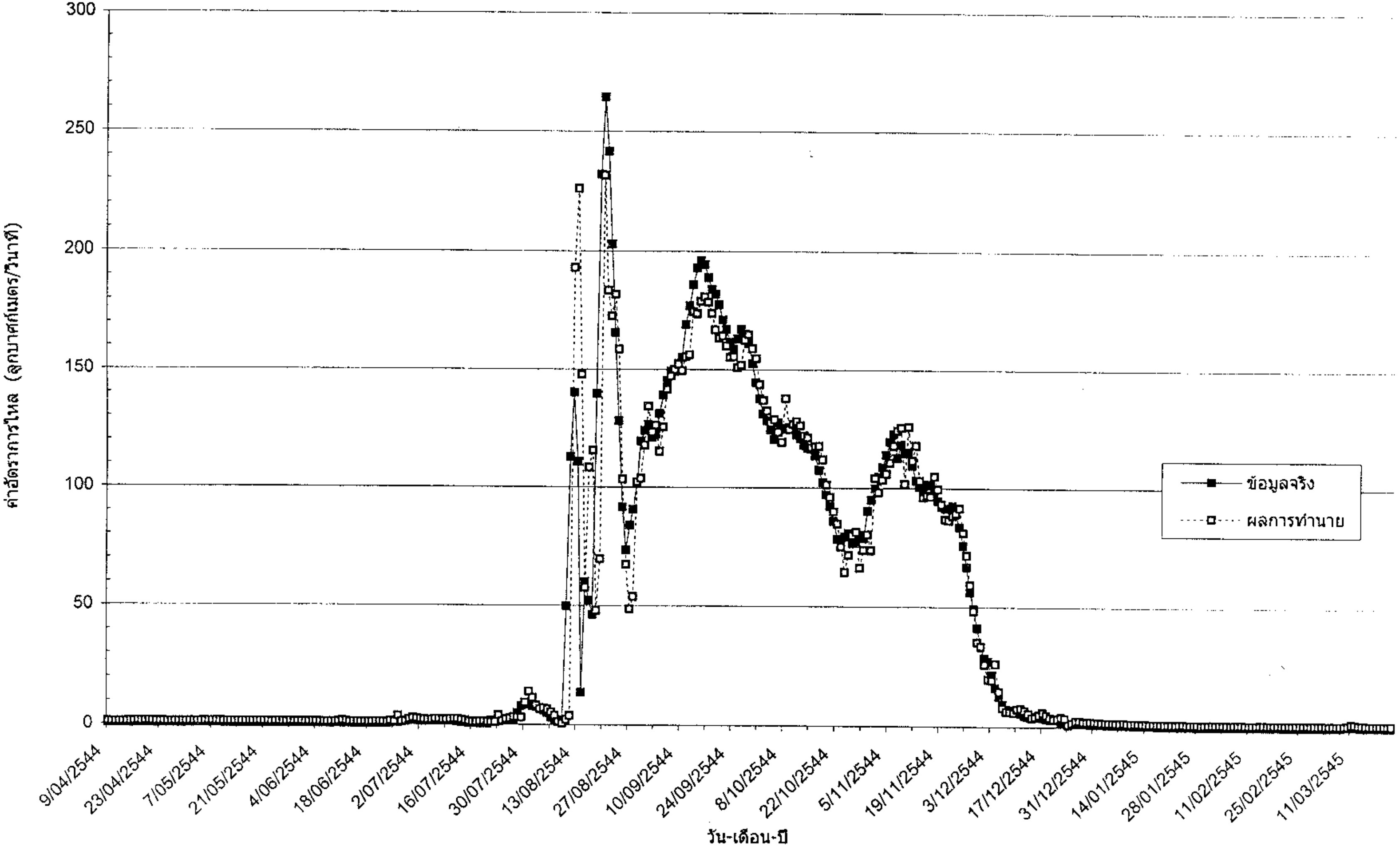
รูปที่ จ.3 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case A ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 3
(โครงข่าย A 7-28-1, R^2 = 0.9704)



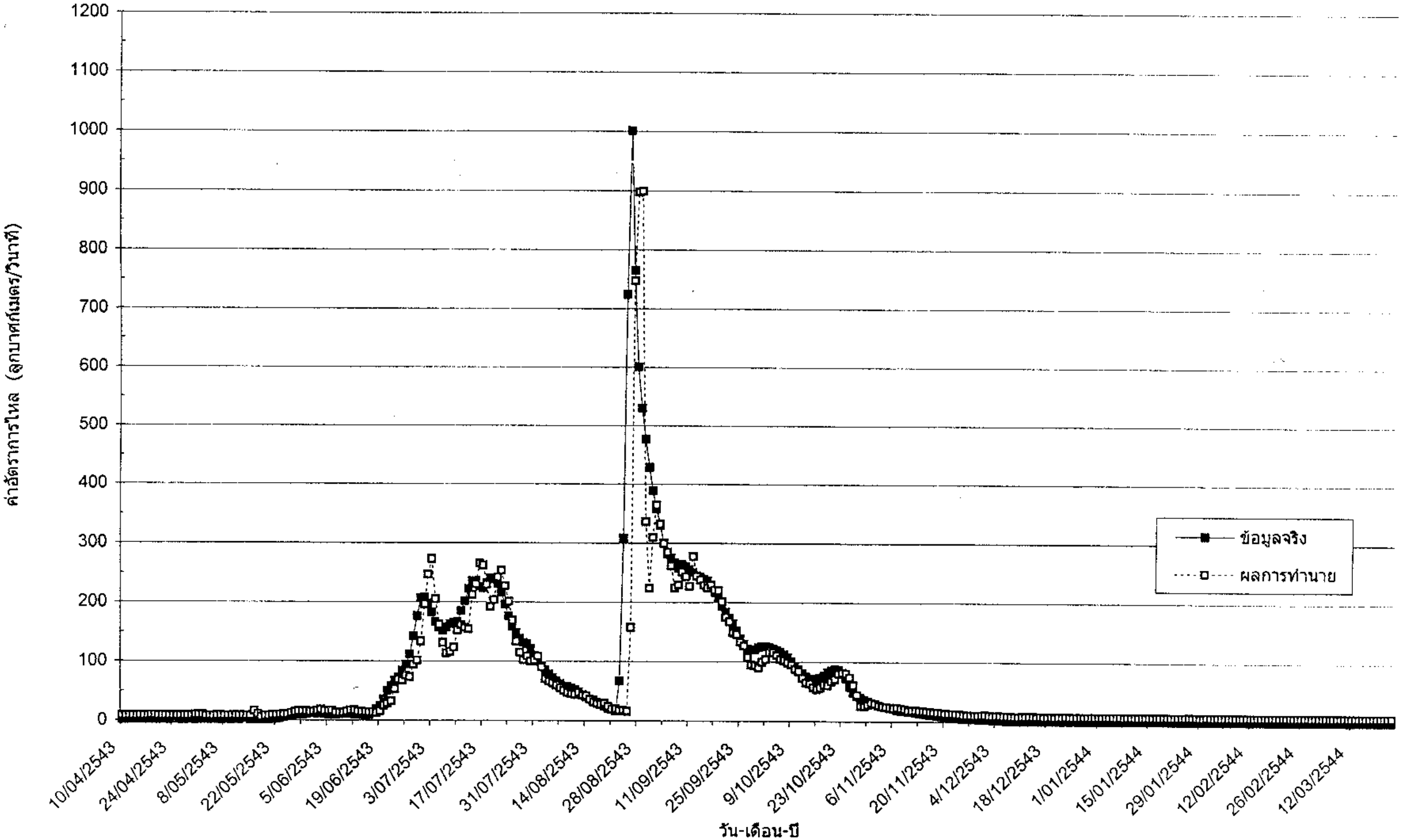
รูปที่ จ.4 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case B ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1
(โครงข่าย B 2-10-1, R^2 = 0.8351)



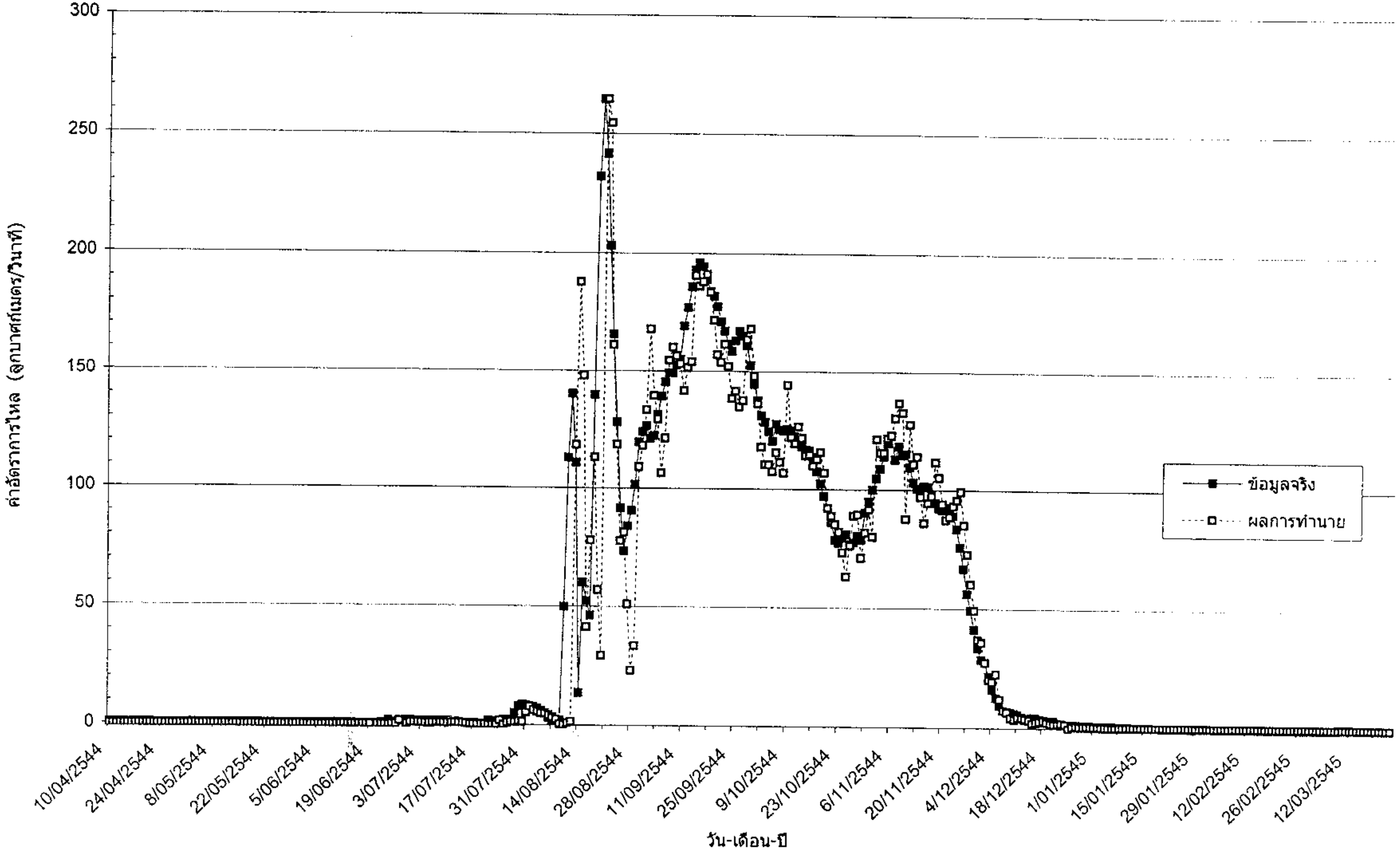
รูปที่ จ.5 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case B ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 2
(โครงข่าย B 4-9-1, R^2 = 0.9235)



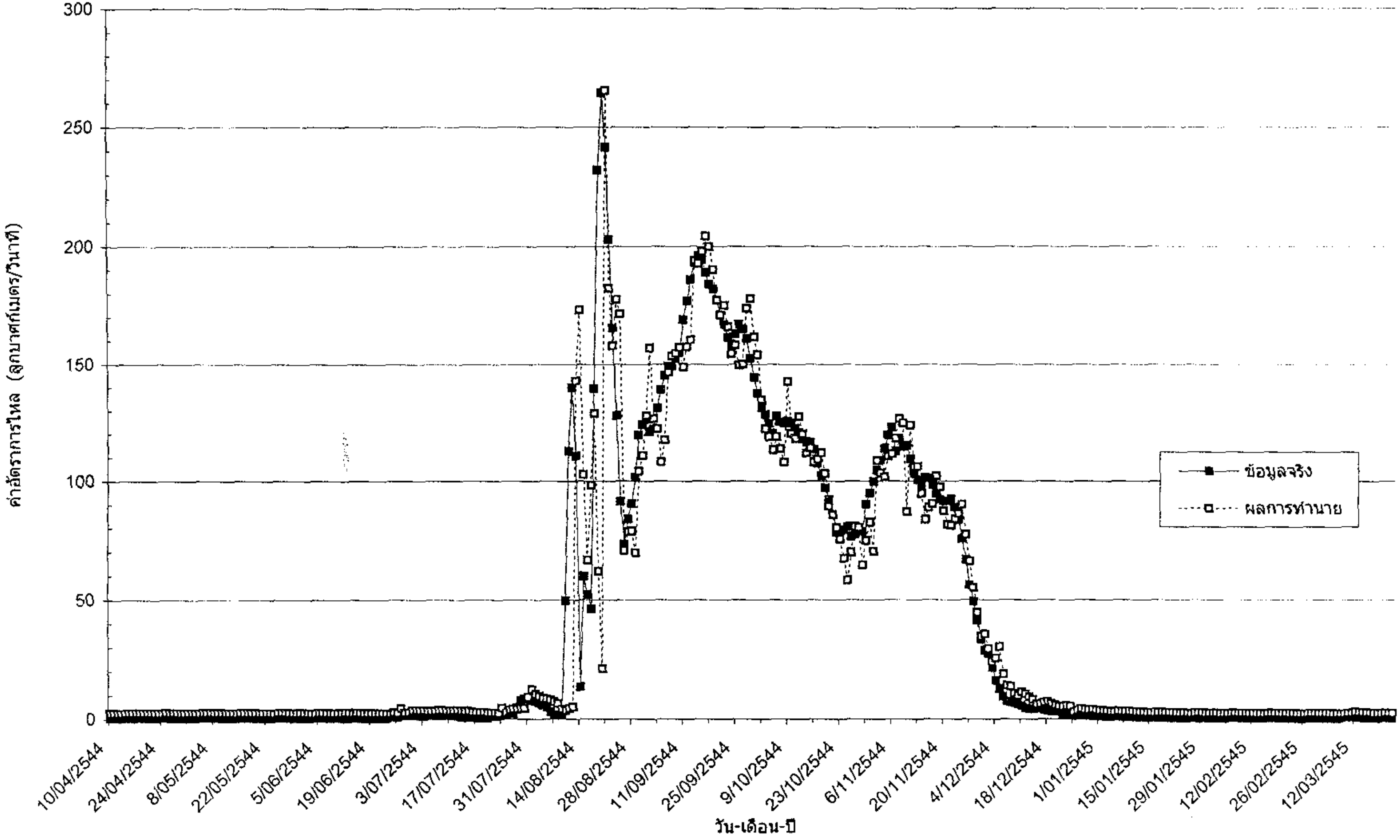
รูปที่ จ.6 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case B ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 3
(โครงข่าย B 7-29-1, R^2 = 0.9663)



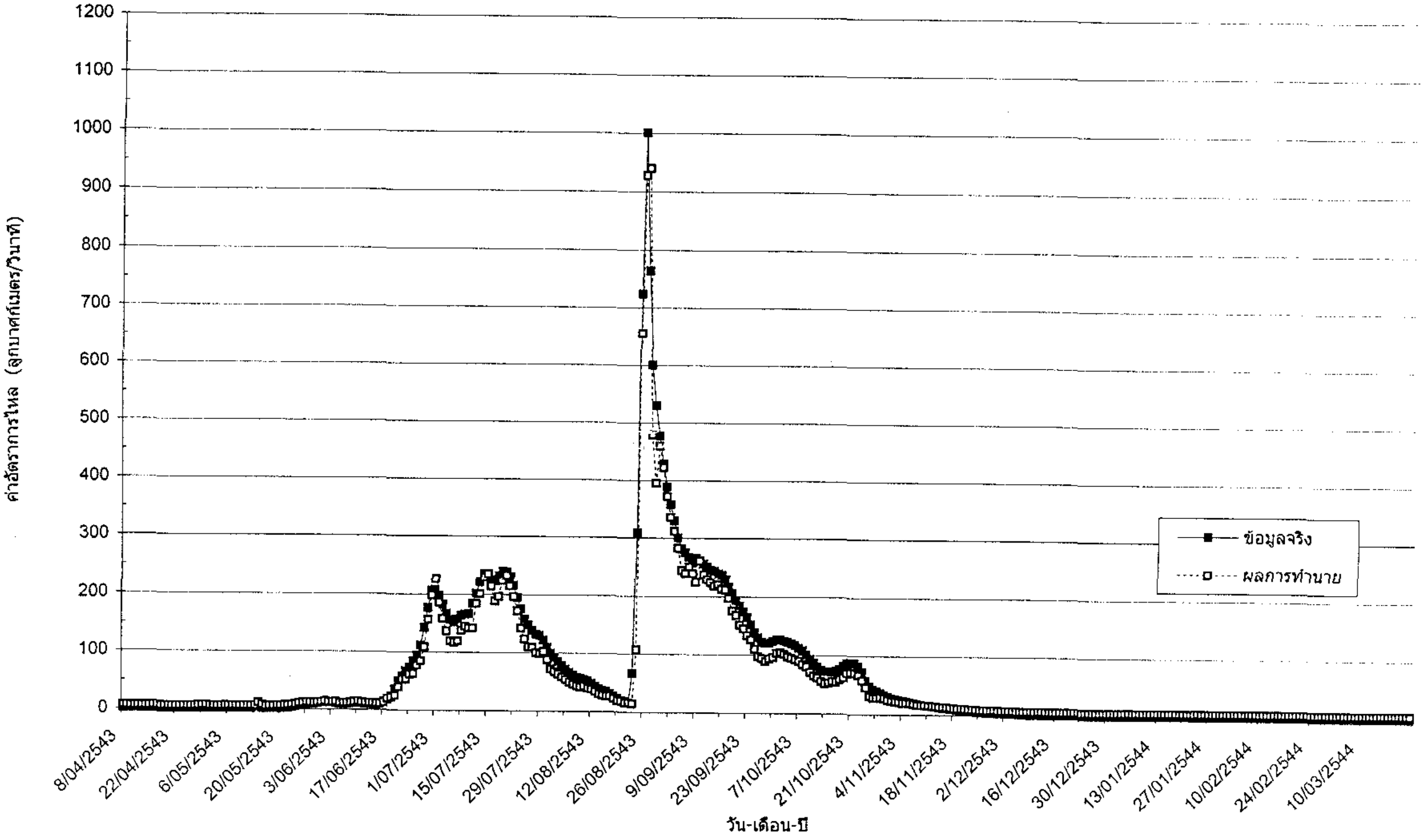
รูปที่ จ.7 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case C ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1
(โครงข่าย C 5-1-1, R^2 = 0.6699)



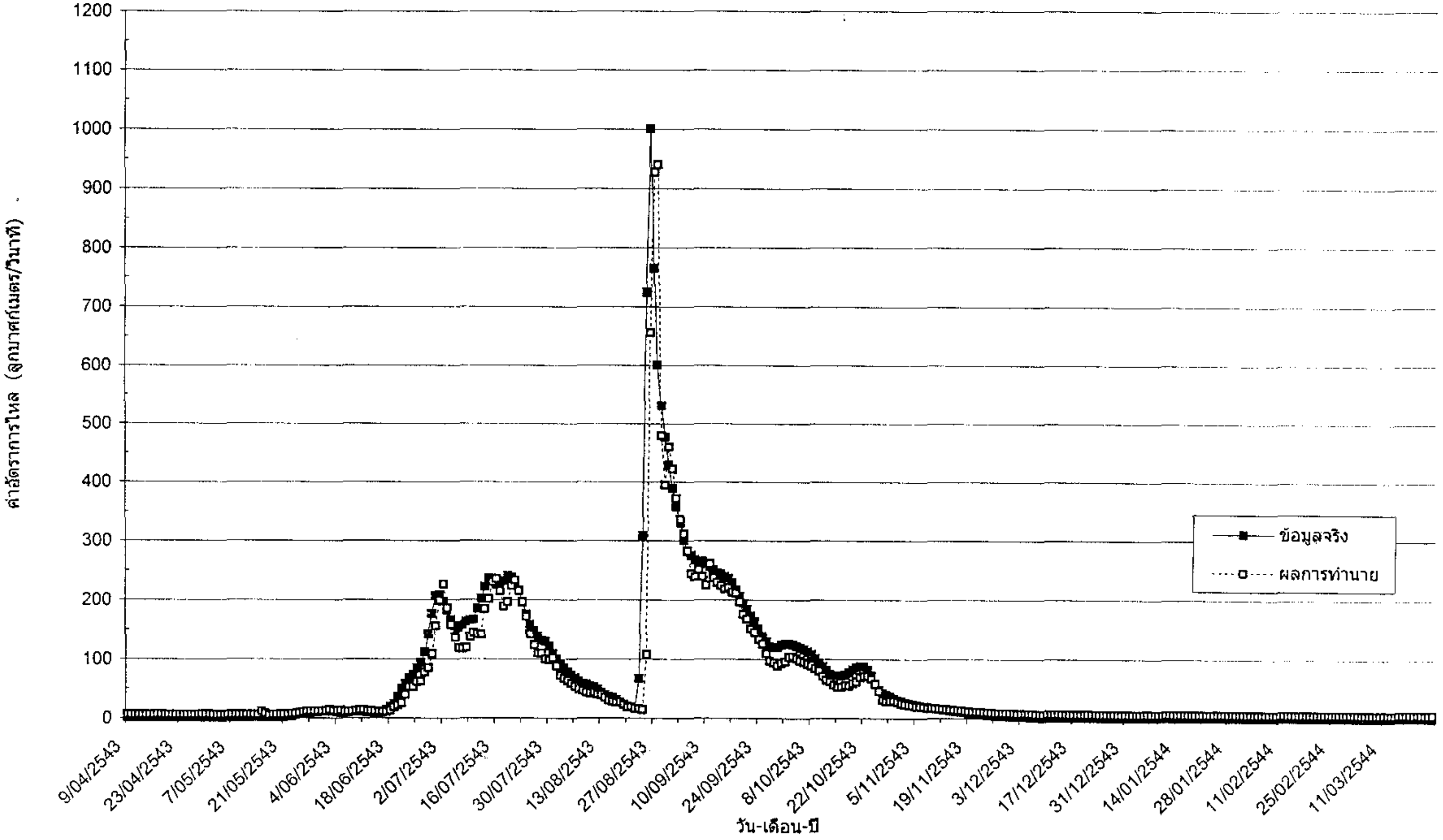
รูปที่ จ.8 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case B ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 2
(โครงข่าย C 4-8-1, R^2 = 0.8505)



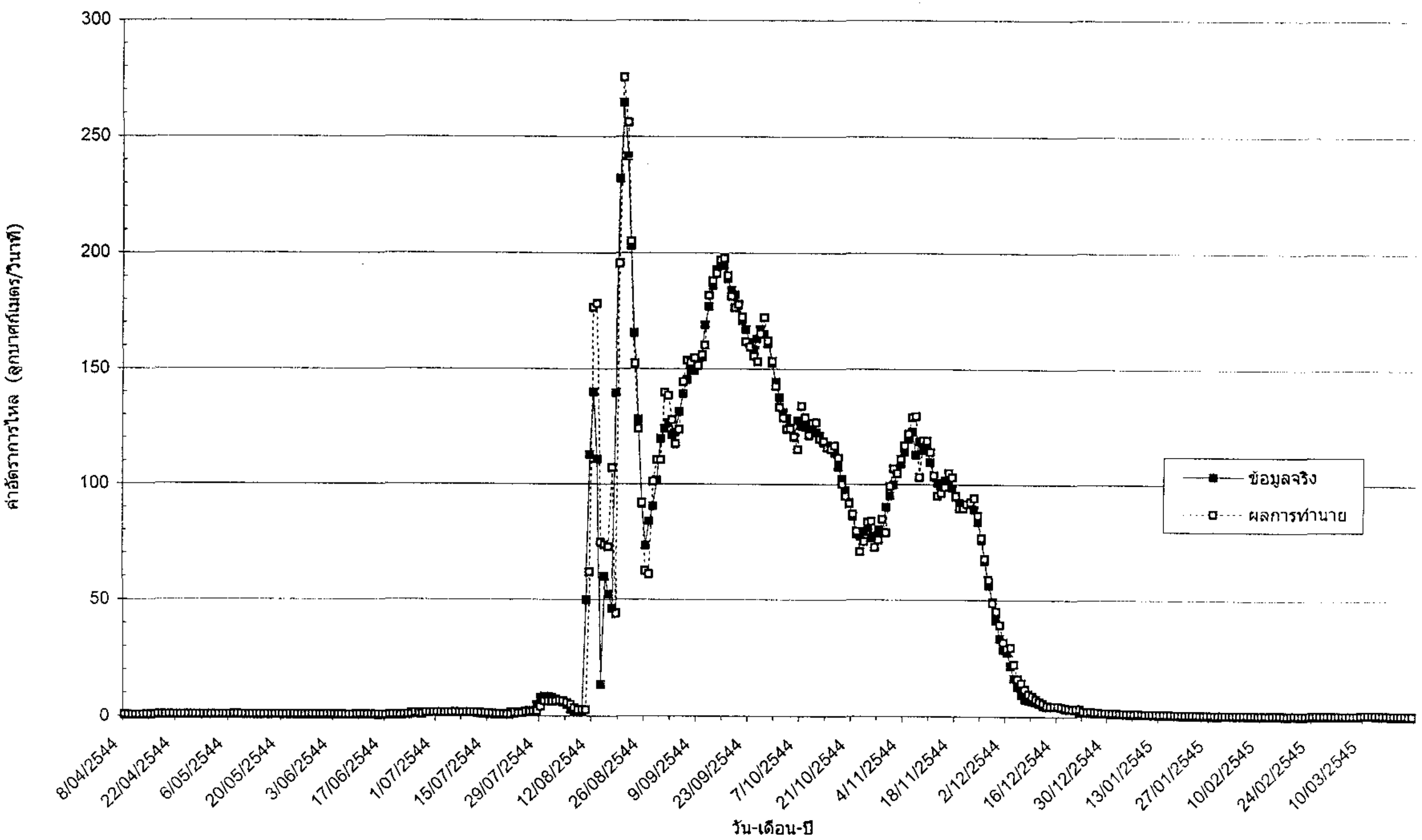
รูปที่ จ.9 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case B ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 3
(โครงข่าย C 7-30-1, R^2 = 0.8605)



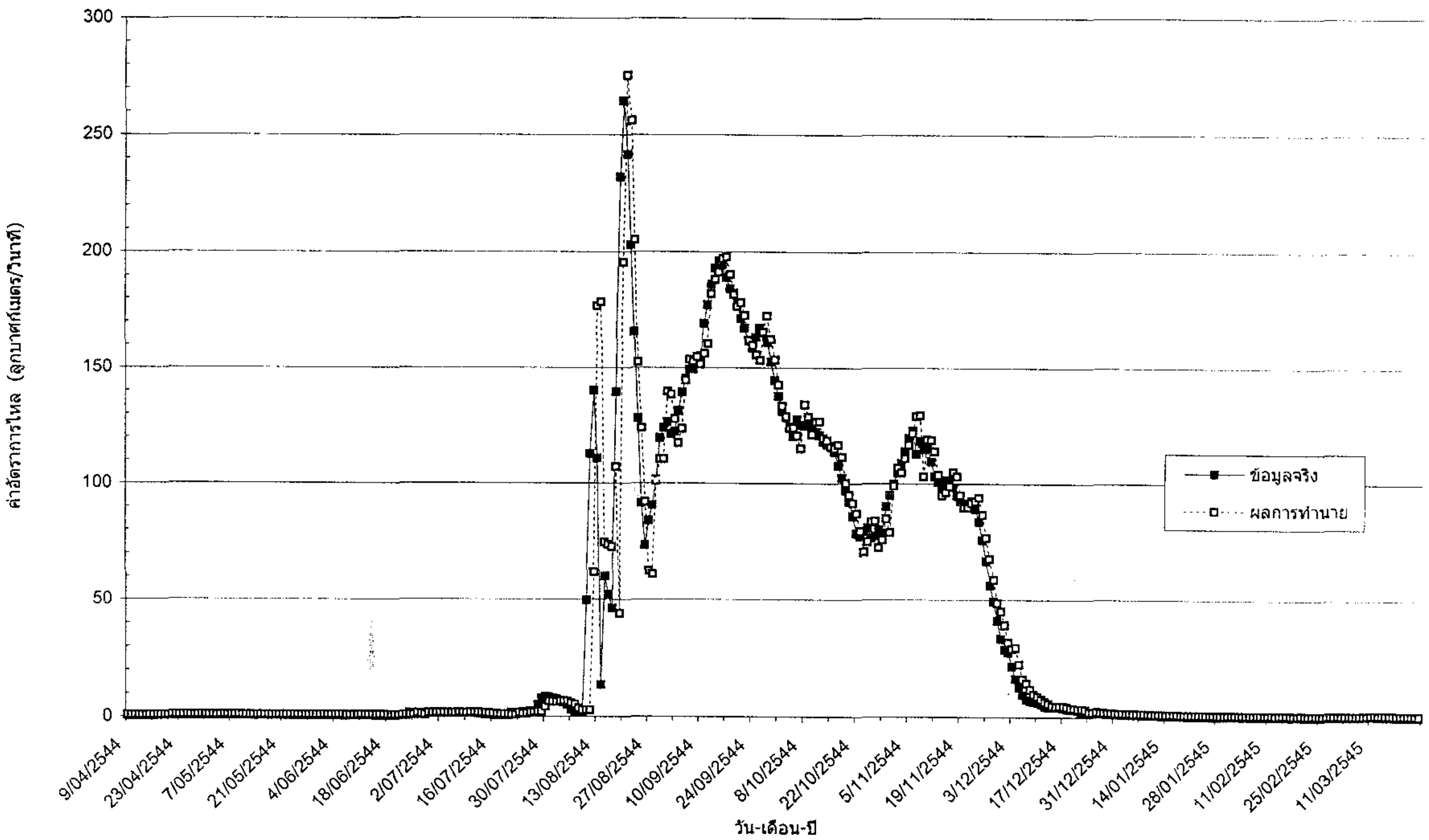
รูปที่ จ.10-1 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case D ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1 (โครงข่าย D 2-2-2, R^2 = 0.9031) สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 1 (R^2=0.9689)



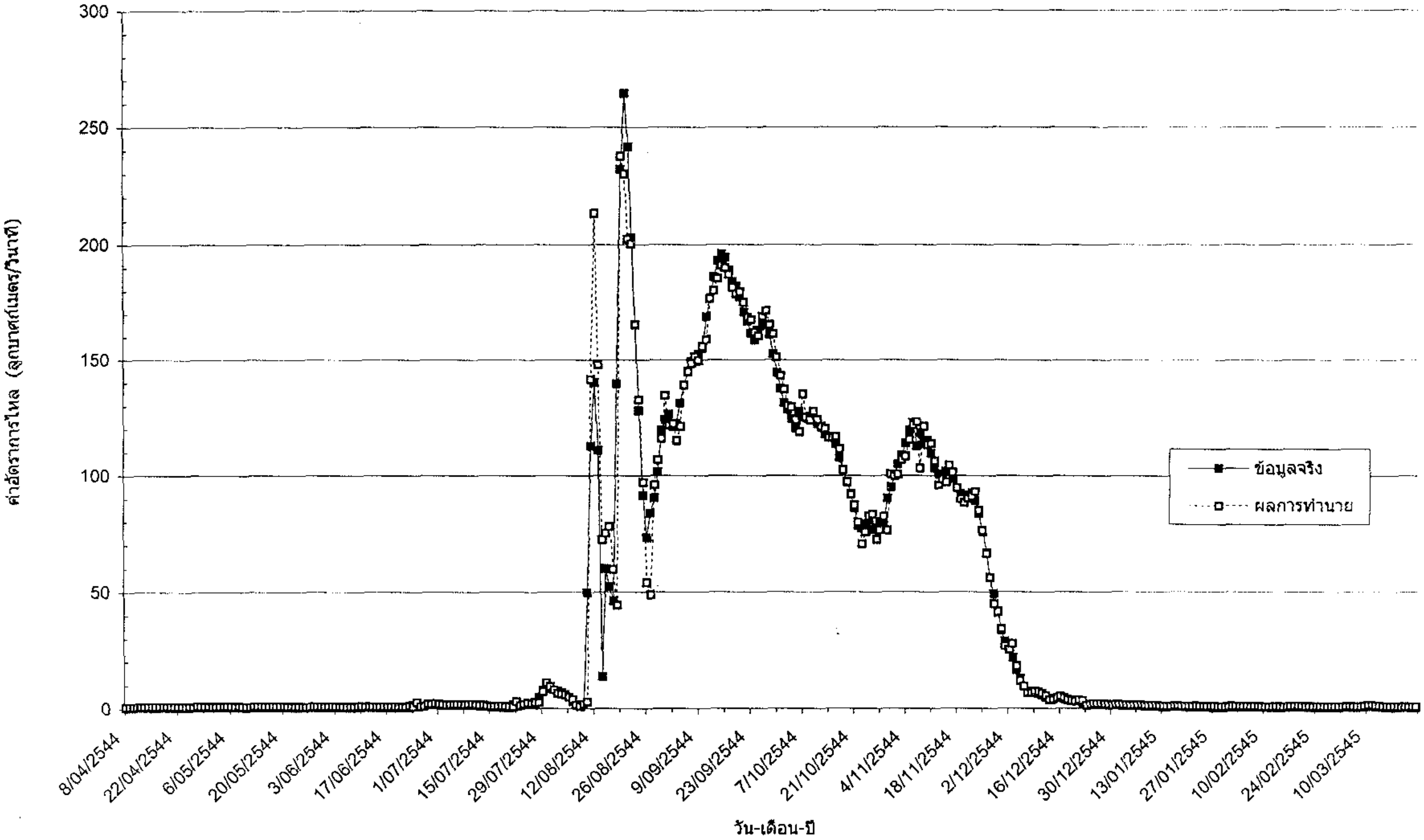
รูปที่ จ.10-2 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case D ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1 (โครงข่าย D 2-2-2, R^2 = 0.9031)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 2 (R^2=0.8393)



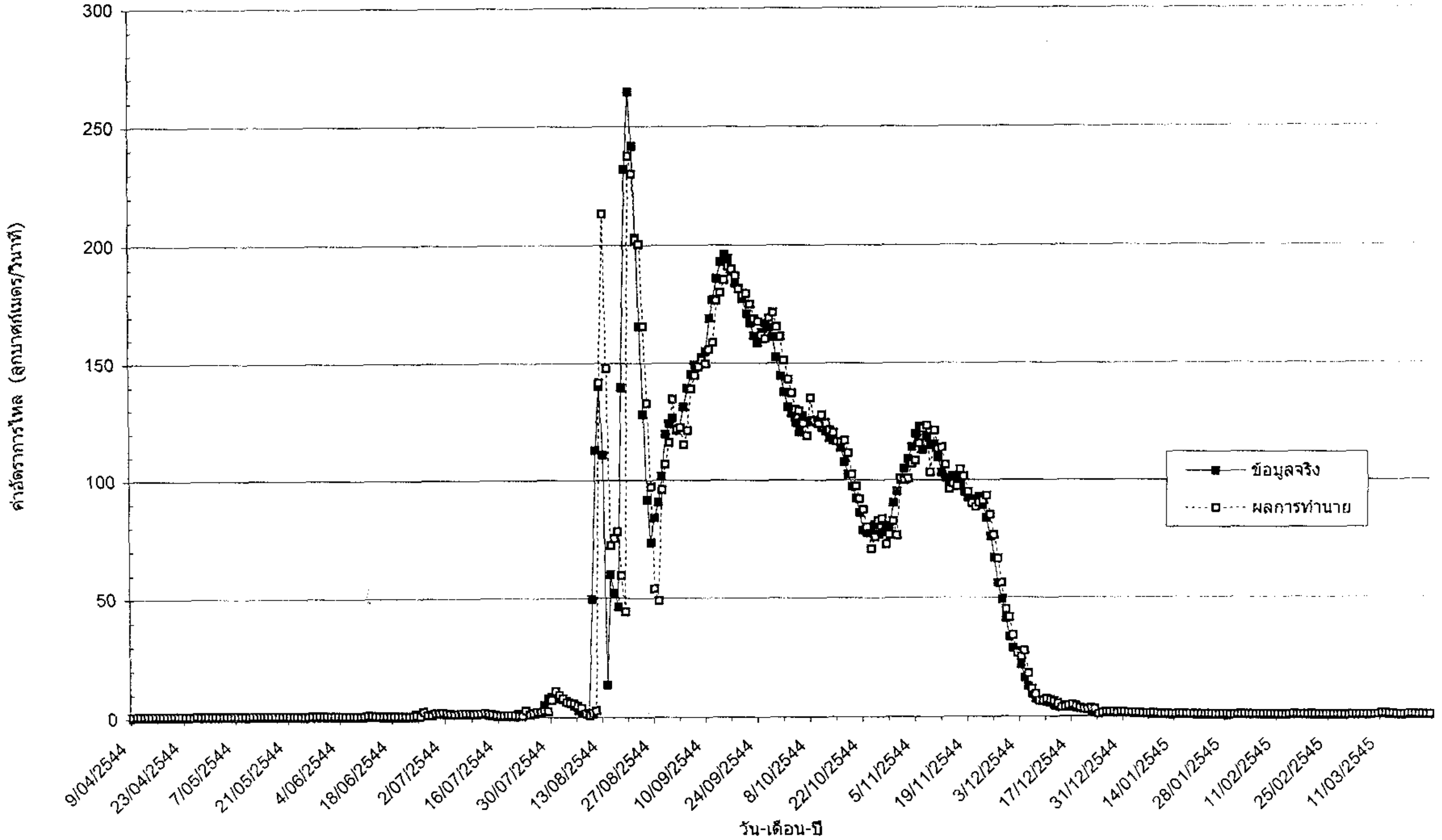
รูปที่ จ.11-1 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case D ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1 (โครงข่าย D 2-2-2, R^2 = 0.9404)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 1 (R^2=0.9711)



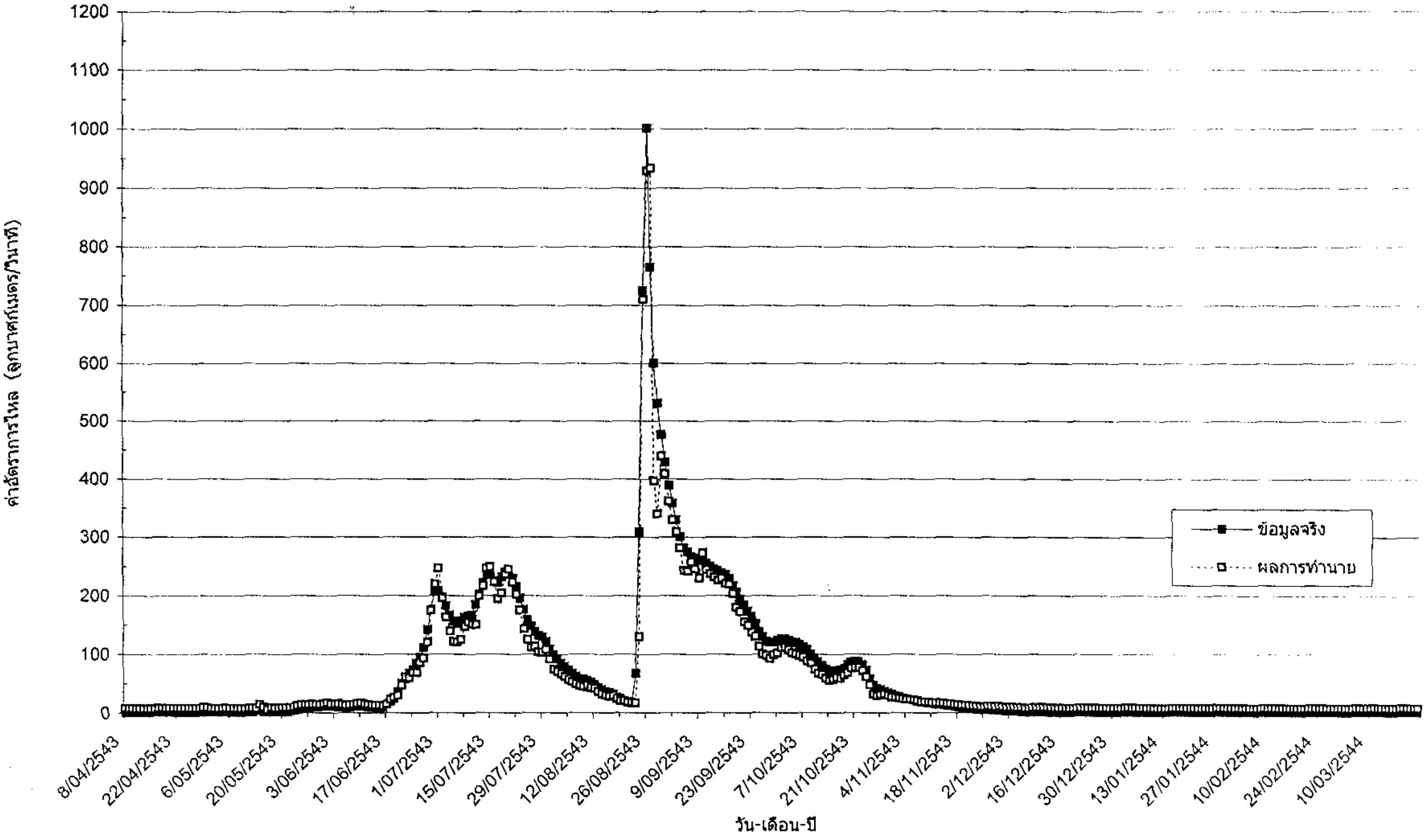
รูปที่ จ.11-2 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case D ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 2 (โครงข่าย D 6-16-2, R^2 = 0.9404)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 2 (R^2=0.9098)



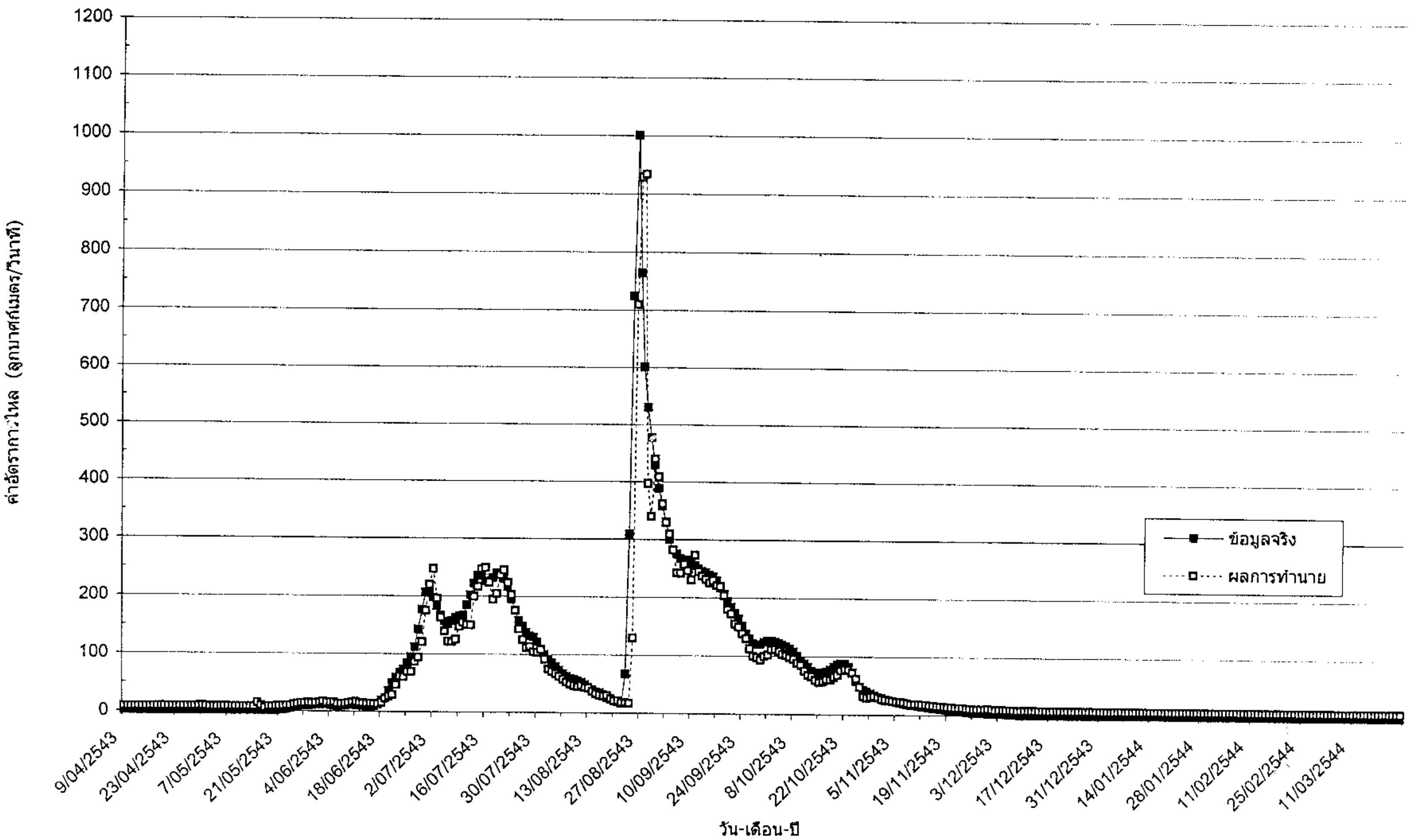
รูปที่ จ.12-1 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case D ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1 (โครงข่าย D 2-2-2, R^2 = 0.9420)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 1 (R^2=0.9716)



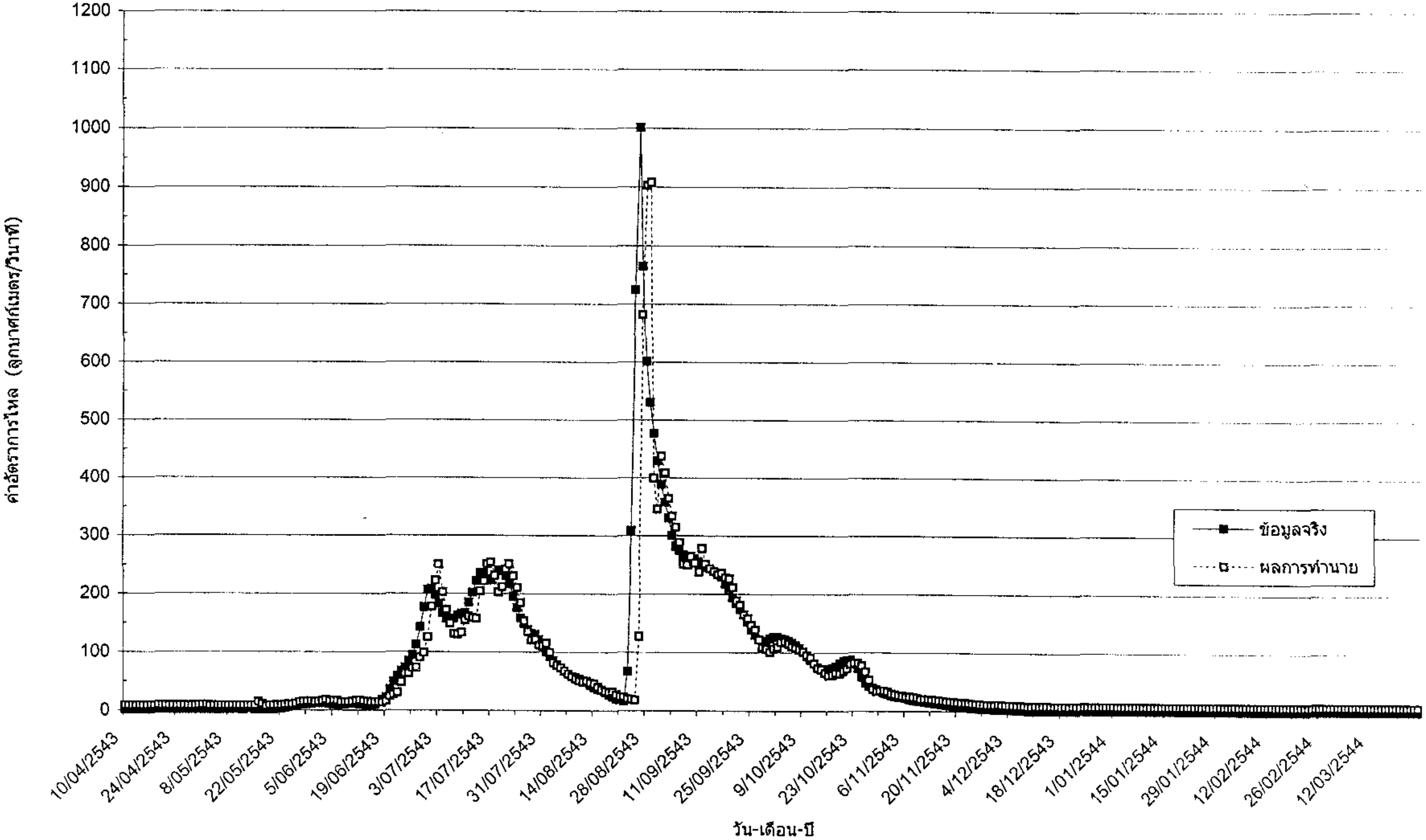
รูปที่ จ.12-2 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case D ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 3 (โครงข่าย D 6-30-2, R2 = 0.9420) สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 2 (R^2=0.9126)



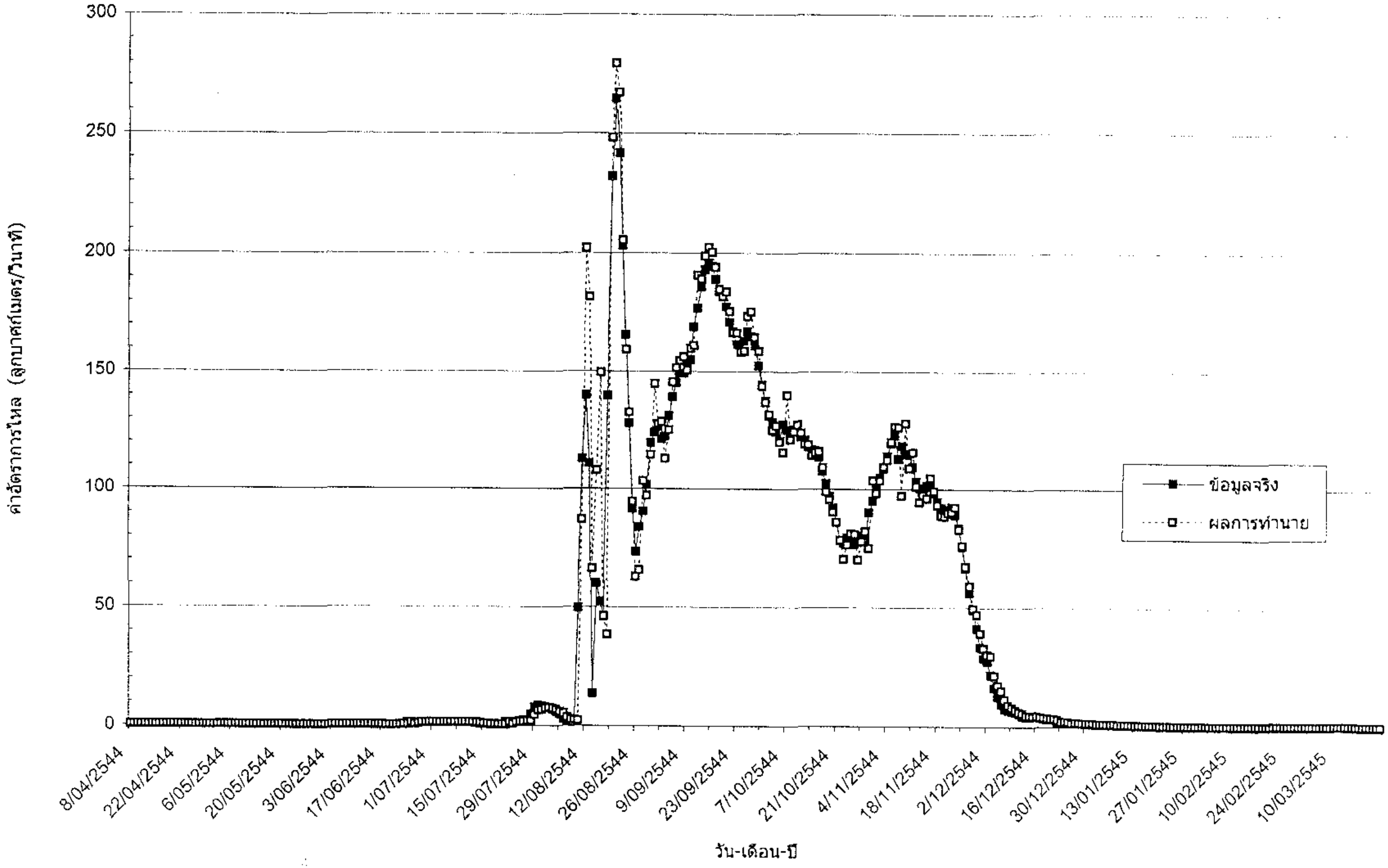
รูปที่ จ.13-1 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1 (โครงข่าย E 2-2-3, R^2 = 0.8231)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 1 (R^2= 0.9634)



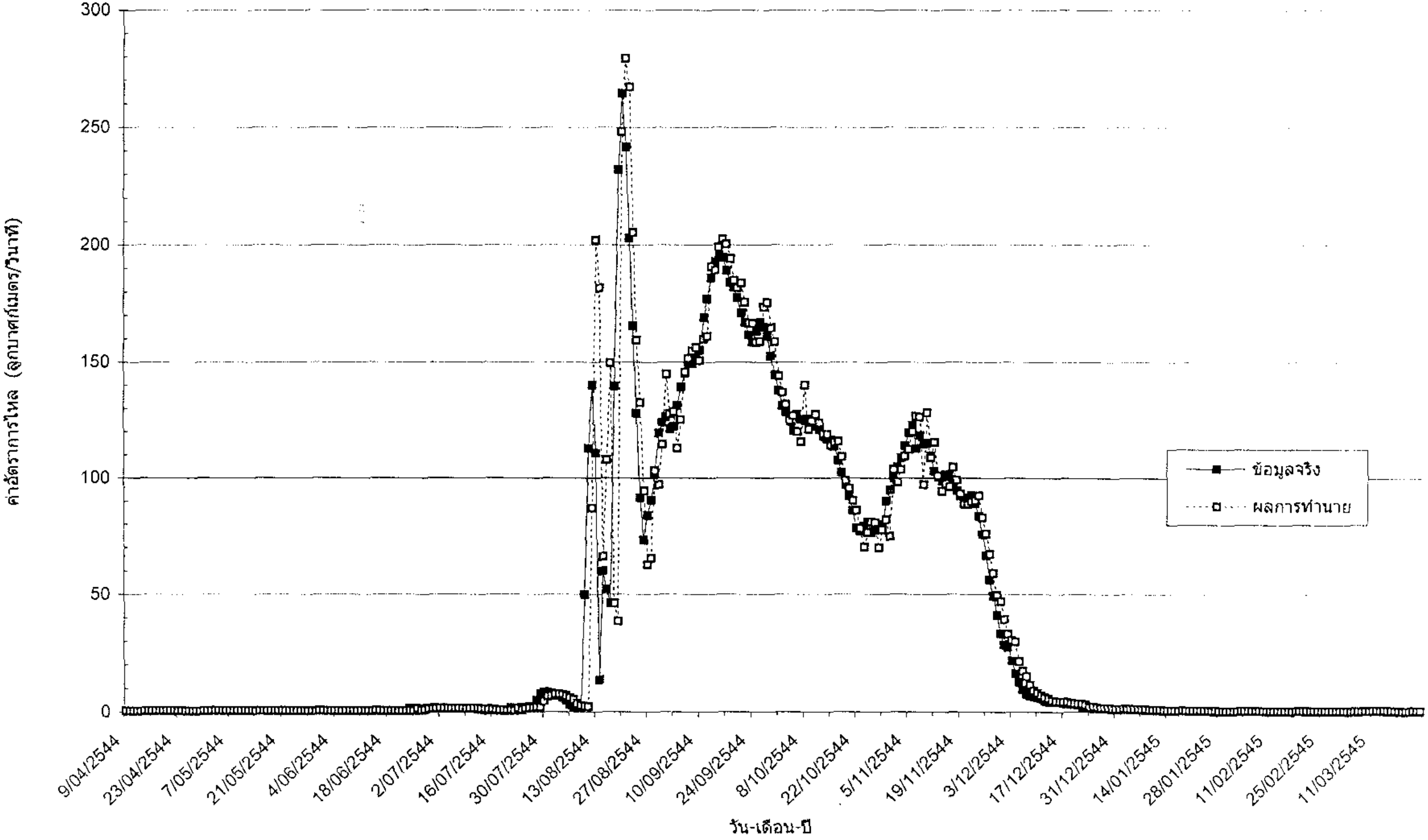
รูปที่ จ.13-2 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1 (โครงข่าย E 2-2-2, R^2 = 0.8231)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 2 (R^2=0.8462)



รูปที่ จ.13-3 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 1 (โครงข่าย E 2-2-2, R^2 = 0.8231) สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 3 (R^2=0.6729)

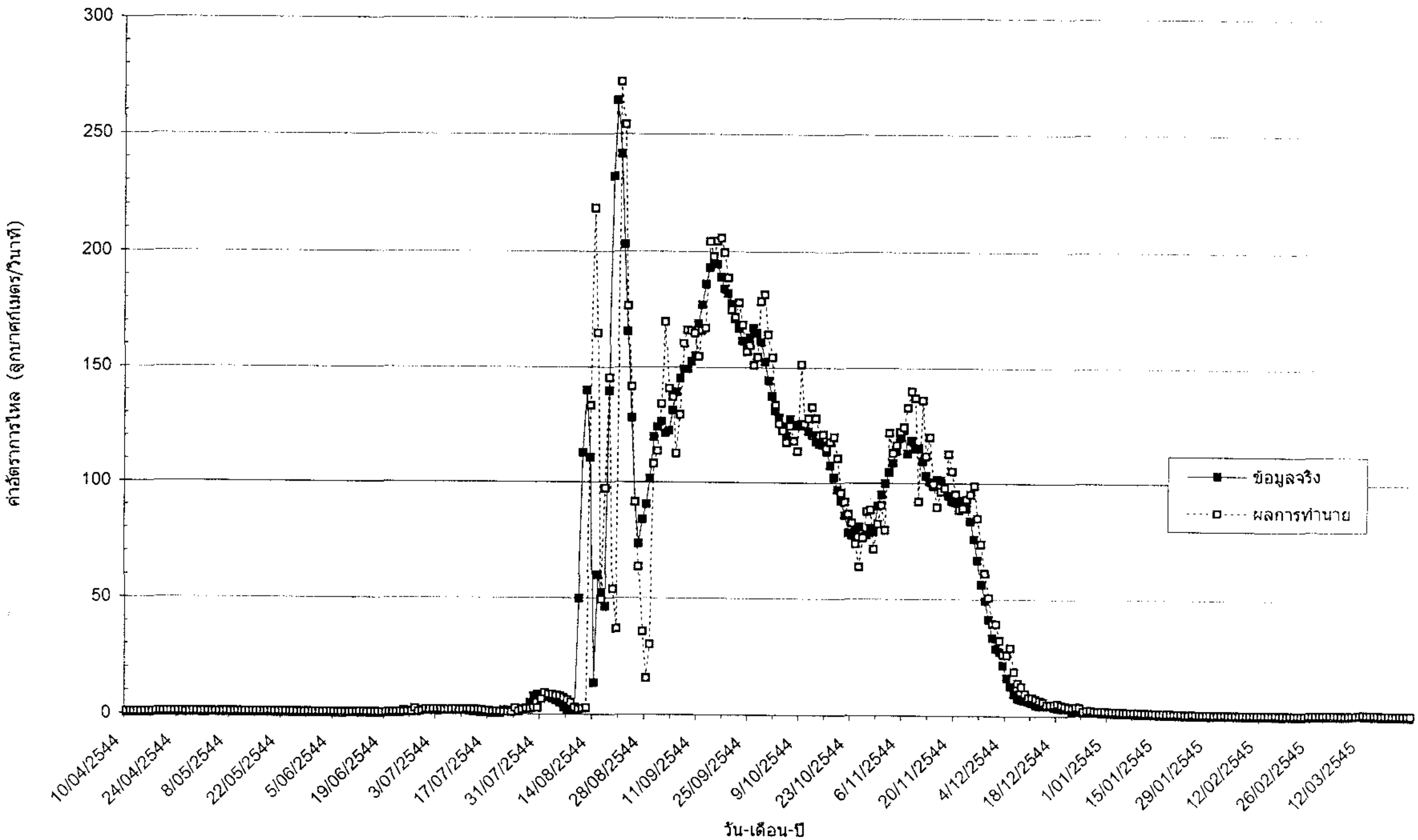


รูปที่ จ.14-1 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 2 (โครงข่าย E 4-8-3, R^2 = 0.8231)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 1 (R^2= 0.9688)

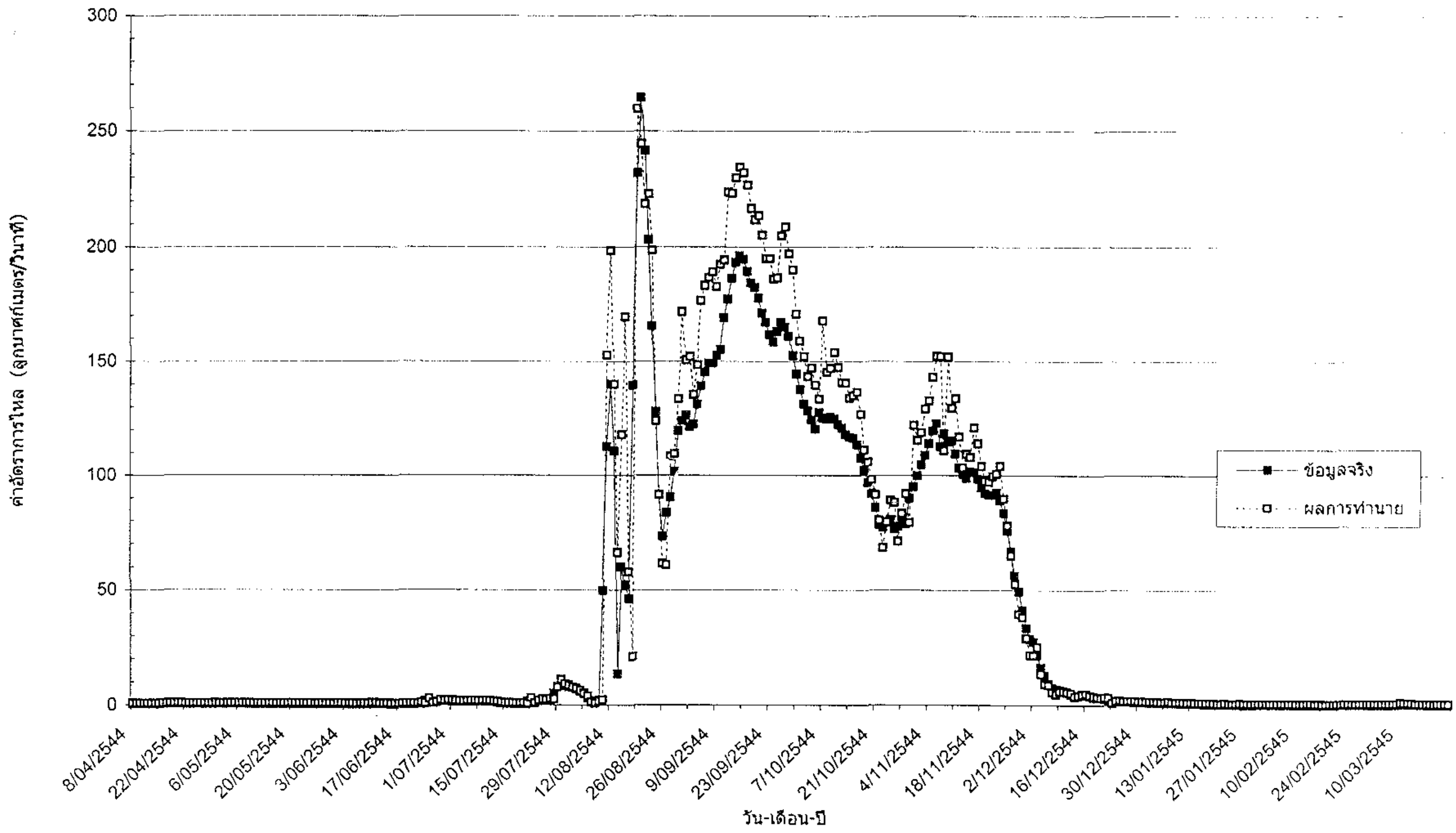


รูปที่ จ.14-2 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 2 (โครงข่าย E 4-8-3, R^2 = 0.9070) สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 2 (R^2=0.9065)

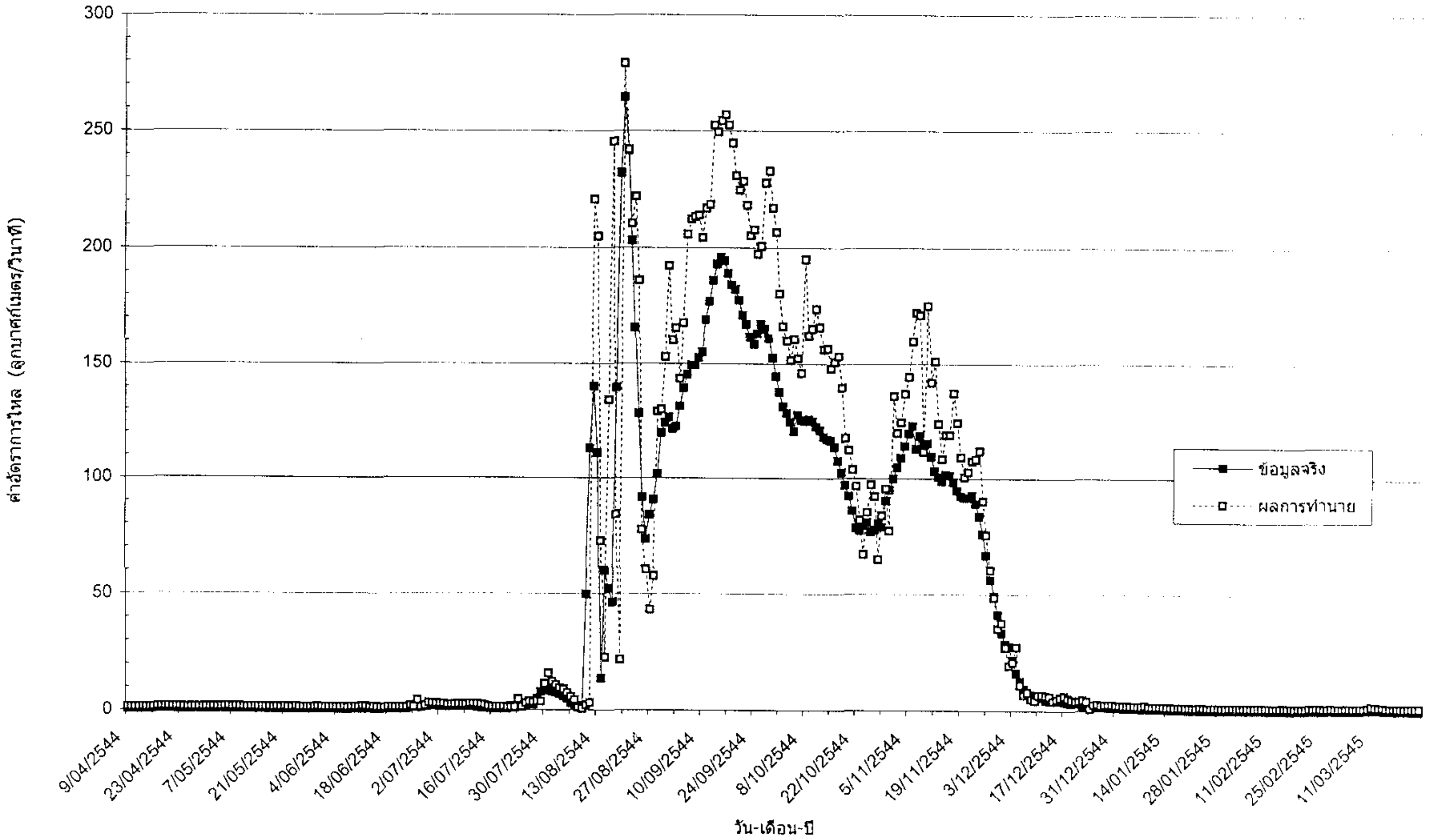
109



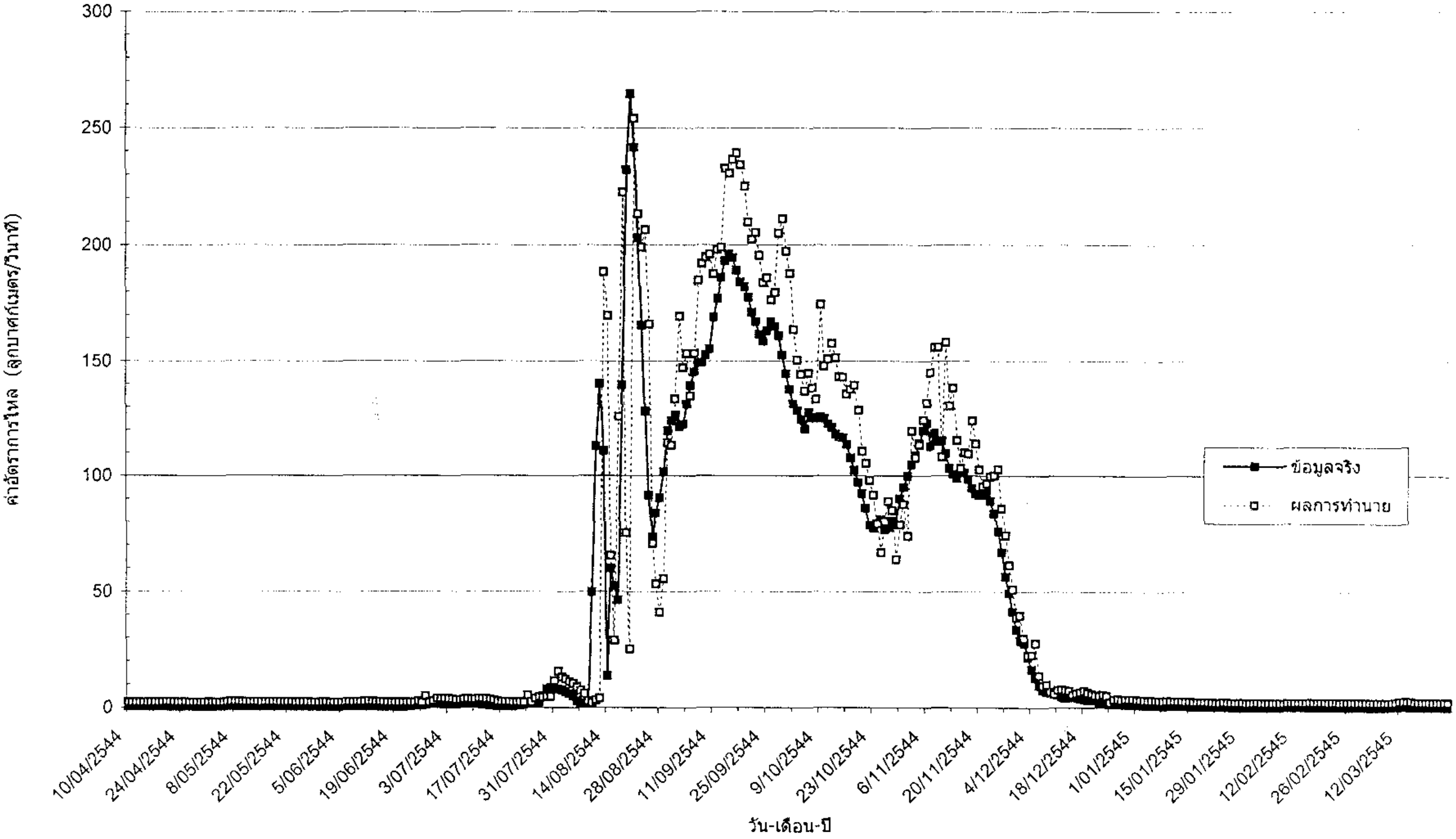
รูปที่ จ.14-3 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 2 (โครงข่าย E 4-8-3, R^2 = 0.9070)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 3 (R^2=0.8473)



รูปที่ จ.15-1 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 3 (โครงข่าย E 4-8-3, R^2 = 0.9065)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 1 (R^2= 0.9606)



รูปที่ จ.15-2 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 3 (โครงข่าย E 4-8-3, R^2 = 0.9065) สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 2 (R^2=0.9035)



รูปที่ จ.15-3 ผลการทำนายอัตราการไหลที่ให้ผลการทำนายดีที่สุดของ Case E ด้วยข้อมูลทดสอบ Test 3 (โครงข่าย E 4-8-3, R^2 = 0.9065)
สำหรับวันทำนายล่วงหน้าวันที่ 3 (R^2=0.8633)

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	เชาวน์ หิรัญตียะกุล
วันเกิด	23 มีนาคม 2520
ภูมิลำเนาเดิม	อำเภอบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาล 3 อำเภอบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา
มัธยมศึกษา	โรงเรียนบัวใหญ่ อำเภอบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา
ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา
ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

ประวัติการทำงาน

2544 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งอาจารย์ผู้สอน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี