


การประยุกต์ใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล



นายเลอพงศ์ อ่ำสุริยา

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

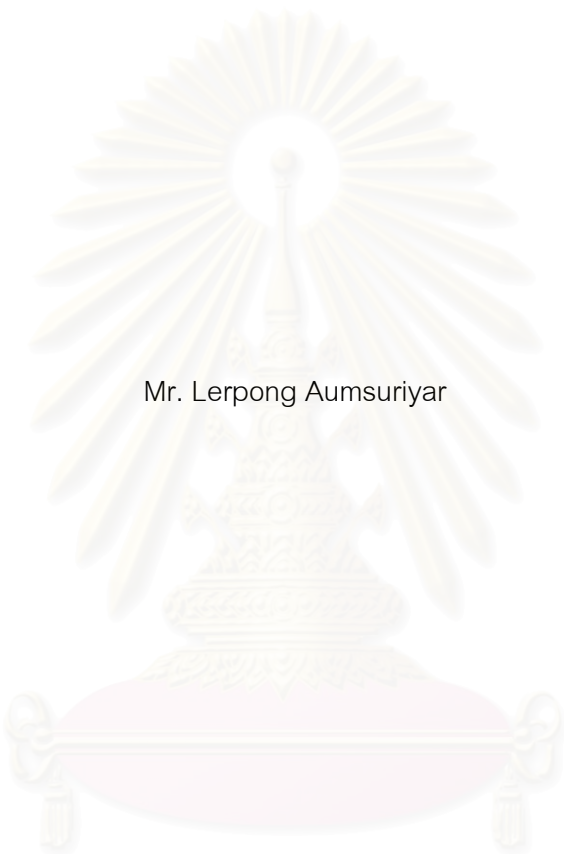
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4662-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN MODELING OF STAGE-
DISCHARGE RELATIONSHIP



Mr. Lerpong Aumsuriyar

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4662-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล
โดย	นายเลอพงค์ อ่ำสุริยา
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดีเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)

เลอพงค์ อ่ำสุริยา : การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล.(APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IN MODELING OF STAGE - DISCHARGE RELATIONSHIP) อ.ที่ปรึกษา : อ.ชัยยุทธ สุขศรี 278 หน้า. ISBN 974-17-4662-8.

การหาค่าอัตราการไหลในแม่น้ำ จากค่าของระดับน้ำเป็นงานหลักอย่างหนึ่งของการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาและวิศวกรรมแม่น้ำ วิธีที่ถือปฏิบัติกันมาค้ำระดับน้ำกับอัตราการไหลที่สถานีวัดจะแสดงในรูปของกราฟระดับน้ำ - อัตราการไหล (Rating Curve) อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างค้ำระดับน้ำ - อัตราการไหล มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและมีความไม่แน่นอน ข้อจำกัดที่สำคัญของการใช้กราฟระดับน้ำ - อัตราการไหลนั้น จะเกิดปัญหากับความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นวงรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงที่น้ำหลากเคลื่อนตัวเข้ามา ค่าของอัตราการไหลจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับค้ำของระดับน้ำเพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับสถานะของการไหลว่าเป็นช่วงน้ำเพิ่มขึ้น(Rising Limb)หรือช่วงน้ำลดลง (Recession Limb) โดยที่โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เป็นกระบวนการเรียนรู้สำหรับวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษาจึงนำมาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยใช้ข้อมูลแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานี C.2 จังหวัดนครสวรรค์ เป็นกรณีศึกษา

วิธีการศึกษาแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ 1) การหาตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมโดยวิธีลองผิดลองถูก 2) นำผลที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับการใช้กราฟระดับน้ำ - อัตราการไหล และแบบจำลองการถดถอย โดยใช้ข้อมูลช่วงการเรียนรู้หลายขนาด 3) การทดลองเปลี่ยนขนาดของโครงข่าย ค่าอัตราการเรียนรู้และค่าของโมเมนตัมเพื่อศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

จากการวิเคราะห์ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าค่าอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง ANN ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดมากกว่าวิธีที่ถือปฏิบัติกันมา ยกเว้นในกรณีที่ปริมาณน้ำนั้นเกินกว่าช่วงข้อมูลที่ใช้ในเรียนรู้ นอกจากนี้การเพิ่มขนาดโครงข่ายให้ใหญ่ขึ้นจะไม่ช่วยเพิ่มความถูกต้องขึ้นมากนัก แต่การใช้ตัวแปรนำเข้าและระยะเวลาของการเรียนรู้จะส่งผลกระทบต่อมากกว่ำ ถึงแม้ว่าแบบจำลอง ANN จะให้ผลที่ดีกว่าวิธีในแบบเดิม แต่ในบริเวณช่วงปลายของวงรอบความสัมพันธ์ ทั้งแบบจำลอง ANN และ กราฟระดับน้ำ - อัตราการไหลยังไม่สามารถจำลองความสัมพันธ์ได้ดีนัก ดังนั้นข้อมูลจากการวัดจริงยังคงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในทางอุทกวิทยา

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ..... ลายมือชื่อ.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา...2546..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470498921 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS / STAGE-DISCHARGE RELATIONSHIP

LERPONG AUMSURIYAR :(APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN MODELING OF STAGE-DISCHARGE RELATIONSHIP) THESIS ADVISOR : CHAIYUTH SUKHSRI, MS.CE, 278 pp. ISBN 974-17-4662-8.

The calculation of river discharge from measurements of water stage is a fundamental activity in hydrological analysis and river engineering. The conventional way, in which stages and discharges at a station are related, is shown as a "rating curve". However, the stage-discharge relationship is time-dependent and very often exhibits a random fluctuation. A major limitation of this approach is that it is not able to take into account the hysteresis effect, which produces a looped rating curve, particularly, in a flood event, when the discharge depends on stage as well as state of the flow (rising or falling). Since the ANN is a powerful procedure for nonlinear function mapping, this study deals with the application of ANN in modeling of stage-discharge relationship using the Chao Phraya River at station C.2 in Nakhon Sawan province as a case study.

The study was divided into three parts: 1) To find the optimal input variables of ANN model by using " trial and error procedure"; 2) The results of the ANN model were compared with the rating curve approach and the multiple linear regression model by using various length of training data; and 3) The network sizes, learning rate and momentum parameters were tried by using various sizes and values for verifying the effect of these parameters.

According to the accuracy of the results, the results from ANN were much closer to the observed values than the conventional ones except in situation where discharges were beyond the range of training data. Moreover, It was found that a larger network provide no advantage in term of accuracy but the use of input variables and length of training data had more impacts on the results. Although the ANN model provided a better results than the conventional approach but at the peak of looped rating, both ANN and conventional approaches still was unable to produce good results. Field measurement is imperative to any hydrological modeling study.

Department...Water.Resources.Engineering Student's signature.....
Field of study...Water Resources Engineering Advisor's signature.....
Academic year2003..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความแนะนำ ความช่วยเหลือ จากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและอบรมสั่งสอนทั้งในด้านวิชาการและแนวทางในการทำงาน ด้วยความเอาใจใส่ ด้วยดีเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล และอาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการช่วยหาคำแนะนำและตรวจแก้ข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านหนังสือและข้อมูลวิชาการ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ช่วยเป็นกำลังใจและคอยให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าในทุกๆด้านด้วยดีเสมอมา รวมทั้งขอขอบคุณบุคลากรของภาควิชาที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านการติดต่อประสานงานต่างๆ

ขอขอบคุณ กลุ่มงานสารสนเทศและศูนย์อุทกวิทยา จังหวัดชัยนาท กรมชลประทาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องข้อมูลต่างๆ รวมทั้งให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าในการศึกษา ถึงการทำงาน of สถานีซึ่งใช้ในการศึกษา

ในท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้โอกาสในการศึกษาและคอยเป็นกำลังใจที่ดีต่อข้าพเจ้าเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ผลการศึกษาที่ผ่านมา	
2.1 การศึกษาแบบจำลอง ANN ในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ.....	5
2.1.1 การทำนายค่าอัตราการไหลหรือค่าระดับน้ำ.....	5
2.1.2 การจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล.....	13
2.1.3 การใช้ในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำอื่นๆ.....	17
2.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล.....	19
บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา	
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล.....	21
3.1.1 ลักษณะปัญหาศาสตร์ของแม่น้ำ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ – อัตราการไหล.....	21
3.1.2 ลักษณะวงรอบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล.....	25
3.1.3 ปัจจัยควบคุมความสัมพันธ์ระดับน้ำ – อัตราการไหล.....	27

บทที่	หน้า
3.2	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม.....29
3.2.1	ลักษณะทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลอง ANN32
3.2.2	กระบวนการสอนของโครงข่าย.....34
3.2.3	การหาโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ANN36
3.3	แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ 40
3.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล.....41
3.5	ค่าทางสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....43
บทที่ 4	พื้นที่และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
4.1	สภาพทั่วไปของกลุ่มน้ำ.....45
4.1.1	ลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา45
4.2	สถานที่ที่ใช้ทำการศึกษา46
4.3	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....51
4.3.1	ข้อมูลที่ใช้สำหรับกระบวนการเรียนรู้และการทดสอบ.....53
บทที่ 5	วิธีการดำเนินการศึกษา
5.1	การแบ่งช่วงของข้อมูล.....57
5.2	การหาโครงสร้างของแบบจำลอง ANN 61
5.2.1	การกำหนดตัวแปรนำเข้า.....62
5.2.2	การหาจำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงที่เหมาะสม.....65
5.2.3	การเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนต์และอัตราการเรียนรู้66
บทที่ 6	ผลการศึกษา
6.1	ผลการศึกษาตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล.....68
6.1.1	ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้า ช่วงที่ 1.....68

6.1.2	ผลการทดสอบของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้า ช่วงที่ 1	87
6.1.3	ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้า ช่วงที่ 2	108
6.1.4	ผลการทดสอบของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้า ช่วงที่ 2	124
6.2	ผลการศึกษการเปรียบเทียบ แบบจำลอง ANN MLR และกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล.....	133
6.2.1	ผลของการเปรียบเทียบความสามารถในการเรียนรู้.....	133
6.2.2	ผลของการเปรียบเทียบช่วงทดสอบ.....	144
6.3	ผลการศึกษาโครงสร้างของแบบจำลอง ANN	155
6.3.1	โครงสร้างที่เหมาะสมของแบบจำลอง.....	155
6.3.2	ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัมและอัตราการเรียนรู้.....	156
บทที่ 7	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
7.1	สรุปผลการศึกษา.....	168
7.1.1	ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN	168
7.1.2	การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง ANN กับ แบบจำลอง MLR และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล	172
7.1.3	ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนด ค่าอัตราการเรียนรู้ และค่าโมเมนตัม.....	175
7.2	ข้อเสนอแนะ	176
	รายการอ้างอิง.....	180
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	ขั้นตอนการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียม แบบ Backpropagation.....	185

สารบัญ (ต่อ)

ญ

บทที่

หน้า

ภาคผนวก ข	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษา กับค่าอัตราการไหล ที่สถานี C.2	192
ภาคผนวก ค	ตัวอย่างผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดของแบบจำลอง ANN	214
ภาคผนวก ง	ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง MLR.....	229
ภาคผนวก จ	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ - อัตราการไหล.....	235
ภาคผนวก ฉ	กราฟน้ำท่าที่ได้จากการศึกษา.....	266
ภาคผนวก ช	การวัดค่าของอัตราการไหล สถานี C.2.....	275
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		278



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1	ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ..... 4
ตารางที่ 3-1	ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทสิ่งมีชีวิตกับเซลล์ประสาทเทียม.....30
ตารางที่ 4-1	รายละเอียดข้อมูลของสถานีที่ใช้ในการศึกษา.....51
ตารางที่ 4-2	ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....52
ตารางที่ 5-1	ช่วงข้อมูลและตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษานี้และการศึกษาที่ผ่านมา..... 60
ตารางที่ 5-2	รายละเอียดตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 163
ตารางที่ 6-1	ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37,2541 - 42) ของแบบจำลอง ANN กลุ่มเวลา (T) 73
ตารางที่ 6-2	ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37,2541 - 42) ของแบบจำลอง ANN กลุ่มทำนายน้ำ (D)..... 73
ตารางที่ 6-3	ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 - 37,2541 - 42) ของแบบจำลอง ANN กลุ่มผลต่างระดับน้ำ (F)... 73
ตารางที่ 6-4	ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37,2541 - 42) ของแบบจำลอง ANN กลุ่มเหนือน้ำ (U).....74
ตารางที่ 6-5	สรุปตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN ที่ให้ค่าประสิทธิภาพดีที่สุดของการศึกษา ที่ 1 ในช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี(พ.ศ. 2535 - 37,2541 - 42)..... 74
ตารางที่ 6-6	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1 กลุ่มเวลา (T)90
ตารางที่ 6-7	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1 กลุ่มทำนายน้ำ (D) 90
ตารางที่ 6-8	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1 กลุ่มเหนือน้ำ(U)..... 91
ตารางที่ 6-9	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1 กลุ่มผลต่างระดับน้ำ(F)..... 92
ตารางที่ 6-10	สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับของกลุ่มเวลา (T)..... 93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ฎ

หน้า

ตารางที่ 6-11	สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับ ของกลุ่มด้านทำยน้ำ (D).....	93
ตารางที่ 6-12	สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับ ของกลุ่มด้านเหนือน้ำ(U).....	94
ตารางที่ 6-13	สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับ ของกลุ่มผลต่างระดับน้ำ(F)	95
ตารางที่ 6-14	ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 โดยคัดเลือกจากผลการเรียนรู้ในช่วงที่ 1	117
ตารางที่ 6-15	ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 โดยคัดเลือกจากผลการทดสอบที่ปีน้ำน้อย	117
ตารางที่ 6-16	ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 โดยคัดเลือกจากผลการทดสอบที่ปีน้ำเฉลี่ย	118
ตารางที่ 6-17	ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 โดยคัดเลือกจากผลการทดสอบที่ปีน้ำมาก	118
ตารางที่ 6-18	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจากผลการเรียนรู้ในช่วงที่ 1.....	119
ตารางที่ 6-19	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจากผลการทดสอบที่ ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534 ในการศึกษาช่วงที่ 1.....	120
ตารางที่ 6-20	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจากผลการทดสอบที่ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 ในการศึกษาช่วงที่ 1.....	121
ตารางที่ 6-21	ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจากผลการทดสอบที่ ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 ในการศึกษาช่วงที่ 1.....	122
ตารางที่ 6-22	สรุปแบบจำลองที่ได้จากการศึกษาตัวแปรนำเข้าจากช่วงที่ 1 และ 2.....	123
ตารางที่ 6-23	ผลการทดสอบความสามารถในการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN MLR และ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล	136
ตารางที่ 6-24	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR: T5-D3-U7-F5 ที่การเรียนรู้ระยะเวลาต่างๆ.....	137
ตารางที่ 6-25	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR: U2-F2 ที่ระยะเวลาการเรียนรู้ต่างๆเพื่อใช้ทดสอบที่ปี น้ำน้อย พ.ศ. 2534.....	138

สารบัญตาราง (ต่อ)

จ
๘

หน้า

ตารางที่ 6-26	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR: T6-F5 ที่ระยะเวลาการเรียนรู้ต่างๆเพื่อใช้ทดสอบที่ปีเฉลี่ย พ.ศ. 2543.....	138
ตารางที่ 6-27	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR: U2-F2 ที่ระยะเวลาการเรียนรู้ต่างๆเพื่อใช้ทดสอบที่ปีน้ำมาก พ.ศ.2538.....	139
ตารางที่ 6-28	ผลเปรียบเทียบการใช้จำนวนข้อมูลในการเรียนรู้ ที่การทดสอบ ปี พ.ศ. 2534.....	145
ตารางที่ 6-29	ผลเปรียบเทียบการใช้จำนวนข้อมูลในการเรียนรู้ ที่การทดสอบ ปี พ.ศ. 2543.....	145
ตารางที่ 6-30	ผลเปรียบเทียบการใช้จำนวนข้อมูลในการเรียนรู้ ที่การทดสอบ ปี พ.ศ. 2538.....	146
ตารางที่ 6-31	ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนตัมและค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง T6-D3-U7-F5.....	162
ตารางที่ 6-32	ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนตัมและค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง U2-F2.....	164
ตารางที่ 6-23	ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนตัมและค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง T6-F5.....	166

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1	แบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Thirumalaiah และ Deo (1998).....	6
รูปที่ 2-2	ผลการทำนายระดับน้ำล่องน้ำ 1 วัน ของThirumalaiah และ Deo (1998).....	6
รูปที่ 2-3	ผลจากการเปลี่ยนโครงสร้างของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Jirayoot และ Al-Soufi (2000).....	10
รูปที่ 2-4	โครงสร้างของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Tawik et al. (1997).....	14
รูปที่ 2-5	โครงสร้างของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Bhattacharya และ Solomatine (2000).....	14
รูปที่ 2-6	ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่สถานี Jamtara ในการศึกษาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000).....	15
รูปที่ 2-7	ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่สถานี Satrana ในการศึกษาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000).....	15
รูปที่ 2-8	ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่สถานี Jamtara ในการศึกษาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000).....	16
รูปที่ 2-9	ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลในการศึกษาของ Fread (1973).....	16
รูปที่ 3-1	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล	22
รูปที่ 3-2	ภาพตัดตามยาวของแม่น้ำแสดงถึงตัวควบคุมต่างๆ ที่ระดับน้ำแตกต่างกัน และการเคลื่อนตัวของน้ำหลากไปทางท้ายน้ำ.....	24
รูปที่ 3-3	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแม่น้ำ Red, Louisiana.....	26
รูปที่ 3-4	วงรอบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลตามทฤษฎี.....	26
รูปที่ 3-5	ลักษณะของเซลล์ประสาทสิ่งมีชีวิต.....	29
รูปที่ 3-6	รูปร่างของโครงข่ายใยประสาทเทียมแบบ Feedforward network	30
รูปที่ 3-7	โครงสร้างโหนดของแบบจำลอง ANN	32
รูปที่ 3-8	ฟังก์ชันซิกมอยด์	34
รูปที่ 3-9	การปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย แบบ Backpropagation.....	35
รูปที่ 3-10	การลู่เข้าหาคำตอบในพื้นที่ของค่าถ่วงน้ำหนัก.....	38
รูปที่ 3-11	แนวทางการลู่เข้าหาความคลาดเคลื่อนต่ำสุดสำหรับค่า η ต่างๆ.....	38
รูปที่ 3-12	พฤติกรรมของค่าโมเมนตัมในการเรียนรู้ กับจำนวนรอบการคำนวณ	40

สารบัญรูป (ต่อ)

ผ

หน้า

รูปที่ 3-13	รูปร่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลในแต่ละ การกำหนดค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ต่างๆ.....	42
รูปที่ 4-1	ทิศทางการเคลื่อนตัวของลมมรสุมในประเทศไทย.....	47
รูปที่ 4-2	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีที่ตกในลุ่มน้ำเจ้าพระยา.....	48
รูปที่ 4-3	ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีที่ใช้ในการศึกษา.....	49
รูปที่ 4-4	ลักษณะของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ จังหวัด นครสวรรค์.....	49
รูปที่ 4-5	ลักษณะความลาดชันของแม่น้ำสายหลักในการศึกษา.....	50
รูปที่ 4-6	กราฟน้ำท่าของปีที่ใช้ในการทดสอบ.....	54
รูปที่ 4-7	อัตราการไหลสูงสุดรายปีของสถานี C.2 ระหว่างปี พ.ศ. 2515 - 2544	54
รูปที่ 4-8	กราฟน้ำท่าของสถานี C.2 N14A. และ P.17 ในปีที่ใช้ทดสอบ.....	55
รูปที่ 4-9	รูปหน้าตัด ที่สถานี C.2 ของช่วงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	56
รูปที่ 5-1	ขั้นตอนการศึกษาแบบจำลอง ANN	58
รูปที่ 5-2	ขั้นตอนวิธีการศึกษา.....	59
รูปที่ 6-1	ผลการทดสอบแบบจำลอง กลุ่มเวลา (T) ในช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ.2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42	75
รูปที่ 6-2	ผลการทดสอบแบบจำลอง กลุ่มทำynnน้ำ (D) ในช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ.2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42	75
รูปที่ 6-3	ผลการทดสอบแบบจำลอง กลุ่มเหนือynnน้ำ (U) ในช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ.2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42	76
รูปที่ 6-4	ผลการทดสอบแบบจำลอง กลุ่มผลต่างระดับynnน้ำ (F) ในช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ.2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42	77
รูปที่ 6-5	ผลการทดสอบแบบจำลอง T6 D3 U7 และ F5 ในช่วงของการเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี พ.ศ.2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42	77
รูปที่ 6-6	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2535 ระหว่างวันที่ 22 ก.ย. - 23 พ.ย.	80
รูปที่ 6-7	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2536 ระหว่างวันที่ 8 ก.ย. - 12 ต.ค.....	81
รูปที่ 6-8	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้	

สารบัญรูป (ต่อ)

ณ

หน้า

	ปี พ.ศ. 2537 ระหว่างวันที่ 2 ก.ย. - 12 ต.ค.....	82
รูปที่ 6-9	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2541 ระหว่างวันที่ 9 ต.ค. - 28 ต.ค.....	83
รูปที่ 6-10	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2542 ระหว่างวันที่ 17ก.ย. - 30 ต.ค.....	84
รูปที่ 6-11	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42.....	85
รูปที่ 6-12	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42.....	86
รูปที่ 6-13	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T2 D1 U10 และ F6 ที่ช่วงการทดสอบ ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534 ระหว่างวันที่ 25 ส.ค. - 14 ต.ค.	98
รูปที่ 6-14	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D2 U5 และ F7 ที่ช่วงการทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 ระหว่างวันที่ 18 ก.ย. - 26 ต.ค.	99
รูปที่ 6-15	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D2 U5 และ F7 ที่ช่วงการทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 ระหว่างวันที่ 27 ต.ค. - 13 พ.ย.	100
รูปที่ 6-16	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T3 D1 U2 และ F2 ที่ช่วงการทดสอบ ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 ระหว่างวันที่ 25 ส.ค. - 14 พ.ย.	101
รูปที่ 6-17	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN: T2 D1 U10 และ F6 ในช่วงอัตราการไหลต่ำ ที่การทดสอบ ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534.....	102
รูปที่ 6-18	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN: T6 D2 U5 และ F7 ในช่วงอัตราการไหลต่ำ ที่การทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543.....	103
รูปที่ 6-19	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN: T3 D1 U2 และ F2 ในช่วงอัตราการไหลต่ำ ที่การทดสอบ ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538.....	104
รูปที่ 6-20	ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงอัตราการไหลของแบบจำลอง ANN : T2 D1 U10 และ F6 ที่ปีทดสอบน้ำน้อย พ.ศ. 2534.....	105
รูปที่ 6-21	ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงอัตราการไหลของแบบจำลอง ANN : T6 D2 U5 และ F7 ที่ปีทดสอบน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543.....	106
รูปที่ 6-22	ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงอัตราการไหลของแบบจำลอง ANN: T3 D1 U2 และ F2 ที่ปีทดสอบน้ำมาก พ.ศ. 2538.....	107

รูปที่ 6-23	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2535 ระหว่างวันที่ 22 ก.ย. - 23 พ.ย.	110
รูปที่ 6-24	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2536 ระหว่างวันที่ 8 ก.ย. - 12 ต.ค.....	111
รูปที่ 6-25	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2537 ระหว่างวันที่ 2 ก.ย. - 12 ต.ค.....	112
รูปที่ 6-26	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2541 ระหว่างวันที่ 9 ต.ค. - 28 ต.ค.....	113
รูปที่ 6-27	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2542 ระหว่างวันที่ 17 ก.ย. - 30 พ.ย.....	114
รูปที่ 6-28	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42) ของการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 2	115
รูปที่ 6-29	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42) ของการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 2	116
รูปที่ 6-30	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่การทดสอบ ปีหน้าน้อย พ.ศ. 2534 ระหว่างวันที่ 25 ส.ค. - 14 ต.ค.	126
รูปที่ 6-31	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่การทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 ระหว่างวันที่ 18 ก.ย. - 26 ต.ค.	127
รูปที่ 6-32	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่การทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 ระหว่างวันที่ 27 ต.ค. - 13 พ.ย.....	128
รูปที่ 6-33	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่การทดสอบ ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 ระหว่างวันที่ 25 ส.ค. - 14 พ.ย.....	129
รูปที่ 6-34	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN ในช่วง อัตราการไหลต่ำของการศึกษาช่วง 2 ที่การทดสอบ ปีหน้าน้อย พ.ศ. 2534.....	130
รูปที่ 6-35	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN ในช่วง อัตราการไหลต่ำของการศึกษาช่วง 2 ที่การทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543.....	131
รูปที่ 6-36	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN ในช่วง อัตราการไหลต่ำของการศึกษาช่วง 2 ที่การทดสอบ ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538	132

รูปที่ 6-37	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ในการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42)	140
รูปที่ 6-38	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN MLR ปี พ.ศ.2537 ระหว่างวันที่ 2 ก.ย. – 12 ต.ค. ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 – 37 และ พ.ศ. 2541 - 42).....	141
รูปที่ 6-39	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN MLR ปี พ.ศ.2541 ระหว่างวันที่ 9 ต.ค. – 28 ต.ค. ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 – 37 และ พ.ศ. 2541 - 42).....	142
รูปที่ 6-40	ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN MLR ปี พ.ศ.2542 ระหว่างวันที่ 17 ก.ย. – 30 พ.ย. ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 – 37 และ พ.ศ. 2541 - 42).....	143
รูปที่ 6-41	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2534 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี.....	147
รูปที่ 6-42	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2534 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี.....	148
รูปที่ 6-43	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2543 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี.....	149
รูปที่ 6-44	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2543 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี.....	150
รูปที่ 6-45	ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างระดับน้ำทางท้ายน้ำ - อัตราการไหล C.2 ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2543 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี.....	151
รูปที่ 6-46	ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2538 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี.....	152
รูปที่ 6-47	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2538 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี.....	153
รูปที่ 6-48	ผลทดสอบแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ที่การเรียนรู้ 1 3 และ 5 ปี.....	154
รูปที่ 6-49	ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนหินของแบบจำลอง ANN ที่ใช้ในการศึกษาที่ 2.....	158
รูปที่ 6-50	ตัวอย่างจำนวนรอบการเรียนรู้ ของแบบจำลอง ANN	

	ที่ข้อมูลการเรียนรู้ 1 3 และ 5 ปี.....	159
รูปที่ 6-51	ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ของแบบจำลอง ANN.....	160
รูปที่ 6-52	ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเรียนรู้ ของ แบบจำลอง ANN	161
รูปที่ 7-1	ลักษณะความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ - อัตราการไหล.....	171
รูปที่ 7-2	ในปีที่ลักษณะวงรอบไม่ชัดเจน ทั้งแบบจำลอง ANN และ rating curve ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน.....	174
รูปที่ 7-3	ในปีที่ลักษณะวงรอบชัดเจน แบบจำลอง ANN จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ได้ดีกว่า rating curve และลดความผิดพลาดที่ช่วงปลายกราฟ.....	174

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

- α = ค่าโมเมนตัม (Momentum) ของโครงข่ายประสาทเทียม
- η = ค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate) ของโครงข่ายประสาทเทียม
- θ = ค่าเอนเอียง (Bias) ของโครงข่ายประสาทเทียม
- D = กลุ่มของตัวแปรนำเข้าซึ่งเป็นค่าระดับน้ำของสถานีที่อยู่ทางท้ายน้ำของสถานี C.2 ที่เวลาปัจจุบัน
- dh/dt = ค่าผลต่างของระดับน้ำที่เวลาปัจจุบันและย้อนหลัง 1 วัน ที่สถานี C.2
- e = ค่าของระดับน้ำที่มีค่าของอัตราการไหลเป็นศูนย์ (gage height of zero flow)
- F = กลุ่มของตัวแปรนำเข้าซึ่งเป็นค่าผลต่างระดับน้ำระหว่างค่าระดับน้ำของสถานี C.2 กับค่าระดับน้ำ ณ สถานีที่ติดกันทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ
- $\Delta F1$ = ผลต่างระหว่างค่าระดับน้ำที่สถานี C.2 กับค่าระดับน้ำด้านหน้าเขื่อนเจ้าพระยา
- $\Delta F2$ = ผลต่างระหว่างค่าระดับน้ำที่สถานี P.17 กับค่าระดับน้ำที่สถานี C.2
- $\Delta F3$ = ผลต่างระหว่างค่าระดับน้ำที่สถานี N14A. กับค่าระดับน้ำที่สถานี C.2
- H(t) = ค่าระดับน้ำของสถานี C.2 ที่เวลาปัจจุบัน
- H(t-1) = ค่าระดับน้ำของสถานี C.2 ที่เวลาย้อนหลัง 1 วัน
- T = กลุ่มของตัวแปรนำเข้าซึ่งเป็นค่าระดับน้ำที่สถานี C.2 ทั้งเวลาปัจจุบันและ ย้อนหลัง
- U = กลุ่มของตัวแปรนำเข้าซึ่งเป็นค่าระดับน้ำของสถานีที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำสถานี C.2
- ปีทดสอบน้ำน้อย
= ปี พ.ศ. 2534 ซึ่งมีค่าความถี่การเกิดซ้ำ (exceedance probability) โดยใช้ในการแจกแจงแบบกัมเบลที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด ประมาณ 75 %
- ปีทดสอบน้ำเฉลี่ย
= ปี พ.ศ. 2543 ซึ่งมีค่าความถี่การเกิดซ้ำ (exceedance probability) โดยใช้ในการแจกแจงแบบกัมเบลที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด ประมาณ 50% หรือในความหมายเดียวกันกับปีน้ำปกติ
- ปีทดสอบน้ำมาก
= ปี พ.ศ. 2538 ซึ่งมีค่าความถี่การเกิดซ้ำ (exceedance probability) โดยใช้ในการแจกแจงแบบกัมเบลที่ค่าอัตราการไหลสูงสุด ประมาณ 2%

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้อมูลของอัตราการไหลในแม่น้ำถือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาทั้งทางด้านอุทกวิทยา ในด้านการวางแผน และการจัดการกับแหล่งน้ำ ซึ่งการได้มาของข้อมูลอัตราการไหลนี้ สามารถวัดได้โดยตรงจากแม่น้ำซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี แต่ในความเป็นจริงการวัดค่าอัตราการไหลให้มีความต่อเนื่องกันทุกวันนั้นเป็นไปได้ยาก อันเนื่องจากปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน ดังนั้นการใช้กราฟที่เรียกว่า rating curve จึงเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมาอย่างแพร่หลายในการหาค่าอัตราการไหล จากข้อมูลค่าของระดับน้ำซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการวัดได้ง่ายและมีความต่อเนื่องของข้อมูลมากกว่า

แต่เนื่องจากสภาพอุทกวิทยานั้นมีการผันแปรสูงและยังขึ้นกับเงื่อนไขต่างๆมากมาย ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของระดับน้ำ - อัตราการไหล มักจะให้ผลที่ออกมาเป็นรูปแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) ทำให้เทคนิคในแบบเดิมหรือ rating curve นั้นเป็นไปได้ยากที่จะให้ความถูกต้องได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะเมื่อรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลมีลักษณะที่เป็นแบบวงรอบ (looped stage - discharge relation) ซึ่งทำให้ค่าระดับน้ำที่ระดับเดียวกันมีค่าของอัตราการไหลที่ไม่เท่ากัน

โครงข่ายประสาทเทียม หรือ ANNs เป็นแบบจำลองที่อาศัยการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์โดยมีความโดดเด่นในการเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ที่มีความสลับซับซ้อน และไม่เชิงเส้น ซึ่งการประยุกต์ใช้ในด้านอุทกวิทยานั้น มีงานวิจัยปรากฏมาอย่างมากมายที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลอง ANN ในการประยุกต์ใช้กับปัญหาทางอุทกวิทยาต่างๆ ตัวอย่างเช่น การทำนายค่าของระดับน้ำ อัตราการไหล ปริมาณน้ำฝน ปริมาณตะกอน และอื่นๆ

ดังนั้นในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้วิธีการเรียนรู้แบบ Backpropagation ซึ่งถือเป็นที่ยอมรับในงานด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ มาใช้ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยเปรียบเทียบกับวิธีปฏิบัติแบบเดิมที่ใช้กันคือการสร้างกราฟ เพื่อศึกษาถึงแนวทางของการนำไปใช้งาน และความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับปัญหาของการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาหารูปแบบโครงสร้างของแบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าของระดับน้ำ - อัตราการไหล
2. เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับวิธีที่ใช้ปฏิบัติมาแต่เดิม (conventional method) คือ การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำและอัตราการไหล รวมทั้งเปรียบเทียบกับแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression)
3. ศึกษาหาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าของระดับน้ำ - อัตราการไหล

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ และอัตราการไหลของแม่น้ำเจ้าพระยา ที่สถานี C.2 จังหวัดนครสวรรค์
2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลในอดีตของค่าระดับน้ำซึ่งเป็นค่าของระดับน้ำตามสถานีใกล้เคียง ทั้งด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของสถานีที่ทำการศึกษาโดยจะพิจารณาเป็นรายวัน
3. แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้กระบวนการเรียนรู้ในแบบ Back - propagation โดยจะพิจารณาแบบจำลองเป็น 3 กรณี ได้แก่แบบจำลองที่ปีน้ำมาก ปีน้ำเฉลี่ยและปีน้ำน้อย สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาคือ โปรแกรม Qnet2000 ซึ่งพัฒนาโดย บริษัท Vesta.
4. การเปรียบเทียบกับวิธีที่ใช้ปฏิบัติมาแต่เดิมนั้นจะใช้ วิธีการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยใช้วิธีการสร้างแบบ logarithmic method และเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางสถิติคือ แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยเปรียบเทียบที่ช่วงการเรียนรู้ที่ 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี
5. การศึกษาหาโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมได้พิจารณาถึงส่วน ประกอบต่างๆ ของตัวแบบจำลองอันได้แก่
 - ตัวแปรนำเข้าและจำนวน node ในชั้นแอบแฝง (hidden layer) ของแต่ละชั้น โดยจะใช้ไม่เกิน 2 ชั้นเพื่อให้แบบจำลองมีขนาดเล็ก
 - ค่าพารามิเตอร์อัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัม

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทบทวน ศึกษา และรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการศึกษา
2. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานราชการถึงความสมบูรณ์ของข้อมูล ศึกษาการปฏิบัติงานภาคสนามในการเก็บข้อมูล สอบถามถึงปัญหาที่พบในการปฏิบัติงาน การแก้ไข ทบทวนรูปแบบการทดลอง พื้นที่ทำการศึกษา สมมุติฐานต่างๆที่ใช้
3. จัดเตรียมข้อมูลที่ได้ ให้อยู่ในรูปแบบพร้อมใช้กับแบบจำลอง ทบทวนทฤษฎี และทดลองใช้ตัวอย่างของข้อมูลกับโปรแกรม เขียนรายงานในส่วนของทฤษฎี
4. ออกแบบและศึกษาหาโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมที่เหมาะสม จัดทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลและแบบจำลอง ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ
5. วิเคราะห์ผล จัดทำสรุปรายงานการศึกษาและทบทวนแก้ไขรายงานในส่วนก่อนหน้า
6. จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม มาจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล เพื่อที่จะประยุกต์ ในการหาค่าอัตราการไหล เมื่อทราบค่าของระดับน้ำจากสถานีอื่นๆ
2. เป็นแนวทางให้เห็นถึงขั้นตอนการประยุกต์ ใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม ในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำที่เกี่ยวกับการใช้แบบจำลองเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล
3. แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธีสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลซึ่งเป็นเทคนิคในแบบเดิมกับการใช้แบบจำลอง ANN และแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

ตารางที่ 1-1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินการ	ระยะเวลา										
	เม.ษ. 46	พ.ค. 46	มิ.ย. 46	ก.ค. 46	ส.ค. 46	ก.ย. 46	ต.ค. 46	พ.ย. 46	ธ.ค. 46	ม.ค. 47	ก.พ. 47
1) ทบทวนโครงร่าง คำนวณว่าศึกษาเพิ่มเติม	-----										
2) รวบรวมข้อมูล	-----										
3) วิเคราะห์และบันทึกข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานราชการ ศึกษาการปฏิบัติงานภาคสนามในการเก็บข้อมูล และจัดทำรายงาน	-----										
4) ศึกษาทฤษฎีของแบบจำลอง ANN การใช้โปรแกรม Qnet ศึกษาขั้นตอนการทำงานที่ปฏิบัติกันมาของแบบจำลอง ANN และ จัดทำรายงานในส่วน ของทฤษฎีและขั้นตอนการหาโครงสร้างแบบจำลอง	-----										
5) ออกแบบ และศึกษาหาโครงสร้างแบบจำลอง ANN จัดทำ rating curve แบบจำลอง MLR และจัดทำรายงาน	-----										
6) วิเคราะห์ผล จัดทำสรุปรายงานการศึกษาและ ทบทวนปรับปรุงรายงานใน ส่วนก่อนหน้า	-----										
7) จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์	-----										

บทที่ 2

ผลการศึกษาที่ผ่านมา

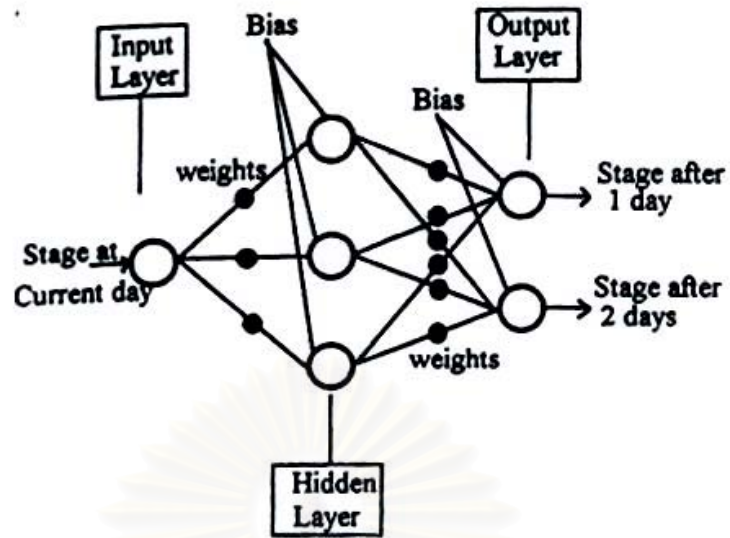
2.1 การศึกษาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ

สำหรับการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในด้านงานวิศวกรรมแหล่งน้ำนั้น Thirumalaiah และ Deo (1998) กล่าวว่าเริ่มมีขึ้นที่การศึกษาเกี่ยวกับการทำนายฝนล่วงหน้า 1 ชั่วโมงของ Frech (1992) ซึ่งต่อมา Hsu (1995) Crespo และ Mora (1993) ได้เริ่มศึกษาถึงการทำนายน้ำท่าจากข้อมูลฝน และ Karunanithi (1994) ได้ศึกษาการทำนายอัตราการไหลรายวัน ณ ตำแหน่งที่ไม่มี การตั้งสถานีวัด โดยใช้ข้อมูลจากทางด้านเหนือและท้ายน้ำ สำหรับการศึกษาดังกล่าวอื่นทั้งในประเทศและต่างประเทศมีดังต่อไปนี้

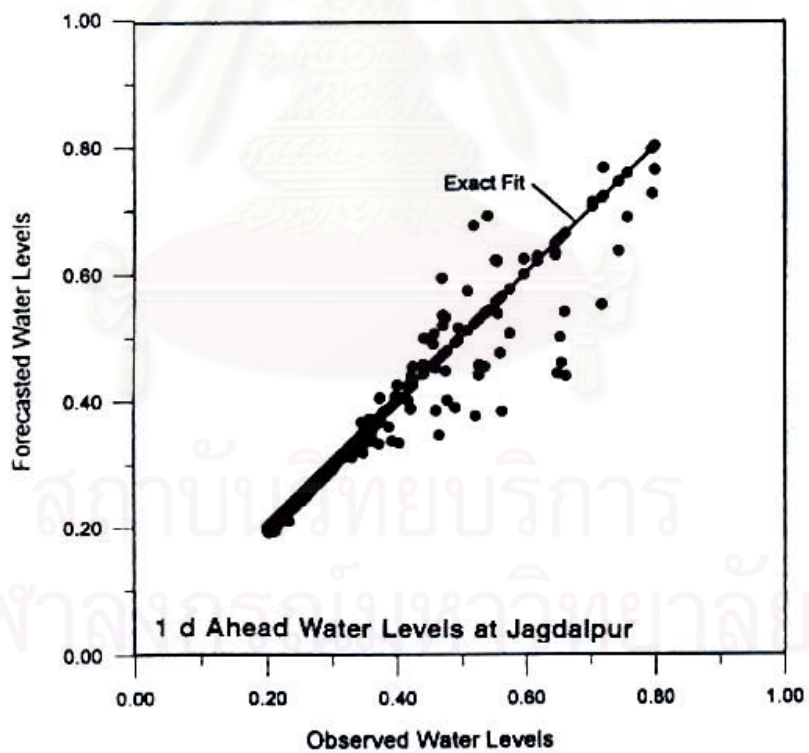
2.1.1 การทำนายค่าอัตราการไหล หรือ ค่าระดับน้ำ

Siang (1992) ศึกษาการประยุกต์ใช้ โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation ในปัญหาของการทำนายคุณภาพของน้ำรายเดือน (อุณหภูมิ pH และ conductivity) ที่เมืองเวียงจันทน์ ประเทศลาว และทำนายค่าอัตราการไหลของน้ำรายเดือนล่วงหน้า 1 เดือน ที่เวียดนาม อุบลราชธานีและยโสธร ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มจำนวนโหนดในชั้นแอบแฝงไม่ได้ช่วยปรับปรุงผลมากอย่างมีนัยสำคัญ และการใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้ผลในการทำนายที่ดีกว่า การใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือน ค่าที่เดือนเดียวกันของปีก่อนหน้าและผลที่ได้จากแบบจำลอง Box - Jenkins

Thirumalaiah และ Deo (1998) ศึกษาการนำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำในแม่น้ำล่วงหน้า 1 และ 2 วัน ณ แม่น้ำ Indravathi เมือง Jagdalpur ประเทศอินเดีย โดยโครงสร้างแบบจำลอง ANN ที่ใช้จะมีโหนดในชั้นของผลลัพธ์ 2 โหนด คือ ค่าระดับน้ำที่ 1 และ 2 วันล่วงหน้า ดังแสดงในรูปที่ 2-1 สำหรับตัวแปรนำเข้าได้เปรียบเทียบการใช้ตัวแปรนำเข้า 2 แบบด้วยกันคือ ค่าระดับน้ำของสถานีที่ศึกษาและค่าของระดับน้ำที่สถานีเหนือน้ำ สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลองได้มีการเปรียบเทียบกัน 3 วิธีคือ Back Propagation Cascade - Correlation และ Conjugate Gradient ผลการศึกษาพบว่า การจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถประยุกต์ใช้ได้ดี ($r = 0.956$ และ 0.885 ของการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 และ 2 วันตามลำดับ)



รูปที่ 2-1 แบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Thirumalaiah และ Deo (1998)



รูปที่ 2-2 ผลการทำนายระดับน้ำล่วงหน้า 1 วัน ของ Thirumalaiah และ Deo (1998)

โดยเฉพาะในช่วงที่ค่าระดับน้ำต่ำๆ แต่หากค่าระดับน้ำสูง การทำนายบางครั้งจะต่ำกว่าค่าจริงดังแสดงในรูปที่ 2-2 ซึ่งให้ความเห็นว่าเนื่องมาจากข้อมูลที่มีอยู่ช่วงระดับน้ำสูงๆ นั้น มีน้อยเกินไปและยังพบว่ากระบวนการเรียนรู้แบบ Cascade Correlation ให้ผลลัพธ์เข้าสู่เร็วที่สุด ในขณะที่ Backpropagation จะใช้จำนวนรอบของการคำนวณที่มากกว่า แต่ค่าที่ได้ไม่ได้แตกต่างกันนัก นอกจากนี้การใช้ตัวแปรนำเข้าจากสถานีเหนือน้ำจะให้ผลในการทำนายที่ดีกว่าการใช้ค่าระดับน้ำที่สถานีหลัก

Tokar และ Johnson (1999) ศึกษาการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอัตราการไหลรายวัน ที่แม่น้ำ Little Ratuxent โดยใช้ตัวแปรนำเข้าแบบจำลองเป็นค่าของปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิ และการละลายของหิมะ ในการศึกษาได้มีการเปรียบเทียบความยาวของข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองและประเภทของข้อมูลที่ใช้เรียนรู้โดยได้แบ่งออกเป็นปีฝนมาก - เฉลี่ย - น้อย ซึ่งการใช้ข้อมูลในการเรียนรู้มีการรวมกันทุกรูปแบบตัวอย่างเช่นปีฝนมาก - น้อย หรือปีฝนเฉลี่ย - น้อย การใช้จำนวนโหนดในโครงข่ายได้ทดลองใช้ตั้งแต่ 1 - 400 โหนด จำนวนปีที่ใช้ในการสอน มีการใช้เปรียบเทียบกันระหว่าง 1 2 และ 3 ปี ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ใช้การเรียนรู้ทั้งข้อมูลของปีฝนมาก - เฉลี่ย - น้อย จะให้ผลที่ดีที่สุดทั้งในช่วงการเรียนรู้และการทดสอบ ในขณะที่ความยาวของข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ไม่มีผลมากนักเมื่อเทียบกับ การใช้ชนิดของปีที่ใช้สอน (ปีฝนมาก - เฉลี่ย - น้อย) นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการใช้ข้อมูลในการเรียนรู้เพียง 1 ปี พบว่าโครงข่ายที่ใช้ข้อมูลของปีฝนแล้งจะให้ผลที่ออกมาต่ำที่สุด ในขณะที่การใช้ข้อมูลของปีฝนมากจะให้ผลที่ออกมาดีที่สุด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง regression และ SCRR พบว่าแบบจำลอง ANN ให้ผลที่ดีที่สุด

Tokar และ Markus (2000) ศึกษาการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายอัตราการไหลของพื้นที่ 3 ลุ่มน้ำอันได้แก่ 1) ทำนายอัตราการไหลรายเดือนของแม่น้ำ Fraser 2) ทำนายอัตราการไหลรายวัน ของลุ่มน้ำ Raccoon (ทำเฉพาะการปรับเทียบ) และ 3) ทำนายอัตราการไหลรายวันของลุ่มน้ำ Little Ratuxent (ทำทั้งการปรับเทียบและทดสอบ) ซึ่งพื้นที่ 3 ลุ่มน้ำที่มีลักษณะภูมิอากาศและภูมิประเทศที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้ลักษณะทางกายภาพคือ Watbal SAC-SMA และSCRRในแต่ละลุ่มน้ำตามลำดับ ผลที่ได้จากศึกษาที่ได้พบว่าแบบจำลอง ANN ให้ผลในการทำนายที่ดีกว่าทุกลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาและใช้เวลาในการปรับเทียบที่น้อยกว่า

Sureerattanan (2000) ศึกษาการประยุกต์ใช้ โครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนาย อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 1 วัน ที่ลุ่มน้ำแม่โขง ณ สถานี K.10 K.12 K.32 เขื่อนเขาแหลม และ เขื่อนศรีนครินทร์ โดยข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ ใช้เป็น 2/3 ของข้อมูลทั้งหมด และ ข้อมูลที่ใช้ทดสอบเป็น 1/3 ของข้อมูลทั้งหมด สำหรับตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาคือ ปริมาณของฝน และ ค่าอัตราการไหลย้อนหลัง 2 วัน ผลการศึกษาที่ได้พบว่าแบบจำลองANNให้ค่าประสิทธิภาพที่มากกว่า 90% (ยกเว้นที่สถานี K.32 มีพื้นที่ลุ่มน้ำเล็กที่สุด มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 75%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารูปแบบของข้อมูลในช่วงที่ใช้เรียนรู้และช่วงที่ใช้ทดสอบมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก และการทำนายที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่จะให้ความถูกต้องมากกว่า ลุ่มน้ำขนาดเล็ก

Manusthiparom (2000) ศึกษาการพยากรณ์ระดับน้ำและอัตราการไหลรายชั่วโมงล่วงหน้า 1 2 และ 3 ชั่วโมง ของแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานี C.4 ซึ่งตั้งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเป็นระยะทาง 48 กม. การศึกษาทำโดยมีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้แบบจำลอง ANN ARMA และ MIKE-11 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาคือ ค่าระดับน้ำและอัตราการไหลรายชั่วโมงที่สถานีบางไทร ซึ่งอยู่ทางด้านต้นน้ำห่างจากสถานีวัด C.4 ไปประมาณ 64 กม. ในส่วนขอบเขตของทางด้านท้ายน้ำใช้ค่าระดับน้ำของสถานีป้อมพระจุล ผลจากการศึกษาพบว่าการใช้แบบจำลอง ANN ร่วมกับแบบจำลอง ARMA จะทำให้ผลการพยากรณ์มีประสิทธิภาพดีที่สุด

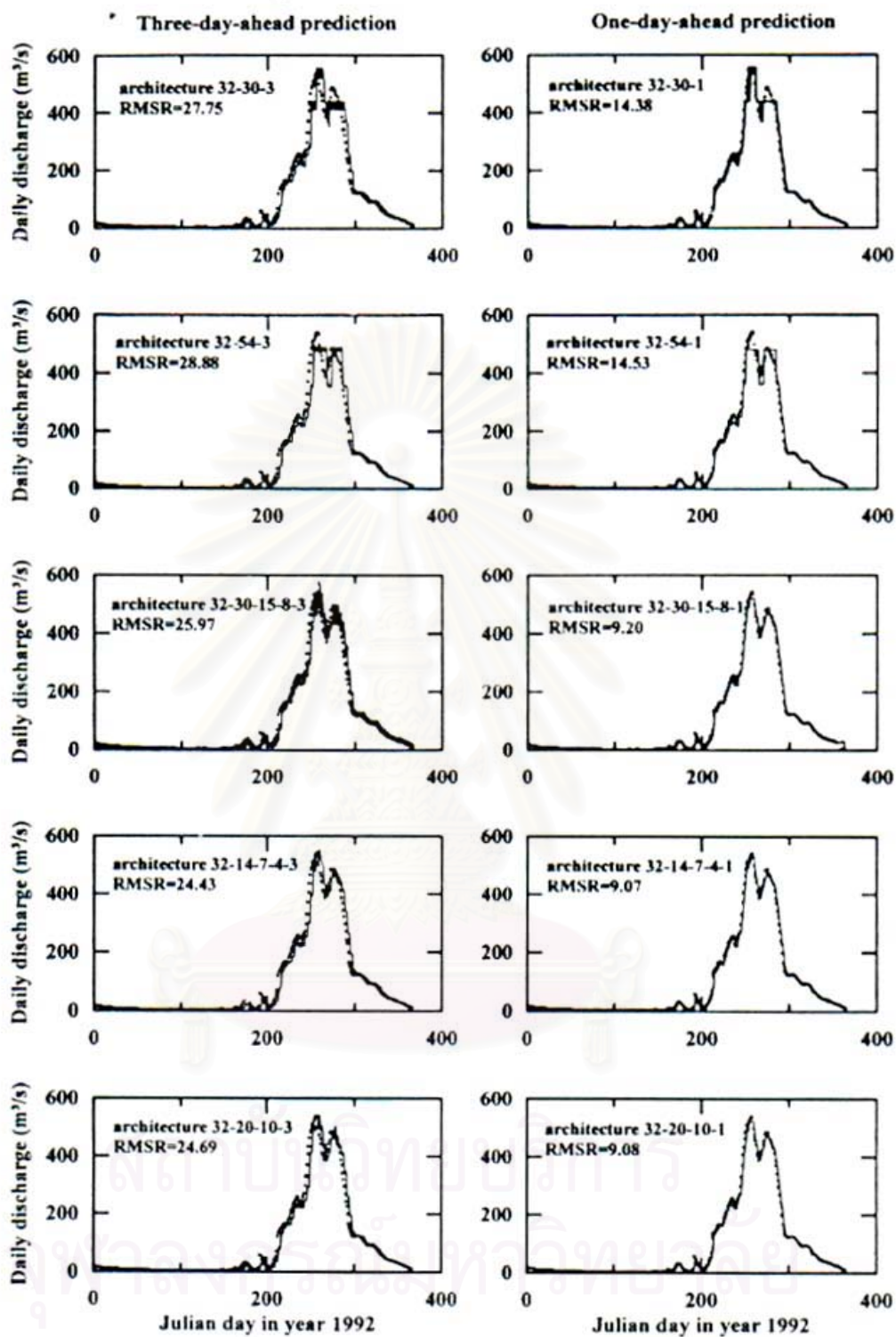
Danh, Phein และ Gupta (2000) ศึกษาการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบ Backpropagation ในการทำนายอัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 1 วัน ที่ลุ่มน้ำ Da Nhim และ ลุ่มน้ำ La Nga ประเทศเวียดนาม โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Tank สำหรับการศึกษาลุ่มน้ำ Da Nhim ข้อมูล 7 ปี ถูกนำมาใช้ในการเรียนรู้ และ 4 ปีใช้ในการทดสอบ สำหรับตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ 1) ใช้ข้อมูลฝนกับอัตราการระเหยและใช้เป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับแบบจำลอง Tank 2) ใช้ข้อมูลฝน อัตราการระเหย อัตราการไหลเวลาปัจจุบันและย้อนหลัง 1 วัน 3) ใช้ข้อมูลฝน อัตราการระเหย อัตราการไหลเวลาปัจจุบันและย้อนหลัง 2 วัน ผลการศึกษาที่ได้พบว่าค่าอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนต์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.5 โดยตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมคือการใช้ตัวแปรนำเข้าในแบบที่ 3 และการใช้ตัวแปรนำเข้าในแบบที่ 1 จะให้ผลที่สูงกว่าค่าจริงในช่วงอัตราการไหลต่ำ แต่ในช่วงที่อัตราการไหลสูงแบบจำลองจะให้ผลที่ต่ำกว่าความเป็นจริงและหากเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Tank จะพบว่ามีค่าประสิทธิภาพที่ไม่ต่างกันมากนัก ในขณะที่ตัวแปรนำเข้าในแบบที่ 2 และ 3 ให้ผลที่ใกล้กับค่าจริงมากกว่าทั้งในช่วงอัตราการไหลต่ำและอัตราการไหลสูง นอกจากนี้พบว่าหากนำค่าของอัตราการระเหยออกจากแบบจำลอง ANN ค่าประสิทธิภาพจะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับการศึกษาที่ลุ่มน้ำ La Nga ข้อมูลระยะเวลา 3 ปีถูกนำไปใช้ในการเรียนรู้และ 5 ปี สำหรับการทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าหากใช้ตัวแปรนำเข้าตัวเดียวกันกับแบบจำลอง Tank แล้วแบบจำลอง ANN จะสามารถให้ผลได้ใกล้เคียงกับแบบจำลอง Tank และการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้หลังเป็นตัวแปรนำเข้ามีผลต่อแบบจำลอง ANN เป็นอย่างมาก

Elshorbagy, Simonovic และ Panu (2000) ศึกษาการทำนายอัตราการใช้ที่แม่น้ำ Red โดยใช้แบบจำลอง ANN และเปรียบเทียบกับแบบจำลองการถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น การศึกษาทำโดยแบ่งข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้และทดสอบเป็นหลายกรณีด้วยกัน เช่น ใช้ข้อมูลในปีที่เป็นเลขคี่(1949,1951,..., 1997) ในการสอนแบบจำลองและปีที่เป็นเลขคู่ใช้สำหรับการทดสอบ โดยในกรณีนี้ จะมีข้อมูลสำหรับทดสอบและเรียนรู้ที่เท่ากันคือ 25 ปี ซึ่งการศึกษาแบบนี้ออกแบบเพื่อให้แบบจำลองเรียนรู้การเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินภายในลุ่มน้ำ ผลจากการศึกษาพบว่าแบบจำลอง ANN จะให้ผลที่ดีกว่าเมื่อข้อมูลที่ใช้ในการสอนมีจำนวนน้อยและมีการใช้ตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาแนะนำว่าไม่ควรใช้แบบจำลอง ANN เพียงวิธีเดียวในการทำนายค่าอัตราการใช้ โดยการใช้วิธีการแบบเดิมยังถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอยู่

Jirayoot และ Al-Soufi (2000) ศึกษาการทำนายอัตราการใช้หลายวันล่วงหน้า 1 วัน กับ 3 วัน ที่แม่น้ำมูล สถานี St.380134 โดยใช้ข้อมูลระหว่างช่วงปี 1987–1992 ในกระบวนการเรียนรู้และใช้ข้อมูลปี 1992 เพื่อทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าการใช้โครงข่ายแบบที่มีชั้นแอบแฝงจำนวน 2 ชั้น และมีอัตราส่วนของจำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงแรกเทียบกับอินพุตที่ 0.6 และชั้นแอบแฝงที่ 2 เทียบกับชั้นแรกเป็น 0.5 จะให้ผลที่ออกมาดีที่สุด นอกจากนี้การเลือกใช้ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัมจะมีผลอย่างมากต่อโครงข่าย ส่วนของผลการพยากรณ์สรุปว่าให้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2-3

Tingsanchali และ Win (2000) ศึกษาการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการทำนายอัตราการใช้ในแม่น้ำประแสร์ล่วงหน้าเป็นเวลา 1 วันโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Backpropagation และโครงสร้างของแบบจำลองใช้เป็นแบบ 3 ชั้นเพื่อให้โครงข่ายไม่ซับซ้อนอันจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการคำนวณมาก โดยข้อมูลตั้งแต่ปี 1995–1997 ถูกนำมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้และข้อมูลของปี 1993–1994 เป็นข้อมูลในช่วงทดสอบ ผลของการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องสูงทั้งในช่วงของการเรียนรู้และทดสอบ แต่แบบจำลองมีหลายลักษณะที่ต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายถือเป็นสิ่งสำคัญที่จะส่งผลต่อการทำนายและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 2-3 ผลจากการเปลี่ยนโครงสร้างของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Jirayoot และ Al- Soufi (2000)

เสรี ศุภราทิตย์ (2544) พัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN เพื่อการพยากรณ์และเตือนภัยน้ำท่วม โดยเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมขนาดใหญ่ที่ปี พ.ศ. 2531 และ พ.ศ. 2543 เป็นกรณีศึกษา โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการศึกษาเป็นโครงข่ายแบบหน่วงเวลา (Time Delay Neural Network, TDNN) และใช้ Genetic Algorithm (GA) เพื่อช่วยหาโครงสร้างของโครงข่ายที่เหมาะสมที่สุด ส่วนข้อมูลนำเข้าของโครงข่ายใช้เป็นข้อมูลฝนจากลุ่มน้ำย่อยต่างๆ โดยผลการศึกษาพบว่าผลการคำนวณอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก มีค่าประสิทธิภาพมากกว่า 95% และมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 24 ซม.

วุฒิชัย บุญผ่อง (2544) ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการทำนายปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า 1 และ 2 วัน ของสถานี Z13 แม่น้ำจันทบุรี และสถานี X.90 คลองอู่ตะเภา ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองที่ใช้คือ ปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยบนพื้นที่และปริมาณน้ำท่ารายวันย้อนหลังโดยเลือกเฉพาะตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ตามค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) กับค่าปริมาณน้ำท่า ณ สถานีที่ต้องการทำนายมากกว่า 0.6 ผลการศึกษาพบว่าจำนวนของสถานีข้างเคียงและจำนวนวันย้อนหลังที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ดี จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายและการทำนายที่ 2 วันล่วงหน้าจะให้ค่าของผิดพลาดที่มากกว่า การทำนายล่วงหน้า 1 วัน เนื่องจากค่าความผิดพลาดมีการสะสม

เทอดเกียรติ สุวัฒน์กุล, ทรงศักดิ์ แจ่มพงษา, จตุรงค์ รัตนานุสนธิ, นลินี จำนงค์พล และ เสรี ศุภราทิตย์ (2545) พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญน้ำท่วมโดยใช้ทฤษฎี Backpropagation กับเหตุการณ์น้ำท่วมบริเวณลุ่มน้ำยม อําเภอบึงสามพัน จังหวัด สุโขทัย ซึ่งข้อมูลที่ป้อนให้กับโครงข่ายประกอบด้วย ข้อมูลน้ำฝนและค่าของระดับน้ำรายวันตั้งแต่ 3 วันที่ผ่านมา โดยใช้การวิเคราะห์ Auto correlation และ Cross correlation จากผลการศึกษาพบว่าผลการคำนวณอยู่ในเกณฑ์ดีมาก มีค่าประสิทธิภาพสูงถึง 95 %

นลินี จำนงค์พล และ เสรี ศุภราทิตย์ (2545) ศึกษาการพยากรณ์อนุกรมเวลาระดับน้ำ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation เพื่อเตือนภัยน้ำท่วม ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าระดับน้ำรายวัน ของลุ่มน้ำยม จ.แพร่ ที่สถานี Y.1c โดยแบ่งข้อมูลเพื่อใช้เรียนรู้เป็นระยะเวลาประมาณ 4 ปี (1,744 วัน) และทดสอบในช่วงเวลา 2 ปี (440 วัน) การวิเคราะห์ตัวแปรนำเข้าทำโดยใช้การวิเคราะห์ Auto correlation และ Cross correlation

ในส่วนของการหาโครงสร้างที่เหมาะสมใช้ Genetic Algorithm (GA) ในการหา ผลการศึกษาพบว่า การคำนวณสำหรับวันที่ 3 จะมีค่าผิดพลาดมากกว่าวันที่ 2 และวันที่ 1 ตามลำดับ

ภูวดล สุขชา และ ชูโชค อายุพงศ์ (2545) ศึกษาการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม แบบ Backpropagation ในการทำนายปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ตัวแปรนำเข้าเป็น 3 กรณี คือ 1) ใช้ข้อมูลของฝนรายวันก่อนหน้าเพียงอย่างเดียว 2) ใช้ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเพียงอย่างเดียว 3) ใช้ทั้งฝนรายวันและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างก่อนหน้าร่วมกัน โดยแบ่งข้อมูลที่ใช้เรียนรู้ คือปี พ.ศ. 2536 – 38 เพื่อให้ครอบคลุม ช่วงที่มีน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำมากที่สุดและน้อยที่สุด สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบคือ ช่วงของ ปี พ.ศ. 2540 – 42 ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ใช้โครงข่าย 5-3-1 ให้ผลที่ดีทั้งในช่วงของการเรียนรู้และทดสอบ โดยใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นข้อมูลฝนรายวันในปัจจุบันกับย้อนหลังไป 1 วัน รวมกับปริมาณของน้ำที่ไหลเข้าอ่างวันปัจจุบัน และย้อนหลังอีก 1 วัน

ธนพล พิमान (2545) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวัน ล่วงหน้า 1 2 และ 3 วัน ในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี สถานี KGT.10 ผลการศึกษาที่ได้พบว่าตัวแปรนำเข้าที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์คือ ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายวันย้อนหลัง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบการนำผลพยากรณ์ของแบบจำลอง ANN กับผลของแบบจำลอง MLR โดยใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นตัวแปรชุดเดียวกัน ผลที่ได้พบว่าการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ของแบบจำลองทั้งสองจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพยากรณ์ล่วงหน้า 2-3 วัน ผลที่ได้จากแบบจำลอง ANN จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลอง MLR อย่างเห็นได้ชัดเจน

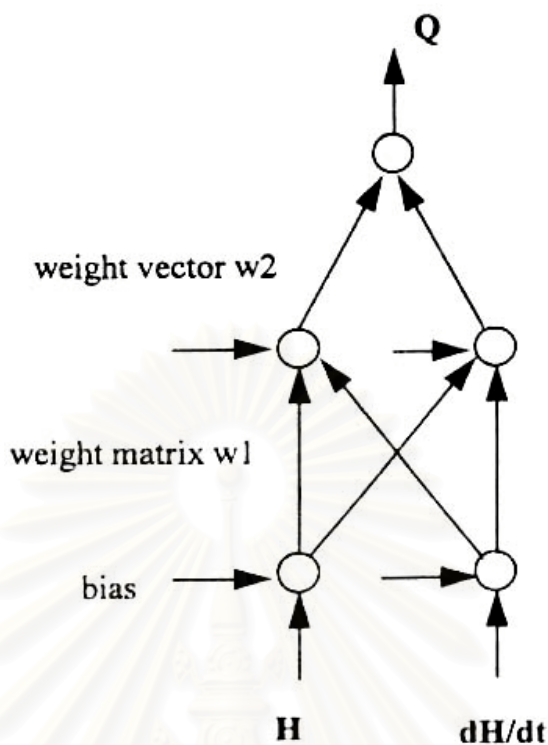
พิเชษฐ์ วรณโชติกุล (2546) ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แบบจำลอง ANN ในการพยากรณ์ระดับน้ำรายวันล่วงหน้า 1 วันที่สถานี N.1 โดยใช้ข้อมูลในการเรียนรู้ทั้งสิ้น 3 ปี (พ.ศ. 2530 – 2533) ตัวแปรนำเข้าที่ใช้คือค่าระดับน้ำของสถานีที่อยู่ทางด้านเหนือ น้ำ 2 สถานี คือ สถานี N.49 และ N.51 แต่ผลการศึกษาพบว่ายังให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีนัก จึงเพิ่มเติมข้อมูลที่ได้จากการความต่อเนื่องทางศาสตร์ระหว่าง สถานี N.49กับสถานี N.1 และระหว่างสถานี N.51กับสถานี N.1ลงไป ซึ่งอยู่ในรูปของ $(N.49^{2/3} - N.1^{2/3})$ และ $(N.51^{2/3} - N.1^{2/3})$ ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าพยากรณ์ระดับน้ำโดยใช้แบบจำลอง ANN นั้นมีความเป็นไปได้สูงควรจะนำไปใช้กับลุ่มน้ำอื่นๆ เพื่อใช้ในการเตือนภัยต่อไป

1.0.0 การจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

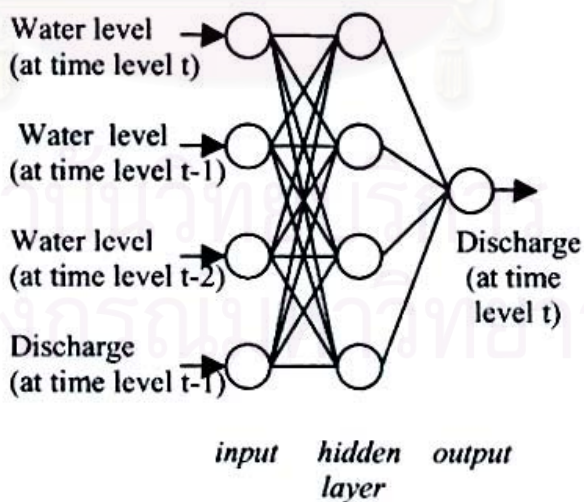
Tawfik, Ibrahim และ Fahmy (1997) ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยทำการศึกษาที่แม่น้ำ Nile สถานี Melut และสถานี Malakal โดยใช้ข้อมูลระหว่างปี 1975 - 1976 และ 1976 - 1977 ในการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบกับการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลโดยแยกออกเป็นช่วงน้ำขึ้น - น้ำลง และความสัมพันธ์จากสมการของ Jones โดยตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษา 2 ตัวแปร คือค่าของระดับน้ำและค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อเทียบกับเวลา(dH/dt) ดังแสดงในรูปที่ 2-4 ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ในขณะที่สมการของ Jones มีความผิดพลาดมากที่สุด และการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยแยกออกเป็นช่วงน้ำขึ้นน้ำลง จะทำให้อุดของกราฟน้ำที่ได้ไม่ราบเรียบ

Jain และ Chalisgaonkar (2000) ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการสร้างความสัมพันธ์ ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของน้ำ โดยเปรียบเทียบกับการใช้วิธีแบบ conventional curve - fitting approach และพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือที่สถานี Satrana แม่น้ำ Kolar และสถานี Jamtara แม่น้ำ Narmada ประเทศอินเดีย ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้ความถูกต้องที่มากกว่า และเมื่อศึกษาโดยสร้างวงรอบที่สมบูรณ์ขึ้นในกระดาศกราฟดังแสดงในรูปที่ 2-8 แล้วให้แบบจำลอง ANN เรียนรู้ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถเรียนรู้ลักษณะของวงรอบได้ และเมื่อเพิ่มตัวแปรนำเข้าให้แบบจำลอง จะให้ผลที่ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มค่าอัตราการไหล ที่เวลาย้อนหลัง 1 และ 2 วัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าถึง 0.999 ผลของการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2-6 ถึง 2-7

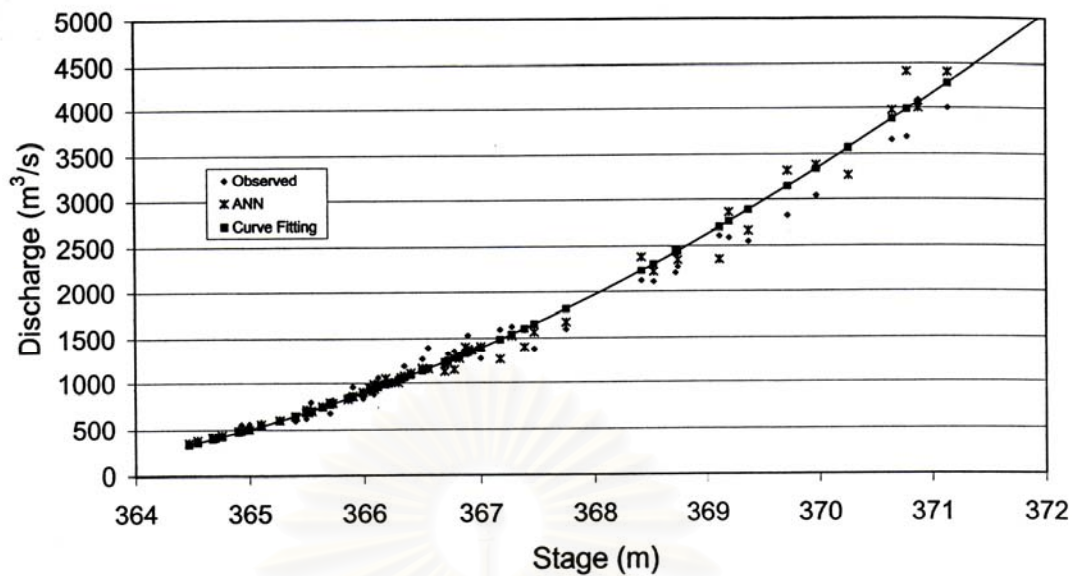
Bhattacharya และ Solomatine (2000) ศึกษาการประยุกต์ใช้ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการสร้างแบบจำลองของความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำ ที่ แม่น้ำ Swarupgunj ประเทศอินเดีย โดยใช้ข้อมูล ค่าระดับน้ำ - อัตราการไหล ตลอดช่วงเวลา 9 ปีมาใช้ โดยแบ่งข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ของแบบจำลองเป็น 6 ปี และ อีก 3 ปีใช้ในการทดสอบ และจากการศึกษาพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถให้ผลออกมาที่มีความผิดพลาดน้อยกว่าการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล และผลที่ได้จาก แบบจำลอง ANN จะสูงกว่าค่าจริงเป็นส่วนใหญ่ โดยเมื่อใช้ตัวแปรเข้าคือ ค่าระดับน้ำที่เวลา (t), (t-1), (t-2) และค่าอัตราการไหลที่เวลา (t-1) พบว่าจะให้ผลที่ดีที่สุดดังแสดงรูปที่ 2-5



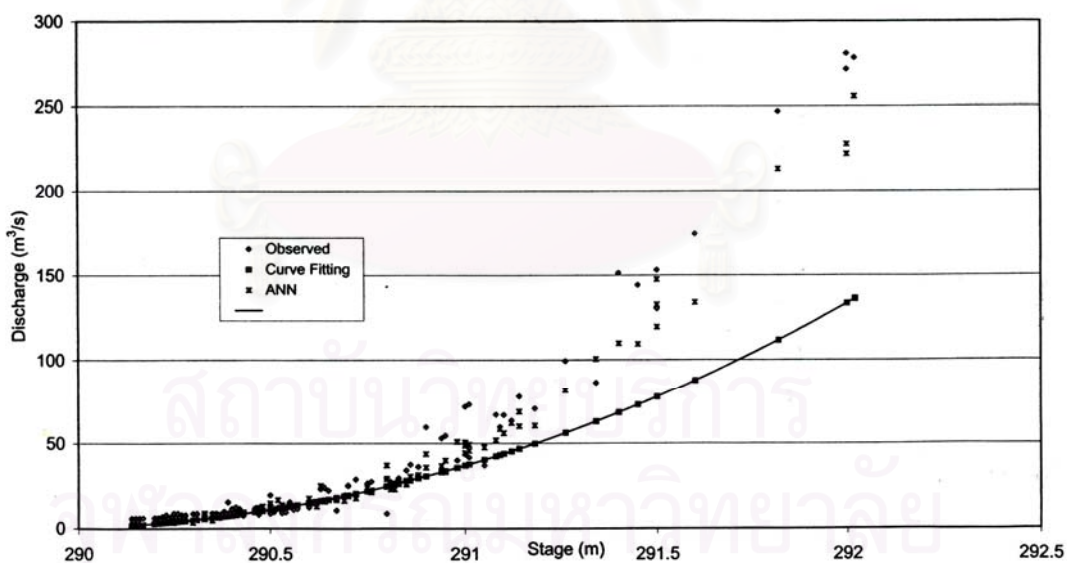
รูปที่ 2-4 โครงสร้างของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Tawfik et al.(1997)



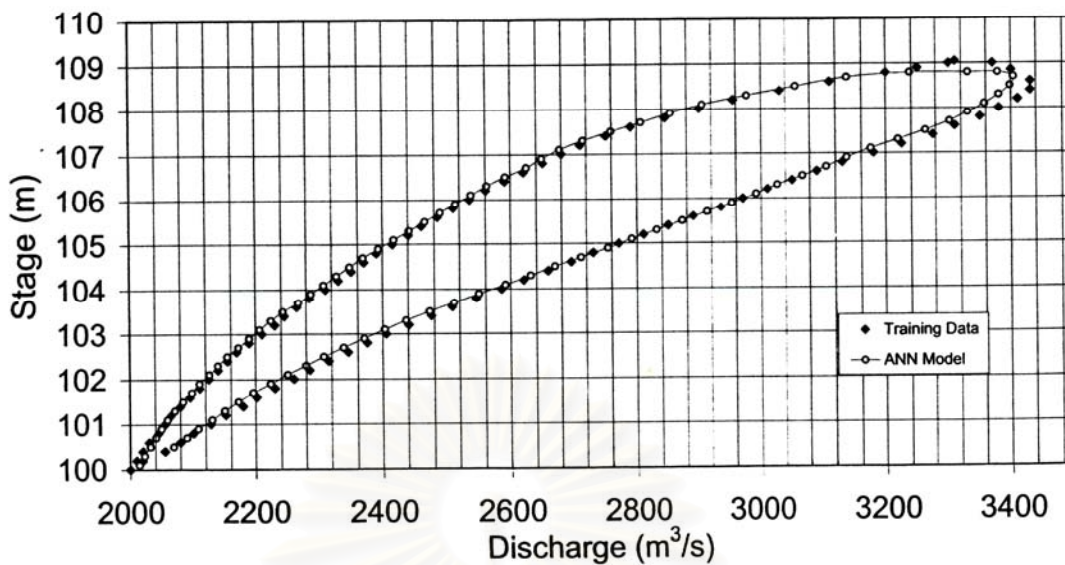
รูปที่ 2-5 โครงสร้างของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาของ Bhattacharya และ Solomatine (2000)



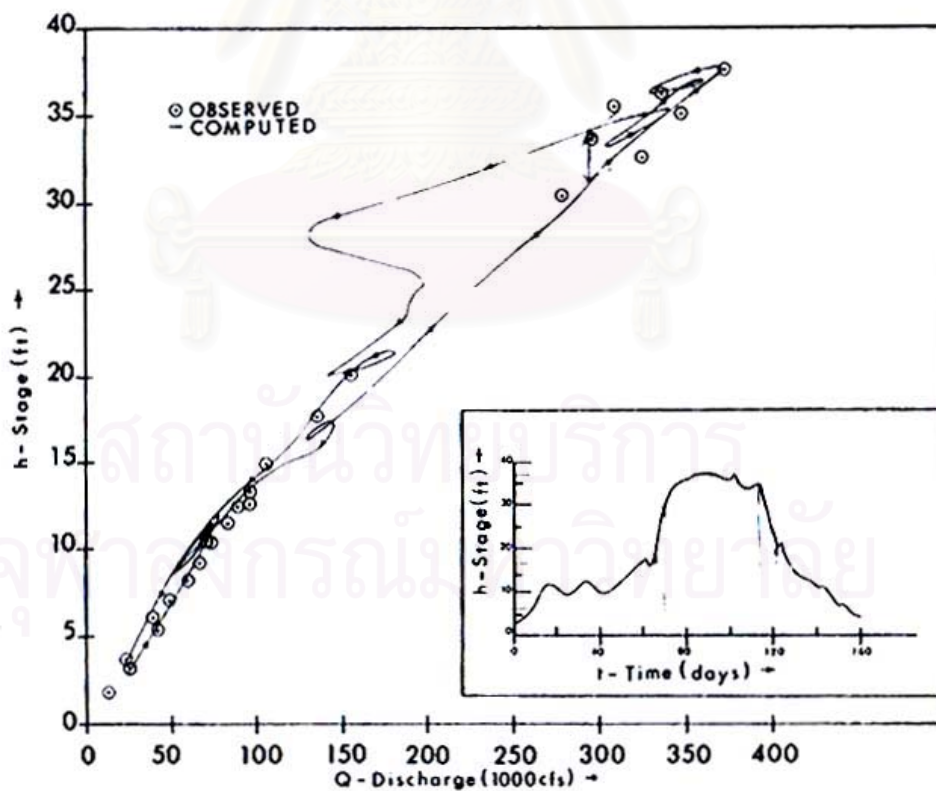
รูปที่ 2-6 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่สถานี Jatnara
ในการศึกษาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000)



รูปที่ 2-7 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่สถานี Satrana
ในการศึกษาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000)



รูปที่ 2-8 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล จากวงรอบสมมุติในการศึกษาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000)



รูปที่ 2-9 ผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ในการศึกษาของ Fread (1973)

Jain (2001) ศึกษาถึงความสัมพันธ์ ระหว่าง อัตราการไหล - ระดับน้ำ - ความเข้มข้นของตะกอนของแม่น้ำ Mississippi ที่สถานี Thebes และ สถานี Chester โดยการให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Backpropagation เปรียบเทียบกับการใช้โค้งความสัมพันธ์ในแบบเดิม โดยให้แบบจำลองมีเอาต์พุต 2 ค่าด้วยกัน คือค่าอัตราการไหลที่เวลาปัจจุบัน (Q_t) และค่าความเข้มข้นของตะกอน (S_t) ในการศึกษากำหนดตัวแปรนำเข้าด้วยวิธีการลองผิดลองถูก 5 แบบจำลอง ผลจากการศึกษาพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมนั้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าในการทำการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล - ระดับน้ำ - ความเข้มข้นของตะกอน และผลจากการใช้เส้นโค้งความสัมพันธ์ จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดตรงยอดน้ำสูงสุด (peak) โดยผลสรุปตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม ในการใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์อัตราการไหล - ระดับน้ำ - ความเข้มข้นของตะกอน สำหรับทั้ง 2 สถานีคือ $H_t, H_{t-1}, Q_{t-1}, Q_{t-2}, S_{t-1}$ และ S_{t-2}

1.0.0 การใช้ในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำอื่นๆ

French et al. (1992) ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN แบบ 3 ชั้นทำนายความเข้มของฝนล่วงหน้า 1 ชั่วโมง การศึกษาทำโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น ตารางขนาด 25×25 หน่วย ซึ่งมีระยะห่างกัน 4 กิโลเมตร และตัวแปรนำเข้าที่ใช้ คือ ความเข้มของฝนที่เวลาปัจจุบัน ในแต่ละช่องโดยจะมีจำนวนทั้งสิ้น 625 โหนด (25×25) ซึ่งมาจากแบบจำลองน้ำฝน และ ส่วนของผลลัพธ์แบบจำลอง คือ ความเข้มของฝนที่เวลาล่วงหน้าไป 1 ชั่วโมง ซึ่งจะมีจำนวนโหนดเป็น 625 โหนดเช่นกัน นอกจากนี้การศึกษายังเปรียบเทียบจำนวนของชั้นแอบแฝงเป็น 15 30 45 60 และ 100 โหนด ผลการศึกษาที่ได้พบว่าแบบจำลอง ANN จะให้ผลในช่วงของการเรียนรู้ดีกว่าแบบจำลองอื่นๆ ไม่มากนักและในช่วงของการทดสอบแบบจำลอง ANN ยังให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งนอกจากนี้ยังพบว่า แบบจำลอง ANN จะสามารถให้ผลที่ดีได้นั้นต้องมีการใช้จำนวนของโหนดที่มากพอ (อ้างอิงจาก ASCE, 2000)

Zhang et al. (1994) ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ที่ใช้การเรียนรู้แบบ Backpropagation ในการทำนายความต้องการของการใช้น้ำรายวัน โดยผู้ศึกษาให้ความคิดเห็นต่อปริมาณของการใช้น้ำ ว่ามีการเกี่ยวข้องกับตัวแปรหลายตัวแปร ในลักษณะที่ไม่เชิงเส้น สำหรับตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ปริมาณน้ำที่ส่งให้กับผู้ใช้ที่เวลาย้อนหลัง ค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ภูมิอากาศ ความเข้มของฝน และประเภทของวัน (วันหยุด กับ วันปกติ) โดยการนำเข้าของตัวแปรมีการกำหนดดังนี้ ภูมิอากาศ กำหนดให้ค่า 0, 0.5 และ 1 แทนภูมิอากาศแบบวันมีแดด วันที่มีเมฆมากและวันที่ฝนตก เช่นเดียวกันกับข้อมูลฝน กำหนดให้ค่า 0, 0.5, และ 1 แทน

ช่วงของความเข้มข้น เป็น $(0,1),(1,5),(5,\alpha)$ มม./วัน ตามลำดับ และตัวแปรนำเข้าที่เป็นประเภทของวันกำหนดให้ 0 เป็นวันหยุด และ 1 เป็นวันปกติ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าแบบจำลอง ANN สามารถที่จะเรียนรู้รูปแบบความต้องการของการใช้น้ำได้ (อ้างอิงจาก ASCE, 2000)

Maier และ Dandy (1996) ศึกษาถึงประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ในการประมาณหาค่าความเค็มที่สะพาน Murray ซึ่งตั้งอยู่แม่น้ำ Murray ประเทศออสเตรเลีย โดยที่แบบจำลองจะต้องทำนายได้ล่วงหน้าเป็นเวลา 14 วัน จึงจะสามารถวางแผนการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษานี้คือ ค่าความเค็มรายวัน ค่าระดับน้ำ และค่าอัตราการไหลของสถานีที่อยู่ทางด้านเหนือที่เวลาย้อนหลัง โดยแบบจำลองที่ใช้มีชั้นแอบแฝงจำนวน 2 ชั้น ซึ่งพบว่าค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนโหนดชั้นแอบแฝงที่ 1 และแอบแฝงที่ 2 มีค่าที่เหมาะสมเป็น 1 : 3 ในส่วนของผลการทำนายพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้มีเปอร์เซ็นต์ของค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.3 - 7.3% และผลกระทบจากการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้และโครงสร้างที่แตกต่างกันนั้นจะมีผลกระทบเพียงเล็กน้อย (อ้างอิงจาก ASCE, 2000)

Sudheer, Gosain และ Ramasastri (2003) ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN แบบ Radial – Basis Function (RBF) ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของข้าวยาววัน โดยผลที่ได้ถูกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริง และตัวแปรนำเข้าที่ใช้ศึกษาคือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และช่วงเวลาที่มืดแสงแดด ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้อินพุตโหนดจำนวนน้อย โครงข่ายที่เหมาะสมจะใช้จำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงที่มากขึ้น และตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม คือ ค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยเพียงค่าเดียว โดยเมื่อใช้ตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเข้าไปไม่ส่งผลให้แบบจำลองเพิ่มประสิทธิภาพขึ้น ซึ่งผู้ศึกษาได้ให้ความเห็นว่าเป็นผลเนื่องจากข้อมูลทางด้านภูมิอากาศยังมีไม่สมบูรณ์ และควรจะมีศึกษาถึงชนิดของพืช สถานที่ และฤดูกาลเพิ่มเติมอีก

Suen และ Eheart (2003) ศึกษาถึงการประเมินการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ในการจำลองความเข้มข้นของไนเตรต ในแม่น้ำ Sangamon ที่รัฐ Illinois การศึกษาทำการเปรียบเทียบกับผลการใช้แบบจำลองทั้ง 4 แบบ คือ แบบจำลอง ANN 2 แบบ คือ Back Propagation Neural Networks (BPNNs) กับ Radial Basis Function Neural Networks (RBFNNs) และแบบจำลอง soil and water assessment tool (SWAT) กับแบบจำลอง Regression โดยตัวแปรนำเข้าที่ใช้แบบจำลองประกอบด้วย ข้อมูลฝน อุณหภูมิ ค่าอัตราการไหลรายวัน และค่าของวัน (1-365) ซึ่งใช้เนื่องจากการใช้ปุ๋ยของแต่ละช่วงใน 1 ปีนั้นจะไม่เท่ากัน การศึกษาใช้ข้อมูลในการเรียนรู้ 4 ปี และอีก 4 ปีใช้สำหรับการทดสอบ ในการศึกษาที่ 1

และการศึกษาที่ 2 ทำโดยเอาปีที่ เป็นเลขคี่มาใช้ในการเรียนรู้และปีที่ เป็นเลขคู่มาใช้สำหรับการทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง ANN ให้ผลที่ดีกว่าแบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง Regression โดยการใช้ BPNNs ให้ผลที่ดีกว่า RBFNNs แต่ใช้เวลาในกระบวนการเรียนรู้ที่นานกว่า

1.0 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

Corbett (1943) กล่าวถึงผลกระทบจาก backwater และ สภาวะการไหลที่ไม่คงตัวที่มีต่อกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยการวิเคราะห์จากสมการพลังงาน ซึ่งสรุปว่าผลกระทบจาก backwater จะมีนัยสำคัญที่มากกว่า เทอมของสภาวะการไหลไม่คงตัว ที่ซึ่งมีค่าน้อยมากและสามารถละทิ้งได้

Simons และ Richardson (1962) กล่าวว่า ลักษณะการไหล รูปแบบของความขรุขระที่ท้องน้ำ และอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล มีผลกระทบต่อความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล สำหรับแม่น้ำที่ท้องน้ำเป็นพวกตะกอน นอกจากนี้ Simons (1973) กล่าวว่า ค่าอัตราการไหลค่าหนึ่ง ค่าระดับน้ำอาจจะไม่ได้มีเพียงค่าเดียว ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับ การทับถม การกัดเซาะ ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของน้ำหลาก หรือการเปลี่ยนแปลงของความลาดชันเส้นพลังงาน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงค่าของความขรุขระที่ท้องน้ำ

Graf (1984) กล่าวถึงผลกระทบของ รูปร่างของท้องน้ำ ที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหล โดยแนะนำว่าความสัมพันธ์ที่ไม่ต่อเนื่อง หรือความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นวงรอบ อาจจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของท้องน้ำ

Fread (1973) ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์จำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ในลักษณะที่เป็นวงรอบ โดยใช้สมการ การไหลที่ไม่คงตัวแบบ 1 ทิศทาง กับสมการของ Manning ซึ่งแบบจำลองใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าของระดับน้ำ ค่าความลาดชันของท้องน้ำ หน้าตัดการไหล และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองยังมีสมมุติฐานเช่น ต้องไม่มีการไหลเข้าทางด้านข้าง ค่าความกว้างของแม่น้ำต้องมีค่าคงที่ตามระยะทาง การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานอธิบายได้ด้วยสมการของ Manning และการไหลที่เกิดขึ้นถูกควบคุมด้วยความลาดชันของท้องน้ำ รูปร่างหน้าตัด ความเสียดทาน และลักษณะของ คลื่นน้ำหลาก ผลการศึกษาการใช้แบบจำลองให้ผลที่ได้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2-9

Westphal, Thompson, Stevens และ Strauser (1999) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลที่ตอนกลางของแม่น้ำ Mississippi จำนวน 4 สถานีด้วยกันคือ St.Louis, Capa Girardeau, Chester และ Thebes ในช่วงน้ำหลากของปี 1993 การศึกษาทำโดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 4 สถานี เมื่อเทียบที่ค่าระดับเดียวกันแล้วอัตราการไหลจะมีค่าที่แตกต่างกันอยู่ในช่วงประมาณ 6.4 - 8.3% ดังนั้นจึงสรุปว่าหากในกรณีที่เกิดน้ำหลาก การใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลจะให้ค่าความผิดพลาดที่มีนัยสำคัญ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

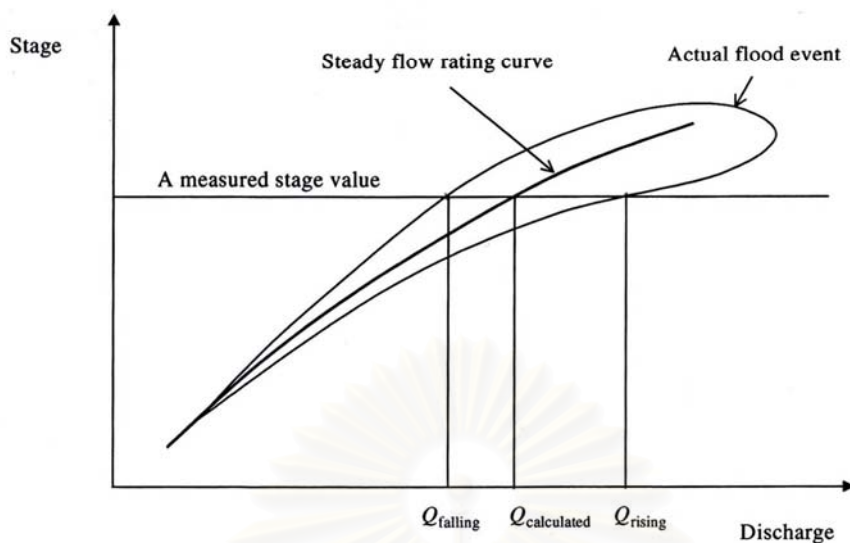
ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

การคำนวณหาค่าอัตราการไหลจากระดับน้ำนั้นถือเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ โดยวิธีที่ถือปฏิบัติกันมาแต่เดิมนั้นคือการใช้วิธีสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล (rating curve) ซึ่งเป็นการสร้างความสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างค่าของระดับน้ำและอัตราการไหล เนื่องจากในทางปฏิบัติค่าของระดับน้ำสามารถเก็บข้อมูลได้ง่ายและเก็บได้ต่อเนื่องทุกวัน แต่ในสภาพจริงนั้นความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับอัตราการไหลไม่ได้อยู่ในรูปแบบของกราฟ แต่จะเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขและตัวแปรต่างๆที่มีความสลับซับซ้อนและมีการแปรเปลี่ยนไปตามเวลา

3.1.1 ลักษณะปัญหาของชลศาสตร์แม่น้ำและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

งานประจำของการเก็บข้อมูลของแม่น้ำส่วนใหญ่ นั่นคือ ค่าของระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำ ซึ่งค่าของระดับน้ำมีความสำคัญทั้งในสถานะที่เกิดน้ำหลาก ในเรื่องของการเตือนภัย และ สภาพวะปกติซึ่งใช้ค่าของระดับน้ำให้เปลี่ยนเป็นข้อมูลของอัตราการไหล โดยอาศัยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับอัตราการไหล จากการเก็บข้อมูลของอัตราการไหลที่ได้มาจากการวัดจริงโดยใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า current meter วัดข้อมูลความเร็วของแม่น้ำเป็นจุดๆ ตลอดหน้าตัด ซึ่งก็จะสามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้จากค่าระดับที่วัดในเวลาเดียวกัน และการสร้างกราฟจะทำได้ขึ้นเมื่อได้ข้อมูลระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลที่มากพอ มาพล็อตลงกระดาษแล้วลากเส้นโค้งเพื่อให้เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งต้องใช้สมมุติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลต้องมีเพียงรูปแบบเดียว (unique rating curve) ดังแสดงในรูปที่ 3-1 โดยกราฟที่ได้นี้จะถูกใช้ในอนาคต เมื่อทราบค่าของระดับน้ำซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวัดเป็นงานประจำ ก็จะสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นค่าของอัตราการไหลตามความสัมพันธ์ของกราฟ ดังค่าของ $Q_{\text{calculated}}$ ที่แสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

ที่มา : Fenton และ Keller (2001)

อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาของการใช้ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (Fenton และ Keller ,2001)

- 1) โดยทั่วไปในสภาพของความเป็นจริง สมมุติฐานของความสัมพันธ์ที่เป็นแบบเฉพาะตัว (unique) ระหว่างค่าของระดับน้ำและอัตราการไหล นั้นไม่มีอยู่จริง
- 2) การทำการวัดค่าอัตราการไหลในขณะที่เกิดน้ำหลากนั้น ทำได้ยากดังนั้นคุณภาพของข้อมูลที่ปริมาณการไหลสูงๆ ซึ่งอยู่ตรงปลายของ โค้งอัตราการไหล จะไม่ค่อยดี หรือบางครั้งไม่มีการเก็บข้อมูลเนื่องจากทำการเก็บข้อมูลได้ยากและเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน
- 3) การสร้างเส้นโค้งที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ที่ดีนั้น ต้องใช้จำนวนข้อมูลที่มาก และ บางครั้งต้องใช้ในการต่อขยายโค้งอัตราการไหลออกไปเพื่อให้ได้ค่าอัตราการไหลที่ระดับน้ำสูงๆ หากไม่ได้ทำการเก็บข้อมูล

มีองค์ประกอบหลายอย่างที่ อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้โค้งอัตราการไหลนั้นไม่ได้ให้ค่าอัตราการไหลที่ถูกต้อง โดยบางองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่ง Boyer (1964) ได้อธิบายถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่จะมีผลต่อโค้งอัตราการไหล หรือที่ใช้คำว่า "shifting control" โดยองค์ประกอบต่างๆนั้นมีดังต่อไปนี้

- 1) การเปลี่ยนแปลงของลำน้ำอันเป็นผลมาจาก ทั้งการขุดลอก การก่อสร้างสะพานในลำน้ำ หรือมีพวงวัชพืชขึ้นตามลำน้ำ

2) การเคลื่อนที่ของตะกอน เมื่อท่อน้ำมีการเคลื่อนที่ จะมีผลกระทบต่อเหตุการณ์ที่เกิดน้ำหลากแบบลูกเดียว (single flood) เพราะค่าของความขรุขระที่ท่อน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำหลากเคลื่อนที่ผ่าน โดยขณะที่ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น รูปร่างของท่อน้ำจะใหญ่ขึ้นและค่าของความขรุขระประสิทธิผล ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นแรงเสียดทานของลำน้ำหลังจากที่น้ำหลากเคลื่อนตัวผ่านจะมีค่ามากกว่า ตอนก่อนหน้านั้น อันเป็นผลทำให้ค่าของอัตราการไหลหลังจากน้ำหลากเคลื่อนที่ผ่าน มีค่าน้อยกว่าอัตราการไหลก่อนหน้าการเกิดน้ำหลากเมื่อเทียบที่ระดับเดียวกัน ซึ่งอาจทำให้เกิดสถานะที่โค้งอัตราการไหลมีลักษณะเป็นวงรอบ (loop) ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ซึ่งต่อมาได้มีการศึกษาถึงเรื่องนี้เพิ่มเติมขึ้นโดย Simons และ Richardson

3) ผลจาก Backwater effect หรือ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านท้ายน้ำเช่นการก่อสร้างเขื่อน หรือมีน้ำหลากเคลื่อนตัวเข้ามาในทางน้ำ (waterway) ที่อยู่ด้านท้ายน้ำ

4) สภาพะของการไหลไม่คงตัว โดยทั่วไปแล้วอัตราการไหลจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในช่วงของน้ำหลาก และรวมทั้งค่าความลาดชันของผิวน้ำ โดยจะมีค่าที่แตกต่างกันระหว่างช่วงที่อัตราการไหลกำลังเพิ่ม กับช่วงที่อัตราการไหลกำลังลดลง เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ระดับเดียวกัน เหตุการณ์เช่นนี้เป็นผลมาจากที่ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำมีลักษณะเป็นวงรอบดังแสดงในรูปที่ 3-1

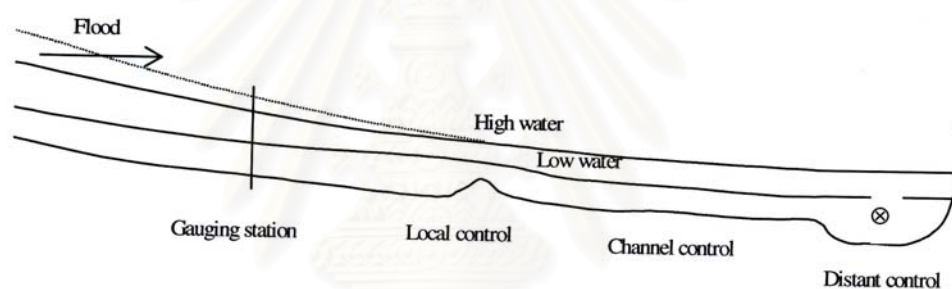
5) มีการเปลี่ยนแปลงความจุของลำน้ำ (variable channel storage) ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่อัตราการไหลของน้ำมีค่าสูงและน้ำไหลล้นเข้าสู่พื้นที่ราบลุ่ม(flood plain) โดยจะทำให้ค่าความแตกต่างของความลาดชันเพิ่มขึ้นและผลกระทบจากสภาวะการไหลที่ไม่คงตัว เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

6) พวกพีชที่ขึ้นตามลำน้ำต่างๆ มีผลในการเปลี่ยนค่าความขรุขระของลำน้ำและลดความสามารถในการเคลื่อนที่ของน้ำลง ซึ่งทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อวัชพืชตายความสัมพันธ์ระหว่างระดับ- อัตราการไหลจะกลับมาเป็นอย่างเดิมอีกครั้ง

7) น้ำแข็ง ที่ซึ่งองค์ประกอบนี้ไม่มีในประเทศไทย แต่ในพื้นที่ที่มีน้ำแข็งมาปกคลุมหน้าตัดในการไหล จะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงรัศมีทางชลศาสตร์ และ ค่าของความขรุขระ โดยทำให้พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำมีค่าลดลง ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับการเจริญเติบโตของวัชพืชในลำน้ำที่ทำให้ค่าระดับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลมีค่าเท่าเดิม และกราฟจะกลับมาเป็นรูปเดิมเมื่อน้ำแข็งละลายหมดแล้ว

การตั้งสถานีเพื่อใช้วัดระดับน้ำโดยทั่วไปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-2 ซึ่งเป็นภาพตัดขวางตามแนวยาว ทางด้านท้ายน้ำของสถานีวัดอาจมีลักษณะภูมิประเทศท้องถิ่น (local topography) เป็นตัวควบคุมแบบ local control โดยอาจเป็นพวกโขดหินหรือฝาย ซึ่งจะควบคุมในช่วงอัตราการ

ไหลที่มีค่าน้อยและค่าของอัตราการไหลนี้จะมีความสัมพันธ์กันกับค่าของระดับน้ำเหนือตัวควบคุม ส่วนในช่วงที่อัตราการไหลมีค่าสูงนั้น ผลกระทบจาก local control จะมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่การควบคุมจะขยายกว้างขึ้นเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดในลำน้ำนั้น และถ้าความยาวของทำนบน้ำมีความยาวที่มากพอ ก่อนที่จะเจอกับ local control หรือทางน้ำอื่น หน้าตัดการไหลของทางด้านท้ายจะกลายเป็นตัวควบคุมเอง ซึ่งตัวควบคุมนี้จะเกี่ยวกับความเสียดทานในตัวลำน้ำ และจะเป็นตัวสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าของอัตราการไหล ค่าความลาดชันในลำน้ำ ค่าของระดับน้ำ รูปร่างของลำน้ำ และ ค่าของความขรุขระ อย่างไรก็ตามหากทางด้านท้ายน้ำมีแม่น้ำที่มีขนาดใหญ่ หรือ ทะเล ก็จะมีผลต่อตัวควบคุมด้วยเช่นกัน ดังแสดงเป็น distant control ในรูปที่ 3-2 แต่ในทางปฏิบัติจริงๆแล้ว จะไม่สามารถทราบธรรมชาติของตัวควบคุมที่แน่ชัดได้ (Fenton และ Keller , 2001)



รูปที่ 3-2 ภาพตัดตามยาวของแม่น้ำแสดงถึงตัวควบคุมต่างๆที่ระดับน้ำแตกต่างกันและการเคลื่อนตัวของน้ำหากไปทางท้ายน้ำ ที่มา : Fenton และ Keller (2001)

หากพิจารณาแนวคิดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล แล้วพบว่าผลกระทบของสภาวะการไหลที่ไม่คงตัว หรือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามเวลา จะถูกละทิ้งไป และเมื่อพิจารณา ในกรณีที่เกิดน้ำหลากค่าของความลาดชันของผิวน้ำจะมีค่าที่แตกต่างจากสภาพ ที่ระดับน้ำอยู่นิ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าขณะนั้นอัตราการไหลกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นหรือ ลดลง ในรูปที่ 3-2 แสดงให้เห็นถึงความลาดชันของผิวน้ำที่เพิ่มขึ้น ขณะที่น้ำหลากกำลังเคลื่อนที่เข้าหาสถานีวัด โดยขณะที่น้ำหลากกำลังเพิ่มขึ้น ความลาดชันของผิวน้ำในแม่น้ำจะมีค่าที่มากกว่า ความลาดชันในตอนที่เป็น สภาวะการไหลแบบคงตัว (steady flow) เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับเดียวกัน ซึ่งก็หมายถึงว่าปริมาณน้ำที่มากกว่าไหลลงผ่านสถานีมากกว่าค่าที่จะประมาณได้จากกราฟ ซึ่งผลกระทบจากที่กล่าวมานี้สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 3-1 จะเห็นว่าค่าอัตราการไหลในตอนนี้น้ำขึ้น

Q_{rising} จะมากกว่าค่าที่อ่านได้จากกราฟ เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับเดียวกัน และเมื่อค่าระดับน้ำลดลง ค่าของความลาดชันระดับน้ำและค่าอัตราการไหลจะลดลงตามไปด้วย

ผลกระทบจากที่กล่าวมานี้ถือเป็นสิ่งสำคัญเพราะค่าอัตราการไหลที่สูงที่สุด จะถูกประมาณด้วยค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ในระหว่างช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำหลาก อันเนื่องมาจากค่าระดับน้ำสูงสุด ไม่ใช่เป็นค่าของอัตราการไหลที่สูงที่สุด ซึ่งนอกจากนี้การประมาณเวลาในการเข้ามาของน้ำหลากจะเกิดความผิดพลาดขึ้นตามมาด้วย อันจะส่งผลกระทบต่อระบบการเตือนภัยทำให้การแจ้งเตือนเกิดความผิดพลาดขึ้น

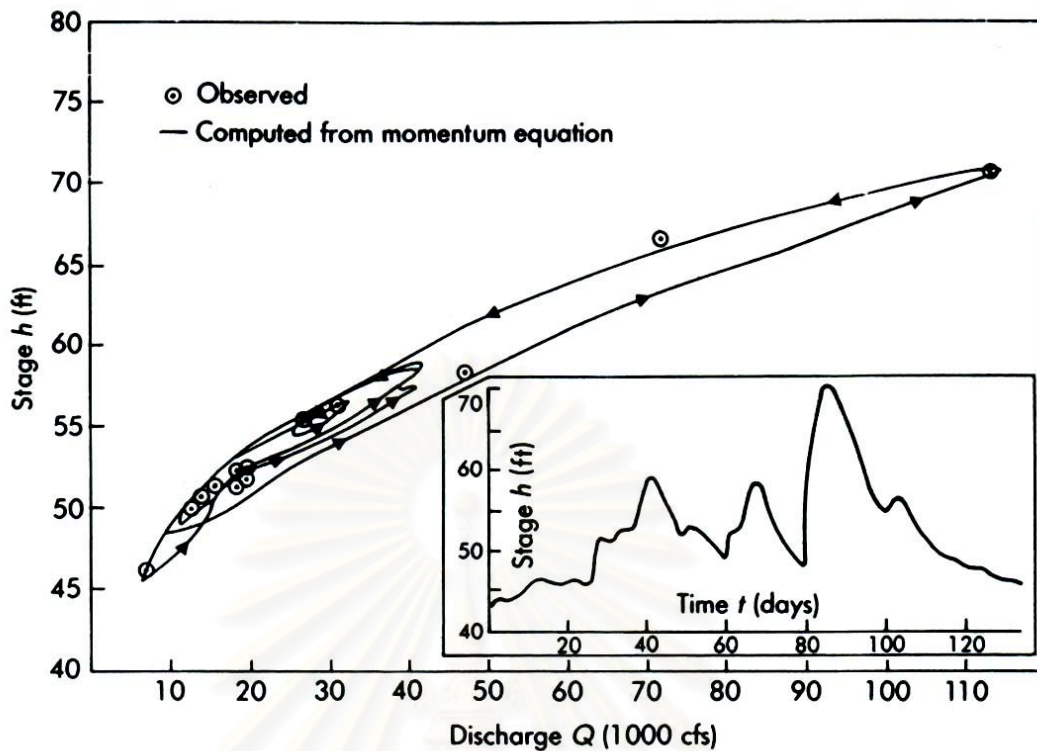
3.1.2 ลักษณะวงรอบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

ลักษณะของวงรอบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-อัตราการไหล สามารถแสดงและอธิบายเพิ่มได้อีกตัวอย่าง ในรูปที่ 3-3 และ 3-4 จาก Bedient และ Huber (1988) ซึ่งได้อธิบายว่า ถ้าหากกราฟน้ำท่ามียอดอัตราการไหลสูงสุดหลายค่าด้วยกัน (multiple peak) ความสัมพันธ์ที่ได้นั้นจะ มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3-3 และวงรอบตามทฤษฎีสำหรับกราฟน้ำท่าที่มีการขึ้นลงของน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและมียอดอัตราการไหลสูงสุดเพียงยอดเดียว (single - peak hydrograph) แสดงได้ดังรูปที่ 3-4 โดยระหว่างช่วงน้ำขึ้นลักษณะความชันของผิวน้ำจะมีทิศทางเดียวกันกับความลาดชันของท้องน้ำซึ่งทำให้เป็นการเร่งอัตราการไหล และในช่วงเวลานี้ค่าของความลาดชันผิวน้ำ $\partial y/\partial x$ จะมีค่าติดลบในสมการของโมเมนต์ แต่หลังจากน้ำหลากเคลื่อนตัวผ่าน ค่าของความลาดชันผิวน้ำ $\partial y/\partial x$ จะมีค่าที่เป็นบวก ซึ่งจะทำให้ไปลดค่าของอัตราการไหล

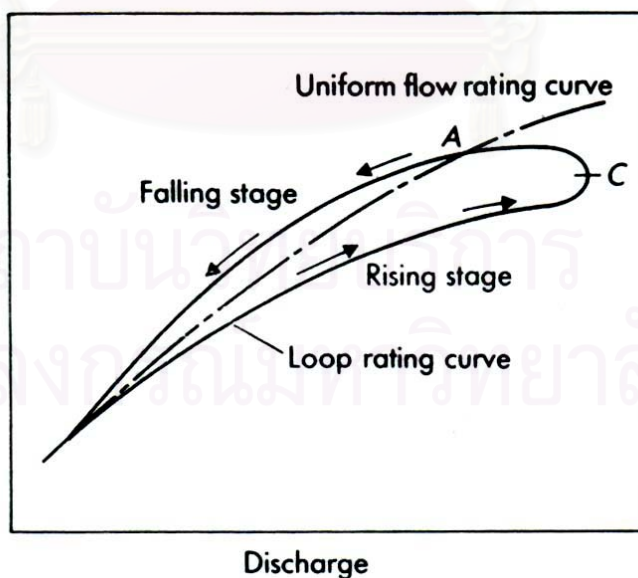
Bedient และ Huber (1988) อธิบาย ผลกระทบจากค่าของความลาดชันระดับน้ำ ที่มีต่อค่าของอัตราการไหลสามารถประมาณได้จากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่เกิดขึ้น โดยที่หากพิจารณาจากสมการโมเมนต์แบบไร้นหน่วยของ Henderson(1966) ดังแสดงในสมการที่ 3-1

$$Q = Q_0 \left(1 - \frac{1}{S_0} \left(\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{qv}{gy} \right) \right)^{1/2} \quad (3-1)$$

ซึ่งหากใช้เฉพาะที่เทอมของความลาดชัน สมการที่ได้จะเป็นดังสมการที่ 3-2



รูปที่ 3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ของแม่น้ำ Red , Louisiana
ที่มา : Bedient และ Huber (1988)



รูปที่ 3-4 วงรอบความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลตามทฤษฎี
ที่มา : Henderson (1966) (อ้างอิงจาก Bedient และ Huber ,1988)

$$\frac{Q}{Q_0} = \sqrt{1 - \frac{1}{S_0} \frac{\partial y}{\partial x}} \quad (3-2)$$

โดยที่ Q_0 คือ อัตราการไหลภายใต้สภาวะการไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow)

S_0 คือ ค่าความลาดชันท้องน้ำ

และค่าของ $\partial y / \partial x$ หรือ ความลาดชัน สามารถประมาณได้จากสมการ kinematic wave ดังแสดงในสมการที่ 3-3

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{1}{c} \frac{\partial y}{\partial t} \quad (3-3)$$

โดยที่ c คือ kinematic wave celerity ซึ่งเมื่อแทนลงในสมการที่ 3-2 จะได้สมการใหม่ที่เรียกว่า “ Jones' formula “ ดังแสดงในสมการที่ 3-4

$$\frac{Q}{Q_0} = \sqrt{1 + \frac{1}{S_0 c} \frac{\partial y}{\partial t}} \quad (3-4)$$

จากสมการ ที่ 3-4 จะเห็นได้ว่า อัตราการไหลจริง ในช่วงของน้ำขึ้น ($\partial y / \partial t > 0$) จะมีค่ามากกว่าอัตราการไหลที่เป็นแบบสม่ำเสมอ แต่จะมีค่าที่น้อยกว่าในช่วงของน้ำลง ซึ่งจะทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นวงรอบ ดังแสดงเช่นในรูปที่ 3-4 โดยที่จุด C จะเป็นจุดที่เกิดอัตราการไหลที่สูงสุด และที่จุด A เป็นจุดที่มีค่าของระดับน้ำสูงสุด ดังนั้นหากผู้สังเกตยืนอยู่บนตลิ่งแล้วมองดูน้ำหลากที่เคลื่อนตัวเข้ามา จะเห็นค่าอัตราการไหลสูงสุด ก่อน ค่าระดับน้ำจะขึ้นสูงสุด

3.1.3 ปัจจัยควบคุมความสัมพันธ์ระดับ - อัตราการไหล

Rantz (1982) ได้อธิบายว่าลักษณะทางกายภาพที่ควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหล หรือที่เรียกว่า “Control” อาจจะมีแค่องค์ประกอบ (element) เดียวหรือมีหลายองค์ประกอบมารวมกัน การแบ่งประเภทของตัวควบคุมนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ 1) หน้าตัดควบคุม (section - control) 2) ลำน้ำควบคุม (channel control) ส่วนการแบ่งประเภทแบบอื่นอาจแบ่งได้เป็นตัวควบคุมธรรมชาติ (natural control) และ ตัวควบคุมจากฝีมือมนุษย์ (artificial control) อันหมายถึงโครงสร้างที่มนุษย์เป็นผู้ทำขึ้นเพื่อควบคุมความสัมพันธ์ของระดับ - อัตราการไหล แต่ในส่วนของพวกสะพานข้ามแม่น้ำที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวควบคุม จะไม่จัดอยู่ในประเภทนี้

การแบ่งประเภทของการควบคุมแบบสุดท้ายคือการแบ่งออกเป็นการควบคุมแบบสมบูรณ์ (complete control) แบบผสม (compound control) และแบบควบคุมบางส่วน (partial controls)

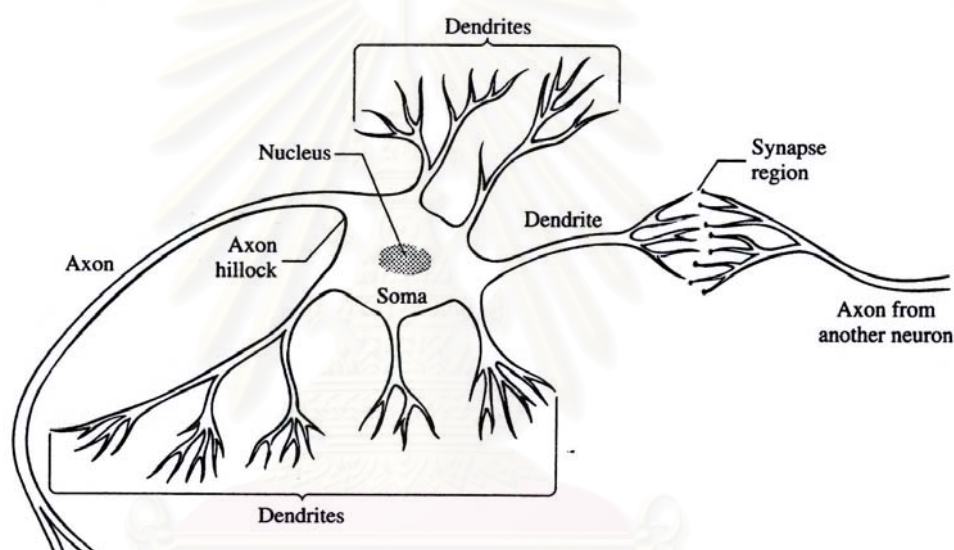
หน้าตัดควบคุม จะเกิดขึ้นเมื่อรูปทรงของหน้าตัดการไหล มีลักษณะที่แคบลง (constrict) หรือ ความลาดชันของท้องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงโดยหักลง (downward) อย่างรวดเร็วที่หน้าตัดนั้น โดยหน้าตัดควบคุมการไหลนี้ต้องอยู่ทางด้านท้ายน้ำที่ไม่ไกลจากสถานีมากนัก ซึ่งลักษณะที่หน้าตัดการไหลมีการหดแคบลง อาจเป็นลักษณะของร่องน้ำธรรมชาติ (nature riffle) หรือการไหลของหิน (outcrop) จากท้องน้ำ การสร้างฝายหรือเขื่อน หรือ เป็นผลมาจากความกว้างที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากธรรมชาติเอง และ การรูก้ำเข้าไปในลำน้ำของมนุษย์ เช่น การสร้างสะพาน ที่ซึ่งทำให้หน้าตัดการไหลของน้ำมีขนาดลดลงจากเดิม โดยตัวอย่างของลักษณะที่ความลาดชันของท้องน้ำหักลงอย่างรวดเร็ว คือ ลักษณะของ น้ำตก

ในส่วนของ การควบคุมโดยลำน้ำนั้นจะประกอบไปด้วยลักษณะทางกายภาพหลายๆ ลักษณะ รวมกัน ซึ่งลักษณะทางกายภาพเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดว่า ที่ค่าระดับน้ำเท่านี้จะมีค่าของอัตราการไหลจะเป็นเท่าไร ตัวอย่างของลักษณะทางกายภาพเหล่านี้ได้แก่ ขนาดของตัวลำน้ำ ค่าของความลาดชัน ความขรุขระ การวางตัวของลำน้ำ ช่วงที่ลำน้ำหดตัว - ขยาย รวมทั้งรูปร่างของตัวลำน้ำเองอีกด้วย ช่วงของลำน้ำที่มีลักษณะเป็นตัวควบคุมนี้จะมีความยาวของการควบคุมที่เพิ่มขึ้นเมื่อ อัตราการไหลมีค่าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะใหม่ๆ ที่มีผลต่อความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหล นอกจากนี้มีการกล่าวกันว่า ลำน้ำที่มีลักษณะราบกว่า การควบคุมของลำน้ำก็จะยาวกว่าตามไปด้วย

การควบคุมอย่างสมบูรณ์ (complete control) หมายถึง ตัวควบคุมที่สามารถควบคุมความสัมพันธ์ของระดับน้ำและอัตราการไหลได้ ในทุกช่วงของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ที่เคยเกิดขึ้น ณ สถานีนั้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ตัวควบคุมเพียงชนิดเดียว ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะควบคุมความสัมพันธ์ของระดับน้ำและอัตราการไหลได้ในทุกช่วงของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ดังนั้นการควบคุมที่มักจะเกิดขึ้นจึงเป็นการรวมกันของ ตัวควบคุม (compound control) ไม่ใช่การควบคุมจาก ตัวควบคุมเดี่ยว (single control) ตัวอย่างโดยทั่วไปของการควบคุมแบบผสม เช่น เมื่อระดับน้ำมีค่าต่ำ หน้าตัดควบคุมจะเข้ามามีอิทธิพล แต่ในกรณีที่ระดับน้ำสูงๆ ความสัมพันธ์ของระดับน้ำและอัตราการไหลจะถูกควบคุมโดยลำน้ำ ในบางครั้งการควบคุมแบบผสม อาจจะมาจากการรวมกันของสองหน้าตัดควบคุมกับ ลำน้ำควบคุม คือ หน้าตัดควบคุมทางด้านเหนือน้ำจะเป็นตัวควบคุมที่ระดับน้ำมีค่าต่ำ ส่วนหน้าตัดควบคุมทางด้านท้ายน้ำจะเป็นตัวควบคุม เมื่อระดับน้ำอยู่ในช่วงปานกลางและการควบคุมโดยลำน้ำควบคุมจะเข้ามามีอิทธิพลในช่วงที่ระดับน้ำมีค่าสูง

3.2 แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม (Artificial Neural Networks Model)

โครงข่ายใยประสาทเทียมหรือ ANN นั้นกำเนิดมาจากแนวความคิดในการที่จะเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ Fausett (1994) ได้อธิบายว่าเซลล์ประสาท มีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 3 อย่าง ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเซลล์ประสาทเทียม ซึ่งได้แก่ เดนไดรต์ (dendrite) แอ็กซอน (axon) และ ตัวเซลล์ (cell body or soma) ดังแสดงในรูปที่ 3-5 โดย เดนไดรต์ จะเป็นตัวที่รับสัญญาณ (signal) จากเซลล์ประสาทอื่นๆ จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งผ่านข้าม การเชื่อมต่อที่เรียกว่า ซิแนปส์ (synapse) เมื่อสัญญาณนี้ เข้าสู่กระบวนการประมวลผลในตัวเซลล์แล้วจะได้เป็นเอาท์พุต ผ่านออกมาทาง แอ็กซอน แล้วกลายเป็น อินพุต ให้กับเซลล์ประสาทตัวอื่นต่อไป



รูปที่ 3-5 ลักษณะของเซลล์ประสาทสิ่งมีชีวิต

ที่มา : Chester (1993)

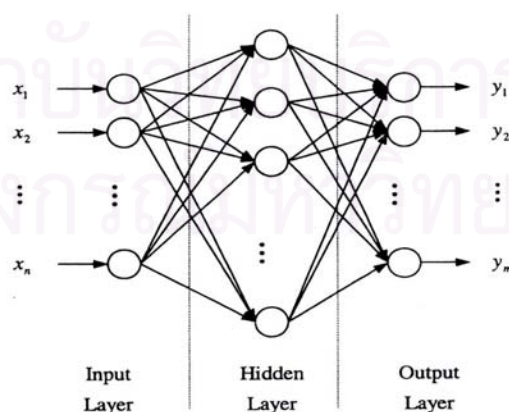
ส่วนของวิธีการประมวลผลภายในตัวเซลล์ประสาะนั้น จะมีจุดที่เชื่อมโยงระหว่างการทำงานเป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ ลักษณะกระตุ้น (excitatory) ซึ่งเป็นการทำให้สัญญาณที่เข้ามา มีความถี่ที่สูงขึ้น และ ลักษณะการยับยั้ง (inhibitory) เป็นการทำงานที่ทำให้สัญญาณมีความถี่ลดลง ในตารางที่ 3-1 จะแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของเซลล์ประสาทมนุษย์ กับ เซลล์ประสาทเทียม รูปร่างของโครงข่ายใยประสาทเทียมแสดงได้ดังรูปที่ 3-6 ซึ่งเป็นรูปร่างของโครงข่ายใยประสาทเทียมแบบ 3 ชั้น โดยจะประกอบไปด้วย ชั้นข้อมูลนำเข้า (input layer) ชั้นแอบแฝงหรือชั้นซ่อน (hidden layer) และชั้นของผลลัพธ์ (output layer) ซึ่งชั้นอินพุตจะรับข้อมูลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องหรือมีผลต่อเอาท์พุต และใน ส่วน

เอาท์พุตจะแสดงถึงค่าที่ต้องการหาหรือทำนาย สำหรับในส่วนของจำนวนโหนด และจำนวนของชั้นแอบแฝง โดยปกติแล้วจะหาด้วยวิธีการลองผิดลองถูก (ASCE,2000)

ลักษณะการเชื่อมต่อของโหนดแต่ละตัวในโครงข่ายนั้น โหนดที่อยู่ในชั้นที่ติดกันจะมีการเชื่อมต่อแบบถึงกันหมด โดยในรูปที่ 3-6 นั้นเป็นการแสดงโครงข่ายแบบ feedforward networks ซึ่งสัญญาณของทุกโหนด จะมีการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าผ่านแต่ละชั้นในโครงข่ายโดยจะไม่มี การเชื่อมต่อโหนด ทางด้านข้างหรือ มีทิศกลับข้างหลัง สำหรับการศึกษานี้ ใช้โครงข่ายที่มีการเรียนรู้แบบ Backpropagation นั้น ถือว่าเป็นโครงข่าย แบบ multilayer feedforward โดยถึงแม้ว่าการเรียนรู้แบบ Backpropagation นั้นจะใช้ค่าความผิดพลาดจากผลลัพธ์ที่ได้ ย้อนมาปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย แต่การทำงานของโครงข่ายยังถือว่าเป็นแบบ feedforward networks (Maren ,1990)

ตารางที่ 3-1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทที่มีชีวิต กับ เซลล์ประสาทเทียม

ลำดับ	เซลล์ประสาทมนุษย์	เซลล์ประสาทเทียม
1	ตัวเซลล์ (cell body)	ยูนิต ,โหนด (unit,node)
2	เดนไดรต์ (dendrite)	ตัวแปรอินพุต (input)
3	แอกซอน (axon)	ตัวแปรเอาท์พุต (output)
4	ไซแนปส์ (synapse)	ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight)
5	ความเร็วในการทำงานช้า	ความเร็วในการทำงานสูง
6	มีเซลล์จำนวนมาก	มีเซลล์จำนวนน้อยกว่า



รูปที่ 3-6 รูปร่างของโครงข่ายใยประสาทเทียมแบบ Feedforward network

ในทางอุทกวิทยาและวิศวกรรมแหล่งน้ำ โครงข่ายใยประสาทเทียมนั้นนิยมถือเป็นแบบจำลองประเภทกล่องดำ (black box) ตามการจำแนกของ Dooge (1974) ซึ่งได้แบ่งแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาไว้ 3 แบบด้วยกัน คือ 1) แบบจำลอง Physically based distributed model 2) แบบจำลอง Lumped conceptual model และ 3) แบบจำลองกล่องดำ ซึ่งการใช้แบบจำลอง 1 และ 2 นั้น Liong Lim และ Paudyal (2000) กล่าวว่าจำเป็นที่จะต้องต้องใช้ข้อมูลทางอุทกวิทยาจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ขนาดพื้นที่ หน้าตัดการไหล ปริมาณฝน โครงข่ายของแม่น้ำ และอัตราการไหล ซึ่งบ่อยครั้งข้อมูลเหล่านี้หาได้ครบถ้วน จึงทำให้เป็นการยากหรือเป็นอุปสรรคต่อการใช้แบบจำลองโดยเฉพาะในขั้นตอนของการปรับเทียบ (calibration) แบบจำลอง ดังนั้นการใช้แบบจำลองลักษณะนี้ สำหรับการคำนวณในระยะยาวจะทำให้เสียเวลา และค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณแบบจำลอง แต่สำหรับแบบจำลอง ANN นั้นมีลักษณะที่น่าสนใจดังที่ มีผู้วิจัยต่างๆได้กล่าวไว้ดังต่อไปนี้

1) Zeidenberg (1990) กล่าวว่า บทบาทของแบบจำลอง ANN นั้นคือ เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่าง รูปแบบของอินพุตกับเอาต์พุตโดยใช้กระบวนการเรียนรู้ เช่น Back propagation ซึ่งต้องใช้ชุดข้อมูลสำหรับการสอน (training set) เพื่อให้แบบจำลองสามารถสร้าง (generalize) เอาต์พุตได้เมื่อมีการกำหนดค่าของอินพุต โดยที่หากปราศจากความสามารถในการสร้าง นี้แล้วแบบจำลอง ANN จะเป็นเพียงแคตาราง (table) อันหนึ่งเท่านั้นซึ่งจะไม่น่าสนใจ

2) Maren (1990) กล่าวว่า โครงข่ายใยประสาทเทียมนั้น เป็นระบบของการคำนวณ ที่ซึ่งเลียนแบบ การทำงานของระบบสมองสิ่งมีชีวิต โดยการทำงานของโครงข่ายจะอาศัยเซลล์ประสาทเทียมในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งการทำงานจะโครงข่ายจะมี 2 ลักษณะคือ ประมวลผลแบบคู่ขนาน (โหนดทุกตัวในชั้นเดียวกัน) และแบบอนุกรม (ข้อมูลออกจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง)

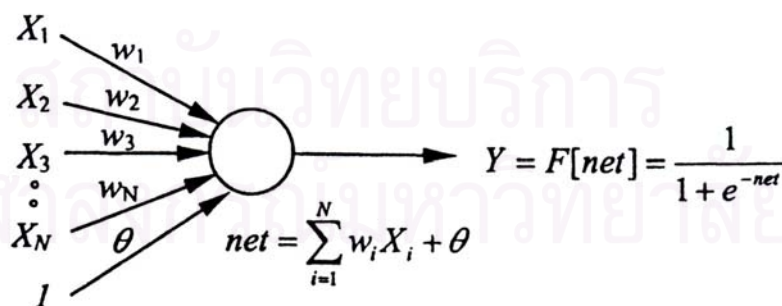
3) ASCE (2000) ได้อธิบายว่า ในทางคณิตศาสตร์แล้ว แบบจำลอง ANN อาจเปรียบได้เสมือนเป็น universal approximator ซึ่งความสามารถของแบบจำลองที่เรียนรู้ (learn) และสร้าง (generalize) “ ความรู้ (knowledge)” จากข้อมูลที่มีอย่างเพียงพอ ทำให้แบบจำลอง ANN นั้นสามารถแก้ปัญหาที่มีความสลับซับซ้อน แต่แบบจำลอง ANN นั้นไม่สามารถที่จะอธิบายให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและผลลัพธ์ ได้อย่างชัดเจน (explicit) แต่จะแสดงออกมาในรูปค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในแบบจำลอง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรนำเข้า และผลลัพธ์ ที่ได้นั้นจะถูกเก็บในรูปของค่าถ่วงน้ำหนัก ที่อยู่ภายในโครงข่าย แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้าใจในระบบอุทกวิทยาที่พิจารณาเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีมาก่อน สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN

ตัวอย่างเช่น การเลือกตัวแปรนำเข้า ให้มีความเหมาะสม กับปัญหา ซึ่งต้องอาศัยความรู้ในเรื่องของลักษณะทางกายภาพ มาใช้ในการกำหนด

4) Tingsanchali (2002) กล่าวว่า แบบจำลอง ANN มีความสามารถที่จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่มีลักษณะไม่เชิงเส้นได้ และมีหลายการศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ของกระบวนการเกิดน้ำท่าจากน้ำฝน แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มีลักษณะที่เป็น กล่องดำ ทำให้ไม่สามารถอธิบายลักษณะของกายภาพที่แท้จริงได้ ซึ่งในการใช้แบบจำลอง ANN นั้นควรจะใช้เป็นลักษณะเอาไว้ตรวจสอบซ้ำ (double-checking) แต่ไม่ใช้การนำไปใช้ แทนที่แบบจำลองทางอุทกวิทยาในแบบเดิม และเนื่องจากแบบจำลอง ANN นั้น ไม่สามารถที่จะมีการเชื่อมต่อกับลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ทำให้ไม่สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงของกราฟน้ำท่าได้ ในกรณีที่ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำมีการเปลี่ยนแปลง เช่น มีการก่อสร้าง การกัดเซาะ หรือ ตกตะกอน ของลำน้ำ เป็นต้น ดังนั้นตัวแบบจำลองจึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ตามเวลาให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มน้ำ

3.2.1 ลักษณะทางคณิตศาสตร์ของ แบบจำลอง ANN

แบบจำลอง ANN ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลซึ่งเรียกว่า โหนด (node) หลายตัวมารวมกัน โดยที่โหนดแต่ละตัวจะมีการเชื่อมต่อกันและกัน การเชื่อมต่อกันของโหนดนั้นจะมีค่าถ่วงน้ำหนักเป็นตัวบอกถึงความแข็งแรง (strength) ของการเชื่อมต่อนั้น ซึ่งเทียบได้กับไซแนปส์ของเซลล์ประสาทสิ่งมีชีวิต รูปที่ 3-7 แสดงโครงสร้างโหนดของ ANN



รูปที่ 3-7 โครงสร้างโหนดของแบบจำลอง ANN

ที่มา : Rumelhart et al. (1986) (อ้างอิงจาก Liong et al., 2000)

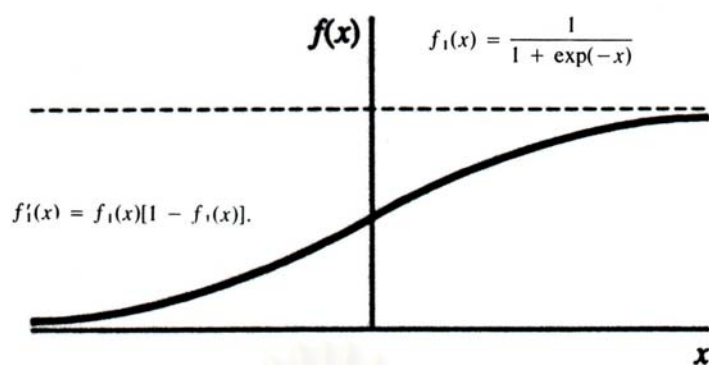
ข้อมูลที่เข้ามายังโหนด ได้มาจากค่าตัวแปรนำเข้า หรือ มาจากผลลัพธ์ของโหนดตัวอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชั้นที่โหนดตัวนี้อยู่ จากรูปที่ 3-7 โหนดจะรับอินพุต X จากโหนดตัวอื่นๆ จากนั้น อินพุตแต่ละตัวจะถูกคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก(w) ตามแนวการเชื่อมต่อระหว่างโหนด ผลลัพธ์ที่ได้ ถูกนำมารวมกันภายในโหนด แล้วบวกด้วยค่าเอนเอียง (bias, θ) ซึ่งจะได้เป็นค่าของ net ตาม รูปที่ 3-7 และสามารถแสดงเป็นสมการได้ตามสมการที่ 3-5 ค่าของผลรวมที่ได้นี้คือ การกระตุ้น (activation) ของโหนด ซึ่ง Chester (1993) ได้อธิบายว่าการกระตุ้นที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นได้ทั้ง บวก ศูนย์ หรือ ลบ ขึ้นกับค่าถ่วงน้ำหนักและ ค่าอินพุต หากค่าถ่วงน้ำหนักโดยช่วยทำให้ผลรวมนี้มีค่า เป็น บวก จะถือว่าการกระตุ้น (stimulus) และถือว่าการยับยั้ง (inhibition) หากทำให้เป็น ค่า ลบ โดยต่อมามีค่าของการกระตุ้นที่ได้จะเข้าสู่ ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) เพื่อหา ผลลัพธ์ซึ่งโดยส่วนใหญ่ใช้เป็น ฟังก์ชัน ซิกมอยด์ (ASCE,2000) ดังแสดงในสมการที่ 3-6 จากนั้น ผลลัพธ์(Y) ที่ได้ก็จะเป็น เอาท์พุตของโหนดนี้ และเป็น ตัวแปรนำเข้าให้กับ โหนดอื่นๆต่อไป

$$net = \sum_{i=1}^N w_i X_i + \theta \quad (3-5)$$

$$Y = F(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (3-6)$$

สำหรับฟังก์ชันกระตุ้น Fausett (1994) กล่าวว่า สำหรับฟังก์ชันกระตุ้นของการเรียนรู้ แบบ Backpropagation ควรจะมีลักษณะที่ต่อเนื่อง สามารถหาอนุพันธ์ได้ โดยการหาอนุพันธ์จะ ต้องทำได้ง่ายเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และเป็นฟังก์ชันมีขอบเขตที่จำกัด อาจเป็นในลักษณะที่ลู่ เข้าหาค่าสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ รูปที่ 3-8 แสดงฟังก์ชัน ซิกมอยด์ ช่วง (0,1) ซึ่งจะให้ค่าอนุพันธ์ที่เป็นบวก และมีค่าอนุพันธ์มากที่สุดเมื่อ x เป็นศูนย์

Maren (1990) อธิบายถึงการใช้ฟังก์ชันกระตุ้นว่า การใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นชนิดนี้เป็น ส่วนสำคัญที่ทำให้ โครงข่ายแบบ Backpropagation แตกต่างจากโครงข่ายประเภทอื่นๆ ในระยะ แรกเช่น โครงข่าย Perceptron และ ADALINE ที่จะใช้ฟังก์ชันกระตุ้นที่เป็นรูปแบบง่ายๆ ทำให้ไม่ สามารถใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนได้



รูปที่ 3-8 ฟังก์ชันซิกมอยด์

เนื่องจากค่าของ $F(\text{net})$ ในแต่ละโหนด ตามสมการที่ 3-6 นั้นมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 0 กับ 1 ตามช่วงของฟังก์ชันกระตุ้น จึงทำให้ค่าอินพุตและค่าเอาต์พุต ต้องถูกจำกัดค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นค่าทั้งหมดของอินพุตและเอาต์พุต ทั้งในช่วงการเรียนรู้และทดสอบจะต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในช่วงดังกล่าว สำหรับการศึกษานี้โปรแกรม Qnet2000 ซึ่งใช้ในการศึกษาจะแปลงค่าให้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.15 ถึง 0.85

3.2.2 กระบวนการสอนของโครงข่าย (Network Training)

กระบวนการสอน อาจเรียกได้อีกอย่างว่าเป็นกระบวนการเรียนรู้ (learning) ซึ่งเป็นกระบวนการหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเอนเอียงของโครงข่ายที่เหมาะสม ที่ซึ่งจะเป็นตัว minimize ฟังก์ชันของความผิดพลาด (error function) ที่เกิดขึ้น โดยที่ฟังก์ชันของความผิดพลาดนี้อาจกำหนดเป็นได้หลายแบบด้วยกัน แต่โดยส่วนใหญ่แล้วกำหนด โดยใช้เป็นค่าครึ่งหนึ่งของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mitchell (1997), Fausett (1994) และ Chester (1993)) สมการที่ 3-7 แสดงฟังก์ชัน ของความผิดพลาด

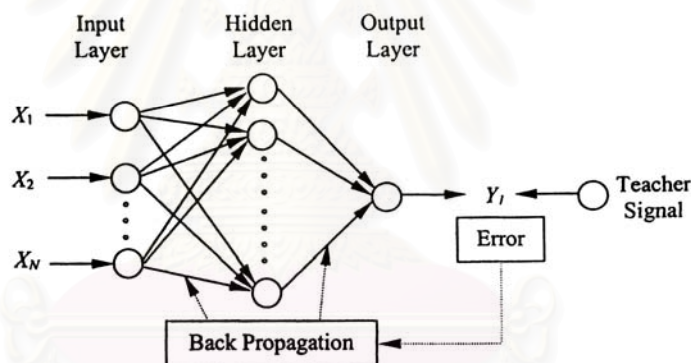
$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^P \sum_{k=1}^K (t_{pk} - o_{pk})^2 \quad (3-7)$$

โดยที่ P คือจำนวนของชุดตัวอย่างที่ใช้สอนทั้งหมด t_{pk} และ o_{pk} คือค่าเป้าหมาย (target value) และ เอาต์พุตที่ได้จากโครงข่าย ของ ชุดตัวอย่างที่ p โหนด k ตามลำดับ สำหรับในการศึกษานี้ใช้วิธีการเรียนรู้แบบ Backpropagation ซึ่งถือเป็นที่ยอมรับใช้ในกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN (ASCE ,2000) โดยวิธีการเรียนรู้แบบ Backpropagation นี้จะใช้วิธีการ

Optimization ที่เรียกว่า Gradient decent ทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อที่จะลดค่าของความผิดพลาด (สมการที่ 3-7) โดยที่ในการคำนวณแต่ละรอบนั้น ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกแพร่กลับ (propagate backward) ผ่านแต่ละโหนดในโครงข่ายตามรูปที่ 3-9 และค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละตัว จะถูกปรับแก้ตามสมการ ที่ 3-8 รายละเอียดการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ก

$$\Delta w_{ij}(n) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} + \alpha \Delta w_{ij}(n-1) \quad (3-8)$$

โดยที่ $\Delta w_{ij}(n)$ และ $\Delta w_{ij}(n-1)$ คือ ผลต่างของค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างโหนด i กับโหนด j ระหว่างรอบการปรับแก้ที่ (n) และ $(n-1)$ ส่วน α และ η คือค่าของโมเมนต์ัมและอัตราการเรียนรู้ตามลำดับซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป ภายหลังจากที่การเรียนรู้สิ้นสุดลงค่าถ่วงน้ำหนักและค่าเอนเอียงที่เหมาะสมจะถูกเก็บไว้ในโครงข่าย เพื่อใช้กับการทดสอบในช่วงต่อไป



รูปที่ 3-9 การปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย แบบ Backpropagation

ที่มา : Rumelhart et al. (1986) (อ้างอิงจาก Liong et al., 2000)

สำหรับการเรียนรู้แบบ Backpropagation หรือ “Backprop” นั้น Chester (1993) อธิบายว่า เป็นการเรียนรู้ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีลักษณะเป็นโครงข่ายหลายชั้น (multilayer) และมีการคำนวณแบบไปข้างหน้า (feedforward) โดยที่เป็นการเรียนรู้แบบที่ต้องใช้การสอน ซึ่งการเรียนรู้แบบ Backprop นี้ถูกพัฒนาครั้งแรกโดย Werbos (1970) ในวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ที่มหาวิทยาลัย Harvard โดย Werbos ได้แนวความคิดมาจากทฤษฎีของ Freud ที่ว่าด้วย การทำงานของสมองซึ่งมี การไหลกลับของสารเคมีสมมุติ (hypothesized a chemical flow) จากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังอีกเซลล์ประสาทหนึ่ง ในทิศตรงกันข้ามกับทิศของการกระตุ้นที่

ไปข้างหน้า จึงทำให้ Werbos คิดที่จะใช้ผลความคลาดเคลื่อนจากโครงข่ายมาเป็นตัวปรับแก้ค่า ถ่วงน้ำหนัก ซึ่งต่อมา Rumelhart และคณะ (1986) ได้ทำการปรับปรุงพัฒนาจนกลายเป็น การเรียนรู้ แบบ Backpropagation ที่ใช้กันแพร่หลายในเวลาต่อมา

3.2.3 การหาโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง ANN

การหาโครงสร้าง (structure) หรือ สถาปัตยกรรม (architecture) ของแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมถือเป็น สิ่งสำคัญเนื่องมาจากลักษณะของตัวแบบจำลองเอง สามารถที่จะปรับเปลี่ยน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อยู่ภายในตัวแบบจำลองได้หลายค่า และยังไม่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ โครงสร้างที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้จากการให้ผล ลัพธ์ที่มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด ในขณะที่เดียวกันก็ต้องมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีความกะทัดรัด (compact structure) โดยมีบ่อยครั้งที่พบว่าโครงสร้างที่ต่างกันอาจให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันได้ วิธีการลองผิดลองถูก (trial and error) ถือเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการหาโครงสร้าง ของแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสม (ASCE, 2000) โดยทั่วไปแล้วค่าพารามิเตอร์และ ส่วนประกอบ ต่างๆ ที่มักปรับเปลี่ยนเพื่อหาโครงสร้างของแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมมีดังต่อไปนี้

1) จำนวนของชั้นแอบแฝงและจำนวนโหนด

จำนวนของชั้นแอบแฝงและจำนวนโหนด ถือเป็นส่วนสำคัญที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่จะ ได้จากตัวแบบจำลองประเภทนี้ โดยทั่วไปใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการหา ซึ่งการกำหนด จำนวนของชั้นแอบแฝง Kecman (2000) แนะนำว่าไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เกินกว่า 2 ชั้น ซึ่ง เห็น ได้จากการประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมต่างๆ และ จากผลการศึกษาของ Jirayoot และ Al-Soufi (2000) ซึ่งได้ศึกษาการพยากรณ์อัตราการไหลล่วงหน้า 1 และ 3 วันของแม่น้ำมูล ให้ข้อ สรุปว่า โครงสร้างแบบใช้ชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียวให้ผลที่ออกมาไม่ดีนัก เมื่อเทียบกับการใช้แบบ จำลองที่มีชั้นแอบแฝงหลายชั้น (multiple hidden layers) และการใช้ชั้นแอบแฝงจำนวน 3-4 ชั้น ไม่ได้ให้ผลที่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับการใช้ชั้นแอบแฝงจำนวน 2 ชั้น (double-hidden-layer architecture) แต่อย่างไรก็ตามมีหลายงานวิจัย ซึ่งใช้การกำหนดชั้นแอบแฝงให้ เป็นชั้น เดียวเพื่อให้โครงสร้างไม่ซับซ้อนมากนัก (ตัวอย่างเช่น Tingsanchali และ Win, 2000 ; Phien และ Gupta, 1999 ; Tokar และ Johnson, 1999)

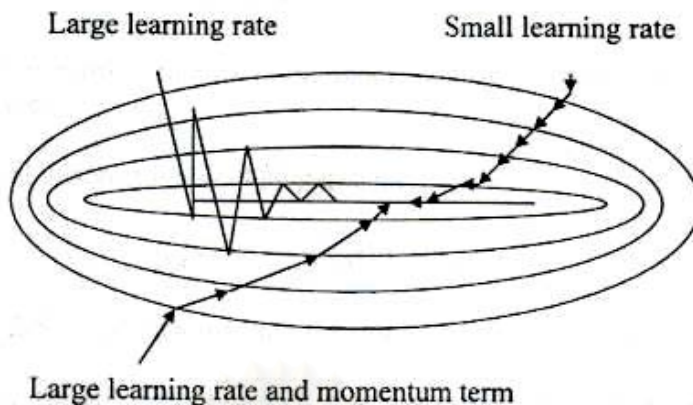
สำหรับการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้ แบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลที่ผ่านมาพบว่า มีการใช้จำนวนของชั้นแอบแฝงเพียง 1 ชั้นเท่านั้น ซึ่งแม้ว่าการใช้ จำนวนของชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียวจะเพียงพอต่อการประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ แต่ในปัญหาที่มี

ความสลับซับซ้อน การใช้จำนวนของชั้นแอบแฝง 2 ชั้น จะให้ผลที่ดีกว่าการใช้ชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียว ซึ่ง Patterson (1996) ได้อธิบายว่า เมื่อใช้ชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียว โหนดที่อยู่ในชั้นแอบแฝงจะมีแนวโน้มที่จะมีปฏิกริยา (interact) ต่อส่วนอื่นๆ ในโครงข่ายอย่างทั่วถึง ทำให้ยากในการปรับปรุงผลการพยากรณ์ แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้ ชั้นแอบแฝง 2 ชั้น โหนดในที่อยู่ชั้นแอบแฝงแรกจะสามารถที่จะแบ่งพื้นที่ (space) ของตัวแปรนำเข้าให้มีขอบเขต (regions) ที่เล็กลงในขณะที่โหนดที่อยู่ในชั้นแอบแฝงที่ 2 จะเป็นตัวรวมเอาที่พุดที่เกิดขึ้น ทำให้เพิ่มความถูกต้องของการเข้าหาคำตอบ(mapping)ได้ สำหรับในการศึกษานี้กำหนดจำนวนของชั้นแอบแฝงไม่เกิน 2 ชั้น เพื่อจะได้เปรียบเทียบกับผลการศึกษาที่ผ่านมาที่ใช้จำนวนของชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียวในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 5

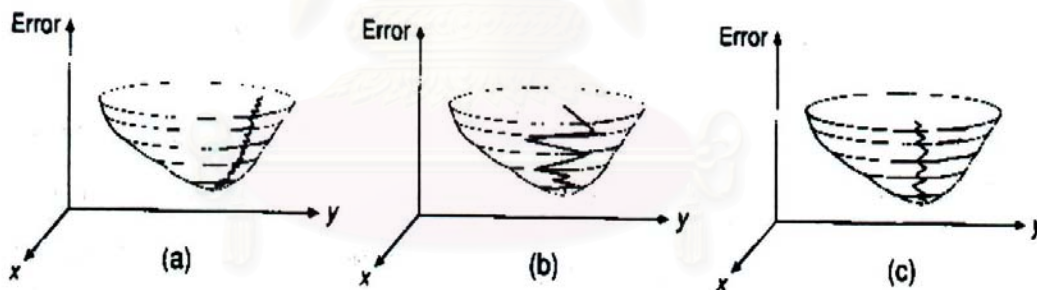
2) ค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate, η)

การปรับค่าอัตราการเรียนรู้ถือเป็นการปรับปรุงอัตราการลู่เข้าของคำตอบ (rate of convergence) ในการศึกษาต่างๆที่ผ่านมามีการใช้ค่าของอัตราการเรียนรู้ที่แตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น Thirumalaiah และ Deo (1998) ใช้เป็นค่าเท่ากับ 0.1 ; เสรี สุภราทิศย์ (2544) เสนอแนะเป็นค่าคงที่ที่อยู่ระหว่าง 0.05 - 0.90 และจากคู่มือการใช้โปรแกรม Qnet 2000 ได้แนะนำให้ใช้ค่าอยู่ระหว่าง 0.005 - 0.1 ซึ่งจะช่วยป้องกันการลู่ออกของคำตอบ

ในทางทฤษฎีของBackpropagation จะต้องการค่าของอัตราการเรียนรู้ที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่อย่างไรก็ตาม กรณีที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ที่น้อยเกินไปก็จะทำให้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นและในทางตรงข้ามค่าอัตราการเรียนรู้ที่มากเกินไป ก็จะทำให้การเดินทางไปหาความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุดมีการแกว่ง (oscillation) และอาจไม่ลู่เข้าหาคำตอบที่ต้องการ และเพื่อหลีกเลี่ยงการแกว่งเมื่อใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ที่มีค่ามาก การใช้ค่าของโมเมนตัมมาช่วยจะทำให้ลู่เข้าหาคำตอบได้ดีขึ้น (Sureerattanan, 2000) ดังแสดงในรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 การลู่เข้าหาคำตอบในพื้นที่ของค่าถ่วงน้ำหนัก
 ที่มา : Sureerattanan (2000)



รูปที่ 3-11 แนวทางการลู่เข้าหาความคลาดเคลื่อนต่ำสุดสำหรับค่า η ต่างๆ
 (a) $\eta = 0.2$ (b) $\eta = 0.9$ (c) $\eta = 1.5$

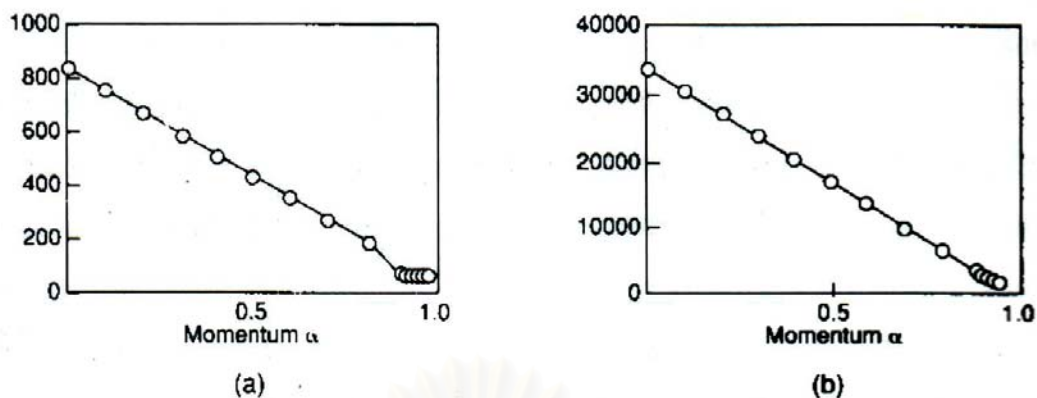
ที่มา : Patterson (1996) (อ้างอิงจาก เสรี ศุภราทิตย์, 2544)

ในทางอุดมคติแล้วค่าอัตราการเรียนรู้ที่มีค่ามากจะใช้กับ พื้นผิวความผิดพลาด (error surface) ที่มีลักษณะยาวและตื้น ส่วนค่าของอัตราการเรียนรู้ที่มีค่าน้อยควรใช้กับพื้นผิวความผิดพลาด ที่มีลักษณะชัน และเริ่มเข้าใกล้จุดต่ำสุดเฉพาะที่ (local minimum) ค่าอัตราการเรียนรู้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นกับลักษณะของพื้นผิวความผิดพลาด เช่น ความลาดชันของพื้นผิว และจำนวนของจุดต่ำสุดเฉพาะที่ สำหรับวิธีที่ปฏิบัติกันมาโดยทั่วไปนั้น ค่าอัตราการเรียนรู้จะถูกกำหนดให้มีค่าคงที่ในช่วงของกระบวนการเรียนรู้ (Warner และ Misra (1996) อ้างอิงจาก Tingsanchali และ Win , 2000) และการหาค่าที่เหมาะสมหาได้จากการลองผิดลองถูก

บางครั้งมีการใช้ทั้งค่าของอัตราการเรียนรู้ที่มีค่ามากและน้อยรวมกัน โดยที่ค่าอัตราการเรียนรู้ที่มีค่ามากจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณตอนเริ่มเพื่อ เพิ่มความเร็วในการคำนวณของช่วงกระบวนการเรียนรู้ และค่าอัตราการเรียนรู้ที่มีค่าน้อยกว่าจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณ รอบหลัง เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการข้ามจุดต่ำสุด

3) ค่าโมเมนตัม (Momentum , α)

โดยทั่วไปในกระบวนการเรียนรู้ค่าของโมเมนตัม อาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มค่าของโมเมนตัมจะช่วยป้องกันการแกว่งของระบบ โดยที่การเพิ่มค่าของโมเมนตัมเป็นการเพิ่มสัดส่วนน้ำหนักของค่าถ่วงน้ำหนัก ที่เวลาครั้งก่อน $\Delta W(t-1)$ ให้กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย ณ เวลาปัจจุบัน $\Delta W(t)$ ดังสมการที่ 3-8 ซึ่ง Fausset (1994) อธิบายว่า การใช้ค่าของโมเมนตัม ในบางครั้งสามารถทำให้โครงข่ายมีการลู่เข้าหาค่าตอบได้เร็วยิ่งขึ้น และค่าที่ใช้อยู่ระหว่างตั้งแต่ 0 ถึง 1 ในคู่มือการใช้โปรแกรม Qnet 2000 กล่าวว่า โครงข่ายโดยส่วนใหญ่ จะใช้ค่าของโมเมนตัมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.8 - 0.9 แต่อย่างไรก็ตามไม่มี กฎเกณฑ์ที่ตายตัวสำหรับค่านี้ บางโครงข่ายอาจเรียนรู้ได้ดีเมื่อใช้ค่าโมเมนตัมในช่วงที่ต่ำกว่านี้ แต่บางโครงข่ายอาจจะเรียนรู้ได้ดีเมื่อไม่ใช้ค่าของโมเมนตัมเลย ($\alpha=0$) รูปที่ 3-12 แสดงตัวอย่างพฤติกรรมของค่าโมเมนตัมในการเรียนรู้



รูปที่ 3-12 แสดงถึงพฤติกรรมของค่าโมเมนตัมในการเรียนรู้ กับ จำนวนรอบการคำนวณ

(a) $\eta = 1.0$ (b) $\eta = 0.01$

ที่มา : Patterson (1996) (อ้างอิงจาก เสรี, 2544)

3.3 แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Model)

วิธีการหนึ่งที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระ X สองตัวหรือมากกว่า คือ การถดถอยพหุคูณ (multiple regression) การใช้สมการถดถอยพหุคูณ จะใช้เมื่อมีทฤษฎีหรือเหตุผล แนะนำว่าการพยากรณ์ ของตัวแปรตามจะถูกต้องมากขึ้นเมื่อใช้ตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว และในกรณีที่ตัวแปรอิสระเหล่านี้มีความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงกับ ตัวแปรตามจะถูกเรียกว่า การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ โดยสมการถดถอยพหุคูณ จะชี้ให้เห็นความสัมพันธ์เฉลี่ยระหว่างตัวแปรอิสระเหล่านี้ที่มีต่อตัวแปรตาม ซึ่งรูปแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรอิสระ k ตัวคือ

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.9)$$

เมื่อ Y_i คือ ตัวแปรตาม

$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$ คือ ตัวแปรอิสระ

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient)

โดยที่ β_0 คือ ระยะเวลาตัดแกน Y เมื่อตัวแปรอิสระเป็นศูนย์ และ β_1, \dots, β_k เป็นความชันของเส้นถดถอย ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของ Y เมื่อ X เปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย

สำหรับในการประยุกต์ใช้ในทางอุทกวิทยานั้นวีรพล (2531) กล่าวว่า การเลือกใช้ตัวแปรอิสระจะเลือกใช้มากตัวแปรหรือน้อยตัวแปรขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ที่ทำการศึกษาเอง ซึ่งควรจะเป็นตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดีกับตัวแปรตาม

แต่อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง MLR มีข้อสมมุติของรูปแบบการถดถอย คือ ต้องไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างสมบูรณ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้งหลายที่อยู่ในรูปของการถดถอย ซึ่งเรียกว่าเป็น orthogonal โดยเมื่อตัวแปรอิสระต่างเป็น orthogonal การอนุมานจะสามารถกระทำได้ง่าย แต่ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่แล้ว ตัวแปรอิสระมักจะไม่เป็น orthogonal ซึ่งบางครั้งไม่เคร่งครัดนัก แต่ถ้าหากว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบเกือบสมบูรณ์แล้ว การอนุมานที่มีพื้นฐานบนรูปแบบการถดถอย สามารถผิดพลาดหรือ คลาดเคลื่อนได้ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า ตัวแปรอิสระมีพหุสัมพันธ์ (multicollinearity) อันจะทำให้สมการของการถดถอยที่ได้ไม่ตรงกับความจริง เช่น สมการน้ำฝน - น้ำท่า มีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ติดลบ โดยการแก้ปัญหาอาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การเพิ่มข้อมูล การตัดตัวแปรที่สัมพันธ์กันเองสูงออกไป การแปลงค่าของตัวแปรอิสระบางตัวเพื่อลดความรุนแรงของปัญหาหลง หรือ การใช้วิธี Ride Regression

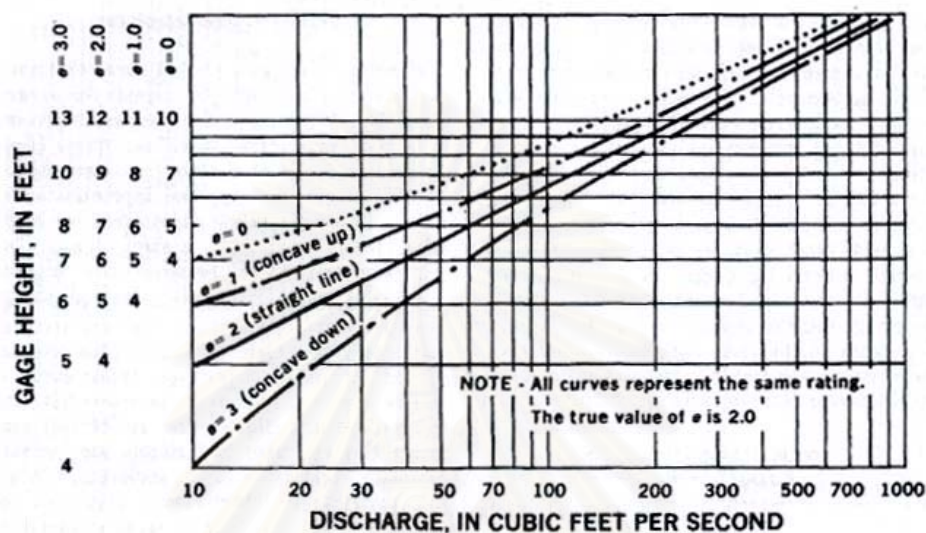
3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล

Jain และ Chalisgaokar (2000) กล่าวว่า การวัดค่าอัตราการไหลของแม่น้ำจะเป็นงานเกี่ยวข้องกับ 1) การเก็บข้อมูลค่าระดับน้ำที่ต่อเนื่องเหนือระดับอ้างอิง (datum) 2) การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าของระดับน้ำ – อัตราการไหล หรือที่เรียกว่า rating curve 3) การเปลี่ยนจากค่าระดับน้ำที่วัดได้ เป็นค่าของอัตราการไหลของน้ำ โดยจะเห็นได้ว่าคุณภาพของข้อมูลอัตราการไหลจะถูกกำหนดจาก ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล โดยปกติทั่วไป กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-อัตราการไหลจะอยู่ในรูปของ

$$Q = a(H - e)^b \quad (3-10)$$

โดยที่ Q คือ ค่าของอัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที) H คือ ค่าระดับน้ำ (เมตร) a และ b เป็นค่าคงที่ e เป็นค่าระดับน้ำที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ซึ่งใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการหา และเลือกใช้กราฟที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด รูปที่ 3-13 แสดงตัวอย่างของความสัมพัทธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล ซึ่ง ค่าระดับน้ำ กับค่าอัตราการไหล (Q) ถูกพล็อตเป็นกราฟที่อยู่บนสุด (e=0) โดยค่าที่ดีที่สุดของ e จะต้องทำให้กราฟระหว่าง ค่าของ H-e กับ Q แสดงเป็นเส้นตรง และค่าของ e ที่แตกต่างกันก็จะให้กราฟที่มีรูปร่างแตกต่างกัน

โดยในรูปที่ 3-13 จะเห็นได้ว่าค่าของ e เมื่อเท่ากับ 2 จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเส้นกราฟจะมีลักษณะที่เป็นเส้นตรง และถ้าหากว่าค่าของ e มีค่าที่น้อยเกินไป กราฟที่ได้จะมีลักษณะหงายขึ้น ในทางตรงข้ามหากค่าของ e มีค่าที่มากเกินไป กราฟจะมีลักษณะ คว่ำลง



รูปที่ 3-13 รูปร่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหลในแต่ละการกำหนดค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ต่างๆ ที่มา : Kennedy (1984)

สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ วิธีการหาค่าคงที่ a และ b ในกรณีนี้ที่รู้ค่าคงที่ e คือ วิธีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (least – square - error method) ซึ่งมีหลักการคือ ใส่ \log ในสมการที่ 3-10 จะได้เป็น

$$\log Q = b \log (H-e) + \log a \quad (3-11)$$

โดยหากเทียบกับสมการของเส้นตรง $y = bx + c$ (3-12)

เมื่อ y คือ ตัวแปรตาม (dependent variable) $y = \log Q$

x คือ ตัวแปรอิสระ (independent variable) $x = \log (H-e)$

และ c คือ $\log a$

เมื่อมีข้อมูล x และ y จำนวน N ชุด และใช้วิธีการวิเคราะห์สมการเส้นตรงในทางสถิติมาช่วยจะสามารถหาค่าคงที่ b ได้จาก

$$b = \frac{N(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{N(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3-13)$$

และค่าของ c หาได้จาก

$$c = \frac{\sum y - b(\sum x)}{N} \quad (3-14)$$

3.5 ค่าทางสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ค่าทางสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองสำหรับการศึกษานี้มีดังต่อไปนี้

1) ดัชนีวัดประสิทธิภาพ (Efficiency index)

ค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพ (EI) ถูกเสนอโดย Nash และ Sutcliffe (1970) ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความผันแปรทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลอง (SSR) อธิบายด้วยความผันแปรจากชุดข้อมูลตัวอย่าง (SST) โดยที่ค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพนี้จะเทียบได้กับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ในการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้โดยส่วนใหญ่ จะถือว่าหากค่า EI มากกว่า 90% แสดงถึงแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ช่วง 80 - 90% ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี แต่หากอยู่ในช่วงระหว่าง 80 - 60% ถือว่าแบบจำลองให้ผลที่ไม่น่าพอใจ (Shamseldin และ Connor , 2001; Sudheer et al., 2003)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} = \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST} \quad (3-15)$$

โดยที่	SST	คือ ค่าความแปรผันทั้งหมด (total variation) ; $SST=SSR+SSE$
	SSR	คือ ค่าความแปรผันที่อธิบายได้ (explained variation)
	SSE	คือ ค่าความแปรผันที่อธิบายไม่ได้ (unexplained variation) หรือ ค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (sum of squares of errors)
	Q_i	คือ ค่าเป้าหมาย หรือ ค่าจริงของอัตราการไหลที่ชุดข้อมูลลำดับ i
	\bar{Q}	คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร Q โดยที่ $\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$
	F_i	คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง ; N คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

- 1) ค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (Sum of squares of error, SSE)

$$SSE = \sum_{i=1}^N (F_i - Q_i)^2 \quad (3-16)$$

- 2) ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean of absolute error, MAE)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - Q_i| \quad (3-17)$$

- 3) ค่ารากที่สองของค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - Q_i)^2} \quad (3-18)$$

- 5) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r)

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \quad (3-19)$$

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r คือ ดัชนีที่ใช้วัดทิศทางและระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -1 กับ 1 เครื่องหมายบวก ลบของค่า r จะแสดงทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร หากว่าค่า r เป็นบวก หมายถึงเมื่อ X เพิ่ม Y จะเพิ่มตามไปด้วย ในทางตรงข้าม หากค่า r เป็นลบ หมายถึง เมื่อ X กับ Y จะมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ตรงกันข้าม

บทที่ 4

พื้นที่และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

4.1 สภาพทั่วไปของกลุ่มน้ำ

สถานที่ที่ใช้ในการศึกษา จัดอยู่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่ใหญ่ที่สุดในประเทศและมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 157,925 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นปริมาณร้อยละ 30 ของพื้นที่ประเทศ ปริมาณฝนตกเฉลี่ยปีละ 1,163 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยปีละ 36,832 ล้านลูกบาศก์เมตร ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีลักษณะกายภาพแบ่งออกได้เป็นสองส่วน ที่จังหวัดนครสวรรค์ คือส่วนบนเป็นลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน มีสภาพเป็นภูเขาสลับกับที่ราบริมแม่น้ำ ประกอบด้วยแม่น้ำที่สำคัญ 4 สาขา คือ แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำยม และ แม่น้ำน่าน มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 110,570 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณฝนตกเฉลี่ยปีละ 1,160 มิลลิเมตร และมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยปีละ 21,981 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่วนลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีสภาพเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง ประกอบด้วยแม่น้ำสาขาที่สำคัญ 4 สาย คือ แม่น้ำสะแกกรัง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำป่าสัก และแม่น้ำเจ้าพระยา

4.1.1 ลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน ภูมิอากาศของประเทศไทยนั้นจะเป็นแบบเขตร้อน ดังนั้นลักษณะภูมิอากาศของลุ่มน้ำเจ้าพระยาจึงเป็นแบบเขตร้อน มีฤดูฝนและฤดูแล้งที่ค่อนข้างแน่นอน โดยขึ้นอยู่กับกระแสลมที่พัดผ่านตามฤดูกาล 2 ชนิด คือ

1. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มพัดผ่านประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือน ตุลาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ หรือมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากประเทศจีน เมื่อพัดผ่านประเทศไทยจะทำให้อุณหภูมิตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไปมีอุณหภูมิลดลง ท้องฟ้าค่อนข้างโปร่งเป็นส่วนมาก

2. ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เริ่มพัดผ่านประเทศไทยตั้งแต่กลางเดือน พฤษภาคมไปจนถึงปลายเดือนกันยายน ส่วนทางภาคใต้จะไปสิ้นสุดราวเดือนตุลาคม โดยลมนี้พัดเอาไอน้ำและความชุ่มชื้นมาจากมหาสมุทรอินเดีย

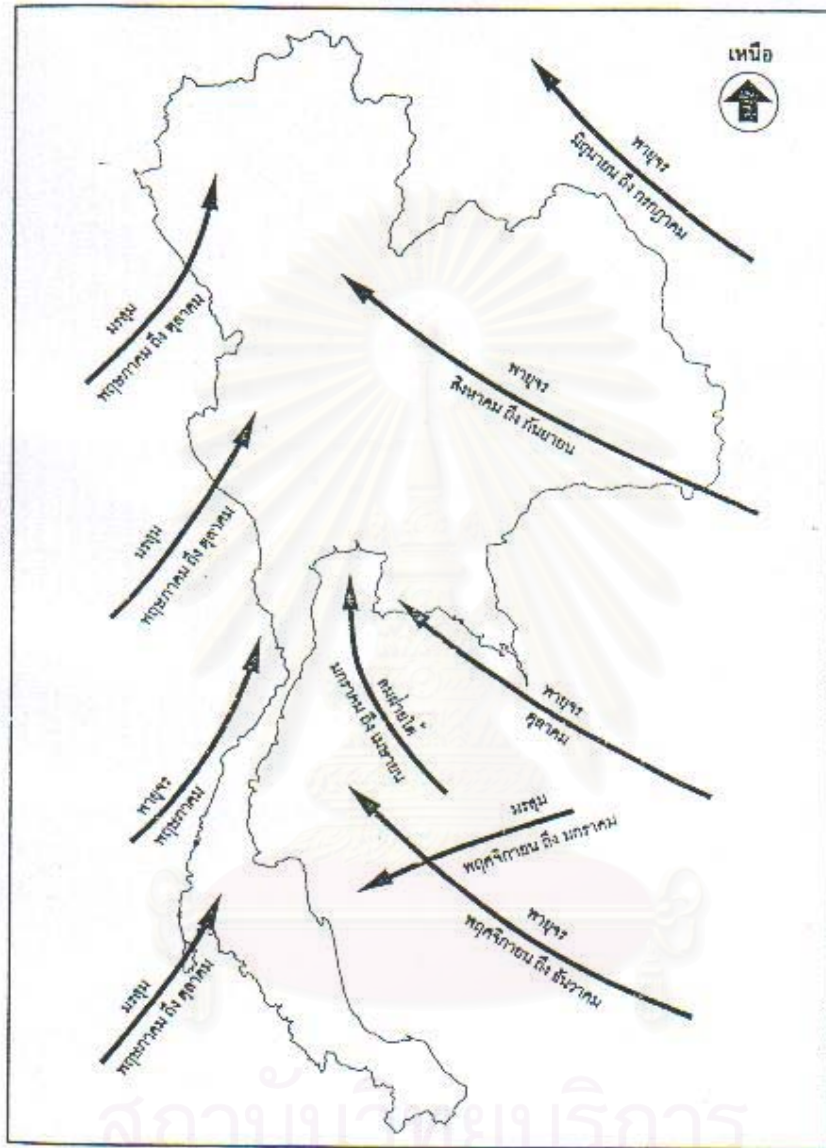
ลมที่นำฝนมาสู่ประเทศไทยมีทิศทางและช่วงเวลาที่พัดผ่านดังแสดงในรูปที่ 4-1 ซึ่งมีปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปีในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาประมาณ 1,200 มิลลิเมตร แต่ในปีที่ฝนแล้ง อาจจะมีฝนตกเพียง 800 มิลลิเมตร และในปีที่ฝนมาก อาจมีฝนตกถึง 2,200 มิลลิเมตร หรือคิดเป็น 85 – 90 เปอร์เซ็นต์ของฝนทั้งปี และจะตกในระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม ซึ่งอยู่ในช่วงที่ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่ประเทศไทย ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีที่ตกในลุ่มน้ำเจ้าพระยา แสดงในรูปที่ 4-2

4.2 สถานีที่ใช้ทำการศึกษา

สถานีหลักที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้คือสถานีวัดปริมาณน้ำ C.2 ซึ่งตั้งอยู่ที่ อำเภอเมือง ของ จังหวัดนครสวรรค์ โดยเป็นสถานีที่ใช้สำรวจปริมาณน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับจุดบรรจบกันของแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน ห่างจากสะพานเดชาติวงศ์มาประมาณ 3 กิโลเมตร ปริมาณน้ำที่เข้ามาในสถานีนี้จะมาจากแม่น้ำปิง วัง ยม และแม่น้ำน่าน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ประมาณ 110,570 ตารางกิโลเมตร ตลิ่งเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานี C.2 อยู่ที่ระดับประมาณ + 25.39 ม. (รทก.) ปริมาณน้ำเต็มตลิ่งประมาณ 3,140 ลบ.ม./วินาที

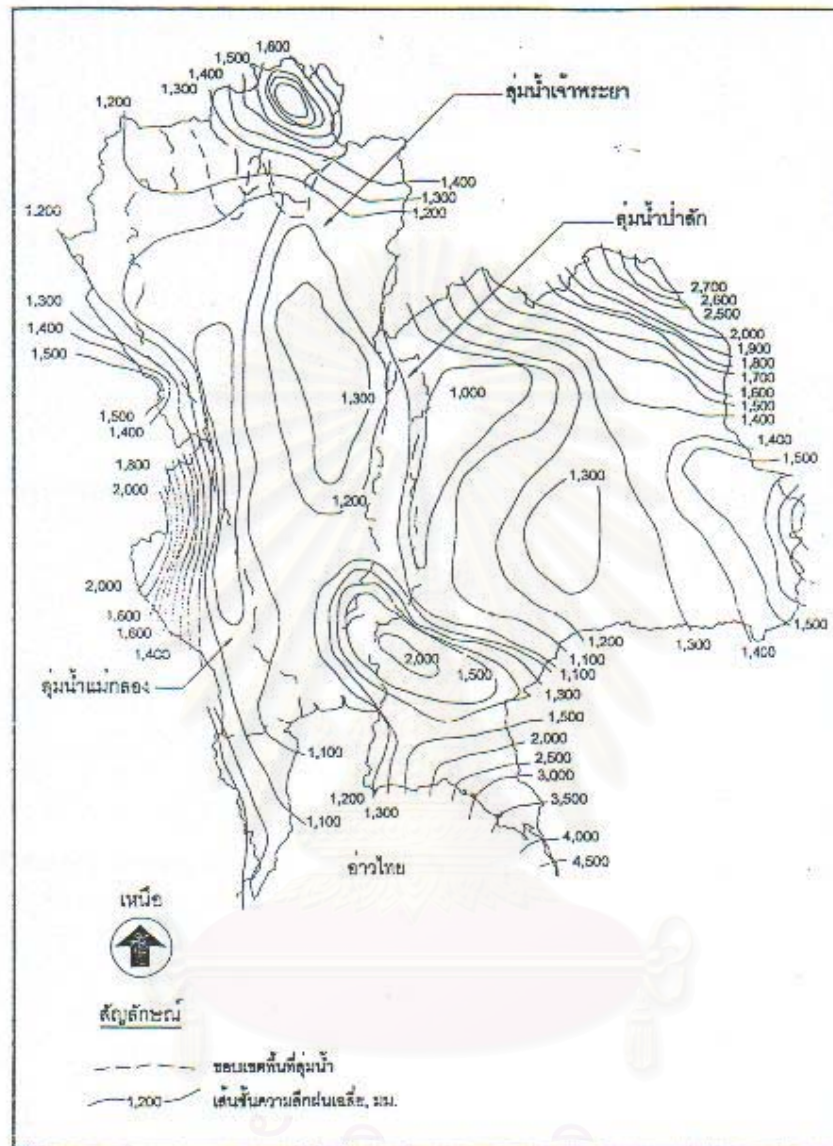
ในลุ่มน้ำเจ้าพระยามีเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่คือ เขื่อนภูมิพล และ เขื่อนสิริกิติ์ ปิดกั้นแม่น้ำปิง และ แม่น้ำน่าน เขื่อนทั้ง 2 เป็นเขื่อนอเนกประสงค์สำหรับใช้ในการชลประทาน การอุปโภคบริโภค การผลิตกระแสไฟฟ้า การผลิตน้ำประปา และการบรรเทาอุทกภัย เขื่อนทั้ง 2 แห่งนี้มีพื้นที่รับน้ำรวมกัน 39,516 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณร้อยละ 27 ของพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา การสร้างเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์สามารถลดยอดน้ำสูงสุดประจำปีของแม่น้ำเจ้าพระยา ที่สถานีสำรวจ C.2 ได้ประมาณ 1,000 ลบ.ม./วินาที (เล็ก จินดาสงวน, 2544) ในอดีตที่ผ่านมาพบว่า ปีที่เกิดน้ำท่วมใหญ่คือปี พ.ศ. 2485 และ ปี พ.ศ. 2538 โดยในปี พ.ศ. 2538 มีปริมาณน้ำสูงสุดคือ 4,820 ลบ.ม./วินาที ซึ่งถ้าหากไม่มีเขื่อนภูมิพลและ เขื่อนสิริกิติ์ แล้ว ควรจะมีปริมาณน้ำสูงสุดคือ 5,820 ซึ่งจะใกล้เคียงกับปริมาณน้ำสูงสุดเมื่อปี พ.ศ. 2485

สถานีที่ใช้ในการศึกษา เป็นสถานีที่อยู่ทั้งทางด้านเหนือน้ำและทำนน้ำของสถานี C.2 รวมจำนวนทั้งสิ้น 10 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 4-3 แสดงตำแหน่งของสถานีต่างๆที่ใช้ในการศึกษา โดยทางด้านเหนือน้ำใช้ข้อมูลระดับน้ำของสถานีที่อยู่ทั้งแม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน และสถานีแม่น้ำยมที่สถานี Y.5 สำหรับทางด้านทำนน้ำ ใช้สถานี Ct.2 ซึ่งตั้งอยู่ที่แม่น้ำสะแกกรัง และ ค่าระดับน้ำด้านหน้าเขื่อนเจ้าพระยา



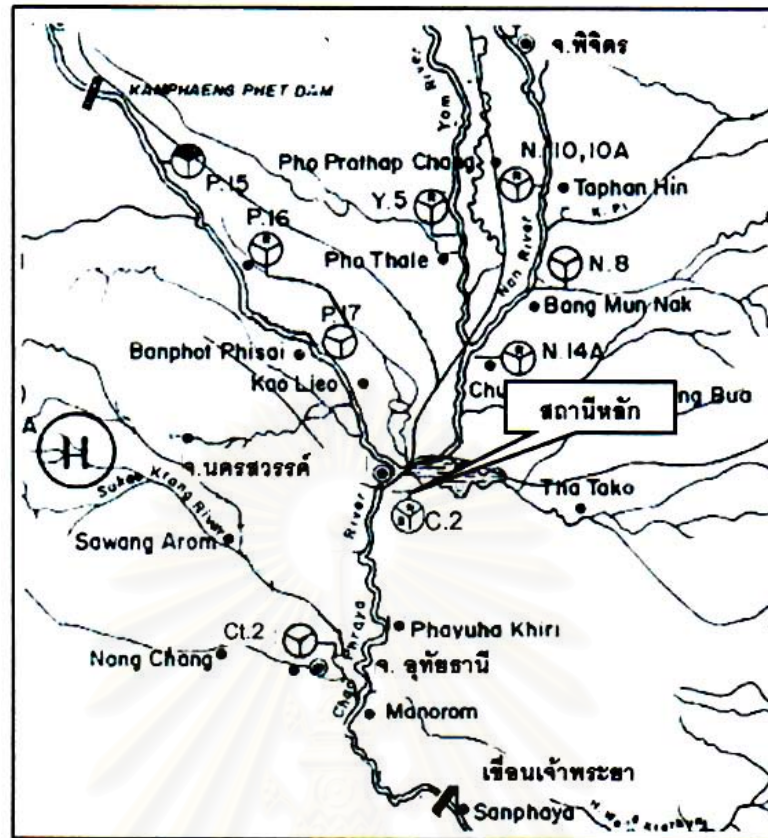
รูปที่ 4-1 ทิศทางการเคลื่อนตัวของลมนรรมในประเทศไทย

ที่มา : ชูเกียรติ และ ไตรรัตน์ (2529)

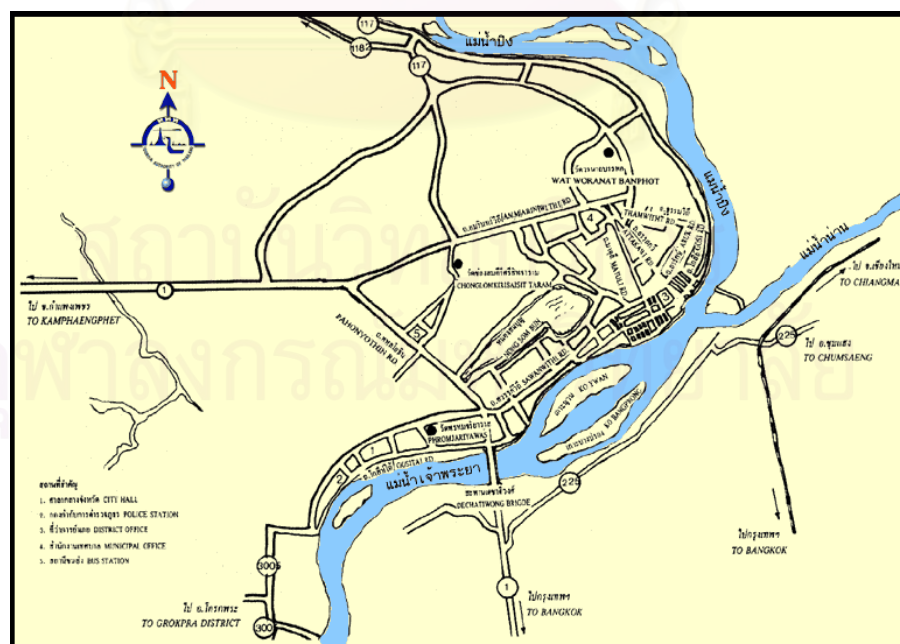


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

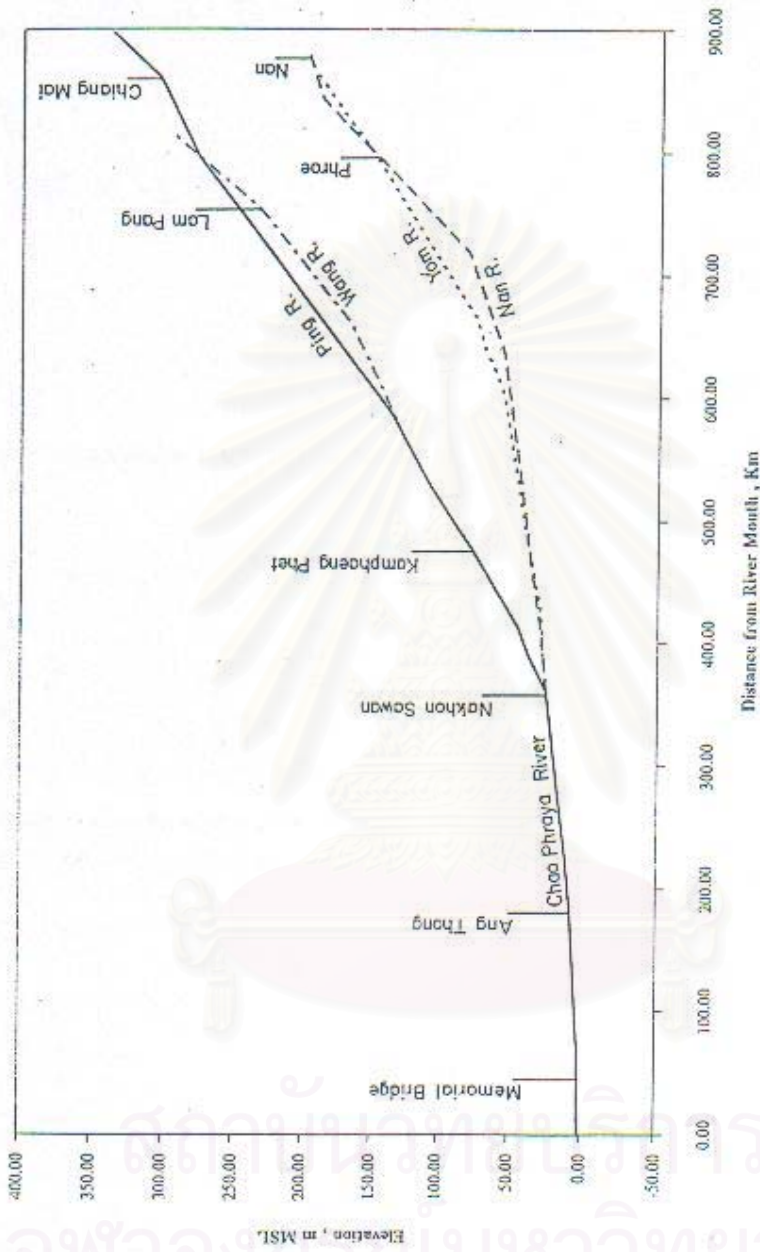
รูปที่ 4-2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีที่ตกในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา
ที่มา : ชูเกียรติ และ ไตรรัตน์ (2529)



รูปที่ 4-3 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 4-4 ลักษณะของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ จังหวัด นครสวรรค์



รูปที่ 4-5 ลักษณะความลาดชันของแม่น้ำสายหลักที่ใช้ในการศึกษา
ที่มา : AIT,DHI,Acres (1996)

ศูนย์พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

4.3 ข้อมูลที่ใช้การศึกษา

ข้อมูลที่น่ามาใช้ในการศึกษาค้างนี้ประกอบด้วย ข้อมูลของค่าระดับน้ำและอัตราการไหลที่ได้จากการวัดจริง ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะทำการพิจารณาเป็นรายวัน โดยแหล่งที่มาของข้อมูลคือกรมชลประทาน ในส่วนของข้อมูลการสำรวจอัตราการไหลนั้น ไม่ได้มีข้อมูลที่ต่อเนื่องกันทุกวัน โดยจะขึ้นอยู่กับกาเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำหรือค่าอัตราการไหลในช่วงนั้น และความพร้อมของบุคลากรหรือเครื่องมือที่ปฏิบัติงาน ในขณะที่ส่วนของข้อมูลระดับน้ำจะมีการเก็บค่าที่ต่อเนื่องกันทุกวัน รายละเอียดของข้อมูลที่มีอยู่แสดงดังตารางที่ 4-1 และวิธีการวัดข้อมูลแสดงใน ภาคผนวก ข

ตารางที่ 4-1 รายละเอียดข้อมูลของสถานีที่ใช้ในการศึกษา

รหัสสถานี	ชื่อแม่น้ำ	ที่ตั้ง	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)	ชนิดข้อมูล	ปีที่มีข้อมูล	ระยะเวลา (ปี)
C.2	เจ้าพระยา	อ.เมือง จ.นครสวรรค์	111,569	Q , H	2499 - 2544	46
				Q สำรวจ	2529 - 2538 2541 - 2544	15
Ct.2	สะแกกรัง	อ. เมือง จ. อุทัยธานี	3,865	H	2532 - 2544	13
P.15	ปึง	อ.คลองคูลง จ.กำแพงเพชร	43,805	H	2518 - 2544	27
P.16	ปึง	อ.ขาณุวรลักษณ จ.กำแพงเพชร	45,677	H	2522 - 2523 2533 - 2544	14
P.17	ปึง	อ.บรรพตพิสัย จ.นครสวรรค์	45,851	H	2497 - 2544	48
Y.5	ยม	อ.โพทะเล จ. พิจิตร	20,544	H	2510 - 2512 2532 - 2544	16
N.8	น่าน	อ.บางมูลนาก จ. พิจิตร	32 ,878	H	2494 - 2524 2532 - 2543	43
N.10A	น่าน	อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร	30,765	H	2529 - 2530 2532 2534 - 2544	14
N.14A	น่าน	อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์	33,182	H	2521 - 2524 2534 - 2544	15
เขื่อนเจ้าพระยา	เจ้าพระยา	อ.สรรพยา จ. ชัยนาท	120,690	H	2529 - 2544	15

ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจะขึ้นอยู่กับข้อมูลการสำรวจระดับน้ำและอัตราการไหลของสถานีหลักที่ทำการศึกษาคือ สถานี C.2 เป็นสำคัญ เนื่องจากต้องใช้เวลาอัตราการไหลจากการสำรวจเป็นค่าเป้าหมาย (target value) ของแบบจำลอง และจากการรวบรวมข้อมูล พบว่าข้อมูลทั้งหมดที่รวบรวมได้ของสถานี C.2 คือ ระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2529 - 2544 โดยขาดข้อมูลของปีพ.ศ.2539 และปีพ.ศ. 2540 ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงของข้อมูลร่วมกับสถานีอื่นทั้งด้านทำน้ำและ

ตารางที่ 4-2 ช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

สถานี	ช่วงของข้อมูลที่มี																
	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544
							Testing	Training		Testing			Training		Testing		
C.2 ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
C.2 อัตราการไหลวัดจริง	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
N.8 ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
N10A. ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
N14A. ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
P.15 ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
P.16 ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
P.17 ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
Y.5 ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
Ct. 2 ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————
เขื่อนเจ้าพระยา ค่าระดับ	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————	————

หมายเหตุ

..... มีข้อมูลช่วงก่อนหน้า

———— ไม่มีข้อมูล

———— มีข้อมูล

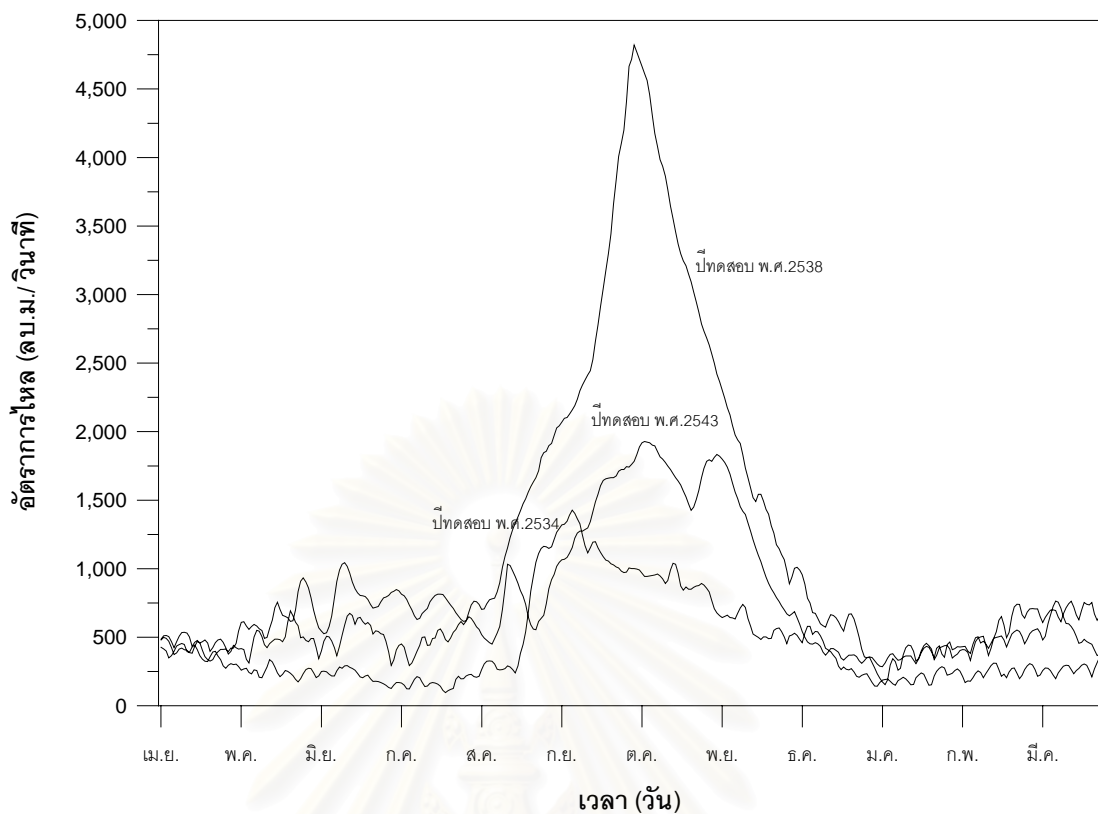
ด้านเหนือ น้ำ พบว่าช่วงของข้อมูลที่มีครบสมบูรณ์ทุกสถานีที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2534 - 2538 และ พ.ศ. 2541 - 2543 ซึ่งรวมข้อมูลทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 8 ปี หรือคิดเป็นจำนวนวันได้เท่ากับ 1,121 วัน ซึ่งถือเป็นจำนวนรูปแบบของชุดข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาได้

4.3.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับ กระบวนการเรียนรู้และการทดสอบ

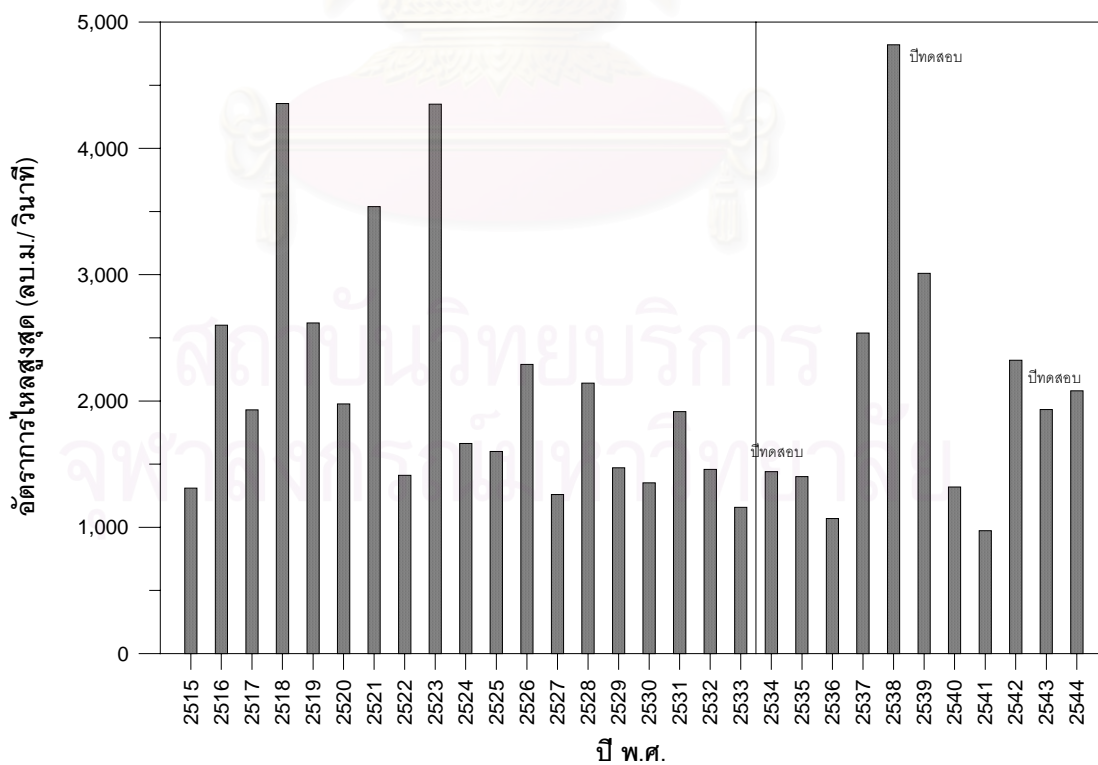
สำหรับปีที่ใช้ในการทดสอบจะมีอยู่ด้วยกัน 3 ปีซึ่งมีขนาดของอัตราการไหลสูงสุดที่แตกต่างกันออกไปโดยปีที่เลือกคือปี พ.ศ. 2538 เป็นปีทดสอบน้ำมากมีค่าความถี่การเกิดซ้ำ (exceedance probability) โดยใช้การแจกแจงแบบกัมเบล ประมาณ 2 % ส่วนปีน้ำเฉลี่ยหรือเป็นปีที่มีขนาดน้ำปกติ เลือกใช้ ปี พ.ศ. 2543 มีค่าความถี่การเกิดซ้ำประมาณ 50 % และปีน้ำน้อยคือ ปี พ.ศ. 2534 ความถี่การเกิดซ้ำประมาณ 75 % ซึ่งใน ปี พ.ศ. 2538 นั้นถือเป็นการทดสอบโดยที่แบบจำลองไม่ได้มีการเรียนรู้ข้อมูลในช่วงที่มีค่าเกินกว่าตอนที่ใช้เรียนรู้ และในส่วน ของปี พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2543 เป็นปีที่อยู่ในตำแหน่งหัวและท้ายของข้อมูลตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ทดสอบนั้น มีความห่างกันในเรื่องของระยะเวลาที่เท่ากันโดยประมาณ

ในการวิเคราะห์ความถี่ของอัตราการไหลสูงสุดเพื่อให้ได้ปีที่ใช้ทดสอบครอบคลุมทั้งช่วงที่เป็นปีน้ำมาก ปีน้ำเฉลี่ยและปีน้ำน้อย นั้นใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบกัมเบล กับข้อมูลปริมาณน้ำท่าสูงสุดประจำปีของ สถานี C.2 ระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2515 - 2544 รวมระยะเวลา 30 ปี โดยเริ่มพิจารณาภายหลังการก่อสร้างทั้งเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์แล้ว ดังนั้นจากจำนวนของ ข้อมูลทั้งหมดที่มี คือ 1,121 วัน จะถูกแบ่งเพื่อใช้สำหรับกระบวนการเรียนรู้เป็นจำนวน 676 วัน โดยมาจากปี พ.ศ. 2535 - 2537 และปี พ.ศ. 2541 - 2542 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 5 ปี และสำหรับการทดสอบมีข้อมูลดังนี้คือ ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 มีจำนวนข้อมูล 175 วัน ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 มีจำนวนข้อมูล 131 วัน และ ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534 มีจำนวนข้อมูล 139 วัน

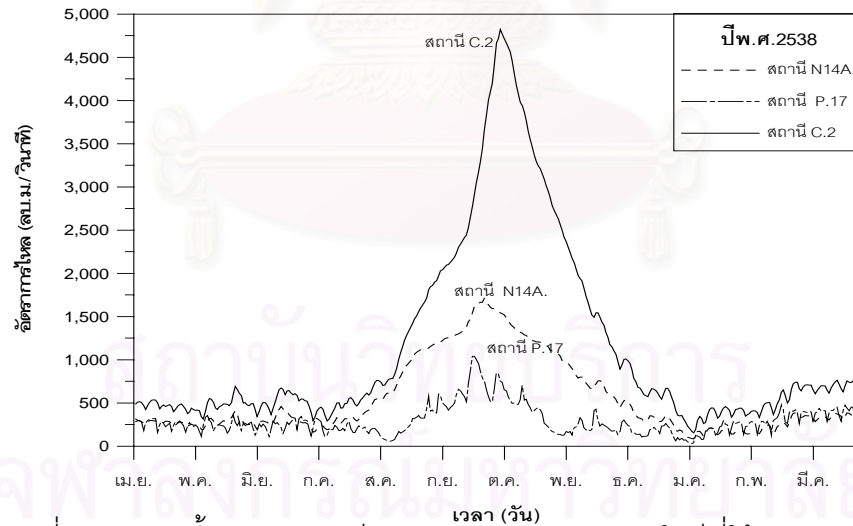
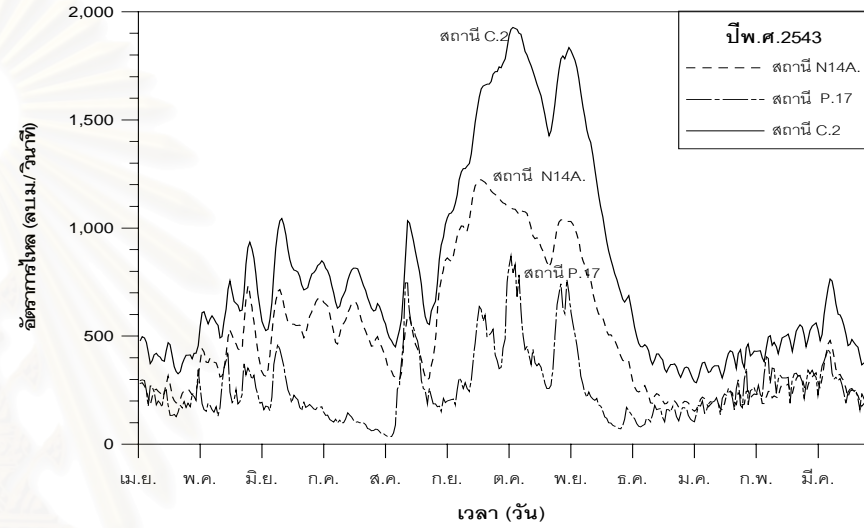
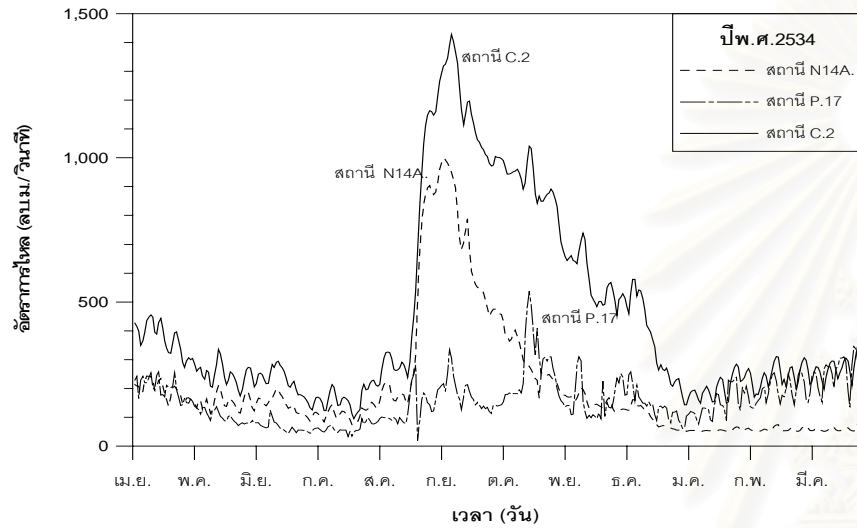
ปริมาณน้ำที่เข้ามายังสถานี C.2 นั้นส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากทางแม่น้ำน่าน มากกว่าแม่น้ำปิงเนื่องจากปริมาณของน้ำทางแม่น้ำน่านสูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4-8 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟน้ำท่าของสถานี C.2 จะเหมือนกันกับกราฟน้ำท่าของสถานี N14A. ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใต้มแม่น้ำน่าน และสำหรับหน้าตัดการไหลในช่วงทดสอบกับช่วงเรียนรู้แสดงดังรูปที่ 4-9 โดยจะเห็นได้ว่ารูปร่างของลำน้ำนั้น มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ทั้งการเกิดการกัดเซาะและการทับถม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปตัดลำน้ำที่เกิดขึ้นในช่วงของการเรียนรู้จะครอบคลุม รูปร่างหน้าตัดของช่วงที่ใช้ในการทดสอบแต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการใช้แบบจำลองที่ต้องอาศัยข้อมูลในอดีต เช่นแบบจำลอง ANN หรือ แบบจำลองทางสถิติอื่นๆ จะมีปัญหาในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



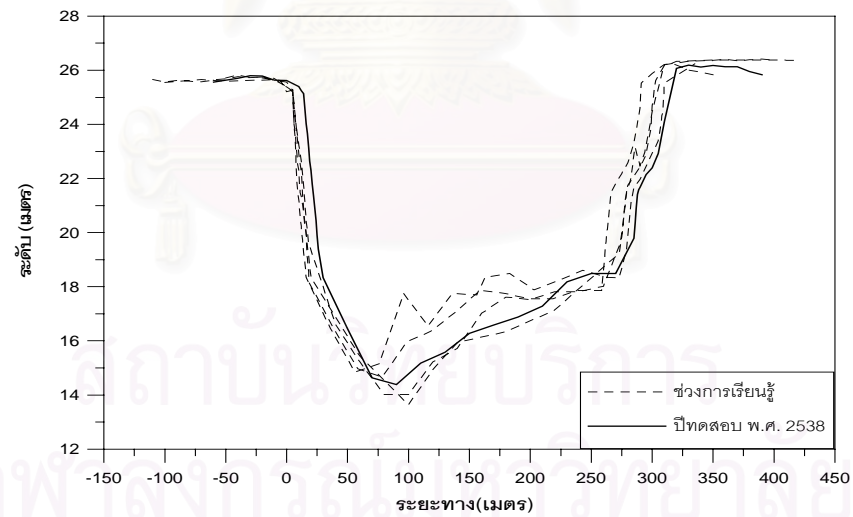
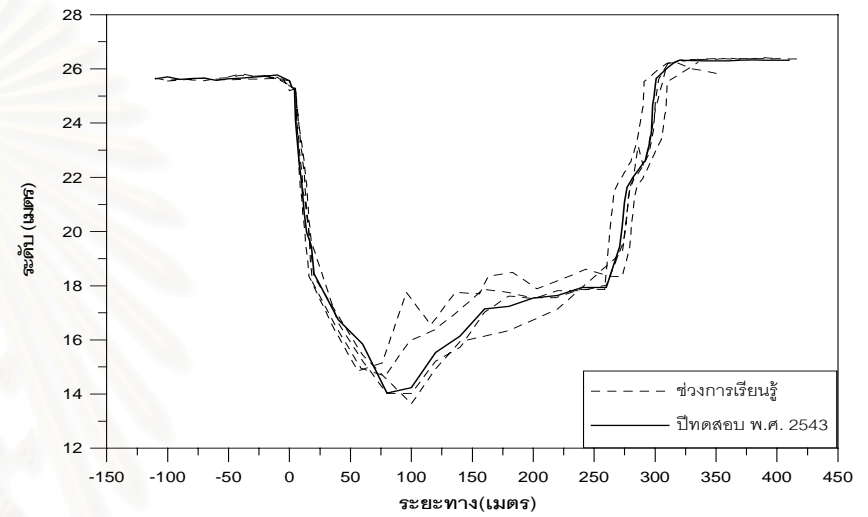
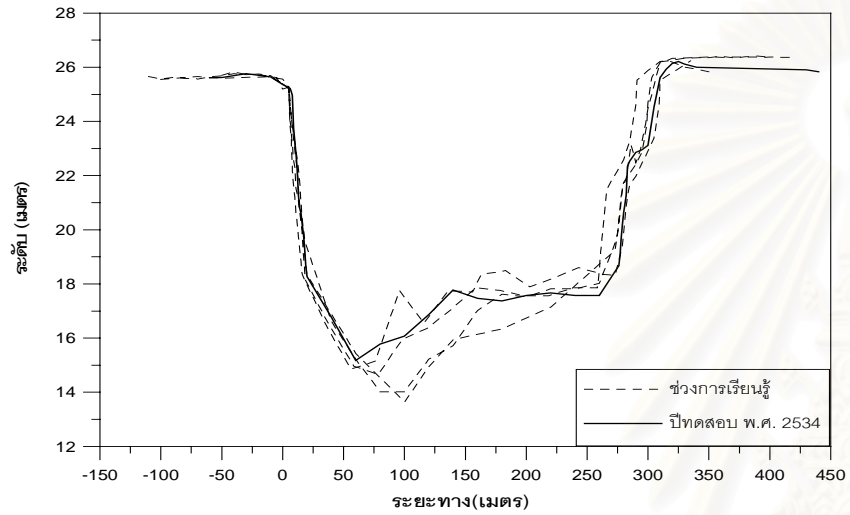
รูปที่ 4-6 กราฟน้ำท่าของปีที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4-7 อัตราการไหลสูงสุดรายปีของสถานี C.2 ระหว่างปี พ.ศ. 2515 - 2544



รูปที่ 4-8 กราฟน้ำท่าของสถานี C.2 N14A. และ P.17 ในปีที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 4-9 รูปหน้าตัด ที่สถานี C.2 ของช่วงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

บทที่ 5

วิธีการดำเนินการศึกษา

การดำเนินการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีการแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน จึงทำให้สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานหลัก ได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ คือ

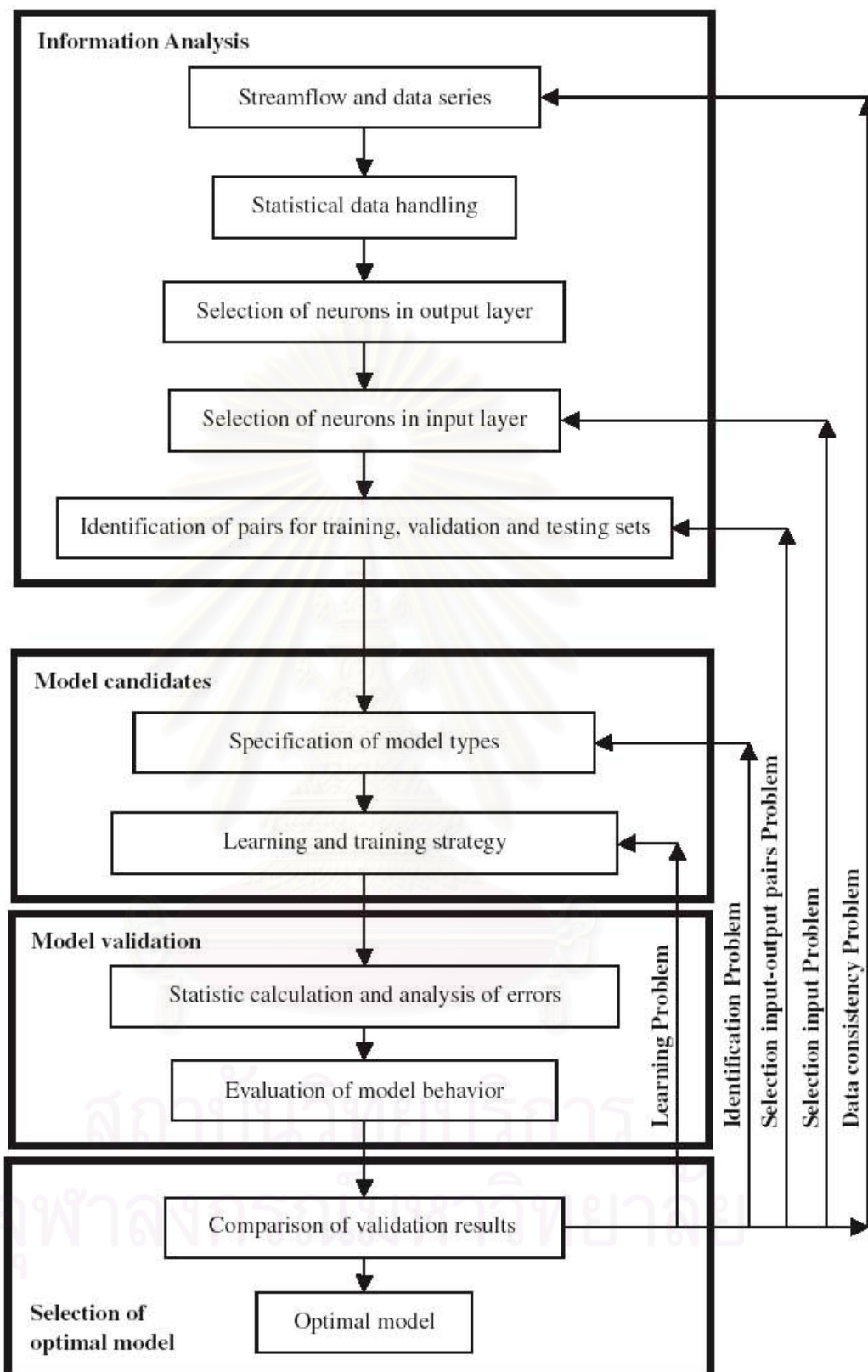
- 1) การหาโครงสร้างที่เหมาะสมของแบบจำลอง ANN โดยใช้โปรแกรม Qnet2000 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย บริษัท Vesta.
- 2) การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล และ แบบจำลอง MLR
- 3) การวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ ค่าอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัม

และเนื่องจากรูปแบบของการศึกษา เกี่ยวกับแบบจำลอง ANN นั้นไม่มีรูปแบบที่แน่นอนตายตัว ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนการทำงานของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จึงได้สรุปวิธีการและขั้นตอนจากการศึกษาที่มีมาในก่อนหน้า เพื่อใช้ในการอ้างอิงถึงแนวทางในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับขั้นตอนของการศึกษาแบบจำลอง ANN นั้น Dolling และ Varas (2002) ได้เสนอวิธีการศึกษา ไว้ดังรูปที่ 5-1 ซึ่งสามารถประยุกต์เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้านี้ได้ โดยรายละเอียดของขั้นตอนในการศึกษาสามารถแบ่งย่อยออกได้ดังต่อไปนี้

5.1 การแบ่งช่วงของข้อมูล

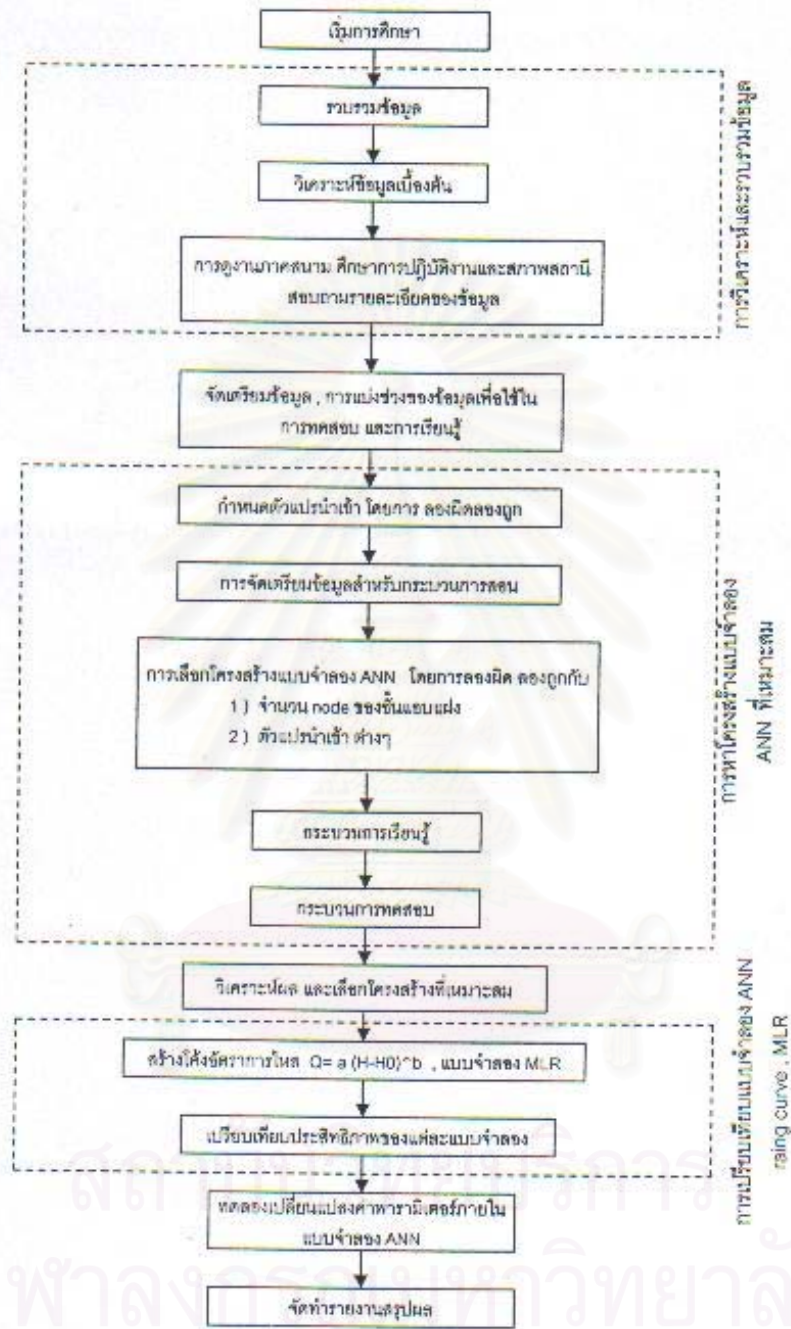
ข้อมูลที่ใช้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยอย่างแรกเป็นชุดสำหรับกระบวนการเรียนรู้ และอีกชุดสำหรับใช้ทดสอบ ASCE (2000) กล่าวว่าไม่มีวิธีที่ตายตัว ในการกำหนดจำนวนชุดของข้อมูลที่ใช้ แต่เพื่อที่จะต้องการความแน่ใจ Carpenter และ Barthelemy (1994) ได้แนะนำว่า จำนวนของข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ควรจะมีจำนวนข้อมูลที่ไม่น้อยกว่าจำนวนของค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในโครงข่าย Tokar และ Johnson (1999) กล่าวว่า ข้อมูลที่ใช้สำหรับกระบวนการเรียนรู้ ควรมีจำนวนมากพอที่จะครอบคลุมลักษณะต่างๆ ภายในลุ่มน้ำ หากข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้มีไม่เพียงพอ การเพิ่มความสลับซับซ้อนให้แก่โครงข่าย เช่น การเพิ่มจำนวนโหนดหรือการเพิ่มจำนวนชั้นของโครงข่าย ก็ไม่สามารถทำให้โครงข่ายสร้างรูปแบบทางลักษณะกายภาพได้

จากการศึกษาต่างๆที่ผ่านมาในด้านของการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ของระดับน้ำ - อัตราการไหลนั้น พบว่าจำนวนข้อมูลที่ทำการศึกษา มีการใช้ข้อมูลในกระบวนการเรียนรู้ หรือ การสอนที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละการศึกษา โดยมีการใช้ตั้งแต่ช่วงระหว่าง 1 ถึง 6 ปี ดังแสดงในตารางที่ 5-1



รูปที่ 5-1 ขั้นตอนการศึกษาแบบจำลอง ANN

ที่มา : Dolling และ Varas (2002)



รูปที่ 5-2 ขั้นตอนวิธีการศึกษา

ตารางที่ 5-1 ช่วงข้อมูล และตัวแปรนำเข้า ที่ใช้ในการศึกษานี้และการศึกษาที่ผ่านมา

ชื่องานวิจัย	ผู้วิจัย	ช่วงของข้อมูล (ปี/ชุด)		ตัวแปรนำเข้า								
		การเรียนรู้	การทดสอบ	H (t)	H(t-1)	H(t-2)	dH/dt	Q(t-1)	Q(t-2)	H _{เหนือ} น้ำ	H _{ท้าย} น้ำ	Fall
1) Hysteresis Sensitive Neural Network For Modeling Rating Curves (ASCE, 1997)	Tawfik et al.	1 ปี	1 ปี	0	-	-	0	-	-	-	-	-
2) Setting Up Stage - Discharge Relation Using ANN (ASCE 2000)	Jain และ Chalisgaonkar	แม่น้ำ Kolar 531 ชุด แม่น้ำ Narmadar 198 ชุด	120 ชุด 61 ชุด	0	0	0	-	0	0	-	-	-
3) Application of ANN in stage - discharge relationship (Delft, 2000)	Bhattacharya และ Solomatine	6 ปี	3.5 ปี	0	0	0	-	0	-	-	-	-
4) Development Of Integrated Sediment Rating Curve Using ANN (ASCE , 2001)	Jain	สถานี Chester ธ.ค. 85 - ส.ค.86 สถานี Thebes ม.ค. 90 - ก.ย. 90	ก.ย.86- ม.ค.87 ม.ค.91 - สค91	0	0	0	-	0	0	-	-	-
5) การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล (จุฬาลงกรณ์ ,2546)	เลอพงศ์	1 , 3 และ 5 ปี	1 ปี - น้ำน้อย 1 ปี - น้ำเฉลี่ย(ปกติ) 1 ปี - น้ำมาก	0	0	0	0	-	-	0	0	0

สำหรับการใช้ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ และการทดสอบนั้น Tokar และ Johnson (1999) ได้แนะนำว่าควรใช้ข้อมูลที่ใหม่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะว่าข้อมูลจะสะท้อนสภาพทางการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำในปัจจุบัน และการใช้ข้อมูลที่เป็นปีล่าสุดในการทดสอบจะแสดงให้เห็นถึงความสามารถของแบบจำลองในการทำนายผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยปราศจากการนำเอาลักษณะการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำมาใช้โดยตรง

อย่างไรก็ตามยังไม่มี การเปรียบเทียบช่วงของการเรียนรู้ทั้งช่วงสั้นและช่วงยาวในการศึกษาเดียวกัน ซึ่งการให้แบบจำลองเรียนรู้ในระยะยาวจะทำให้แบบจำลองได้เห็นข้อมูลที่มีความหลากหลาย แต่แบบจำลองก็จะได้รับอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพลำน้ำและสภาพของการใช้ที่ดิน มากขึ้นตามเวลาไปด้วย ASCE (2000) กล่าวว่า ความสำเร็จของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ขึ้นกับคุณภาพและปริมาณ ของข้อมูลที่มีอยู่ โดยทั่วไปแล้วทั้งคุณภาพและปริมาณของข้อมูลเป็นไปได้อย่างดีที่มีทั้งสองอย่างนี้พร้อมกัน ซึ่งแม้มีข้อมูลที่มีการบันทึกไว้นาน แต่ก็ไม่สามารถแน่ใจได้ว่าข้อมูลจะยังคงสภาพเดียวกันตลอดทั้งช่วงที่มี เพราะฉะนั้นชุดของข้อมูลที่บันทึกซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์จึงเป็นที่ต้องการ สำหรับการศึกษานี้จะทำการศึกษาทั้งการเรียนรู้ในช่วงสั้นและการเรียนรู้ในช่วงยาว รวมทั้งการทดสอบในเหตุการณ์ที่ตัวแบบจำลองเองไม่ได้รับการเรียนรู้มาก่อน

สำหรับรายละเอียดของการแบ่งข้อมูลนั้น ได้กล่าวไว้บางส่วนในบทที่ 4 ซึ่งเป็นการแบ่งข้อมูลที่มี เพื่อใช้ในการศึกษาตัวแปรนำเข้า โดยใช้การเรียนรู้ที่ 5 ปี ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่ครอบคลุมในหลายเหตุการณ์ นอกจากนี้แล้วในการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง ANN กับแบบจำลองอื่น ยังได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในการใช้ช่วงข้อมูลของการเรียนรู้ที่มีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของจำนวนและเวลา โดยการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบที่ช่วงระยะเวลา 5 ปี 3 ปี และ 1 ปี ในช่วงของระยะเวลาการเรียนรู้ 5 ปีนั้น คือ ช่วงของข้อมูลที่ไม่ใช่ปีทดสอบ และที่การเรียนรู้ 3 ปี กับ 1 ปีจะพิจารณาจากปีที่อยู่ใกล้กันกับปีที่ใช้ทดสอบ อย่างไรก็ตามจำนวนของข้อมูลในแต่ละปีจะไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากการวัดอัตราการไหลนั้น ไม่ได้มีการวัดที่สม่ำเสมอ

5.2 การหาโครงสร้างของแบบจำลอง ANN

ขั้นตอนของการพัฒนาแบบจำลอง ANN สำหรับการศึกษานี้เริ่มต้นจากการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าแบบจำลองโดยใช้วิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งในแต่ละตัวแปรนำเข้านั้นการหาจำนวนโหนดที่เหมาะสมก็ใช้วิธีการลองผิดลองถูกอีกเช่นเดียวกัน จากนั้นจึงจะเข้าสู่กระบวนการทดสอบของแบบจำลอง รายละเอียดของขั้นตอนการศึกษามีดังต่อไปนี้

5.2.1 การกำหนดตัวแปรนำเข้า

ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าของ ระดับน้ำ(H) และ ค่าอื่นๆ ที่มาจากค่าระดับน้ำอื่นได้แก่ ค่าของผลต่างระดับน้ำ (Fall , ΔF) และ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อเทียบกับเวลา(dh/dt) แม้ว่าค่าของอัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรทางอุทกวิทยาอื่นได้อีก ตัวอย่างเช่น ปริมาณฝน ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ แต่เนื่องจากจุดประสงค์ของการศึกษานี้ต้องการศึกษาการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำกับอัตราการไหล จึงใช้ข้อมูลค่าระดับน้ำเป็นตัวแปรหลัก และในการพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรนำเข้านั้น อยู่ในพื้นฐานจากสมการของการไหล โดยรายละเอียดของการพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 5-2 โดยมีรายละเอียดของการกำหนดค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การเลือกใช้ค่าระดับน้ำที่สถานีหลัก C.2 ย้อนหลัง ซึ่งในการศึกษาที่ผ่านมาทั้งของ Jain และ Chalisgaonkar (2000) กับ การศึกษาของ Bhattacharya และ Solomatine (2000) ใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าระดับน้ำย้อนหลังมากที่สุดที่ 2 วัน สำหรับการศึกษานี้จะเพิ่มค่าระดับน้ำย้อนหลัง ไปจนกว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองไม่มีการเพิ่มขึ้นอีก ตัวแปรนำเข้าที่เป็นค่าระดับน้ำของสถานีหลัก อาจพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ตามสมการของไหลพื้นฐาน เช่น สมการของ Chezy คือ $Q = CA\sqrt{RS_f}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าอัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด และหน้าตัดการไหลเป็นจะขึ้นอยู่กับค่าของระดับน้ำ ($A = f(h)$)

2) ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อเทียบกับเวลา หรือ ค่าของdh/dt ในการศึกษานี้ใช้ผลต่างระหว่างค่าของระดับน้ำปัจจุบัน H(t) กับ ค่าระดับน้ำย้อนหลัง 1 วัน H(t-1) ที่สถานีC.2 เพื่อให้เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่ใกล้กับเวลาปัจจุบันมากที่สุด โดยตัวแปรนำเข้านี้ มีการศึกษามาก่อนหน้านี้โดย Tawfik et al. (1997) แต่ยังไม่มีการศึกษาการใช้ตัวแปรนำเข้า รวมกันระหว่าง ค่าของระดับน้ำย้อนหลัง และ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อเทียบกับเวลา

สำหรับตัวแปรนำเข้าที่เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ จะแตกต่างจากตัวแปรระดับน้ำ ตรงที่มีเครื่องหมายบวก และ ลบ เข้ามาเกี่ยวข้องในการแสดงสภาวะของการไหลโดยหากค่าระดับน้ำมีค่าเป็นบวกหมายถึง แม่น้ำอยู่ในสภาวะของช่วงน้ำขึ้นและเป็นลบเมื่ออยู่ในสภาวะน้ำเริ่มลดลง โดยที่การพิจารณาตัวแปรนำเข้านี้ Tawfik et al. (1997) ใช้การอ้างอิงจากสมการความสัมพันธ์ของ Jones ตามสมการ ที่ 3-4 ซึ่งมีพื้นฐานมาจากสมการของโมเมนต์

ตารางที่ 5-2 รายละเอียดตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1

No.	แบบจำลอง	ค่าระดับน้ำ														ผลต่างระดับน้ำ			จำนวน ตัวแปรนำเข้า	หมายเหตุ
		สถานี C2.					ทำynnน้ำ		เหนือynnน้ำ							ทำynnน้ำ	เหนือynnน้ำ			
		H(t)	H(t-1)	H(t-2)	H(t-3)	dh/dt	Ct.2	เขื่อน	P.17	N.14A	P.16	N.8	Y.5	P.15	N.10A	$\Delta F1$	$\Delta F2$	$\Delta F3$		
1	T1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	กลุ่มตัวแปร
2	T2	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	นำเข้าของ
3	T3	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	สถานีหลัก
4	T4	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	"
5	T5	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	"
6	T6	0	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	"
7	T7	0	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	"
8	D1	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	กลุ่มตัวแปร
9	D2	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	นำเข้าของ
10	D3	0	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	ด้านทำynnน้ำ
11	U1	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	แม่น้ำปิง
12	U2	0	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	3	ปิง + น่าน
13	U3	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	4	ปิง + น่าน
14	U4	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	5	ปิง + น่าน
15	U5	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	6	ปิง + น่าน
16	U6	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	7	ปิง + น่าน
17	U7	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	8	ปิง + น่าน
18	U8	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	3	แม่น้ำปิง
19	U9	0	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	0	-	-	-	-	4	แม่น้ำปิง
20	U10	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	2	แม่น้ำน่าน
21	U11	0	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	-	-	3	แม่น้ำน่าน
22	U12	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	-	0	-	-	-	4	แม่น้ำน่าน
23	U13	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	0	-	-	-	5	น่าน + ยม

ตารางที่ 5-2 รายละเอียดตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1 (ต่อ)

No.	แบบจำลอง	ค่าระดับน้ำ														ผลต่างระดับน้ำ			จำนวน ตัวแปรนำเข้า	หมายเหตุ	
		สถานี C.2.					ทำนน้ำ		เหนือน้ำ							ทำนน้ำ	เหนือน้ำ				
		H(t)	H(t-1)	H(t-2)	H(t-3)	dh/dt	Ct.2	เขื่อน	P.17	N.14A	P.16	N.8	Y.5	P.15	N.10A	$\Delta F1$	$\Delta F2$	$\Delta F3$			
24	F1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	2	ทำนน้ำ แม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน
25	F2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	2	
26	F3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2	
27	F4	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	3	
28	F5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	3	
29	F6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	3	
30	F7	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	4	

หมายเหตุ

$H(t)$ = ระดับน้ำสถานี C.2 ที่เวลาปัจจุบัน (m)

$\Delta F1$ = $H(t) - H_{\text{เขื่อน}}$ (m)

$H(t-1)$ = ระดับน้ำสถานี C.2 ที่เวลาย้อนหลัง 1 วัน (m)

$\Delta F2$ = $H_{P.17} - H(t)$ (m)

$H(t-2)$ = ระดับน้ำสถานี C.2 ที่เวลาย้อนหลัง 2 วัน (m)

$\Delta F3$ = $H_{N.14A} - H(t)$ (m)

$H(t-3)$ = ระดับน้ำสถานี C.2 ที่เวลาย้อนหลัง 3 วัน (m)

dh/dt = อัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ (m/day)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ในส่วนของตัวแปรนำเข้าอื่นที่เพิ่มเข้ามาในการศึกษานี้ คือ ค่าของระดับน้ำที่สถานีต่างๆ ทั้งเหนือน้ำทำynnน้ำ และค่าของผลต่างระหว่างระดับน้ำที่สถานีหลักกับสถานีเหนือน้ำ และทำynnน้ำ โดยตัวแปรนำเข้าที่ไม่ใช่ค่าระดับของสถานี C.2 ถูกเพิ่มเข้ามาเพื่อให้แบบจำลอง ANN สามารถแยกแยะสภาวะในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลง เนื่องจากความลาดชันของผิวน้ำนั้นจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งการใช้ค่าของตัวแปรผลต่างระดับน้ำจะเป็นการถึงความลาดชันของผิวน้ำได้อีกทางหนึ่ง คือ $S_w = \left(\frac{\Delta F}{L}\right)$ โดยที่ L เป็นระยะที่คงที่

ตัวแปรนำเข้าที่ใช้จะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกัน เพื่อต้องการให้เห็นผลที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละประเภทของตัวแปรที่ชัดเจน โดยกลุ่มที่แบ่งจะประกอบด้วย กลุ่มทางด้านเหนือน้ำ (upstream, U) กลุ่มทำynnน้ำ (downstream, D) กลุ่มผลต่างระดับน้ำ (Fall, F) และกลุ่มของตัวแปรที่สถานีหลัก (time, T) โดยภายหลังจากที่ได้ผลการทดสอบจากทุกตัวแปรนำเข้าแล้ว ขั้นตอนของการศึกษาต่อไปคือ จะทำการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าที่ให้ผลของความผิดพลาดน้อยที่สุดในแต่ละกลุ่มมารวมกัน เพื่อศึกษาผลของตัวแปรนำเข้าอีกครั้ง

5.2.2 การหาจำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงที่เหมาะสม

สำหรับการหาโครงสร้างที่เหมาะสมของแบบจำลอง ANN ขั้นตอนหนึ่งคือ การหาจำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงที่เหมาะสม ในการศึกษาที่ผ่านมา Jirayoot และ Al-Soufi (2000) ทำการศึกษาหาโครงสร้างที่เหมาะสม สำหรับทำนายอัตราการไหลรายวันที่แม่น้ำมูล โดยใช้การทดลองเปลี่ยนอัตราส่วน ของจำนวนโหนดในชั้นแอบแฝงที่ 1 กับจำนวนตัวแปรนำเข้าหลายๆ อัตราส่วนด้วยกัน แต่จะกำหนดให้ค่าอัตราส่วนของจำนวนโหนดระหว่างชั้นที่ติดกันอื่น มีค่าคงที่เป็น 1 : 0.5 และในลักษณะคล้ายกัน ธนพล พิมาน (2545) กับ เจษฎา สารสินพิทักษ์ (2544) ใช้วิธีแบบเดียวกับ Yeh (1999) ในการกำหนดการลองผิดลองถูกจำนวนโหนด ให้สัมพันธ์กับตัวแปรนำเข้า ด้วยอัตราส่วนคงที่ คือ 0.5 เท่า 1 เท่า และ 2 เท่า ตัวอย่างเช่น หากตัวแปรนำเข้ามี 4 ตัวแปรด้วยกัน จะทำการทดลองจำนวนโหนดในชั้นแอบแฝง ที่ 2, 4, 8 และ 4, 4 ในกรณี 2 ชั้น

ในแต่ละงานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่าขั้นตอนในการทำงานของส่วนนี้จะแตกต่างกัน บางการศึกษาจะมีการทดลองเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างมาก เช่น Tokar และ Johnson (1999) ใช้การเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1 - 400 โหนด ในขณะที่บางการศึกษาเลือกใช้การเปลี่ยนแปลงเป็นบางค่า เช่น French et al. (1992) ทดลองใช้จำนวนโหนดที่ค่าเท่ากับ 15 30 45 60 และ 100 โหนด Tohma และ Igata (1994) ทดลองใช้จำนวนโหนดที่ค่าเท่ากับ 6 12 18 24 36 60 และ 120 โหนด

และบางการศึกษาใช้การกำหนดให้คงที่เพียงค่าเดียว เช่น Liong et al. (2000) กำหนดจำนวนของ โหนดในชั้นแอบแฝงเป็น 30

สำหรับในการศึกษานี้ได้กำหนด จำนวนของชั้นแอบแฝงไว้ไม่เกิน 2 ชั้น และเปลี่ยนแปลง จำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงที่ 1 ให้สัมพันธ์กับจำนวนตัวแปรนำเข้าด้วยหลายๆ อัตราส่วนด้วยกัน โดยเริ่มตั้งแต่ 1 โหนด ขึ้นไปจนถึง 1.5 เท่าของจำนวนตัวแปรนำเข้า หรือ 10 โหนด ขึ้นกับว่าค่าใด ที่มากกว่ากัน และ สำหรับชั้นแอบแฝงที่ 2 กำหนดให้จำนวนของโหนดสัมพันธ์กับจำนวนโหนด ของชั้นที่ 1 เป็น 0.5 เท่า 1 เท่า และ 1.5 เท่า โดยจำนวนโหนดขั้นต่ำที่ใช้ 10 โหนด ถูกกำหนด ขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในกรณีที่เป็นแบบจำลองที่มีตัวแปรนำเข้าจำนวนน้อย เช่น กรณีของแบบจำลอง T1 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าเพียงตัวเดียว คือ $H(t)$ โดยหากใช้จำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงที่ 1 เป็น 1.5 เท่าของชั้นก่อนหน้าแล้ว จะได้จำนวนโหนดมากที่สุดเพียงแค่ 2 โหนด (พิเศษขึ้น) ซึ่งถือว่าน้อย เกินไป และจากผลการศึกษาของการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลที่ผ่าน มาพบว่า จำนวนโหนดที่เหมาะสมสำหรับชั้นแอบแฝงแรก มีจำนวนมากที่สุดไม่เกินกว่า 10 โหนด จึงกำหนดให้เป็นจำนวนโหนดขั้นต่ำ ของชั้นแอบแฝงแรกในการศึกษานี้ ซึ่งตัวอย่างของการ เปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแสดงใน ภาคผนวก ค

สำหรับการศึกษาในชั้นตอนนี้ กำหนดให้ค่าของโมเมนตัม มีค่าเท่ากับ 0.8 และ ค่าอัตราการ เรียนรู้เท่ากับ 0.01 โดยมีเงื่อนไขของการหยุดคำนวณอยู่ที่ 20,000 รอบซึ่งมาจากการทดสอบ แบบสุ่มกับหลายๆโครงข่าย พบว่าตั้งแต่รอบการคำนวณที่ 10,000 รอบขึ้นไปค่าของความผิดพลาดเริ่มที่จะคงที่ และค่าโมเมนตัมที่ 0.8 ไม่พบปัญหาของการแกว่งในการลู่เข้าหาคำตอบ

5.2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนตัม และ อัตราการเรียนรู้

หลังจากที่ได้เลือกโครงสร้าง และตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการศึกษาหา ค่าที่เหมาะสมของ ค่าโมเมนตัมและค่าอัตราการเรียนรู้ ซึ่งค่าทั้งสองตัวนี้จะเป็นค่าที่ควบคุมการ ปรับแก้ของค่าถ่วงน้ำหนักในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่าย สำหรับขั้นตอนนี้ในการศึกษาที่ผ่านมา นักวิจัยบางท่านจะทำการปรับเปลี่ยนค่าทั้งสองนี้ไประหว่างกระบวนการเรียนรู้ เมื่อพบว่า ความเร็วในการคำนวณของแบบจำลองนั้นช้าหรือเร็วเกินไป หรือพบว่ามีอาการแกว่งของการลู่เข้าหา คำตอบตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Manusthiparom (2000) และ การศึกษาของ Tingsanchali และ Win (2000) ที่ได้กำหนดค่าของโมเมนตัม และ ค่าอัตราการเรียนรู้เริ่มที่ 0.5 และ 0.2 ตาม ลำดับ และ ค่อยปรับเปลี่ยนค่าอัตราการเรียนรู้ไปที่ละ 5 % ในแต่ละช่วงของรอบการคำนวณและ ตามสภาพของการเรียนรู้ที่ช้าหรือเร็ว ในขณะที่เดียวกันบางงานวิจัยใช้การกำหนดเป็นค่าคงที่ไป ตลอดช่วงของการเรียนรู้ แต่มีการทดลองเปลี่ยนการใช้ค่าโมเมนตัมและอัตราการเรียนรู้หลายๆ

ค่าด้วยกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าที่มีความเหมาะสมที่สุด เช่นการศึกษาของ Siang(1992) และ การศึกษาของ Jirayoot และ Al-Soufi (2000)

สำหรับการศึกษานี้ใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการปรับค่าของโมเมนต์ และ ค่าของอัตราการเรียนรู้ โดยกำหนดให้มีค่าที่คงที่ตลอดช่วงของการเรียนรู้ เพื่อที่จะต้องการศึกษาผลจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้ โดยกำหนดค่าของโมเมนต์ที่ใช้คือ 0 (ไม่ใช้), 0.25, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 โดยช่วงของค่าโมเมนต์ที่เลือกใช้ในการศึกษา คือ 0.5-0.9 ถือเป็นช่วงที่ครอบคลุมช่วงที่มีการแนะนำไว้โดย เสรี ศุภราทิตย์ (2544) และในคู่มือการใช้โปรแกรม Qnet2000 แนะนำไว้ที่ช่วง 0.8 - 0.9 สำหรับการปรับค่าอัตราการเรียนรู้นั้น กำหนดใช้ค่าดังต่อไปนี้ 0.001, 0.005, 0.010, 0.025, 0.050, 0.075, 0.10, 0.50 และ 0.75



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาที่ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ 1) การศึกษาตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ซึ่งมีด้วยกัน 2 ช่วง และ 2) การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง ANN แบบจำลอง MLR และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล 3) การศึกษาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ANN ดังนั้นผลการศึกษาที่ได้จะถูกสรุปไว้ตามลำดับของการศึกษา โดยผลการศึกษาตัวแปรนำเข้าได้ถูกแบ่งออกเป็นช่วงของการเรียนรู้และทดสอบ เพื่อแยกให้เห็นผลของแบบจำลอง ANN ที่ชัดเจน และค่าอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำกลับมาตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์กับระดับน้ำ เพื่อต้องการเห็นลักษณะรูปร่างของวงรอบที่ได้และลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ผลที่ได้จากแต่ละแบบจำลองที่ศึกษาพบว่ามีความแตกต่างกันที่น้อยมาก หากพิจารณาจากตัวเลขผลทดสอบประสิทธิภาพ หรือค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงรูปร่างของวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN กลับพบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละแบบจำลอง ดังนั้นสำหรับในการศึกษานี้ การคัดเลือกผลของแบบจำลองจะพิจารณาจากผลรวมของความผิดพลาดกำลังสองเป็นหลัก (SSE) อันเนื่องจากการวัดประสิทธิภาพด้วยค่าอื่นนั้นไม่ให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลสรุปที่ได้ทั้งหมดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 ผลการศึกษาตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

6.1.1 ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1

จากขั้นตอนการดำเนินการศึกษาตัวแปรนำเข้าในช่วงที่ 1 ซึ่งได้แบ่งกลุ่มของตัวแปรนำเข้าออกเป็น 4 กลุ่มด้วยกัน โดยแบบจำลองในแต่ละกลุ่มจะเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้และทดสอบเพื่อศึกษาผลการจำลองความสัมพันธ์ การวิเคราะห์ผลในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ของข้อมูลในช่วงการเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี 676 ชุดข้อมูล โดยตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในช่วงที่ 1 นี้มีทั้งหมดด้วยกัน 4 กลุ่มตัวแปร 30 แบบจำลอง ซึ่งโครงข่ายที่เหมาะสมได้มาจากการวิธिलองผิดลอง ถูกไม่ต่ำกว่า 39 โครงข่ายต่อแบบจำลอง ผลการศึกษาของแต่ละกลุ่มตัวแปรนำเข้าสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

6.1.1.1 ผลการเรียนรู้กลุ่ม T (time)

ในกลุ่มนี้จะเป็นการรวมตัวแปรนำเข้าที่เป็นค่าระดับน้ำของสถานีหลักที่ใช้ศึกษา ตั้งแต่ที่เวลาปัจจุบัน จนถึงเวลาย้อนหลังที่ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองเริ่มลดลง และค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเทียบกับเวลา (dh/dt) ซึ่งผลการศึกษาของการใช้ตัวแปรทั้งสองแบบนี้ แสดงในตารางที่ 6-1 และ รูปที่ 6-1 จากผลการศึกษาพบว่า

1) จากผลการศึกษาพบว่า ค่าของระดับน้ำที่สถานีหลักย้อนหลัง มีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 2 วัน เนื่องจากแบบจำลองจะให้ความผิดพลาดที่มากขึ้นเมื่อใช้ ระดับน้ำที่สถานีหลัก ย้อนหลัง เป็นเวลา 3 วัน ดังแสดงในตารางที่ 6-1 แต่จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากทุกแบบจำลองมีค่าที่เหมือนกันซึ่งมีความแตกต่างกันที่น้อยมากและไม่มีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามจากผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง พบว่าแบบจำลอง T4 ซึ่งใช้ระดับน้ำย้อนหลัง 3 วันจะให้ค่าความผิดพลาดที่เพิ่มขึ้น แบบจำลอง T3 ซึ่งใช้ระดับน้ำย้อนหลัง 2 วัน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดให้ใช้ค่าระดับน้ำย้อนหลังมากที่สุดที่ 2 วัน

2) ผลการเปรียบเทียบการใช้รูปแบบการนำเข้า ระหว่างการนำเข้าโดยการใช้เป็นค่าระดับน้ำย้อนหลัง ในแบบจำลอง T2 T3 และ T4 กับ การใช้เป็นค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อเทียบกับเวลา ในแบบจำลอง T5 พบว่าการใช้ตัวแปรนำเข้า โดยการใช้เป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ จะให้ผลที่ดีขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่หากพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ จะพบว่ามีความสัมพันธ์กับค่าของอัตราการไหลที่น้อยมาก ($r = 0.168$) ดังแสดงในรูปที่ ข-5 หากเทียบกับตัวแปรอื่นๆกลุ่มเช่น $H(t-1)$, $H(t-2)$ แต่ผลที่ได้จากแต่ละแบบจำลองกลับให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน

3) ผลสรุปจากการเปรียบเทียบแบบจำลองของกลุ่ม T ทั้งหมด จำนวนทั้งสิ้น 7 แบบจำลอง ไม่พบถึงความแตกต่างในแต่ละแบบจำลอง แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาจำเป็นที่จะต้องเลือกแบบจำลองมาใช้เพื่อนำไปศึกษาในช่วงต่อไป โดยพิจารณาจากค่าของผลรวมความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุดของกลุ่ม ซึ่งจะได้เป็นแบบจำลอง T6 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้า 3 ตัวแปรด้วยกันคือ H_t , H_{t-1} และ dh/dt แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละแบบจำลองเมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAE) แล้ว พบว่าจะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักโดยมีค่าที่อยู่ระหว่าง 21.44 - 23.49 ลบ.ม./วินาที และ ค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ระหว่าง 160 - 172 ลบ.ม./วินาที ซึ่งแบบจำลองในกลุ่มนี้จะให้ค่าความผิดพลาดที่มากกว่าแบบจำลองในกลุ่มอื่น ๆ

6.1.1.2 ผลการเรียนรู้กลุ่ม D (downstream)

ในกลุ่มของ D หรือกลุ่มของท้ายน้ำ เป็นการรวมเอาตัวแปรนำเข้าที่เป็น ค่าระดับน้ำของ สถานีทางด้านท้ายน้ำ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 แห่งด้วยกัน คือ ที่ด้านเหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา และ สถานี Ct.2 ของแม่น้ำสะแกกรัง โดยแบบจำลองของกลุ่มนี้ มีทั้งหมด 3 แบบจำลอง ดังแสดงใน ตารางที่ 6-2 และรูปที่ 6-2 ผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) เมื่อเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง ระหว่างการใช้ ค่าระดับน้ำ ทางท้ายน้ำ ทั้งสอง ผลที่ได้จากทุกแบบจำลองภายในกลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกัน คือมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย อยู่ที่ 22.57– 23.04 ลบ.ม./วินาที แต่หากพิจารณาที่แบบจำลอง D3 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้า จำนวน 3 ตัว คือ ค่าระดับน้ำของสถานี C.2 ค่าระดับน้ำของสถานี Ct.2 และ ค่าระดับน้ำเหนือเขื่อน เจ้าพระยาพบว่า แบบจำลองให้ผลในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่ดีขึ้น โดยที่ค่าของความผิดพลาด มากสุดจะลดลงจากเดิมที่ 130 ลบ.ม./วินาที เหลือเป็น 120 ลบ.ม./วินาที จึงถือเป็นแบบจำลองที่ เหมาะสมที่สุดในการจำลองความสัมพันธ์ ของกลุ่มนี้

2) พิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังแสดงในตารางที่ ข-1 พบว่าค่าความสัมพันธ์ ระหว่างค่าระดับน้ำที่แม่น้ำสะแกกรัง กับ อัตราการไหลที่สถานี C.2 มีค่าเป็น 0.722 ซึ่งสูงกว่าที่ เขื่อนเจ้าพระยา คือ 0.572 แต่กลับให้ผลจากแบบจำลอง ANN ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะเห็นได้ว่าตัวแปรนำเข้าแม้ว่ามีความสัมพันธ์ กับ ค่าของอัตราการไหลที่ C.2 ไม่ค่อยดีนัก แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกับค่าของระดับน้ำที่สถานี C.2 จะส่งผลทำให้ความสามารถของแบบจำลองมี ค่าที่ได้ไม่แตกต่างไป จากการใช้ตัวแปรนำเข้าที่มี ความสัมพันธ์กับสถานี C.2 ที่สูงกว่า

6.1.1.3 ผลการเรียนรู้กลุ่ม U (upstream)

กลุ่มของ U เป็นการรวมเอาค่าระดับน้ำ ทางด้านเหนือน้ำของ สถานี C.2 จำนวน 7 สถานี ครอบคลุมแม่น้ำปิง แม่น้ำยม และ แม่น้ำน่าน มาใช้เป็นตัวแปรนำเข้าผลการทดสอบประสิทธิภาพ ทางสถิติ ในช่วงการเรียนรู้แสดงใน ตารางที่ 6-4 โดยแบบจำลอง ในกลุ่มนี้มีอยู่ด้วยกันทั้งสิ้น 13 แบบจำลอง และจากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1) จากผลการเรียนรู้ค่าประสิทธิภาพทางสถิติของ แบบจำลองในกลุ่ม U รวมทั้งสิ้น 13 แบบจำลอง พบว่าผลที่ได้เหมือนกันกับกลุ่มตัวแปรอื่นๆซึ่งค่าที่ได้จากแต่ละแบบจำลองไม่ได้มี ค่าที่แตกต่างกันมากอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลอง U7 ซึ่งใช้ค่าของระดับน้ำที่

สถานีเหนือน้ำทั้งหมดที่ใช้ คือ P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15 และ N.10A จะให้ผลที่ออกมาดีที่สุดของช่วงการเรียนรู้ และ ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มของตัวแปรอื่น ๆ ซึ่งอาจสรุปได้ว่าการใช้ค่าของระดับ ณ สถานีที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำ มาใช้ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล ร่วมกันกับ ค่าระดับน้ำที่สถานีหลัก จะให้ผลที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ตัวแปรนำเข้าที่อื่น ๆ

2) ผลของแบบจำลอง U1 ถึง แบบจำลอง U7 แสดงใน ตารางที่ 6-4 พบว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองจะดีขึ้นเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อมีการใช้ตัวแปรนำเข้าที่มากขึ้น ซึ่งค่าประสิทธิภาพมีการเพิ่มขึ้นจาก 99.60 % ในแบบจำลอง U1 เป็น 99.75 % ในแบบจำลอง U7 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง U1 U8 และ U9 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าทางแม่น้ำปิงกับแบบจำลอง U10 U11 U12 และ U13 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าจากสถานีที่อยู่ทางด้านแม่น้ำน่าน พบว่าแบบจำลองในกลุ่มของแม่น้ำน่านนั้น ให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบจำลองในกลุ่มของแม่น้ำปิงแต่ไม่มากนัก และเมื่อพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ดังแสดงในภาคผนวก ข จะพบความสัมพันธ์ในกลุ่มของแม่น้ำน่านให้ผลที่ดีกว่ากลุ่มของแม่น้ำปิง ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของปริมาณน้ำที่เข้ามาทางด้านแม่น้ำน่านมีค่าที่สูงกว่าแม่น้ำปิง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในรูปที่ ข-8 ถึง ข-10 คือ ที่ช่วงอัตราการไหลต่ำๆ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของแม่น้ำปิงกับอัตราการไหลของสถานี C.2 จะไม่ดีนักและหากเปรียบเทียบกับกลุ่มของแม่น้ำน่าน จะให้ความสัมพันธ์ที่ดีกว่าดังแสดงในรูปที่ ข-11 ถึง ข-14 ซึ่งกราฟมีลักษณะที่ชันขึ้นเป็นเส้นตรงซึ่งมีความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างชัดเจนกว่า

6.1.1.4 ผลการเรียนรู้ กลุ่ม F (fall)

สำหรับกลุ่มของ F ซึ่งเป็นการรวมเอาค่าของผลต่างระดับน้ำ ทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำมาใช้เป็นตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบจะทำทั้งที่ละตัวแปรและการรวมตัวแปรต่างๆ เข้าด้วยกัน ผลการทดสอบในช่วงการเรียนรู้ ทั้ง 7 แบบจำลอง แสดงไว้ในตารางที่ 6-3 และรูปที่ 6-4 ซึ่งผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวแปรนำเข้าจำนวน 2 ตัวแปรเท่ากันระหว่างแบบจำลอง F1, F2 และ F3 ดังตารางที่ 6-3 พบว่าตัวแปรนำเข้าที่เป็นผลต่างของระดับน้ำระหว่างสถานี N.14 A กับสถานีหลัก C.2 ในแบบจำลอง F3 จะให้ผลในการจำลองความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง F1 และ F2 ซึ่งเป็นค่าของผลต่างระดับด้านท้ายน้ำและผลต่างด้านเหนือน้ำของแม่น้ำปิง

2) แบบจำลองที่เลือกในกลุ่มนี้คือแบบจำลอง F5 ซึ่งมีตัวแปรนำเข้าอยู่ด้วยกัน 3 ตัวแปรคือค่าระดับของสถานี C.2 ค่าผลต่างระดับน้ำ ระหว่าง สถานี C.2 กับ เขื่อนเจ้าพระยา และค่าผลต่างระดับน้ำ ระหว่าง สถานี C.2 กับ สถานี N.14 A โดยแบบจำลอง F5 นี้ให้ค่าความผิดพลาดมากที่สุดสัมบูรณ์น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองในกลุ่มอื่น แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลอง F5 นี้ไม่ได้ให้ผลที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากแบบจำลอง F7 แต่จะเห็นได้ว่าในกระบวนการเรียนรู้การเพิ่มตัวแปรนำเข้าส่งผลให้แบบจำลองมีผลที่ดีขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มตัวแปรจากทางด้านแม่น้ำน่าน

3) พิจารณาจากรูปที่ ข-15 ถึง ข-17 และตารางที่ ข-1 ในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของผลต่างระดับน้ำทางท้ายน้ำ กับ อัตราการไหลที่ C.2 ($r_{\Delta F1, Q.C2} = 0.916$) และ ทางด้านแม่น้ำปิง ($r_{\Delta F2, Q.C2} = -0.915$) นั้นมีความสัมพันธ์ที่ดีกว่าผลต่างทางด้านแม่น้ำน่าน ($r_{\Delta F3, Q.C2} = 0.628$) แต่ผลจากแบบจำลอง ANN กลับให้ผลทางด้านแม่น้ำน่านนั้นออกมาดีกว่า และ จากตารางที่ ข-1 ในภาคผนวก ข จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างค่าระดับน้ำที่ C.2 หรือ H(t) กับ ผลต่างของระดับน้ำทางแม่น้ำน่าน ($r_{\Delta F3, H(t)} = 0.689$) จะมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับทั้งทางแม่น้ำปิง ($r_{\Delta F2, H(t)} = -0.963$) และ ทางเขื่อน ($r_{\Delta F1, H(t)} = 0.847$) โดยเห็นได้ว่าตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN หากมีความสัมพันธ์ต่อกันเองสูงจะไม่ส่งผลให้แบบจำลองมีความสามารถที่เพิ่มขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาในกลุ่มอื่นๆ พบว่ายังมีข้อขัดแย้งกัน เช่น ในกลุ่มของตัวแปรนำเข้า ระดับน้ำทางด้านเหนือหน้า เมื่อพิจารณาที่แบบจำลอง U1 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้า H(t) และ P.17 กับ แบบจำลอง U2 ที่ใช้ตัวแปรนำเข้า H(t) และ N.14A จะพบว่า แม้ว่าค่าของระดับน้ำที่สถานี N.14A จะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่าของอัตราการไหลและค่าระดับน้ำที่ C.2 สูงทั้งคู่ ($r_{H(t), N.14A} = 0.966$, $r_{Q.C2, N.14A} = 0.921$) แต่จะให้ผลของแบบจำลองที่ออกมาดีกว่า แบบจำลอง U2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าที่ต่ำกว่าหากพิจารณาที่ค่าของ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($r_{H(t), P.17} = 0.777$, $r_{Q.C2, P.17} = 0.760$) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับกรณีแรกที่กล่าวไว้คือ หากตัวแปรนำเข้ามีความสัมพันธ์ต่อกันเองสูง (เกิน 0.9) ผลที่ได้จากแบบจำลอง ANN จะไม่ดี แม้ว่าตัวแปรนั้นจะสัมพันธ์กับ ค่าที่ต้องการ (อัตราการไหลที่สถานี C.2) สูงมากก็ตาม

ตารางที่ 6-1 ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 - 37,2541 - 42)
ของแบบจำลอง ANN กลุ่มเวลา (T)

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ					
				EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r
1	T1	H (t)	1-10-5-1	99.60	716,567	23.49	32.56	165	0.998
2	T2	H (t), H(t-1)	2-8-4-1	99.63	658,232	22.21	31.20	172	0.998
3	T3	H (t), H(t-1), H(t-2)	3-6-6-1	99.65	630,810	21.91	30.55	167	0.998
4	T4	H (t), H(t-1), H(t-2), H(t-3)	4-9-5-1	99.64	635,223	22.05	30.65	166	0.998
5	T5	H (t), dH/ dt	2-10-5-1	99.66	614,848	21.46	30.16	162	0.998
6	T6	H (t), H(t-1), dH/ dt	3-8-4-1	99.66	614,158	21.44	30.14	161	0.998
7	T7	H (t), H(t-1), H(t-2), dH/ dt	4-8-4-1	99.65	616,322	21.53	30.19	160	0.998

หมายเหตุ : การเลือกแบบจำลองพิจารณาจาก ค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) และผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 6-2 ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 - 37,2541 - 42)
ของแบบจำลอง ANN กลุ่มทำนน้ำ (D)

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ					
				EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r
1	D1	H (t), Ct. 2	2-7-4-1	99.63	654,087	23.04	31.11	132	0.998
2	D2	H (t), เชื่อน	2-9-5-1	99.65	624,526	22.57	30.39	130	0.998
3	D3	H (t), เชื่อน, Ct. 2	3-10-5-1	99.65	621,594	22.69	30.32	120	0.998

หมายเหตุ : การเลือกแบบจำลองพิจารณาจาก ค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) และผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 6-3 ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 - 37,2541 - 42)
ของแบบจำลอง ANN กลุ่มผลต่างระดับน้ำ (F)

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ					
				EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r
1	F1	H (t), ΔF1	2-5-3-1	99.64	634,801	22.62	30.64	129	0.998
2	F2	H (t), ΔF2	2-7-11-1	99.60	710,309	23.43	32.42	149	0.998
3	F3	H (t), ΔF3	2-9-5-1	99.69	558,716	20.38	28.75	153	0.998
4	F4	H (t), ΔF1, ΔF2	3-3-2-1	99.65	623,276	22.40	30.36	127	0.998
5	F5	H (t), ΔF1, ΔF3	3-4-4-1	99.72	492,132	19.71	26.98	119	0.999
6	F6	H (t), ΔF2, ΔF3	3-8-4-1	99.69	552,436	20.19	28.59	142	0.998
7	F7	H (t), ΔF1, ΔF2, ΔF3	4-7-4-1	99.72	494,348	19.63	27.04	121	0.999

หมายเหตุ : การเลือกแบบจำลองพิจารณาจาก ค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) และผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

$$: \Delta F1 = H(t) - H(\text{เชื่อน}) \quad \Delta F2 = P.17 - H(t) \quad \Delta F3 = N.14A - H(t)$$

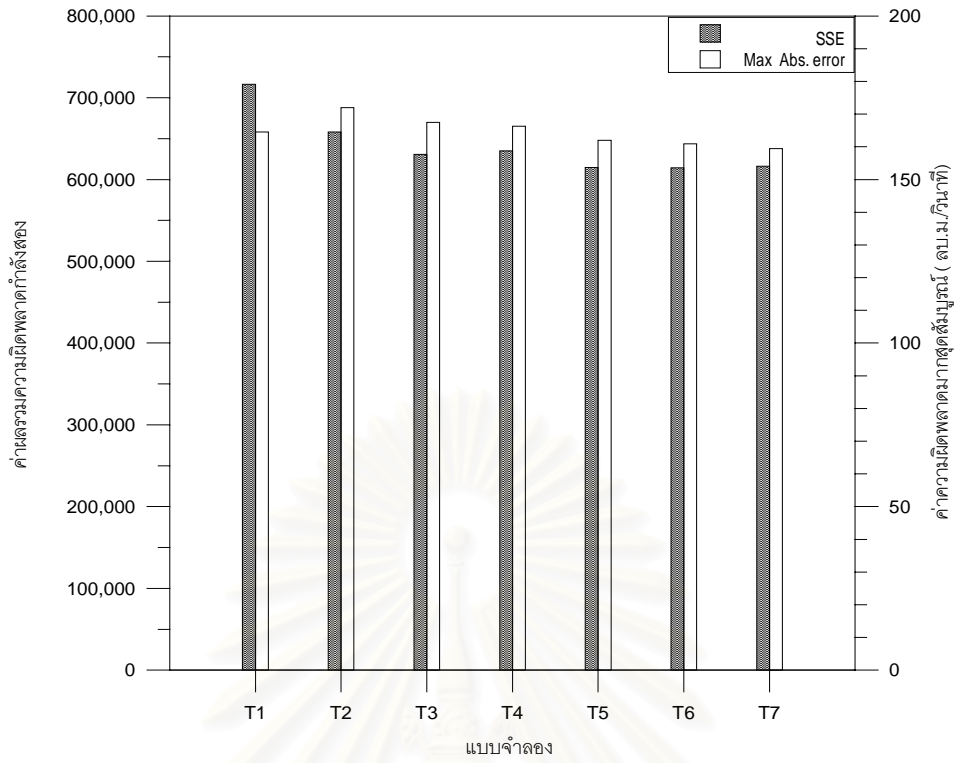
ตารางที่ 6-4 ผลทดสอบตัวแปรนำเข้าช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 - 37,2541 - 42)
ของแบบจำลอง ANN กลุ่มเหนือหน้า (U)

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ					
				EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r
1	U1	H (t),P.17	2-9-5-1	99.60	709,451	23.35	32.40	156	0.998
2	U2	H(t) ,P.17 ,N14A	3-7-11-1	99.69	547,096	20.07	28.45	140	0.998
3	U3	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16	4-6-6-1	99.73	484,494	18.55	26.77	139	0.999
4	U4	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8	5-4-4-1	99.72	490,903	18.67	26.95	153	0.999
5	U5	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5	6-6-3-1	99.74	455,024	17.79	25.94	146	0.999
6	U6	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15	7-2-3-1	99.74	455,328	17.83	25.95	160	0.999
7	U7	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15 , N.10A	8-2-2-1	99.75	443,841	17.46	25.62	157	0.999
8	U8	H(t) ,P.17 ,P.16	3-5-5-1	99.66	602,000	21.08	29.84	156	0.998
9	U9	H(t) ,P.17, P.16 , P.15	4-4-2-1	99.69	555,536	20.30	28.67	165	0.998
10	U10	H(t) ,N.14A	2-4-4-1	99.69	556,345	20.36	28.69	146	0.998
11	U11	H(t) ,N.14A ,N.8	3-8-4-1	99.69	549,015	20.31	28.50	145	0.998
12	U12	H(t) , N.14A ,N.8 , N.10A	4-4-2-1	99.70	531,267	20.17	28.03	146	0.999
13	U13	H(t) , N.14A ,N.8 , N.10A , Y.5	5-3-3-1	99.71	509,071	19.41	27.44	138	0.999

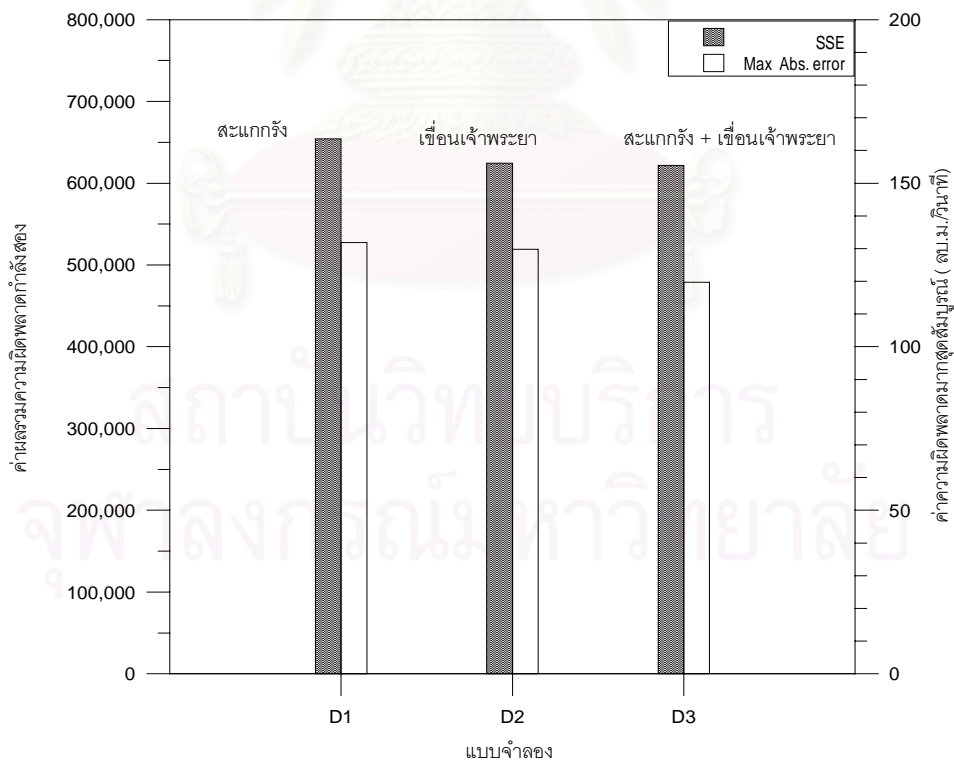
หมายเหตุ : การเลือกแบบจำลองพิจารณาจาก ค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (SEE) และผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 6-5 สรุปตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN ที่ให้ค่าประสิทธิภาพ ดีที่สุด ของการศึกษาที่ 1
ในช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535 - 37,2541 - 42)

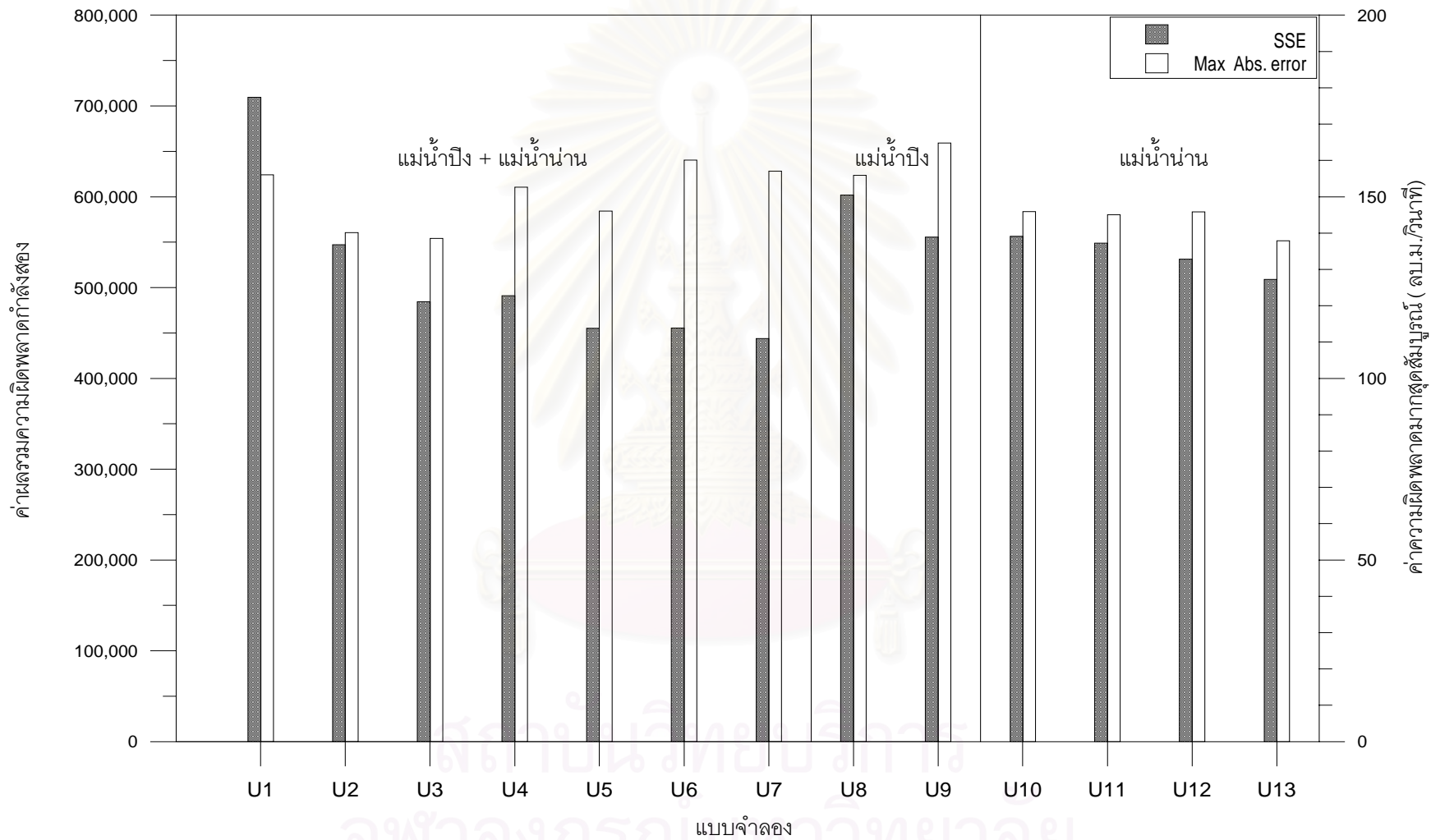
No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ					
				EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r
1	T6	H(t) , H (t-1) , dH/ dt	3-8-4-1	99.66	614,158	21.44	30.14	161	0.998
2	D3	H(t) , เชื้ออิน , Ct. 2	3-10-5-1	99.65	621,594	22.69	30.32	120	0.998
3	U7	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15 ,N.10A	8-2-2-1	99.75	443,841	17.46	25.62	157	0.999
4	F5	H (t) , ΔF1 , ΔF3	3-4-4-1	99.72	492,132	19.71	26.98	119	0.999



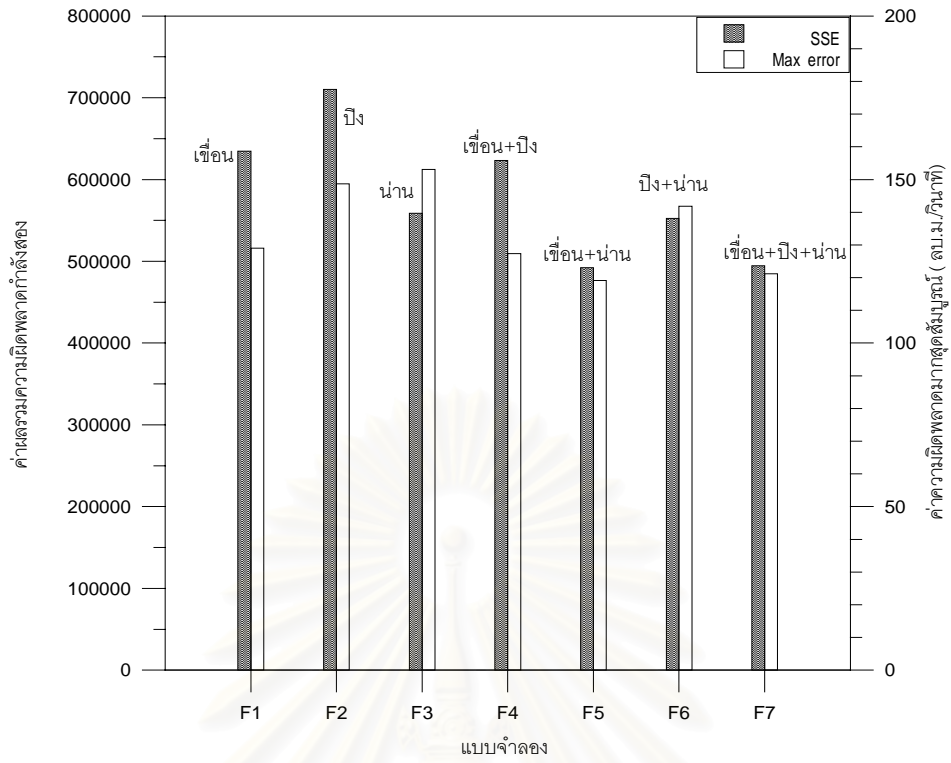
รูปที่ 6-1 ผลทดสอบแบบจำลองกลุ่มเวลา (T) ในช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42



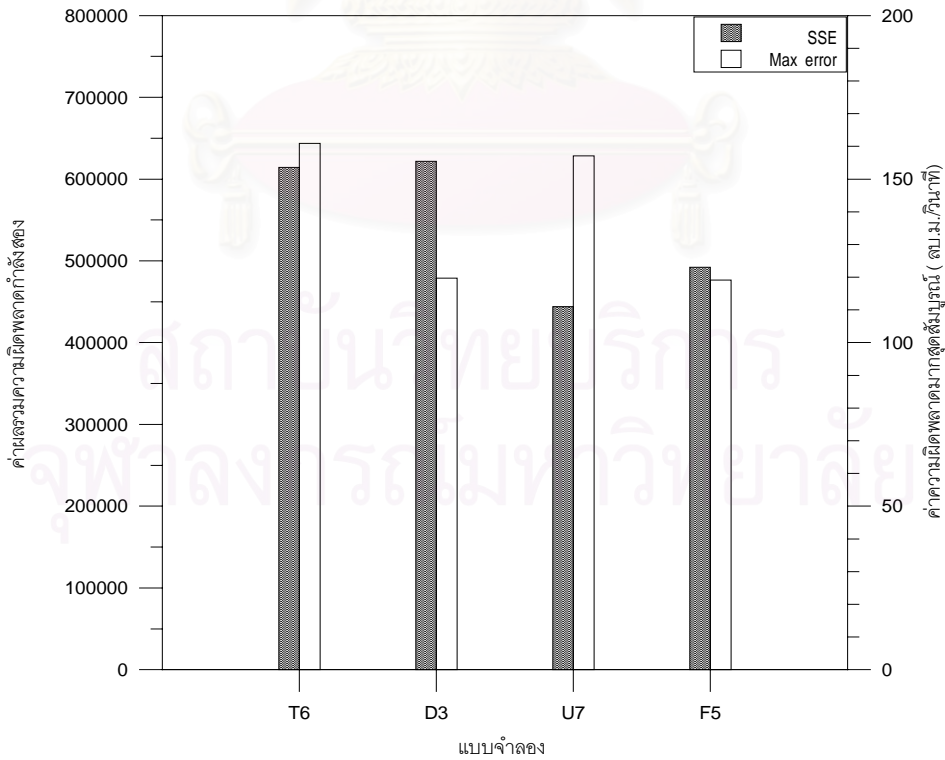
รูปที่ 6-2 ผลทดสอบแบบจำลองกลุ่มต้ำน้ำ (D) ในช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42



รูปที่ 6-3 ผลทดสอบแบบจำลองกลุ่ม เหนือ น้ำ (U) ในช่วงการเรียนรู้อะไรระยะเวลา 5 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42



รูปที่ 6-4 ผลการทดสอบแบบจำลองกลุ่ม F ในช่วงของการเรียนรู้



รูปที่ 6-5 ผลการทดสอบแบบจำลอง T6 D3 U7 F5 ในช่วงของการเรียนรู้

6.1.1.5 สรุปผลการเรียนรู้ของแบบจำลองกลุ่ม T D U และ F

จากผลของแบบจำลอง ANN ในหัวข้อที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ตัวแปรนำเข้าที่ให้ผลในการเรียนรู้ที่ดีที่สุดของแบบจำลองในแต่ละกลุ่มตัวแปร แสดงไว้ดังตารางที่ 6-5 และรูปที่ 6-5 โดยแบบจำลอง U7 ซึ่งใช้ค่าของระดับน้ำที่สถานีหลักร่วมกันกับค่าระดับน้ำของสถานีด้านเหนือ น้ำ จะให้ผลที่ดีที่สุด โดยที่ความแตกต่างในแต่ละกลุ่มยังไม่ชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาถึงรูปร่างของความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลที่ได้ จะเห็นว่าการเลือกใช้ตัวแปรนำเข้ามีผลต่อแบบจำลองเป็นอย่างยิ่งต่อรูปร่างความสัมพันธ์วงรอบระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลที่ได้ ดังนั้นในการศึกษาจึงไม่อาจพิจารณาได้จากผลการทดสอบทางตัวเลขเพียงอย่างเดียว ซึ่งรายละเอียดต่างๆ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) เมื่อพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN T6 D3 U7 และ F5 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มตัวแปร ดังแสดงในรูปที่ 6-6 ถึง 6-10 จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงนี้ยังไม่สามารถที่จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ในช่วงอัตราการไหลสูงสุดได้ ซึ่งทำให้ค่าความผิดพลาดมากที่สุดอยู่ที่ช่วงของอัตราการไหลสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 6-12

2) แบบจำลอง ANN จะสามารถสร้างวงรอบได้ชัดเจนทุกแบบจำลองเฉพาะที่ปีน้ำมาก เช่น ปี พ.ศ.2537 ดังแสดงในรูปที่ 6-8 ซึ่งอัตราการไหลสูงสุดมีค่าประมาณ 2,539 ลบ.ม./วินาที และพบว่าการใช้ตัวแปรนำเข้าที่ต่างกัน วงรอบจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไป โดยที่แบบจำลอง T6 และ F5 ขนาดของวงรอบจะมีลักษณะที่แคบกว่าแบบจำลอง U7 และ D3 สำหรับที่ปีน้ำน้อยเช่นปี พ.ศ.2541 ซึ่งถือเป็นปีที่น้ำน้อยมาก โดยมีอัตราการไหลสูงสุดอยู่ที่ 973ลบ.ม./วินาที แบบจำลอง ANN นั้นไม่สามารถที่จะสร้างวงรอบได้ ยกเว้นแต่ที่แบบจำลอง T6 ดังแสดงในรูปที่ 6-9 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลอง ANN ที่ใช้ตัวแปรนำเข้าจากสถานีหลัก จะสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่เป็นวงรอบได้ดีกว่าตัวแปรนำเข้าอื่นๆ โดยเนื่องมาจากมีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าของอัตราการไหลมากเพราะเป็นข้อมูลที่สถานีเดียวกัน

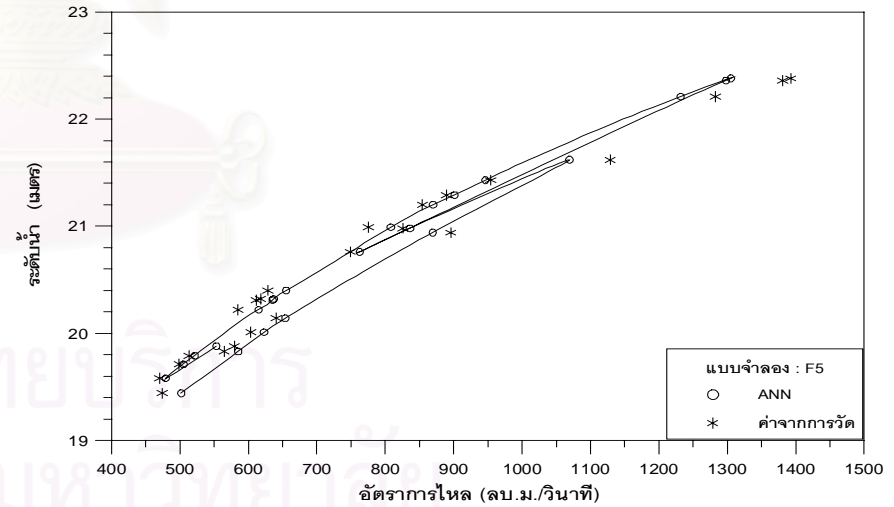
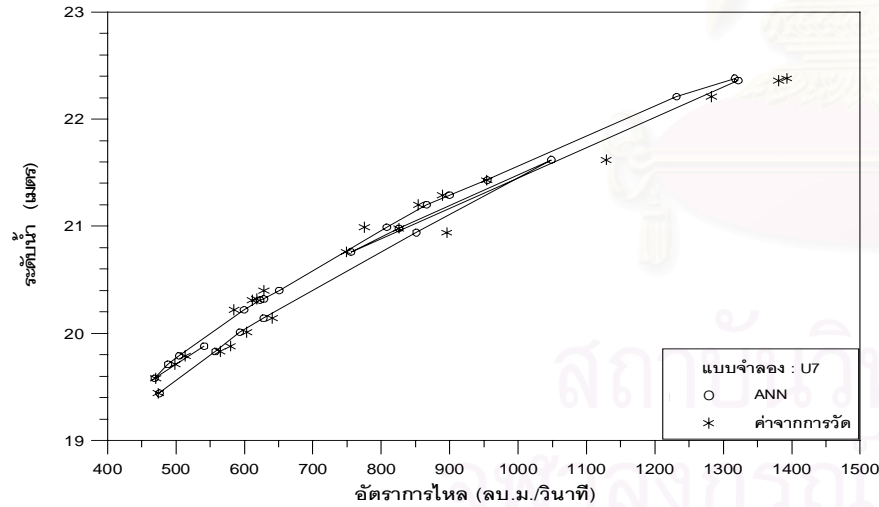
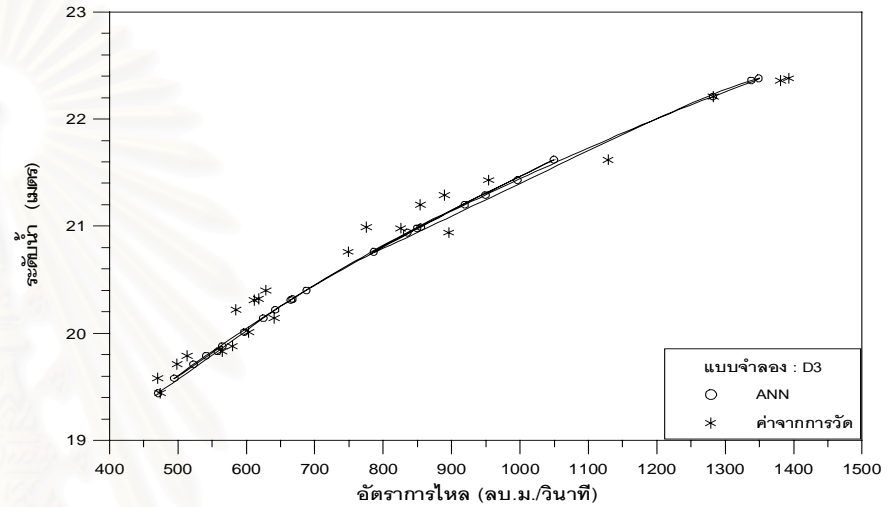
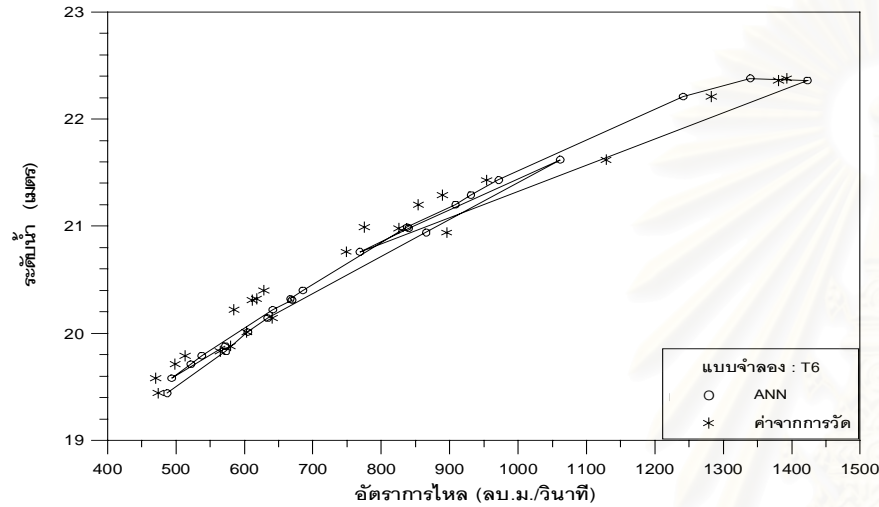
3) จากรูปที่ 6-6 และ 6-10 พบว่าแบบจำลอง T6 นั้นสามารถเรียนรู้ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลที่เป็นวงรอบได้ทุกปี ในขณะที่แบบจำลอง U7 และ F5 ไม่สามารถที่จะเรียนรู้ลักษณะวงรอบของปี ที่น้ำน้อยมากได้ ส่วนแบบจำลอง D3 นั้นสามารถเรียนรู้ลักษณะของวงรอบได้เพียงเฉพาะปี พ.ศ. 2537 ซึ่งถือว่าเป็นปีน้ำมาก อย่างไรก็ตามผลที่ได้จาก

แบบจำลอง ANN ในช่วงนี้ยังไม่ค่อยตรงกับค่าจากการวัดจริงนัก แม้ว่าแบบจำลองจะสามารถสร้างลักษณะของวงรอบขึ้นมาได้ แต่รูปร่างที่ได้จากแบบจำลองบางตัวจะผิดจากความเป็นจริง และบางแบบจำลองมีลักษณะของวงรอบที่เบี่ยงเบนเป็นเส้นตรงออกจากค่าจากการวัดจริง ตัวอย่างเช่นรูปที่ 6-9

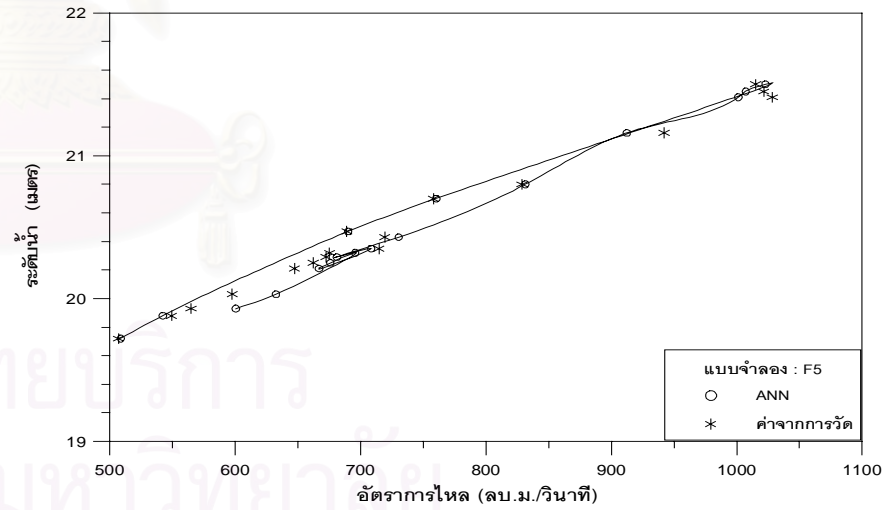
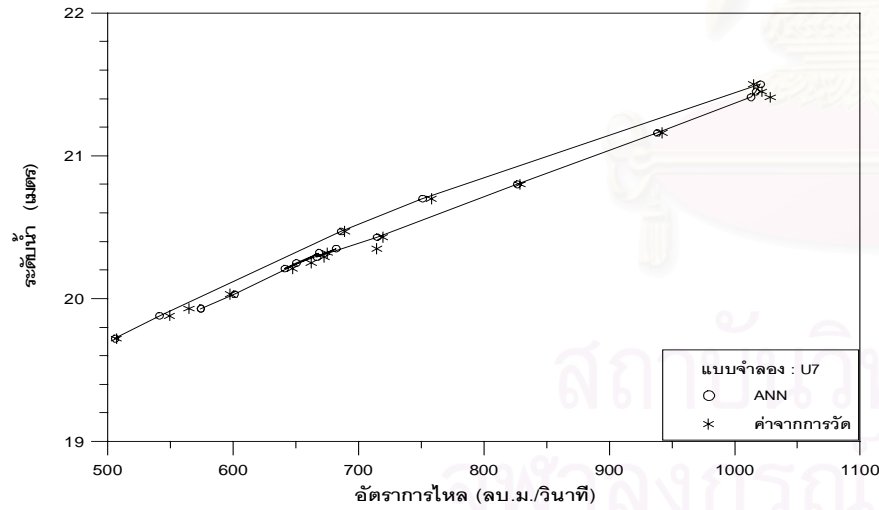
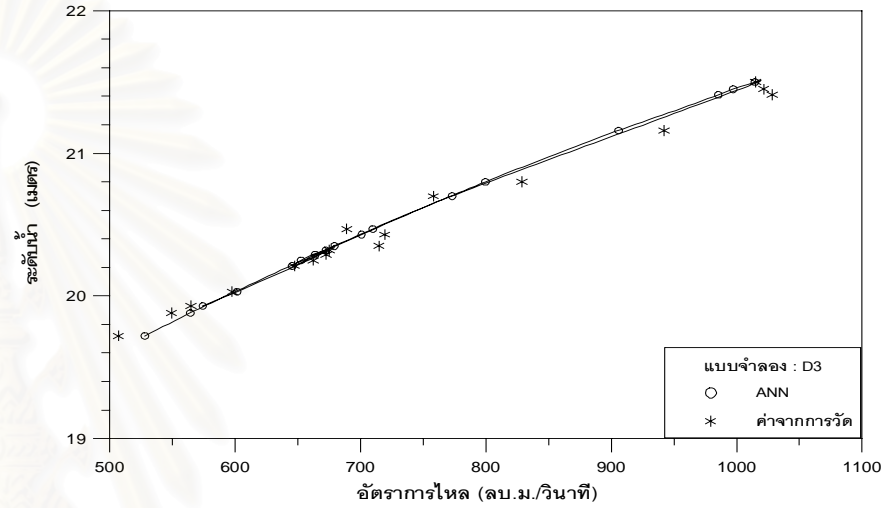
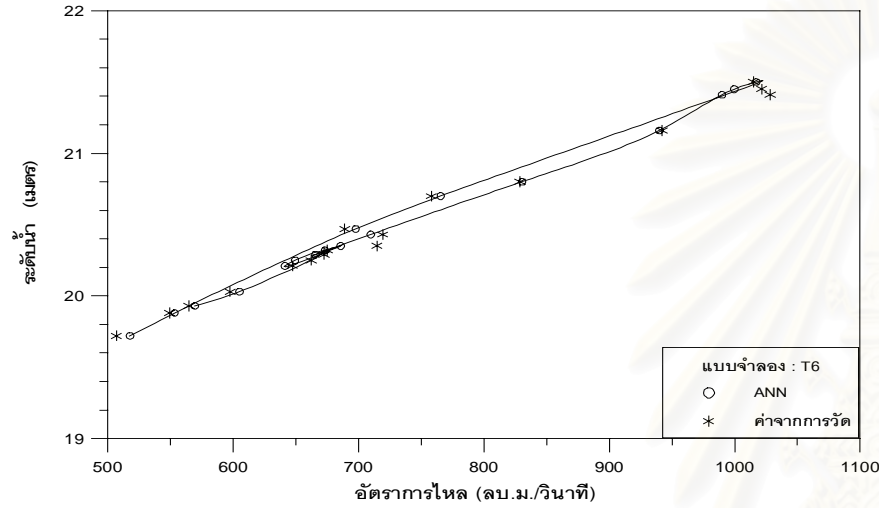
แต่อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นวงรอบ จะไม่ปรากฏชัดเจนนัก ในช่วงที่ปริมาณน้ำหลากที่เคลื่อนตัวผ่านมีค่าต่ำ ๆ เช่น ที่ปี พ.ศ. 2541 หรือ ปี พ.ศ. 2536 และจะเห็นได้ว่าช่วงของข้อมูลขณะน้ำขึ้นกับน้ำลงในบางปี ยังมีการวัดข้อมูลของอัตราการไหลที่ไม่ต่อเนื่องนัก จึงอาจจะมีผลทำให้แบบจำลองไม่สามารถที่จะเรียนรู้ลักษณะของความสัมพันธ์ที่แท้จริงได้ชัดเจนนักเนื่องจากข้อมูลยังมีไม่เพียงพอ

4) จากรูปที่ 6-11 และ 6-12 ซึ่งแสดงค่าความผิดพลาด และเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาด ในแต่ละช่วงของอัตราการไหล พบว่า การกระจายตัวของความผิดพลาดมีทั้งสูงกว่าค่าจริงและต่ำกว่าจริงในทุกๆช่วงของอัตราการไหล ยกเว้นแต่ในช่วงที่อัตราการไหลที่มากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาที จะพบว่าค่าที่ได้จะต่ำกว่าค่าจากการวัดเพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองยังไม่สามารถที่จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ในช่วงอัตราการไหลสูงสุดได้ และหากพิจารณาค่าความผิดพลาดเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ช่วงอัตราการไหลต่ำๆมีค่าที่ผิดพลาดที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับที่ช่วงอัตราการไหลสูงๆ โดยเฉพาะที่ช่วงของอัตราการไหลซึ่งต่ำกว่า 500 ลบ.ม./ วินาที ซึ่งหากพิจารณาจากจากรูปที่ 6-11 และ 6-12 จะเห็นว่าแบบจำลอง U7 นั้นให้ค่าของความผิดพลาดในช่วงอัตราการไหลต่ำที่น้อยกว่าแบบจำลองอื่น

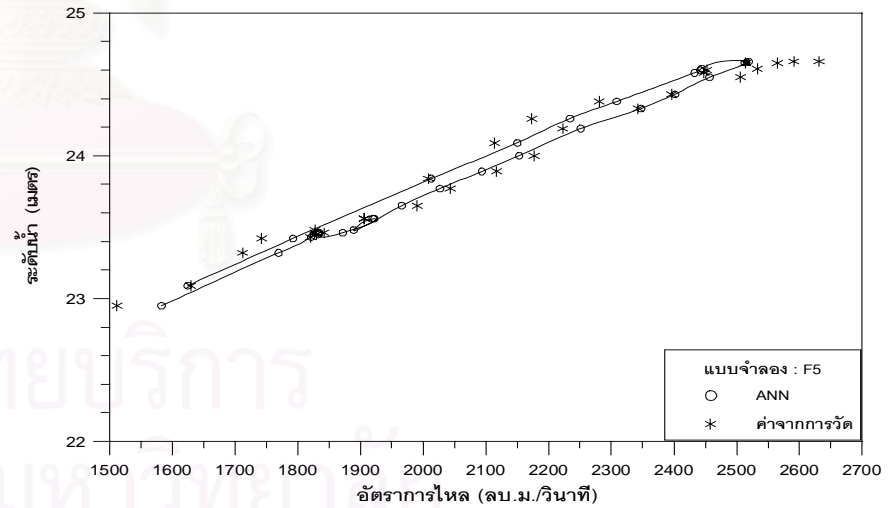
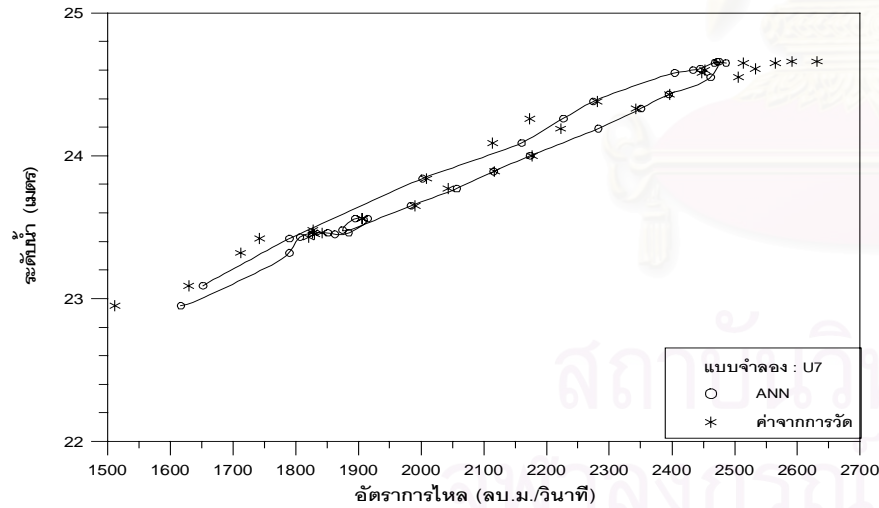
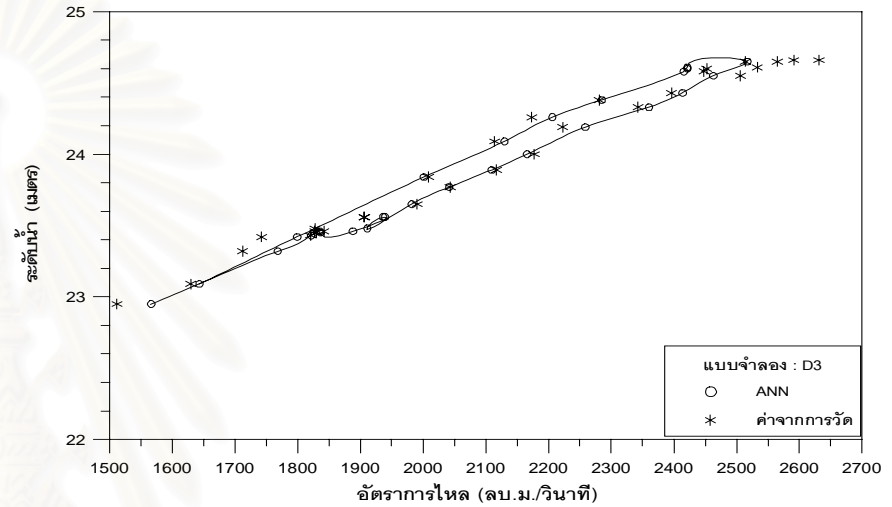
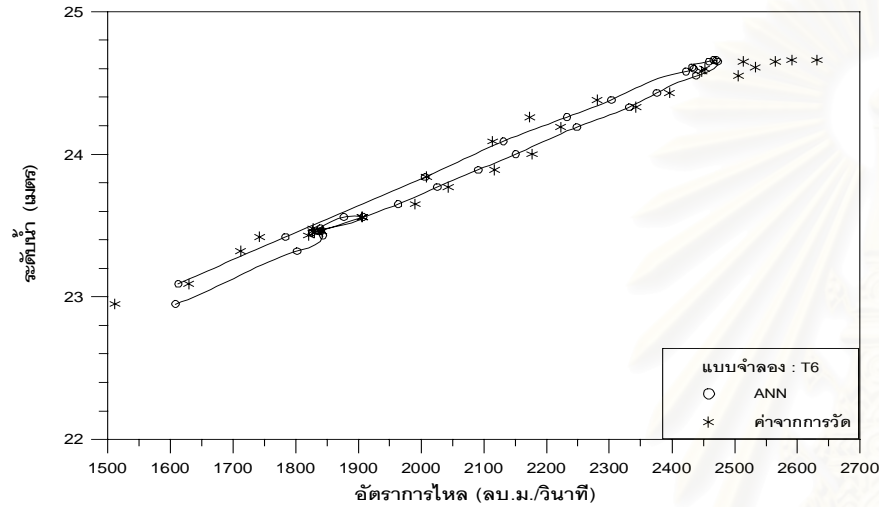
5) ในช่วงของการเรียนรู้แบบจำลอง ANN จะให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีขึ้น หากมีการเพิ่มตัวแปรนำเข้าไปกับแบบจำลอง เช่นเดียวกันกับผลในการศึกษาที่ผ่านมาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000) และการศึกษา Jain (2001) ซึ่งจะเห็นได้ในทุกกลุ่มของตัวแปรนำเข้า โดยที่แม้ว่าตัวแปรนำเข้านั้นจะไม่มีความสัมพันธ์กับค่าของอัตราการไหลที่สถานีหลักเลยก็ตาม แต่เมื่อมีการเพิ่มเข้ามาก็ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่ดียิ่งขึ้น



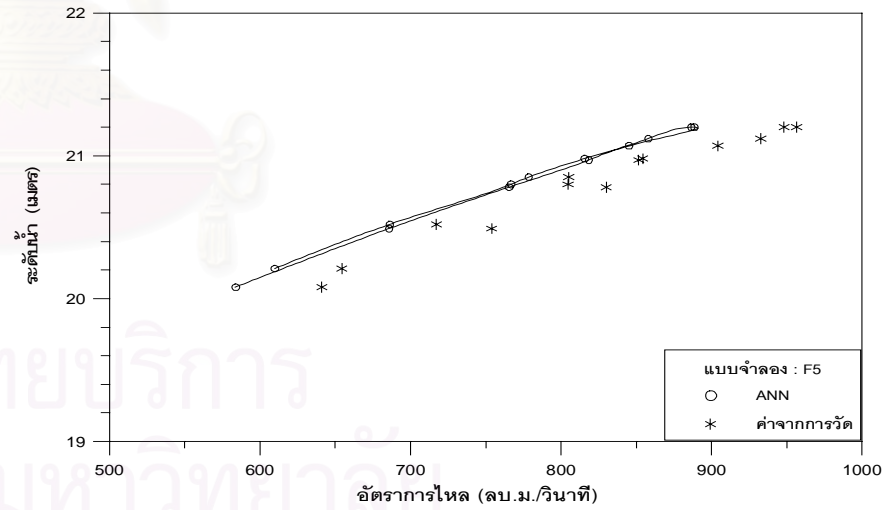
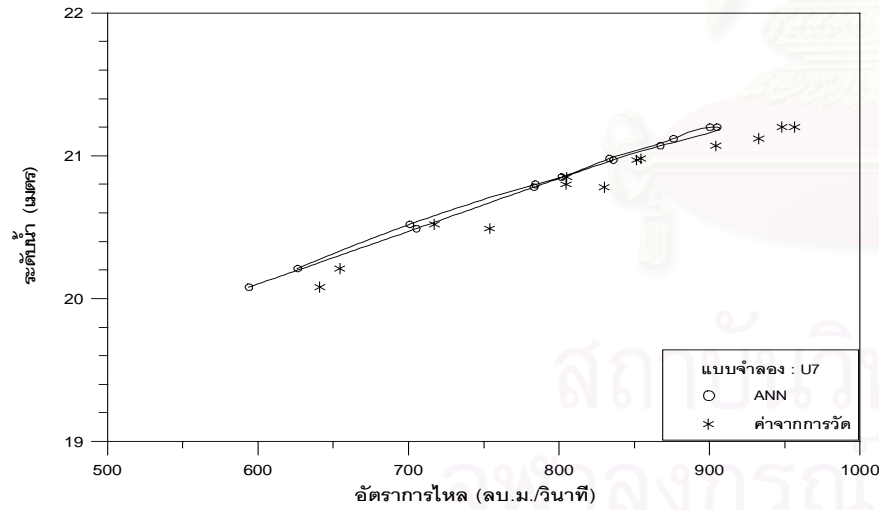
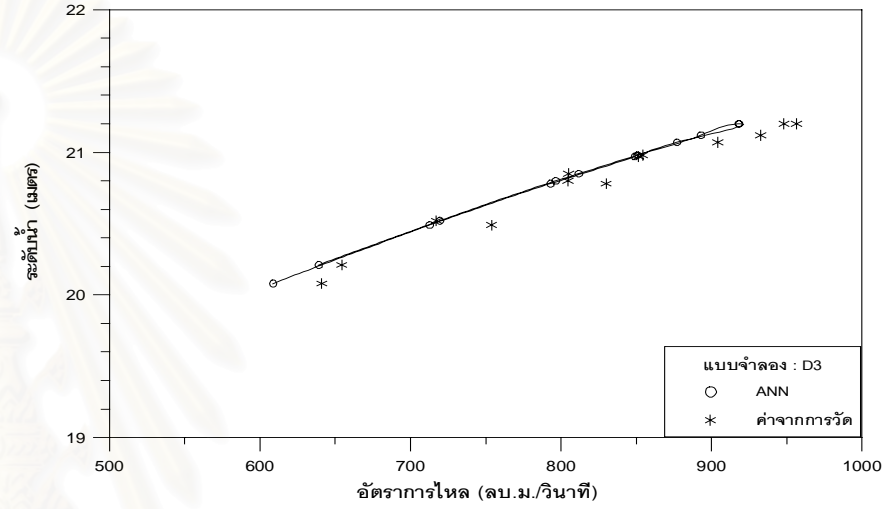
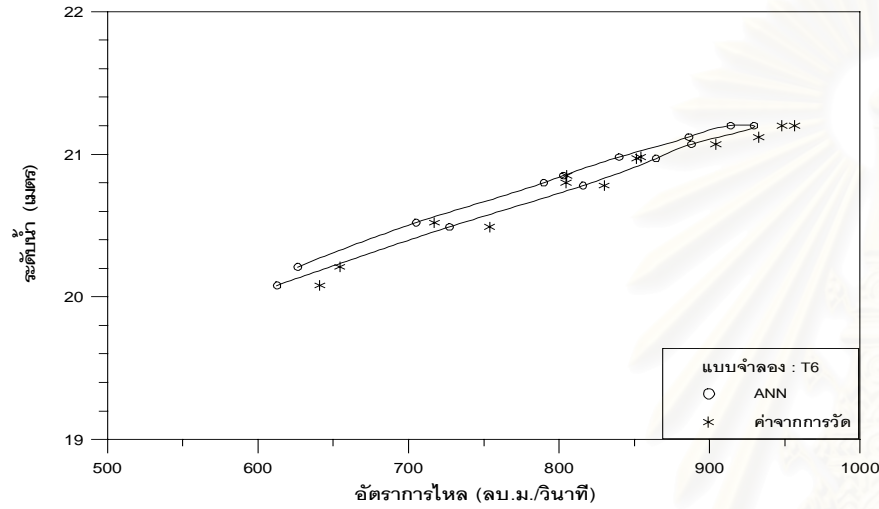
รูปที่ 6-6 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2535 ระหว่าง วันที่ 22 ก.ย.- 23 พ.ย.



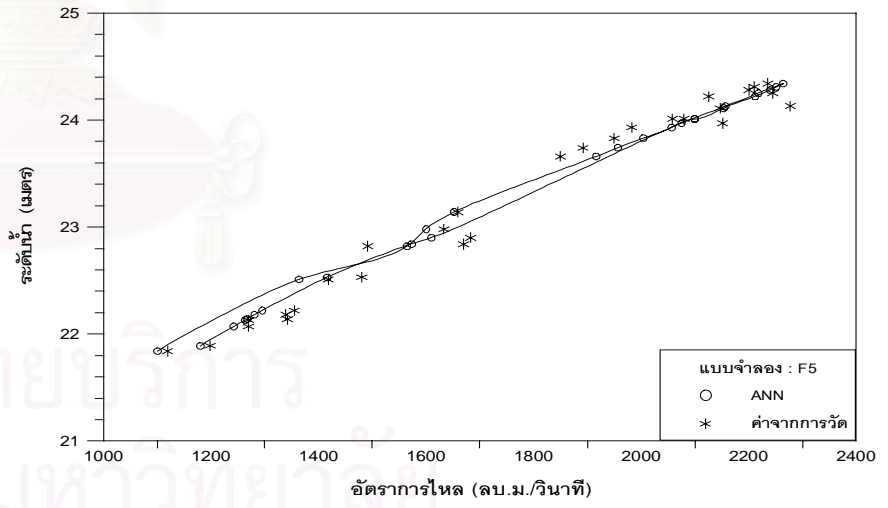
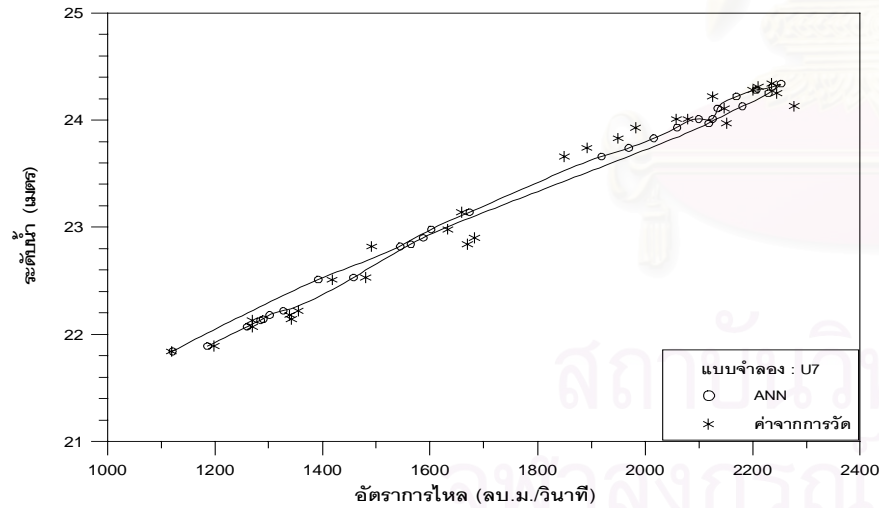
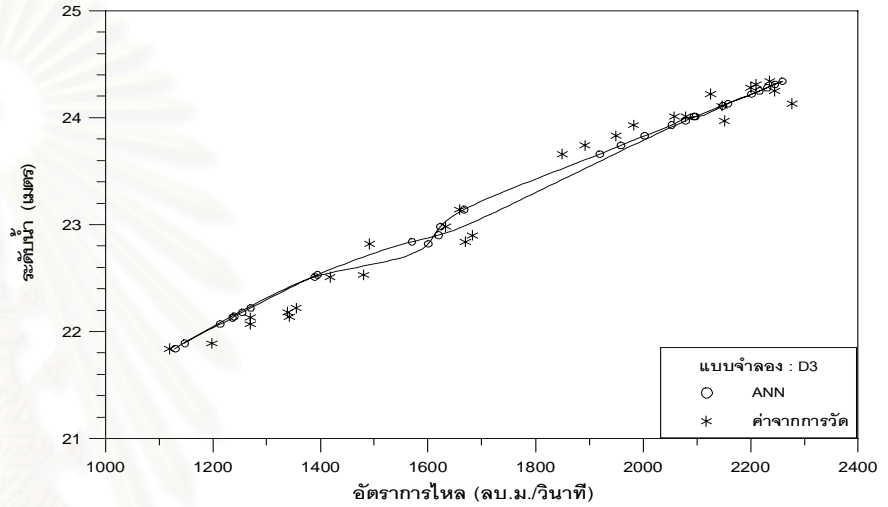
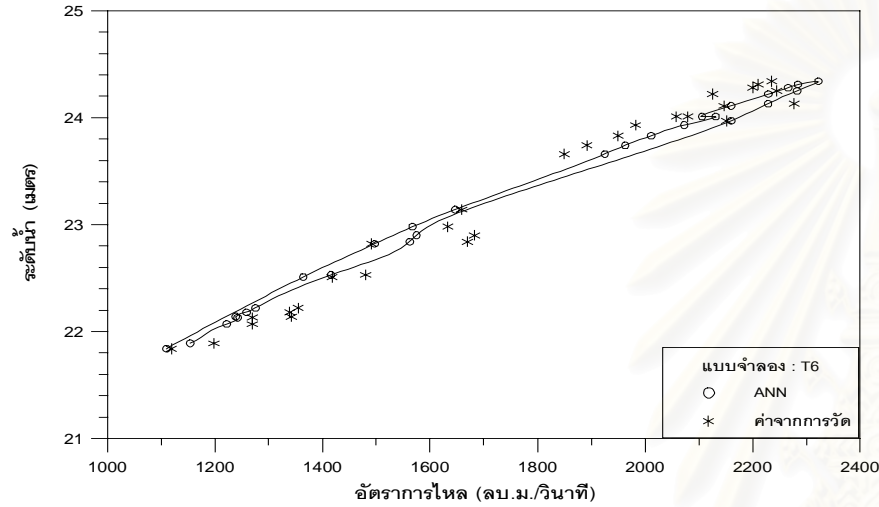
รูปที่ 6-7 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2536 ระหว่าง วันที่ 8 ก.ย.-12 ต.ค.



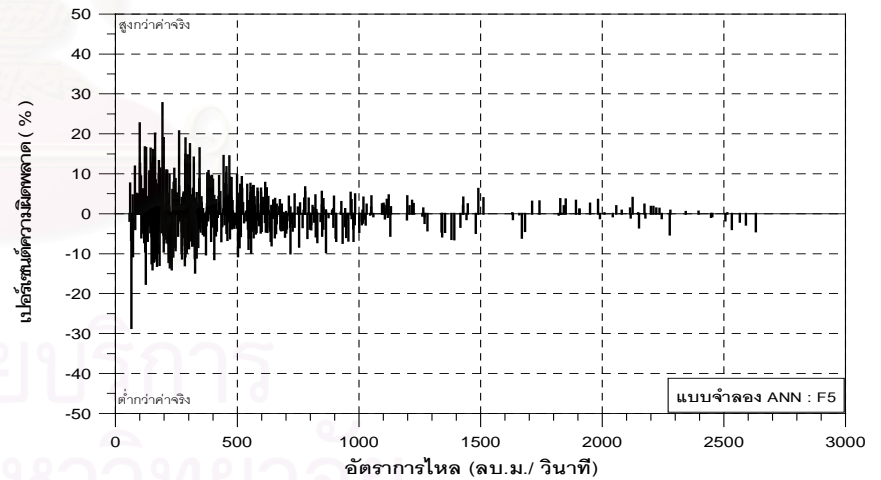
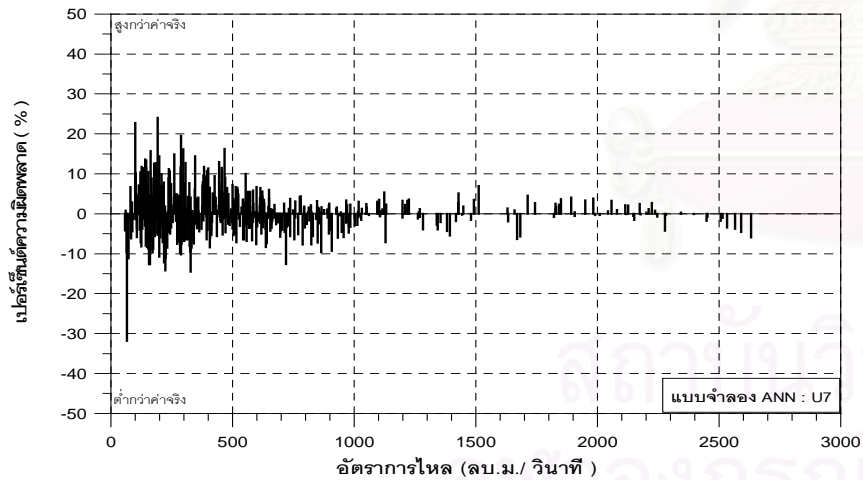
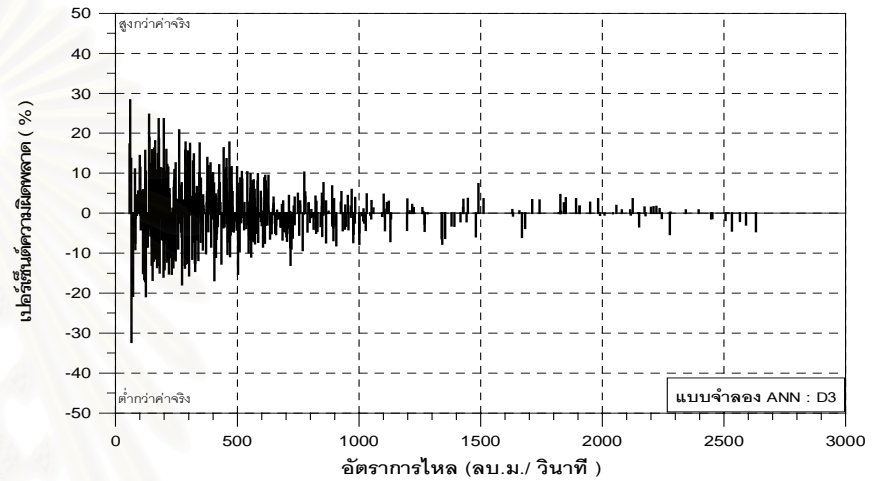
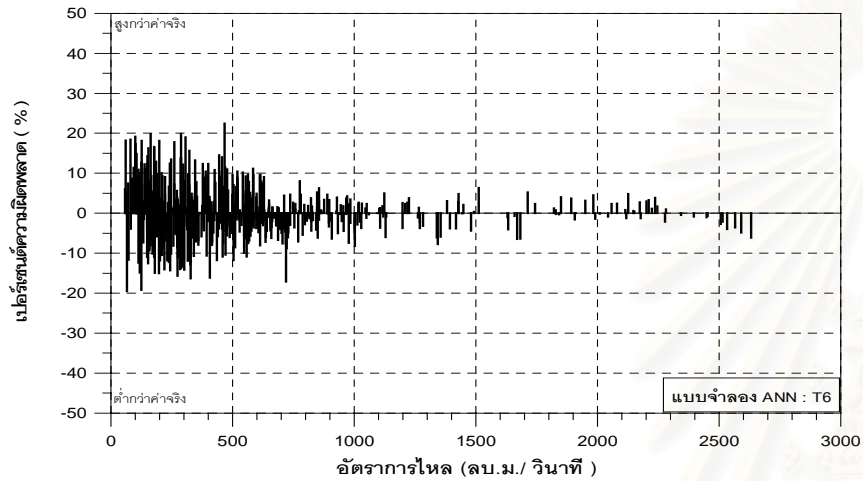
รูปที่ 6-8 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2537 ระหว่าง วันที่ 2 ก.ย. - 12 ต.ค.



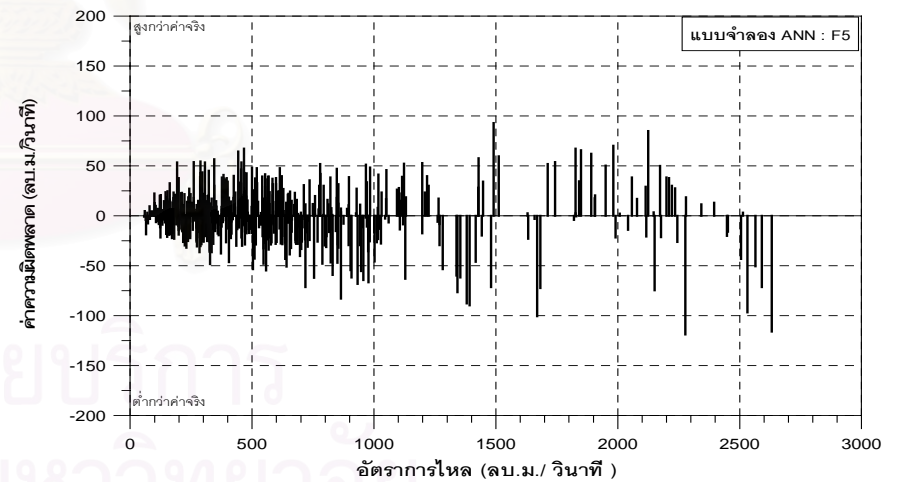
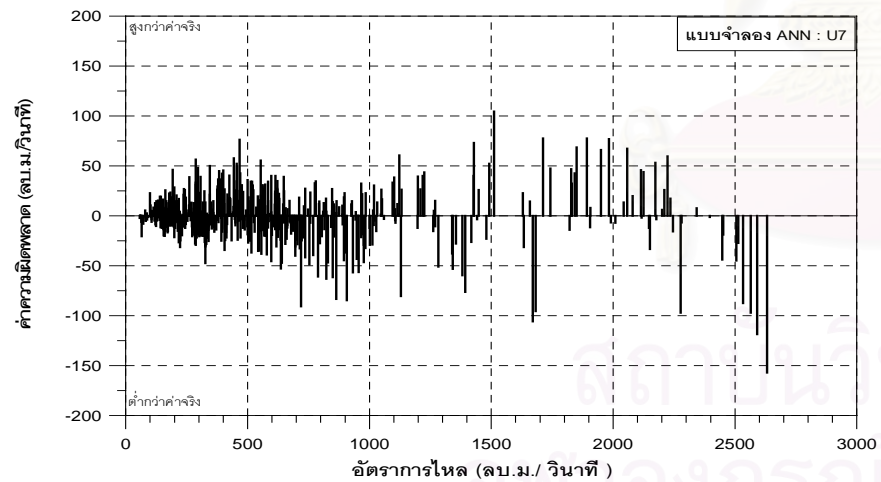
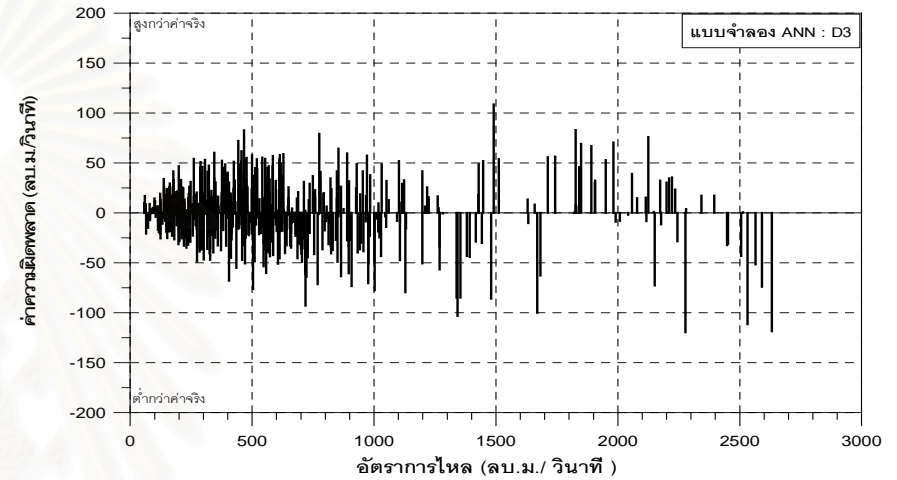
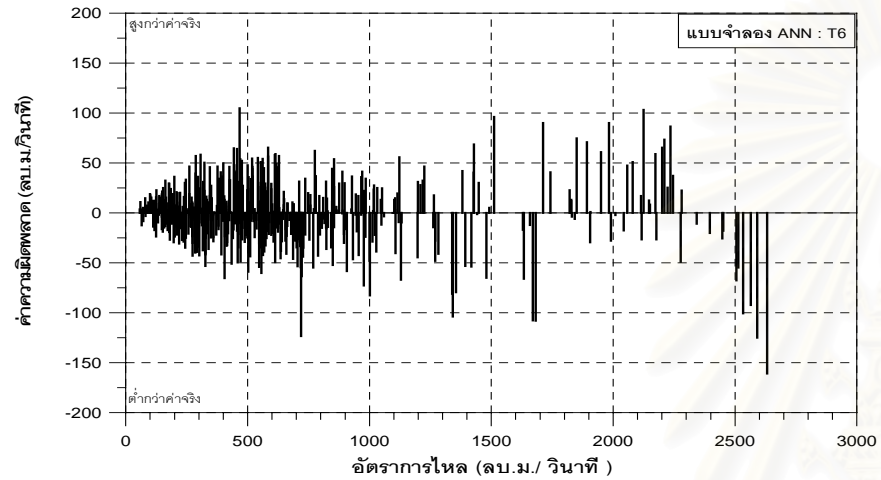
รูปที่ 6-9 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2541 ระหว่าง วันที่ 9 ต.ค.- 28 ต.ค.



รูปที่ 6-10 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2542 ระหว่างวันที่ 17 ก.ย. - 30 พ.ย.



รูปที่ 6-11 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN : T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเขียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535-37และ 2541-42)



รูปที่ 6-12 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN : T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535-37 และ 2541-42)

6.1.2 ผลการทดสอบของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1

แบบจำลองทุกตัวในแต่ละกลุ่มตัวแปร จะถูกทำการทดสอบโดยมีปีที่ให้ทดสอบในการศึกษา อยู่ด้วยกันทั้งสิ้น 3 ปี คือ ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534 ปีน้ำเฉลี่ยหรือปีน้ำปกติ พ.ศ. 2543 และที่ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 และมีช่วงของข้อมูลที่มากกว่าช่วงการเรียนรู้ เพื่อศึกษาผลของขนาดอัตราการไหลสูงสุดที่มีต่อตัวแปรนำเข้าโดยใช้แบบจำลองทั้งสิ้น 30 แบบจำลอง ซึ่งใช้โครงข่ายเดียวกับช่วงของการเรียนรู้

ผลที่ได้จากแบบจำลองจะคล้ายกันกับช่วงของการเรียนรู้คือแต่ละแบบจำลองให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในค่าของความผิดพลาดโดยรวม แต่รูปร่างของวงรอบที่ได้ยังคงมีความแตกต่างกันเช่นเดียวกับช่วงของการเรียนรู้ รายละเอียดผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

6.1.2.1 ผลการทดสอบตัวแปรในกลุ่ม T

1) จากตารางที่ 6-6 จะเห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าที่ลดลงจากช่วงของการเรียนรู้ และในการทดสอบที่ปีน้ำมากให้ผลที่ผิดพลาดสูงมากเนื่องจากที่ปี พ.ศ.2538 มีค่าอัตราการไหลในช่วงน้ำหลากที่สูงเกินกว่าช่วงข้อมูลที่ใช้ในการสอน ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ปีน้ำน้อยจะพบว่าแบบจำลอง T2 จะให้ผลที่ดีที่สุดในกลุ่มนี้ และที่ปีน้ำเฉลี่ยแบบจำลองที่ดีที่สุดคือ T6 ซึ่งเป็นแบบจำลองเดียวกับช่วงการเรียนรู้ ในส่วนของปีน้ำมาก แบบจำลอง T3 จะให้ผลที่ดีที่สุดโดยจะเห็นว่าที่ปีน้ำมากการใช้ตัวแปรนำเข้าที่เป็นค่าระดับน้ำย้อนหลังที่ 2 หรือ 3 วันจะให้ผลของแบบจำลองที่ดีขึ้นแต่ไม่มากนัก ดังเช่นแบบจำลอง T3 และ T4

2) จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าอิทธิพลของตัวแปรนำเข้า มีการเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของน้ำหลาก ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ตาราง 6-10 จะเห็นว่าแบบจำลอง T1 และ T2 ซึ่งให้ผลที่ไม่ดีในช่วงของการเรียนรู้และที่ปีน้ำเฉลี่ยนั้น เมื่อทดสอบที่ปีน้ำน้อยจะกลับให้ผลที่ดีที่สุด แบบจำลอง ANN ในกลุ่มนี้จะให้ผลของปีน้ำเฉลี่ยเป็นเช่นเดียวกับช่วงของกระบวนการเรียนรู้ ดังแสดงในตารางที่ 6-10 และจะเห็นว่าแบบจำลอง T5 ซึ่งใช้ค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะมีประสิทธิภาพปีน้ำน้อย ต่ำกว่าที่ ปีน้ำเฉลี่ย และ ปีน้ำมาก โดยอาจสรุปได้ว่า ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะมีอิทธิพลในช่วงปีน้ำเฉลี่ย ถึงปีน้ำมาก แต่ในปีน้ำน้อยที่ค่าอัตราการไหลต่ำ ซึ่งความสัมพันธ์ในช่วงของการเรียนรู้จะไม่ชัดเจนนัก ดังแสดงในรูปที่ ข-5 จึงทำให้แบบจำลองให้ผลที่ไม่ดีนัก ในขณะที่ปีน้ำมากนั้นความสัมพันธ์กับอัตราการไหลที่ชัดเจนกว่า

3) เมื่อพิจารณาที่ผลการทดสอบทั้ง 3 ปีจะเห็นได้ว่า แบบจำลอง T7 จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุดทั้ง 3 ปีที่ทดสอบ รวมทั้งในช่วงของการเรียนรู้ดังแสดงในตารางที่ 6-10 ในขณะที่แบบจำลองที่ให้ผลในการทดสอบและการเรียนรู้ที่มีความผิดพลาดมาก คือ แบบจำลอง T1 แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลอง T1 ก็ยังให้ผลการทดสอบในปีน้ำน้อยที่ดีกว่าแบบจำลองอื่นๆ

6.1.2.2 ผลการทดสอบของกลุ่ม D

แบบจำลองในกลุ่มของทางด้านทำนน้ำ เมื่อทดสอบ ที่ปีน้ำน้อย พ.ศ.2534 และปีน้ำมาก พ.ศ.2538 จะพบว่าแบบจำลอง D1 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าระดับของแม่น้ำสะแกกรังนั้น จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด ซึ่งอาจพิจารณาได้จากรูป ข-6 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ Ct.2 กับ อัตราการไหลสถานี C.2 มีความสัมพันธ์ที่ดีมากใน ปี พ.ศ. 2534 กับ พ.ศ. 2538 แต่ในปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 แบบจำลอง D2 ซึ่งใช้ระดับน้ำเหนือเขื่อน นั้นจะให้ผลที่ดีกว่า แม้ว่าความสัมพันธ์ของค่าระดับน้ำที่เขื่อน กับ ค่าอัตราการไหลที่สถานี C.2 จะมีค่าที่ต่ำ ในปี พ.ศ. 2543 ก็ตาม ในช่วงของการเรียนรู้แบบจำลองในกลุ่ม D จะมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดสัมบูรณ์ ที่ต่ำกว่าแบบจำลองอื่น ๆ แต่ในช่วงทดสอบ นั้นไม่พบว่าแบบจำลองในกลุ่มของ D ให้ค่าที่ต่ำกว่าแบบจำลองในกลุ่มอื่นๆ แต่อย่างใด

6.1.2.3 ผลทดสอบแบบจำลองกลุ่ม U

1) ผลของการทดสอบในกลุ่มของตัวแปรนำเข้าด้านเหนือน้ำแสดงในตารางที่ 6-8 และ 6-12 โดยจากตารางที่ 6-12 พบว่าแบบจำลอง ที่ดีที่สุดของปีน้ำน้อย คือ แบบจำลอง U10 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าระดับน้ำ ที่สถานีหลัก กับ ค่าระดับน้ำของสถานี N.14A เพียง 2 สถานีโดยพบว่า หากใช้เป็นค่าระดับทางด้านเหนือน้ำ ร่วมกันระหว่าง แม่น้ำปิง แม่น้ำยม แม่น้ำน่าน จะไม่ให้ผลที่ดีนัก โดยในปีน้ำน้อยนี้ แบบจำลอง ที่ใช้ค่าระดับน้ำของแม่น้ำปิงเพียงอย่างเดียวเช่น แบบจำลอง U1 U8 และ U9 จะให้ผลทดสอบที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นในกลุ่มของ U ซึ่งอาจพิจารณาได้จาก ความสัมพันธ์ที่แสดงไว้ในภาคผนวก ข ที่รูป ข-11 โดยจะเห็นได้ว่า ที่ปี พ.ศ. 2534 นั้นความสัมพันธ์ของค่าระดับน้ำที่สถานี N.14A จะค่อนข้างชัดเจนกว่าที่อื่นมาก ($r=0.976$) สำหรับปีน้ำเฉลี่ย แบบจำลอง U5 จะให้ผลที่ดีที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ให้ผลทดสอบที่ดีในปีน้ำเฉลี่ยนั้นจะเป็นแบบจำลอง ที่ใช้ค่าระดับน้ำทั้งแม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน และ แม่น้ำยมร่วมกัน เช่น แบบจำลอง U3 U4 และ U5 และที่ปีน้ำมากพบว่าแบบจำลอง U2 จะให้ผลทดสอบที่ดีที่สุด ในขณะที่แบบจำลองของกลุ่มที่ใช้แม่น้ำปิงจะให้ผลทดสอบที่ไม่ดีนักหากเทียบกับ ทางแม่น้ำน่าน

2) โดยสรุปแล้วจะเห็นว่าหากเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ค่าระดับน้ำที่ด้านแม่น้ำปิงกับแม่น้ำน่าน พบว่า แบบจำลอง ที่ใช้ค่าระดับน้ำทางแม่น้ำน่าน นั้นให้ผลที่ดีกว่าซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกันกับ หัวข้อที่ 6.1.3 แต่การใช้ค่าระดับน้ำร่วมกันทั้งแม่น้ำปิงและน่าน ซึ่งให้ผลที่ดีในช่วงการเรียนรู้นั้น จะให้ผลทดสอบที่ดี เพียงปีน้ำเฉลี่ย กับปีน้ำน้อยแต่ที่ปีน้ำมาก จะให้ผลที่ไม่ดีนัก ซึ่งหากพิจารณาที่รูป ข-8 และ ข-11 จะเห็นว่าในช่วงของปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 นั้นลักษณะความสัมพันธ์ที่เกินช่วงอัตราการไหลประมาณ 2,000 ลบ.ม./วินาที ความสัมพันธ์จะเปลี่ยนไปมากทั้งในสถานี P.17 และ N.14A

3) หากเปรียบเทียบผลการทดสอบทั้ง 3 ปี รวมกันจะพบว่าแบบจำลอง U10 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าเพียง 2 ตัว คือ ค่าระดับน้ำที่สถานี C.2 และค่าระดับน้ำ ที่สถานี N.14A ทางด้านแม่น้ำน่าน จะให้ผลทดสอบ ที่ดีตลอดช่วง 3 ปี โดยจะเห็นได้ว่าลักษณะของตัวแปรนำเข้า ทางด้านเหนือน้ำ ที่อยู่ไกลออกไป จากสถานีหลักนั้น จะไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับค่าของอัตราการไหลที่สถานี C.2 มากนัก โดยเฉพาะที่ค่าของอัตราการไหลสูงๆ จึงอาจทำให้ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องนำมาใช้ ดังเช่นในรูปที่ ข-11 ถึง ข-14 เนื่องจากระยะทางของสถานีที่อยู่ไกลมากเกินไป

6.1.2.4 ผลทดสอบของแบบจำลอง กลุ่ม F

1) ผลการทดสอบในแบบจำลองกลุ่ม F แสดงในตารางที่ 6-9 และ ตารางที่ 6-13 โดยจากผลการทดสอบที่ปีน้ำน้อย พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดคือแบบจำลอง F6 ที่ใช้ตัวแปรนำเข้า เป็นผลต่างระดับน้ำทางแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน โดยจากรูปที่ข-16 นั้นจะเห็นว่าความสัมพันธ์ที่ปี พ.ศ.2534 นั้นผลต่างระดับน้ำทางแม่น้ำปิงและน่าน จะชัดเจนกว่าปีอื่นๆและเมื่อพิจารณาที่ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543 จะให้ผลของตัวแปรนำเข้าคล้ายกันกับช่วงของการเรียนรู้ โดยแบบจำลอง F7 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าที่เป็นผลต่างระดับน้ำทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ จะให้ผลในการทดสอบที่ดีที่สุดและที่ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 พบว่าแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรนำเข้า เป็นผลต่างระดับน้ำที่แม่น้ำปิง จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด

โดยจะเห็นได้ว่าในกลุ่มของตัวแปรผลต่างระดับน้ำนี้ผลของทางด้านแม่น้ำปิงจะเข้ามามีผลกระทบ ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มของ U อันเนื่องการเปลี่ยนรูปให้เป็นผลต่างระดับน้ำนั้นจะให้ผลที่ชัดเจนกว่าโดยจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ ข-8 กับ ข-16 เนื่องจากมีการนำเอาค่าของระดับน้ำที่สถานี C.2 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนมาเกี่ยวข้องด้วย

ตารางที่ 6-6 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1: กลุ่ม เวลา(T)

กลุ่ม T : ค่าระดับน้ำสถานี C.2

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534(ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	T1	H (t)	99.60	716,567	165	98.66	217,539	128	98.91	312,271	157	86.87	37,465,427	1,852
2	T2	H (t) , H(t-1)	99.63	658,232	172	98.69	213,719	121	98.91	312,074	153	86.89	37,395,794	1,849
3	T3	H (t) , H(t-1) , H (t-2)	99.65	630,810	167	98.65	220,204	122	98.96	295,973	138	87.19	36,546,137	1,834
4	T4	H (t) , H(t-1) , H (t-2) , H (t-3)	99.64	635,223	166	98.64	221,765	122	98.95	299,650	139	87.10	36,792,617	1,838
5	T5	H (t) , dH/ dt	99.66	614,848	162	98.64	221,598	127	99.00	285,288	125	87.04	36,987,198	1,845
6	T6	H (t) , H (t-1) , dH/ dt	99.66	614,158	161	98.65	219,392	127	99.02	278,843	123	86.86	37,474,040	1,855
7	T7	H (t) , H (t-1) , H (t-2) , dH/ dt	99.65	616,322	160	98.65	219,795	127	99.00	284,702	125	87.16	36,639,106	1,839

ตารางที่ 6-7 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1 : กลุ่มทำynnน้ำ(D)

กลุ่ม D : ค่าระดับน้ำด้านทำynnน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534(ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	D1	H (t) , H Ct.2	99.63	654,087	132	98.67	216,995	124	98.75	356,233	180	85.32	41,883,854	1,927
2	D2	H (t) , H เชื่อน	99.65	624,526	130	98.61	225,692	129	99.05	272,463	150	84.56	44,052,576	1,981
3	D3	H (t) , H Ct.2 , H เชื่อน	99.65	621,594	120	98.58	230,871	134	98.71	369,009	134	84.19	45,103,142	2,001

ตารางที่ 6-8 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1: กลุ่มเหนือน้ำ(U)

กลุ่ม U : ค่าระดับน้ำด้านเหนือน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534(ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)
1	U1	H(t) ,P.17	99.60	709,451	156	98.71	209,763	126	98.86	326,400	166	87.14	36,688,207	1,840
2	U2	H(t) ,P.17 ,N.14A	99.69	547,096	140	99.11	144,299	97	99.27	208,889	139	87.68	35,161,197	1,814
3	U3	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16	99.73	484,494	139	98.99	165,205	109	99.34	188,767	140	87.27	36,323,313	1,819
4	U4	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8	99.72	490,903	153	98.96	168,581	103	99.28	204,744	150	86.81	37,642,080	1,841
5	U5	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5	99.74	455,024	146	98.72	208,119	130	99.35	184,109	138	86.58	38,272,199	1,843
6	U6	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15	99.74	455,328	160	98.60	228,550	140	99.27	207,394	145	86.53	38,430,683	1,859
7	U7	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15 , N.10A	99.75	443,841	157	98.10	310,005	170	99.07	266,295	165	86.91	37,343,981	1,847
8	U8	H(t) ,P.17 ,P.16	99.66	602,000	156	98.63	223,584	134	99.09	259,691	156	86.90	37,378,824	1,837
9	U9	H(t) ,P.17 ,P.16 , P.15	99.69	555,536	165	98.46	250,897	149	99.11	254,237	155	86.50	38,501,469	1,874
10	U10	H(t) ,N.14A	99.69	556,345	146	99.12	143,477	100	99.28	206,683	135	87.50	35,648,042	1,825
11	U11	H(t) ,N.14A ,N.8	99.69	549,015	145	99.11	145,576	101	99.26	211,890	136	87.41	35,926,320	1,830
12	U12	H(t) ,N.14A ,N.8 , N.10A	99.70	531,267	146	98.97	167,323	113	99.26	210,233	131	87.30	36,236,093	1,836
13	U13	H(t) ,N.14A ,N.8 , N.10A , Y.5	99.71	509,071	138	99.00	162,337	114	99.25	214,454	136	87.52	35,596,749	1,823

ตารางที่ 6-9 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 1 : กลุ่มผลต่างระดับน้ำ (F)

กลุ่ม F : ผลต่างค่าระดับน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534(ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)
1	F1	H (t), $\Delta F1$	99.64	634,801	129	98.60	227,402	138	99.09	258,463	155	81.69	52,235,414	2,074
2	F2	H (t), $\Delta F2$	99.60	710,309	149	98.71	209,424	124	98.83	334,719	171	87.35	36,078,871	1,829
3	F3	H (t), $\Delta F3$	99.69	558,716	153	99.07	151,033	102	99.26	212,554	140	87.24	36,415,215	1,837
4	F4	H (t), $\Delta F1$, $\Delta F2$	99.65	623,276	127	98.62	224,278	139	99.05	270,919	167	76.37	67,416,406	2,287
5	F5	H (t), $\Delta F1$, $\Delta F3$	99.72	492,132	119	98.99	164,262	124	99.35	185,786	152	75.40	70,185,428	2,320
6	F6	H (t), $\Delta F2$, $\Delta F3$	99.69	552,436	142	99.13	141,487	100	99.29	203,365	140	86.99	37,118,183	1,851
7	F7	H (t), $\Delta F1$, $\Delta F2$, $\Delta F3$	99.72	494,348	121	99.00	162,857	118	99.40	170,788	146	78.60	61,048,904	2,198

หมายเหตุ $\Delta F1$ = ผลต่างของทางทำนน้ำ $\Delta F2$ = ผลต่างของทางแม่น้ำปิง $\Delta F3$ = ผลต่างของทางแม่น้ำน่าน

ตารางที่ 6-10 สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้า ของแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับ ของกลุ่ม เวลา (T)

กลุ่ม T : ค่าระดับน้ำสถานี C.2

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535-37,41-42)	ช่วงการทดสอบ		
				ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)	ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)	ปี 2538 (ปีน้ำมาก)
1	T1	$H(t)$	7	2	7	6
2	T2	$H(t), H(t-1)$	6	ดีที่สุด	6	5
3	T3	$H(t), H(t-1), H(t-2)$	4	5	4	ดีที่สุด
4	T4	$H(t), H(t-1), H(t-2), H(t-3)$	5	7	5	3
5	T5	$H(t), dH/dt$	2	6	3	4
6	T6	$H(t), H(t-1), dH/dt$	ดีที่สุด	3	ดีที่สุด	7
7	T7	$H(t), H(t-1), H(t-2), dH/dt$	3	4	2	2

หมายเหตุ : พิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง(SEE) เนื่องจากค่าประสิทธิภาพ (EI) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด ต่างกันน้อยมาก

ตารางที่ 6-11 สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้า ของแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับ ของกลุ่มด้านท้ายน้ำ (D)

กลุ่ม D : ค่าระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535-37,41-42)	ช่วงการทดสอบ		
				ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)	ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)	ปี 2538 (ปีน้ำมาก)
1	D1	$H(t), H Ct. 2$	3	ดีที่สุด	2	ดีที่สุด
2	D2	$H(t), H$ เชื่อน	2	2	ดีที่สุด	2
3	D3	$H(t), H Ct. 2, H$ เชื่อน	ดีที่สุด	3	3	3

หมายเหตุ : พิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง(SEE) เนื่องจากค่าประสิทธิภาพ (EI) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด ต่างกันน้อยมาก

ตารางที่ 6-12 สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้า ของแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับ ของกลุ่มเหนื่อน้ำ (U)

กลุ่ม U : ค่าระดับน้ำด้านเหนื่อน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535-37,41-42)	ช่วงการทดสอบ		
				ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)	ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)	ปี 2538(ปีน้ำมาก)
1	U1	H(t) ,P.17	13	9	13	7
2	U2	H(t) ,P.17 ,N.14A	8	2	6	ดีที่สุด
3	U3	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16	4	5	2	6
4	U4	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8	5	7	3	10
5	U5	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y.5	2	8	ดีที่สุด	11
6	U6	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y.5, P.15	3	11	5	12
7	U7	H(t) ,P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y.5, P.15 , N.10A	ดีที่สุด	13	12	8
8	U8	H(t) ,P.17 ,P.16	12	10	11	9
9	U9	H(t) ,P.17 ,P.16 , P.15	10	12	10	13
10	U10	H(t) ,N.14A	11	ดีที่สุด	4	3
11	U11	H(t) ,N.14A ,N.8	9	3	8	4
12	U12	H(t) , N.14A ,N.8 , N.10A	7	6	7	5
13	U13	H(t) , N.14A ,N.8 , N.10A , Y.5	6	4	9	2

หมายเหตุ : พิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง(SEE) เนื่องจากค่าประสิทธิภาพ (EI) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด ต่างกันน้อยมาก

ตารางที่ 6-13 สรุปผลการทดสอบตัวแปรนำเข้า ของแบบจำลอง ANN โดยเรียงลำดับ ของกลุ่ม ผลต่างระดับน้ำ (F)

กลุ่ม F : ผลต่างค่าระดับน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535-37,41-42)	ช่วงการทดสอบ		
				ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)	ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)	ปี 2538 (ปีน้ำมาก)
1	F1	$H(t), \Delta F1$	6	7	5	4
2	F2	$H(t), \Delta F2$	7	5	7	ดีที่สุด
3	F3	$H(t), \Delta F3$	4	2	4	2
4	F4	$H(t), \Delta F1, \Delta F2$	5	6	6	6
5	F5	$H(t), \Delta F1, \Delta F3$	ดีที่สุด	4	2	7
6	F6	$H(t), \Delta F2, \Delta F3$	3	ดีที่สุด	3	3
7	F7	$H(t), \Delta F1, \Delta F2, \Delta F3$	2	3	ดีที่สุด	5

หมายเหตุ : พิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง(SEE) เนื่องจากค่าประสิทธิภาพ (EI) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด ต่างกันน้อยมาก

: $\Delta F1$ = ผลต่างของทางทำนน้ำ $\Delta F2$ = ผลต่างของทางแม่น้ำปิง $\Delta F3$ = ผลต่างของทางแม่น้ำน่าน

2) โดยสรุปแล้วหากพิจารณาทั้ง ปีน้ำน้อย น้ำเฉลี่ยและน้ำมากรวมกัน แบบจำลอง F6 ซึ่งใช้ ผลต่างระดับน้ำทางด้านแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน จะให้ผลที่ดีที่สุดตลอดทั้ง 3 ปีที่ทำการทดสอบ และในช่วงของการเรียนรู้ ดังแสดงในตารางที่ 6-13 ในขณะที่แบบจำลอง F4 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าที่เป็นผลต่างทางด้านทำนน้ำกับทางด้านแม่น้ำปิง จะให้ค่าประสิทธิภาพของผลการทดสอบที่ต่ำตลอดทั้ง 3 ปีที่ทดสอบ รวมทั้งผลในช่วงของการเรียนรู้

6.2.1.5 สรุปผลการทดสอบ ของตัวแปรนำเข้า กลุ่ม T D U และ F

1) จากตารางที่ 6-10 ถึงตารางที่ 6-13 ซึ่งเป็นการจัดเรียงลำดับผลการทดสอบและการเรียนรู้ในแต่ละตัวแปรนำเข้าโดยพิจารณาจากค่าของผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง โดยที่ผลที่ได้มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้ตัวแปรในแต่ละกลุ่มเพื่อนำไปศึกษาในช่วงที่ 2 และจะเห็นได้ว่าตัวแปรนำเข้าที่สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ในช่วงของการเรียนรู้ได้ดีที่สุดนั้น เมื่อทดสอบแล้วอาจจะไม่ใช่ตัวแปรนำเข้าที่ดีที่สุดของปีการทดสอบนั้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000) และการศึกษา Jain (2001) พบว่าให้ผลที่ออกมาในลักษณะเดียวกันคือในช่วงของการเรียนรู้ การเพิ่มตัวแปรนำเข้า ให้กับแบบจำลองจะให้ผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง ANN ให้ดีขึ้น แต่ในช่วงของการทดสอบไม่ได้เป็นเช่นนั้น

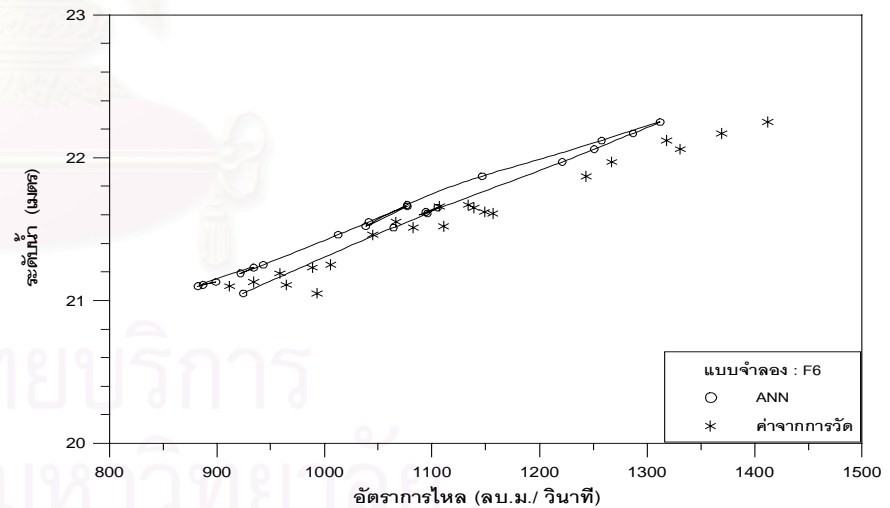
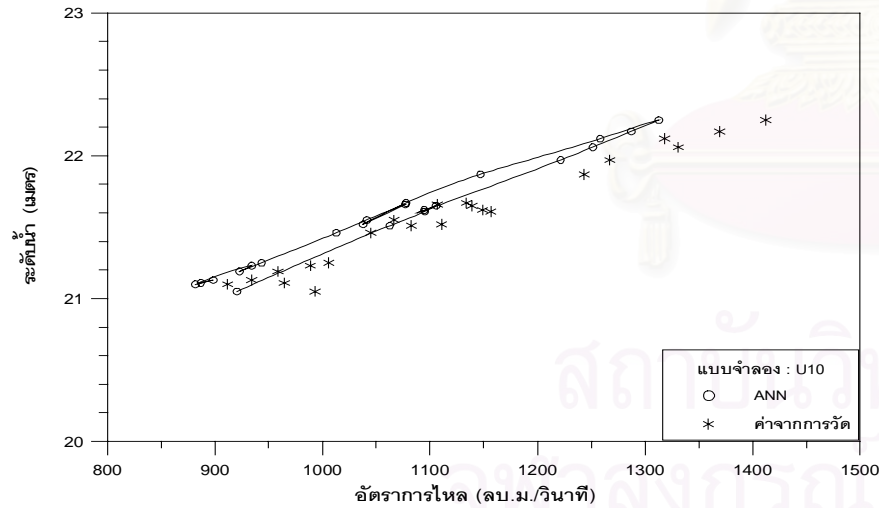
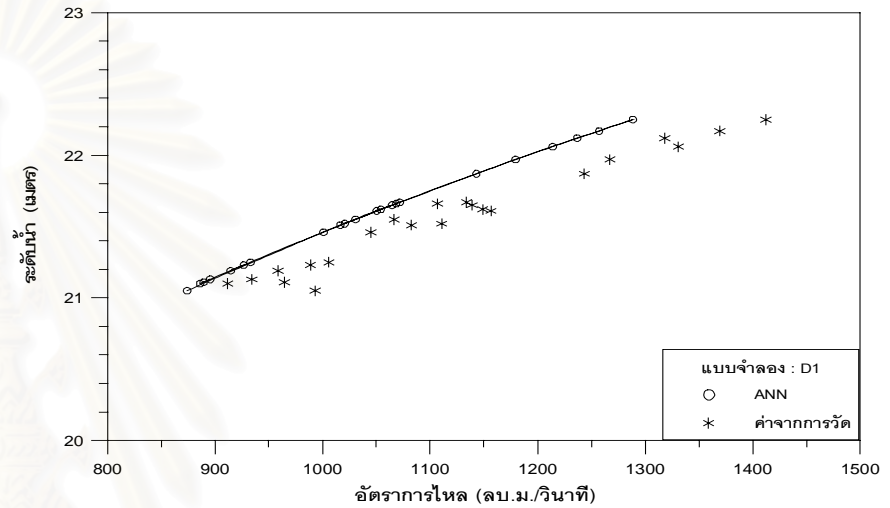
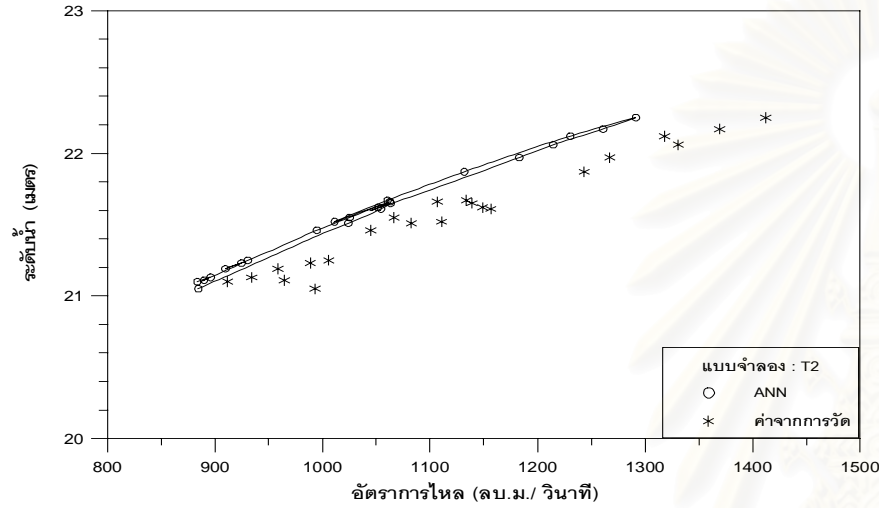
ดังนั้นตัวแปรนำเข้าที่ดีที่สุดจึงเป็นไปตามผลทดสอบในแต่ละกรณี คือ ปีน้ำมาก ปีน้ำน้อย ปีน้ำเฉลี่ยและช่วงของการเรียนรู้ โดยจากความสัมพันธ์ที่แสดงในภาคผนวก ข จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์แต่ละตัวแปรนำเข้ากับอัตราการไหลของสถานี C.2 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปีทดสอบ

2) เมื่อพิจารณาผลการศึกษิตัวแปรนำเข้าทั้ง 30 แบบจำลองในช่วงแรกนี้ สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ให้ผลในการทดสอบที่ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534 ที่ดีที่สุด คือ แบบจำลอง F6 โดยมีค่าและสำหรับการทดสอบที่ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 แบบจำลอง F7 ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุดและที่ปีทดสอบน้ำมาก พ.ศ. 2538 แบบจำลองที่ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด คือ แบบจำลอง U2 โดยที่ผลการทดสอบที่ปีน้ำมาก พ.ศ.2538 ซึ่งเป็นปีที่มีค่าอัตราการไหลเกินช่วงของข้อมูลในการเรียนรู้ขึ้นไปจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ ที่เกิดขึ้นแบบจำลองจะไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ที่มากกว่าค่าของอัตราการไหลที่เลยช่วงในการเรียนรู้ได้ ซึ่งค่าอัตราการไหลที่ได้จะหยุดอยู่ที่ประมาณ 3,000 ลบ.ม./วินาที ดังแสดงในรูปที่ 6-16 และ 6-22

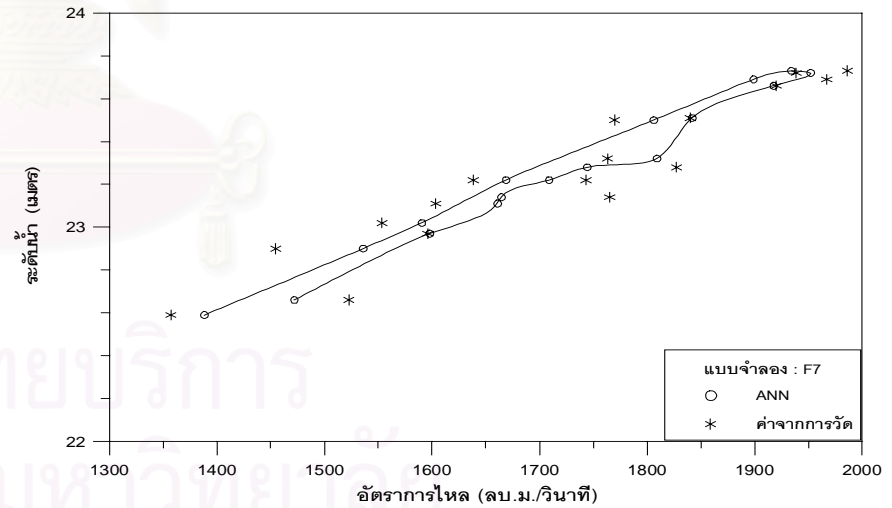
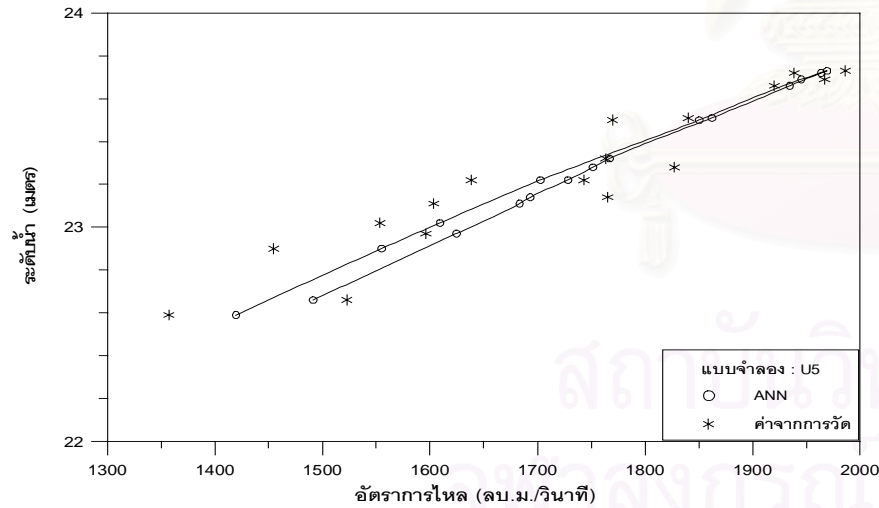
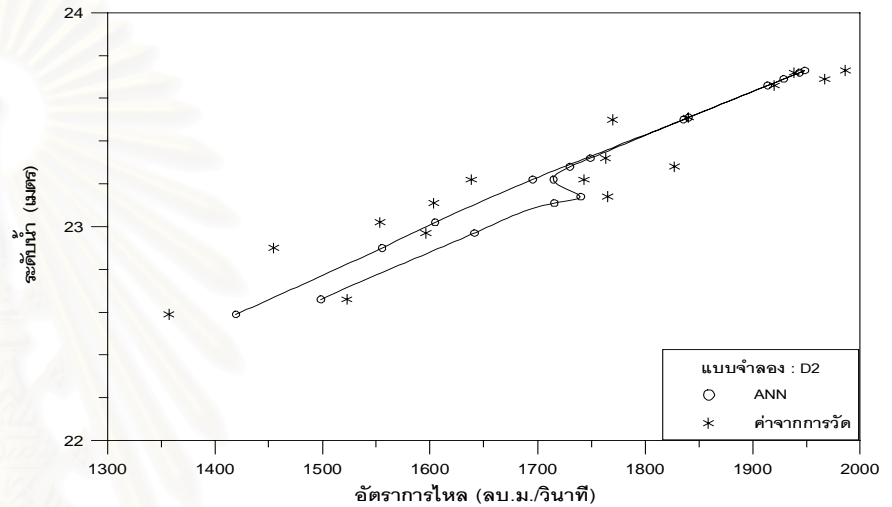
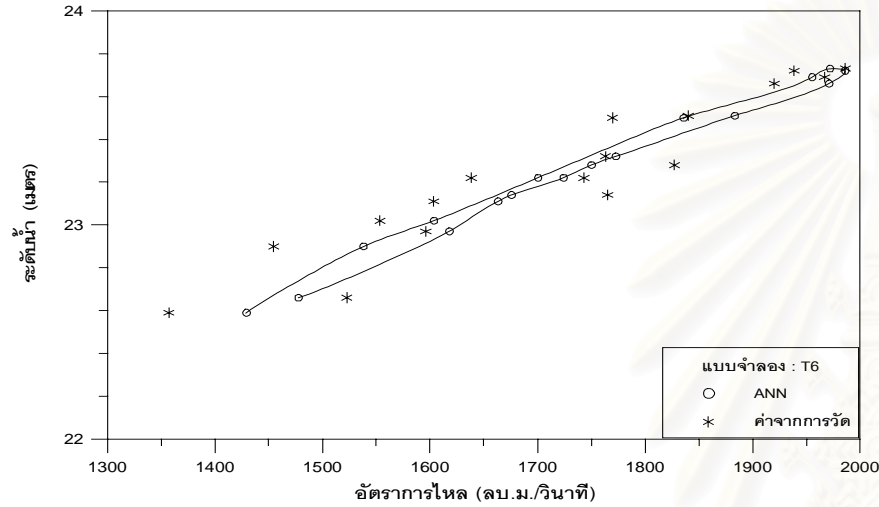
3) ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในช่วงอัตราการไหลสูงสุด ของแบบจำลองที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มตัวแปรนำเข้า แสดงในรูปที่ 6-13 ถึง 6-16 เพื่อตรวจสอบรูปร่างของความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลอง โดยจะเห็นได้ว่าที่ปี พ.ศ.2534 ซึ่งเป็นปีน้ำน้อย ความสัมพันธ์ระดับน้ำ – อัตราการไหล จากแบบจำลอง ANN นั้นมีลักษณะที่เบนออกจากค่าที่ได้จากการวัดจริงทุกแบบจำลอง และที่แบบจำลอง D1 นั้นความสัมพันธ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงซึ่งผิดจากค่าวัดได้จริงอยู่มาก

ในส่วนของปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543 นั้นแบบจำลอง D1 ให้ความสัมพันธ์มีรูปร่างที่แตกต่างจากค่าที่วัดจริงอยู่มากเช่นกัน ดังแสดงในรูป 6-14 โดยที่ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543 นี้เป็นปีที่มีน้ำหลากเข้ามา 2 ครั้งด้วยกัน จึงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหลจะซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจาก วงรอบไม่ได้มีเพียงวงเดียว โดยวงรอบที่เป็นเส้นประ ในรูปที่ 6-15 แสดงจะถึงวงรอบที่เกิดขึ้นจริงจากยอดกราฟน้ำท่าลูกที่ 2 ส่วนของลูกแรกนั้นไม่ได้แสดงความสัมพันธ์เป็นวงรอบได้ชัดเจนนัก แต่จากรูปจะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ANN นั้น จะไม่สามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นลักษณะเช่นนี้ได้ โดยแบบจำลองจะสร้างความสัมพันธ์ที่ผิดจากค่าที่แท้จริงค่อนข้างมาก และถึงแม้ว่าวงรอบที่เกิดขึ้นตามเส้นประนี้จะไม่ให้ค่าอัตราการไหลสูงสุด แต่จะเห็นได้ว่าที่ค่าระดับน้ำของวงรอบนี้ค่าอัตราการไหลของช่วงน้ำขึ้นกับช่วงน้ำลงจะแตกต่างกันมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาที่รูป 6-21 จะเห็นว่าที่ช่วงอัตราการไหลที่ตั้งแต่ประมาณ 1,400 ลบ.ม./วินาที ถึงประมาณ 1,850 ลบ.ม./วินาที กราฟของค่าความผิดพลาดจะมีค่าสูง ในขณะที่ค่าอัตราการไหลสูงสุดมีความผิดพลาดที่ไม่มากนัก เนื่องจากแบบจำลองให้ความสัมพันธ์ที่อัตราการไหลสูงสุดได้ดี

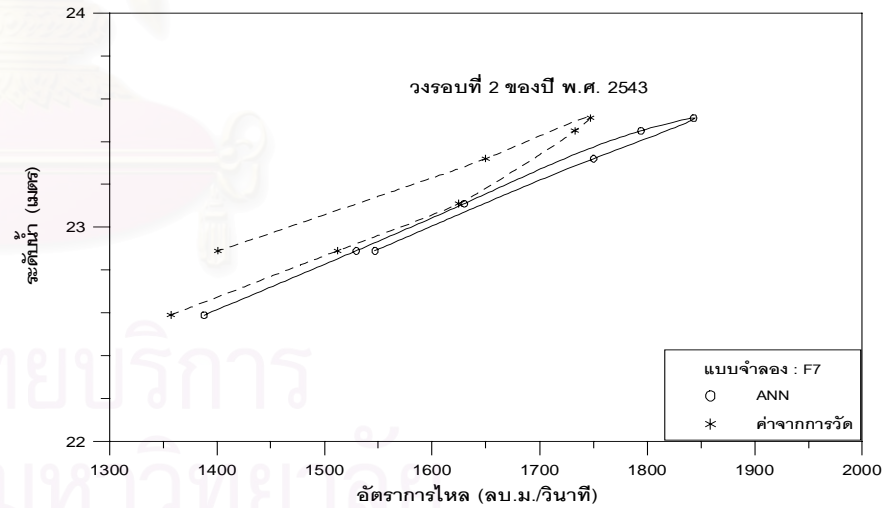
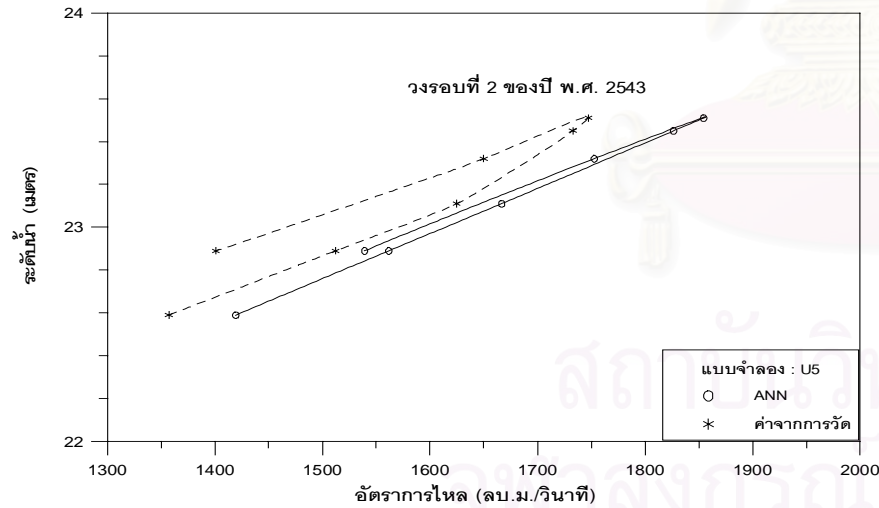
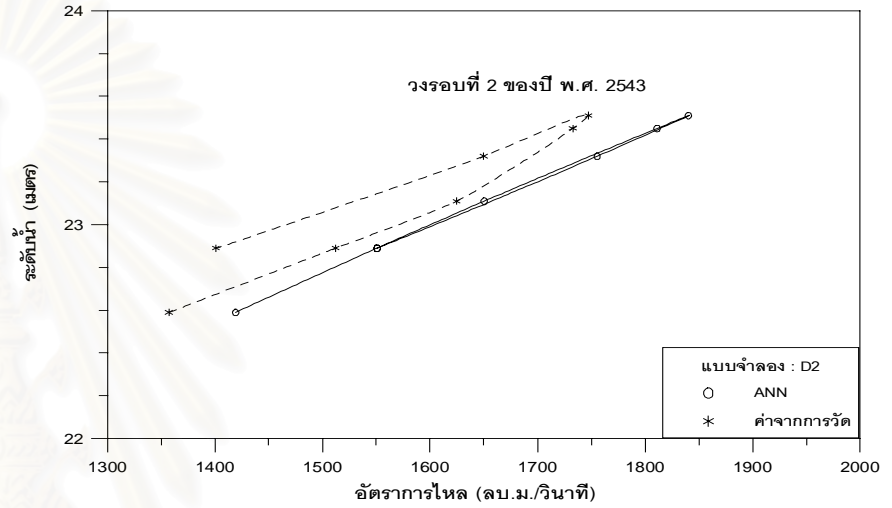
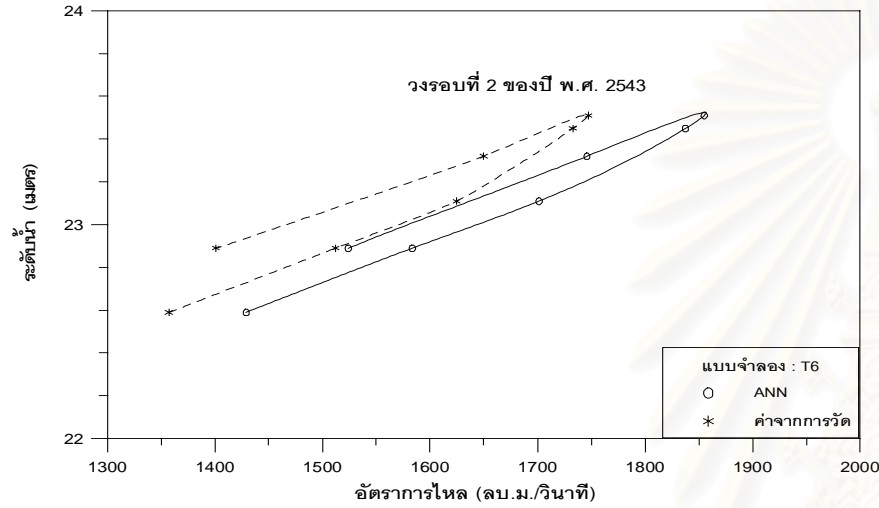
4) หากพิจารณาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่วงของอัตราการไหลที่มีค่าต่ำ ดังรูปที่ 6-17 ถึง 6-19 แล้วจะพบว่าที่ปี พ.ศ.2534 ซึ่งเป็นปีน้ำน้อย ค่าอัตราการไหลที่ได้จากทุกแบบจำลอง จะให้ค่าที่มากกว่า ค่าจากการวัดจริง ดังจะเห็นได้จาก รูปที่ 6-17 และ 6-20 แต่ที่ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543 จะเห็นว่าที่แบบจำลอง U5 และ F7 จะมีความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – อัตราการไหล ที่ซ้อนทับกับค่าจากการวัดจริง ดังแสดงในรูปที่ 6-18 แต่แบบจำลอง T6 และ D2 กลับให้ค่าของอัตราการไหลที่ต่ำกว่าความเป็นจริงโดยจะเห็นได้ว่ากราฟจะเลื่อนขึ้นไปทางด้านบน ซึ่งทำให้เห็นว่าตัวแปรนำเข้าก็มีผลต่อความสัมพันธ์ในช่วงอัตราการไหลต่ำได้เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ของ ปี พ.ศ. 2543 นี้ จะตรงกันข้ามกับที่ปี น้ำน้อย พ.ศ.2534 และที่ปีน้ำมาก ปี พ.ศ. 2538 ซึ่งเกิดความผิดพลาดที่ชัดเจนในทุกตัวแปรนำเข้า ซึ่งเป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล มีการเปลี่ยนแปลงไปจากการเรียนรู้ทำให้แบบจำลอง ANN ไม่สามารถแสดงผลได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริง



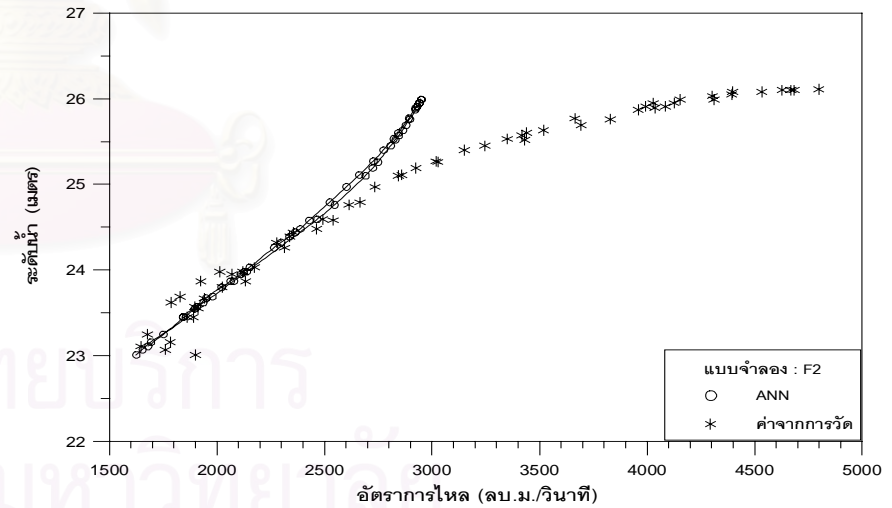
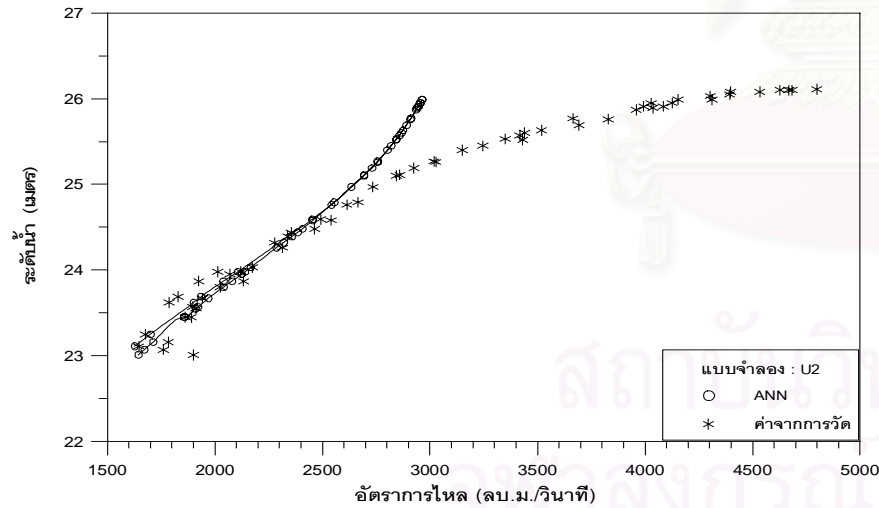
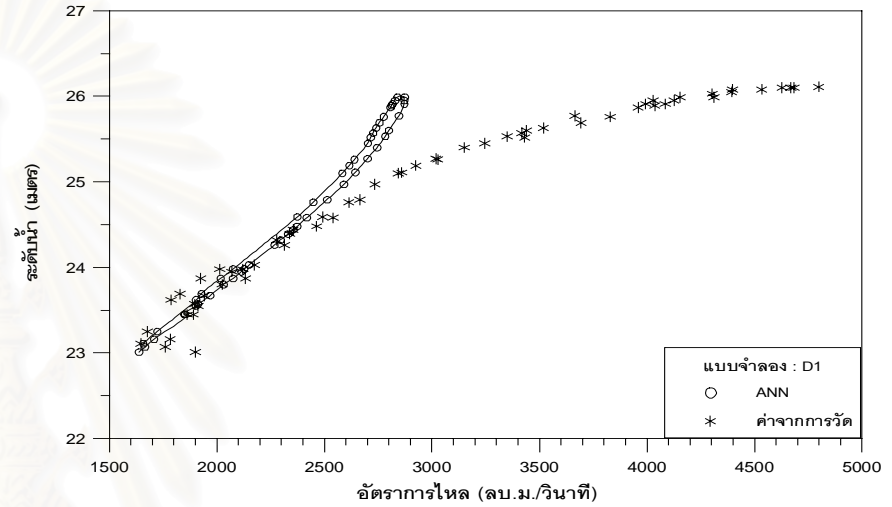
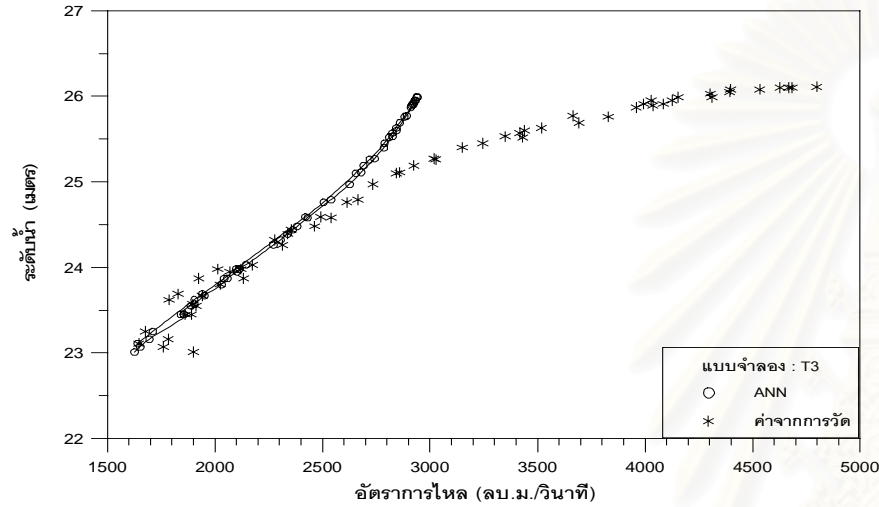
รูปที่ 6-13 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T2 D1 U10 และ F6 ที่ช่วงการทดสอบ ปีนํ้าน้อย พ.ศ.2534 ระหว่าง วันที่ 25 ส.ค. - 14 ต.ค.



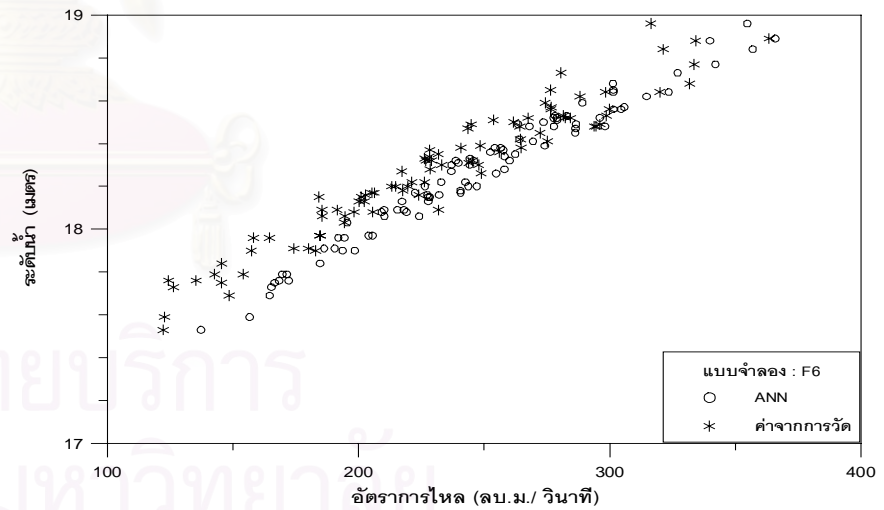
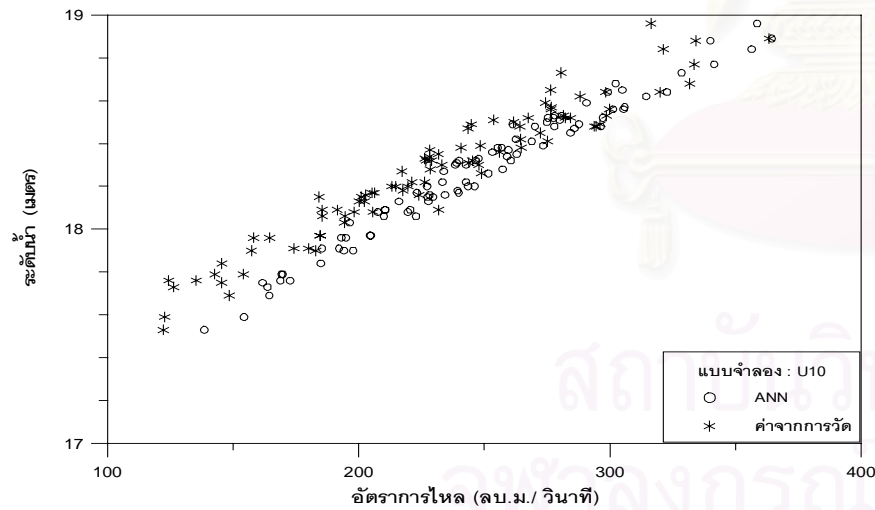
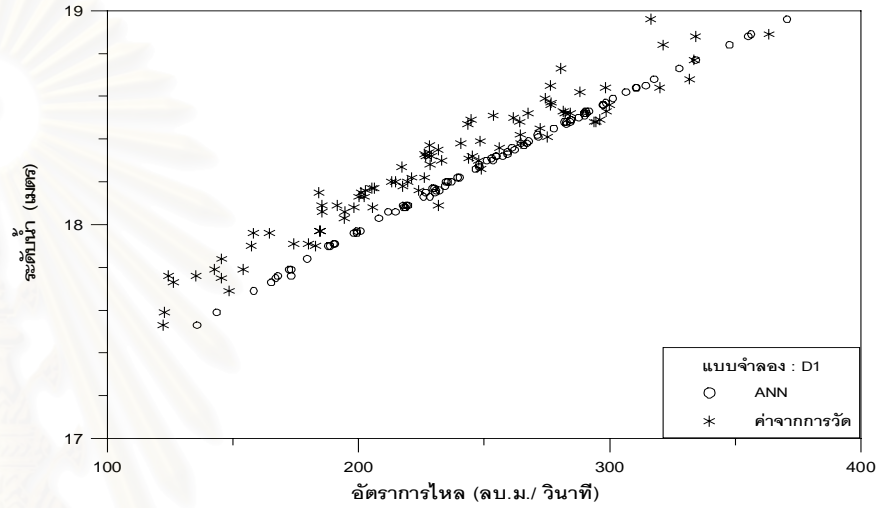
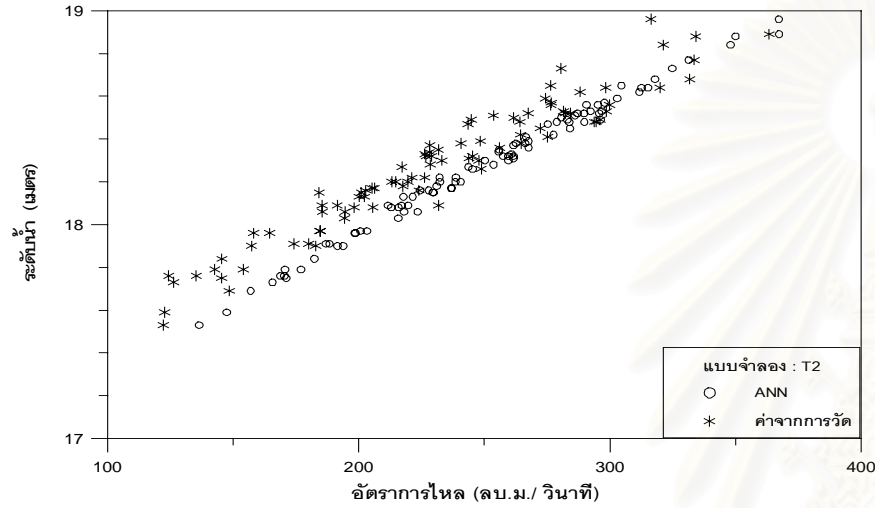
รูปที่ 6-14 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T6 D2 U5 และ F7 ที่ช่วงการทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543 ระหว่าง วันที่ 18 ก.ย - 26 ต.ค.



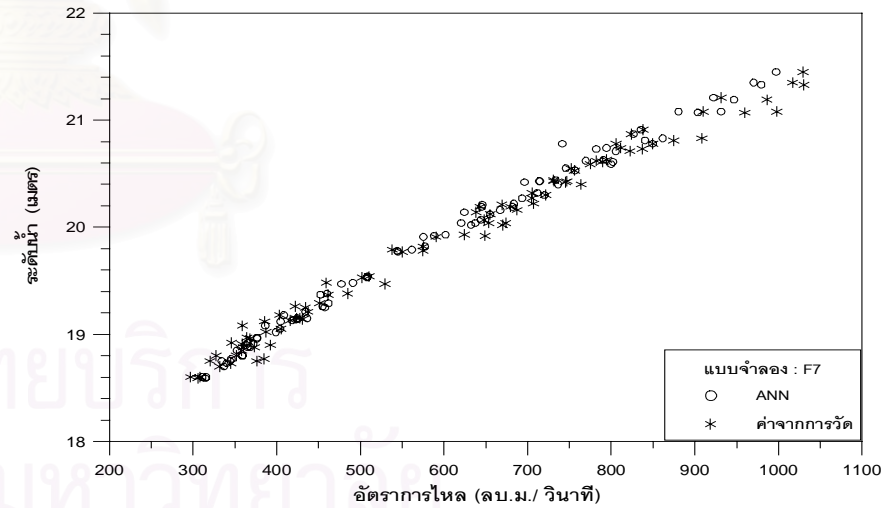
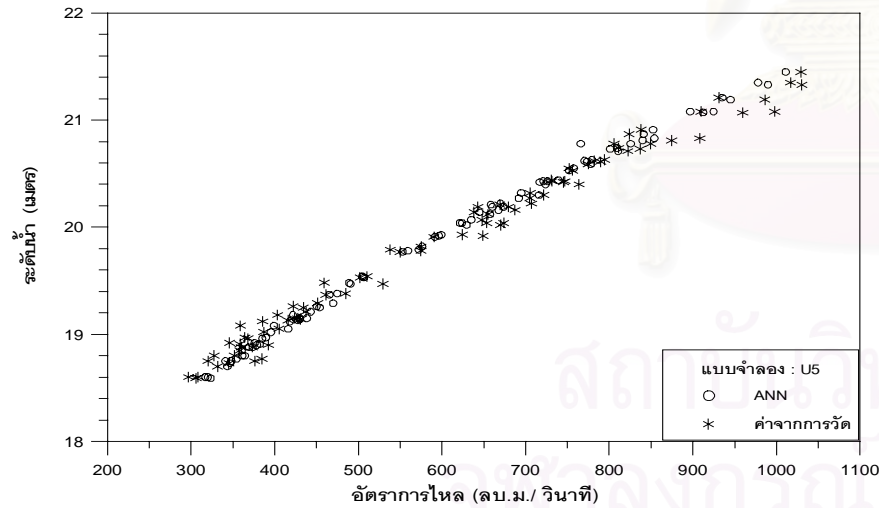
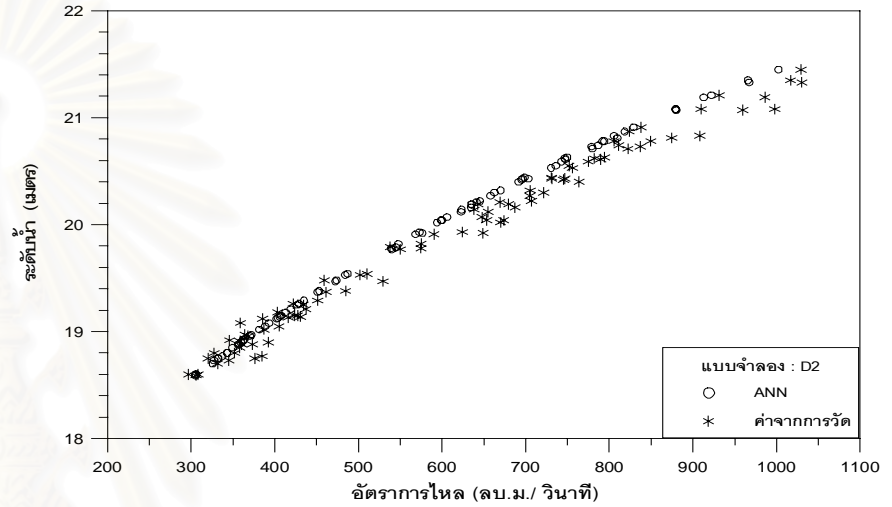
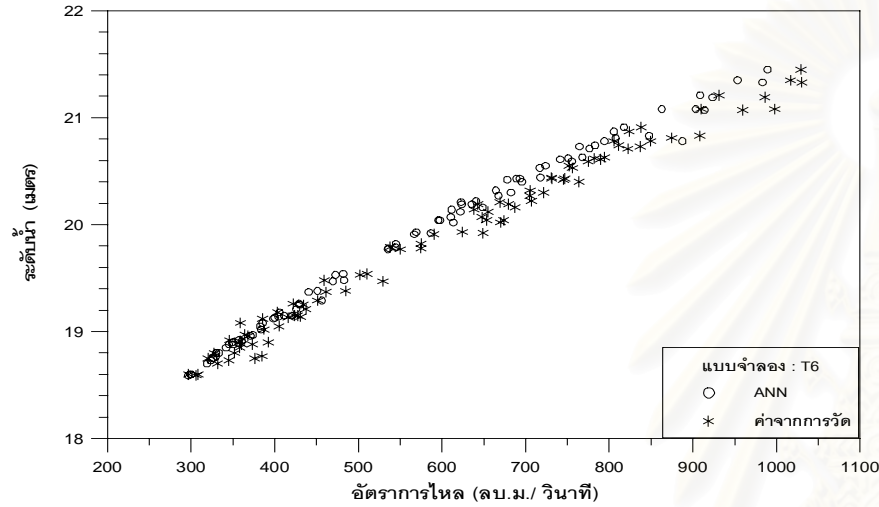
รูปที่ 6-15 ลักษณะวงรอบที่ได้แบบจำลอง ANN: T6 D2 U5 และ F7 ที่ช่วงการทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543 ระหว่างวันที่ 27 ต.ค.- 13 พ.ย.



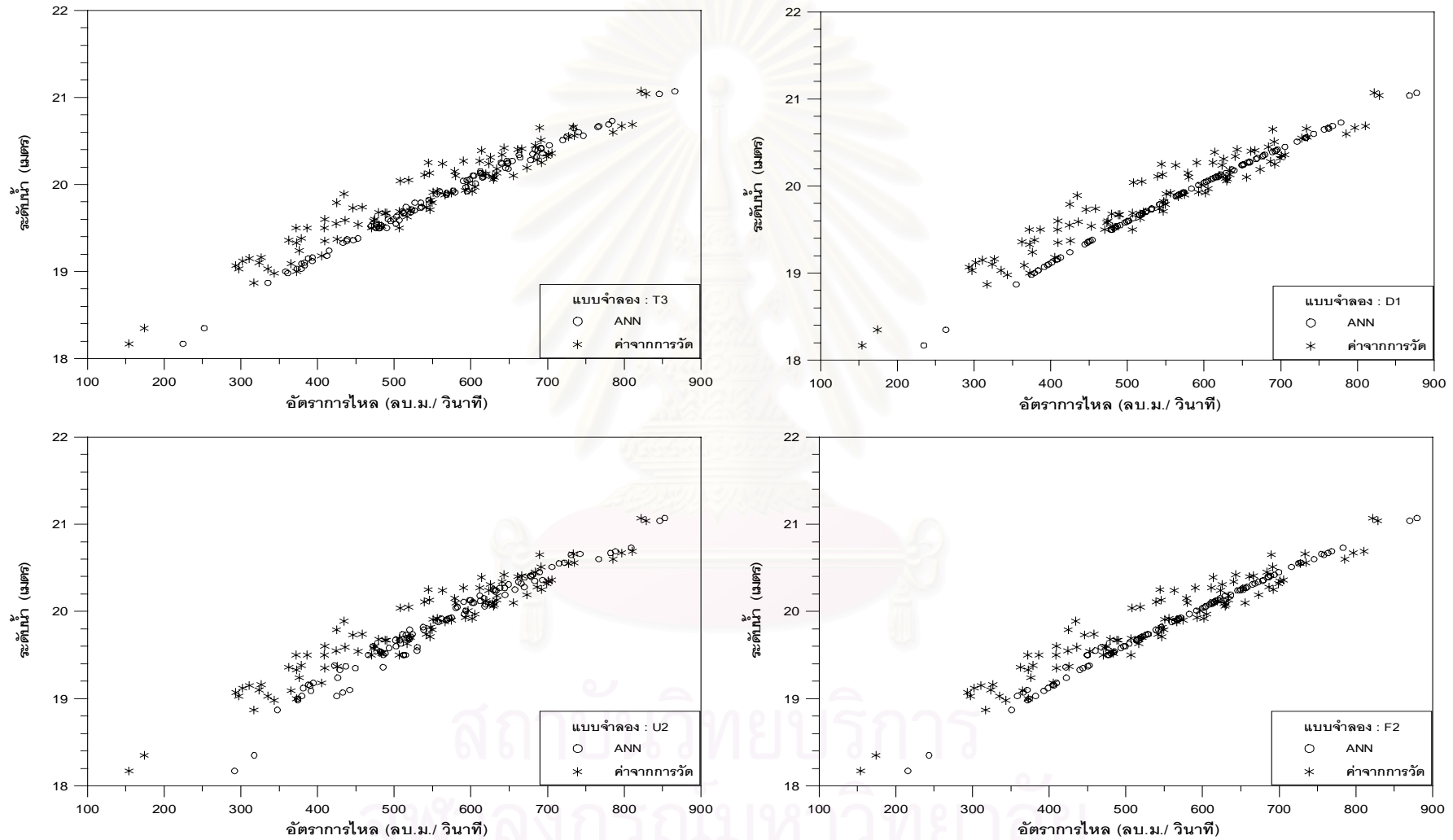
รูปที่ 6-16 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN: T3 D1 U2 และ F2 ที่ช่วงการทดสอบปีน้ำมาก พ.ศ.2538 ระหว่าง วันที่ 25 ส.ค. - 14 พ.ย.



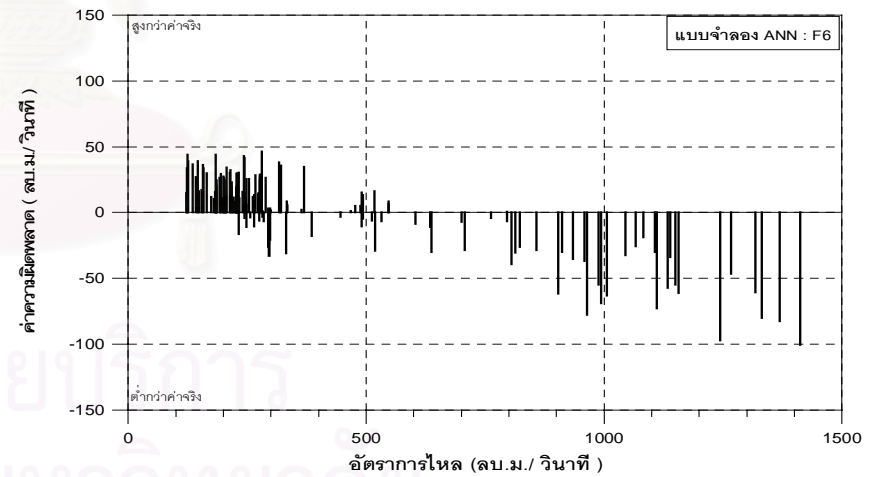
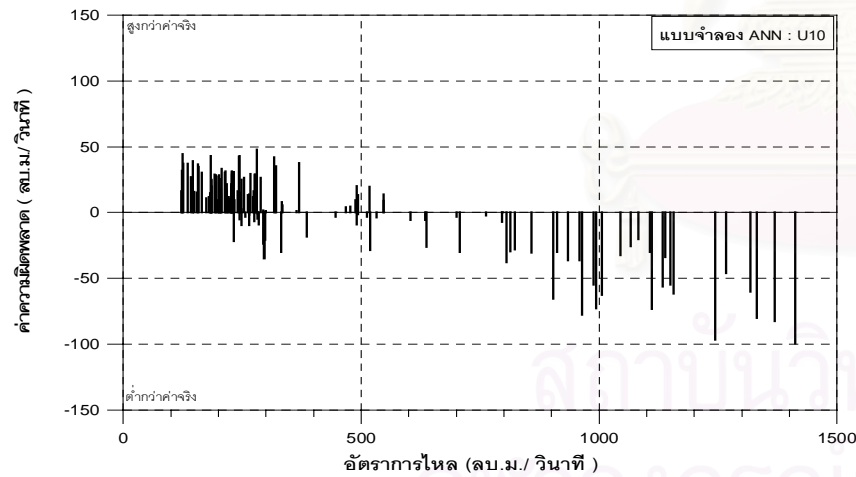
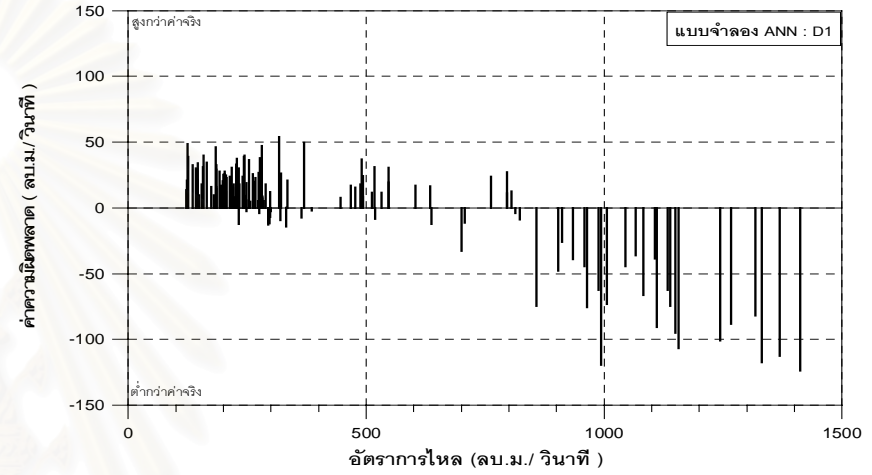
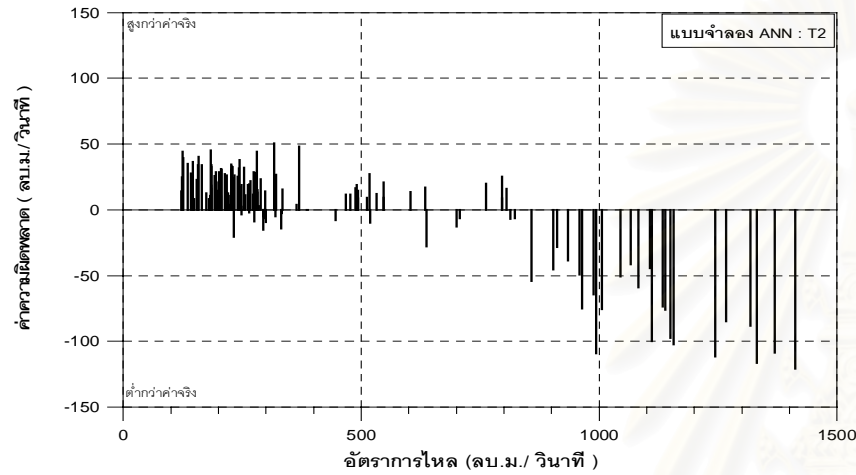
รูปที่ 6-17 ความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN: T2 D1 U10 และ F6 ในช่วงอัตราการไหลต่ำ ที่การทดสอบ ปีนําน้อย พ.ศ.2534



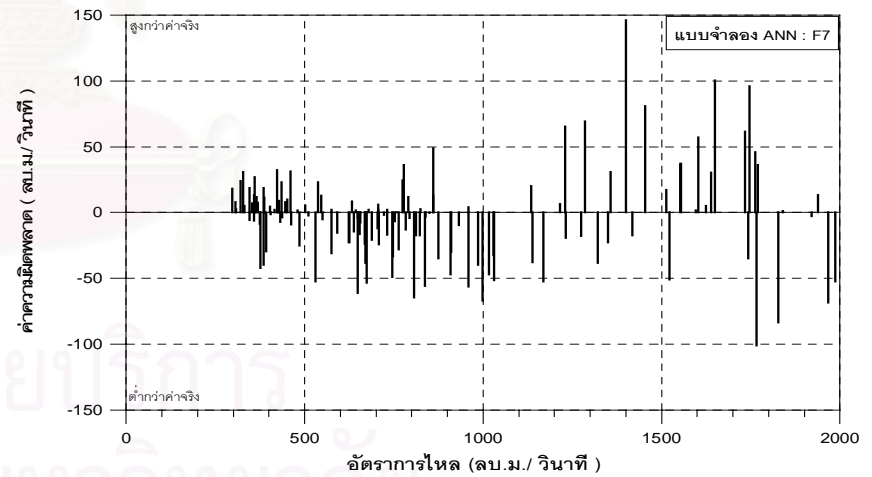
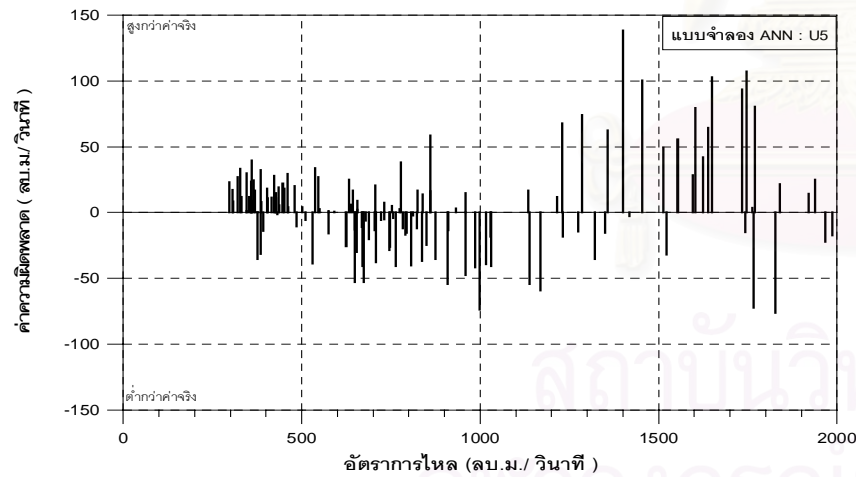
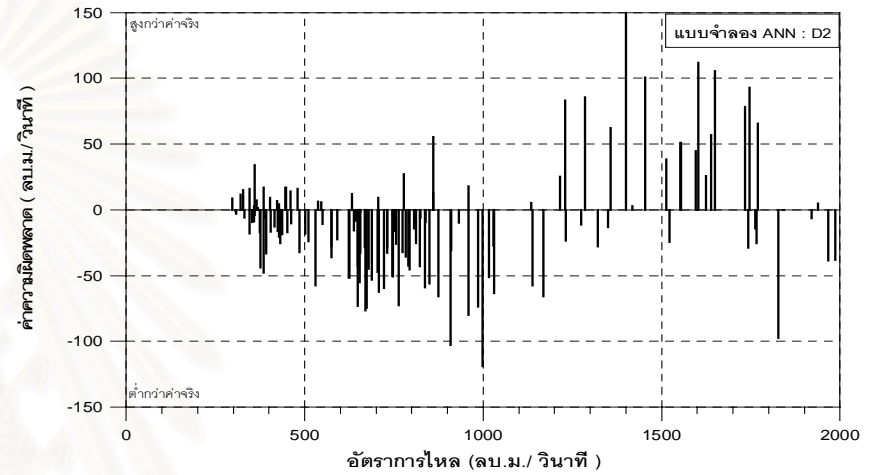
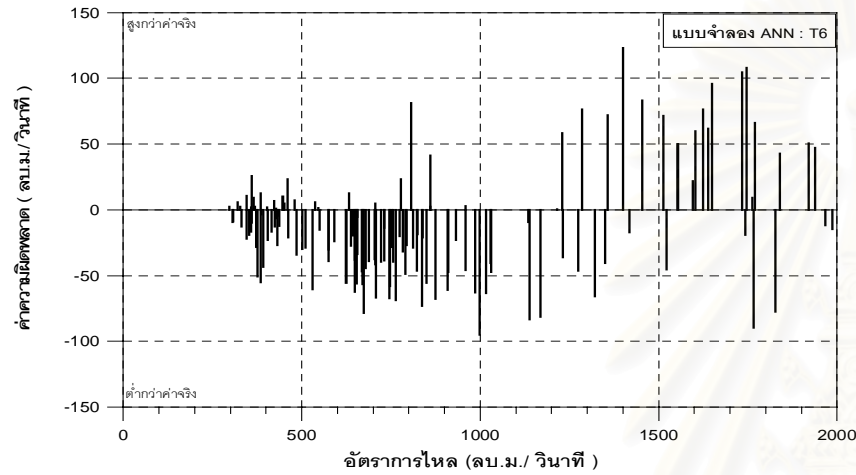
รูปที่ 6-18 ความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN: T6 D2 U5 และ F7 ในช่วงอัตราการไหลต่ำ ที่การทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543



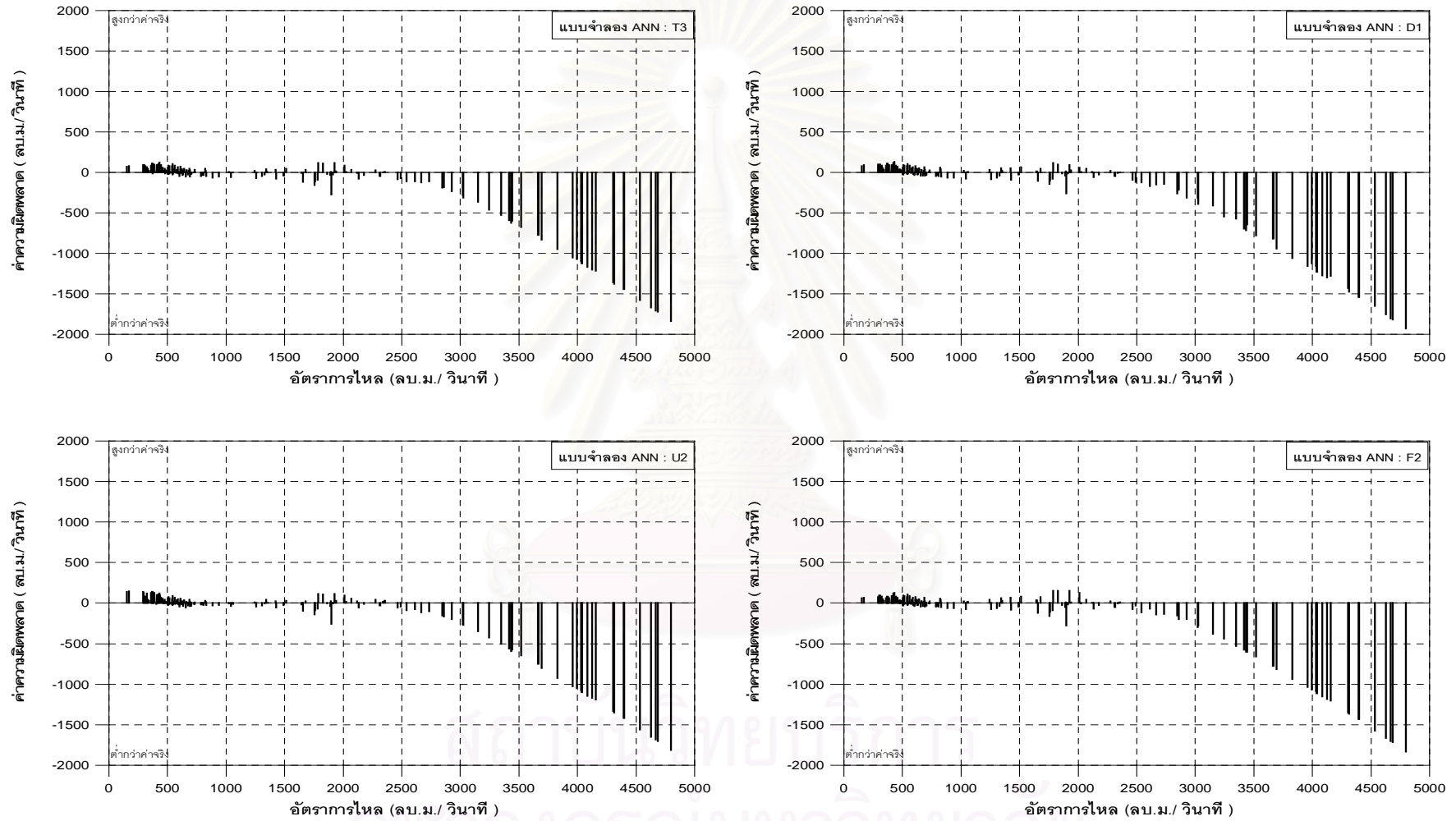
รูปที่ 6-19 ความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN: T3 D1 U2 และ F2 ในช่วงอัตราการไหลต่ำ ที่การทดสอบ ปีนี้มาก พ.ศ.2538



รูปที่ 6-20 ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงอัตราการใช้ ของแบบจำลอง ANN : T2 D1 U10 และ F6 ที่ปีทดสอบน้ำน้อย พ.ศ.2534



รูปที่ 6-21 ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงอัตราการไหล ของแบบจำลอง ANN : T6 D2 U5 และ F7 ที่ปีทดสอบน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543



รูปที่ 6-22 ค่าความผิดพลาดในแต่ละช่วงอัตราการใช้ ของแบบจำลอง ANN : T3 D1 U2 และ F2 ที่ปีทดสอบนำมา พ.ศ.2538

หากพิจารณาที่ช่วงของอัตราการใช้พลังงานต่ำและช่วงอัตราการใช้พลังงานสูง จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ANN นั้นสามารถที่จะแยกแยะได้ว่าที่ช่วงอัตราการใช้พลังงานต่ำๆ ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการใช้พลังงานจะเป็นลักษณะเกือบเป็นเชิงเส้น แต่พอระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นค่าอัตราการใช้พลังงานมากขึ้น แบบจำลอง ANN จะสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นวงรอบขึ้นมาได้ในช่วงที่น้ำขึ้นและช่วงน้ำลง ซึ่งความสัมพันธ์ที่เป็นวงรอบนี้จะทำให้วิธีการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าของระดับน้ำ - อัตราการใช้พลังงานมีความคลาดเคลื่อน

6.1.3 ผลการเรียนรู้ของการศึกษาตัวแปรนำเข้า ในช่วงที่ 2

ภายหลังจากที่ได้ตัวแปรนำเข้า ในแต่ละกลุ่มแล้ว การศึกษาในช่วงที่ 2 คือ การนำเอาตัวแปรที่ได้ในแต่ละกลุ่มนั้นมารวมกัน เพื่อหาชุดของตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมต่อไป ตารางที่ 6-14 ถึง 6-17 แสดงตัวแปรของแบบจำลองต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาในช่วงที่ 2 ซึ่งคัดเลือกมาจากการศึกษาในช่วงที่ 1 ตามผลป้อนกลับน้อย น้ำเฉลี่ย น้ำมาก และช่วงการเรียนรู้ ซึ่งจะมีด้วยกันทั้งหมด 44 แบบจำลอง หรือ 44 รูปแบบตัวแปรนำเข้าที่เป็นการรวมกันของแต่ละกลุ่มตัวแปรจากการศึกษาในช่วงแรก โดยแบบจำลองแต่ละตัวจะถูกลองหาโครงสร้างที่เหมาะสมอีกครั้ง ด้วยวิธีการลองผิดลองถูก เช่นเดียวกันกับการศึกษาในช่วงที่ 1 ผลการศึกษาตัวแปรนำเข้าในช่วงที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 6-18 ถึง 6-21 และถูกสรุปรวมไว้ในตารางที่ 6-22 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ผลการศึกษาในช่วงที่ 2 นี้ลักษณะของการเรียนรู้ยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการศึกษาในช่วงแรก กล่าวคือ การเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN จะมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรนำเข้าให้กับแบบจำลอง แต่ไม่ได้เพิ่มมากอย่างเห็นได้ชัดเจนในทางการทดสอบประสิทธิภาพทางสถิติ แต่จะให้ผลในด้านของรูปร่างที่ดีขึ้น โดยแบบจำลองที่มีค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในช่วงของการเรียนรู้ครั้งนี้ คือ แบบจำลอง T6-D3-U7-F5 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีการใช้ตัวแปรนำเข้าที่มากที่สุดสำหรับการศึกษานี้ โดยมีจำนวน 14 ตัวแปรด้วยกันดังแสดงผลในตารางที่ 6-18 และจะเห็นว่าตัวแปรนำเข้าที่ใช้ตัวแปรที่รวมกัน ทั้ง 4 กลุ่มตัวแปร คือ T-D-U-F จะให้ผลในการเรียนรู้ที่ดีกว่าการใช้ตัวแปรนำเข้าเพียง 2 หรือ 3 กลุ่มตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 6-18 ถึง 6-21

2) จากการศึกษในช่วงแรกซึ่งพบว่าตัวแปรนำเข้า ที่มีผลต่อการเรียนรู้มากที่สุดคือแบบจำลองในกลุ่มของ U และ F ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลของช่วงที่ 2 ก็จะทำให้เห็นว่าแบบจำลองที่มีตัวแปรนำเข้าทั้งสองกลุ่มนี้ให้ผลในการเรียนรู้ที่ดีกว่า แบบจำลองที่ไม่มีกลุ่มของตัวแปร U และ F อยู่เลย

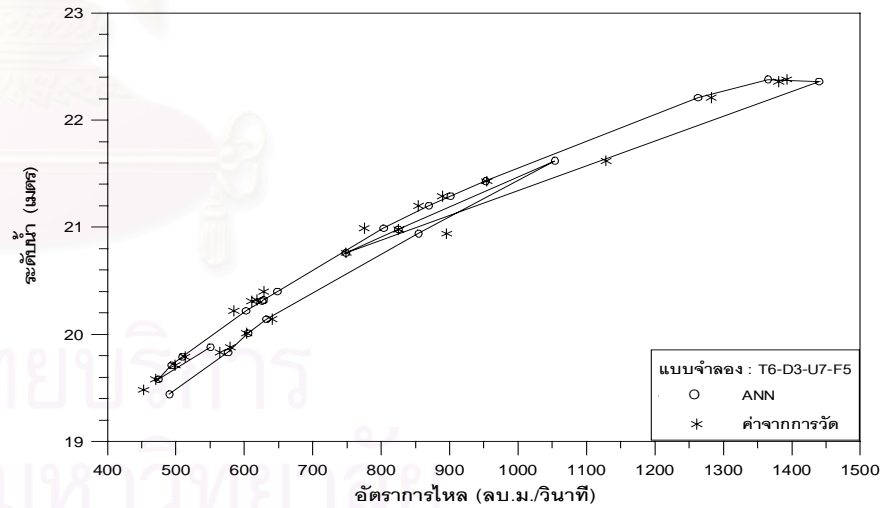
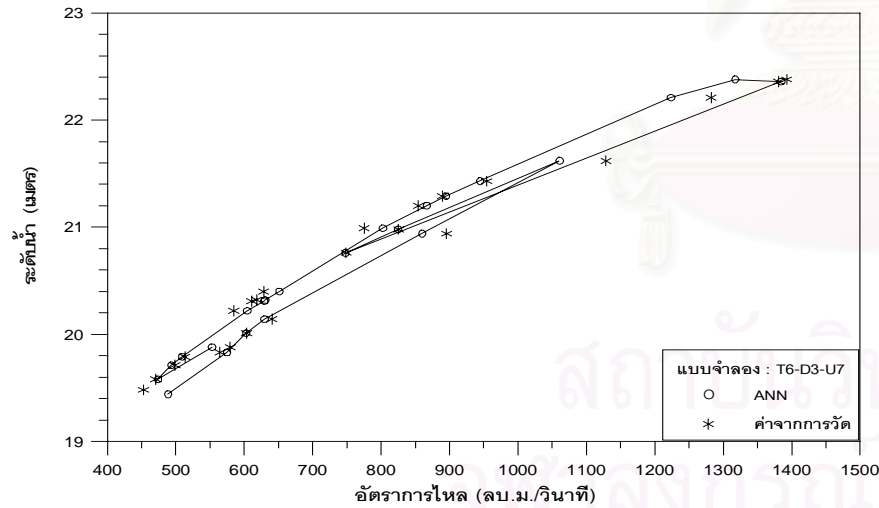
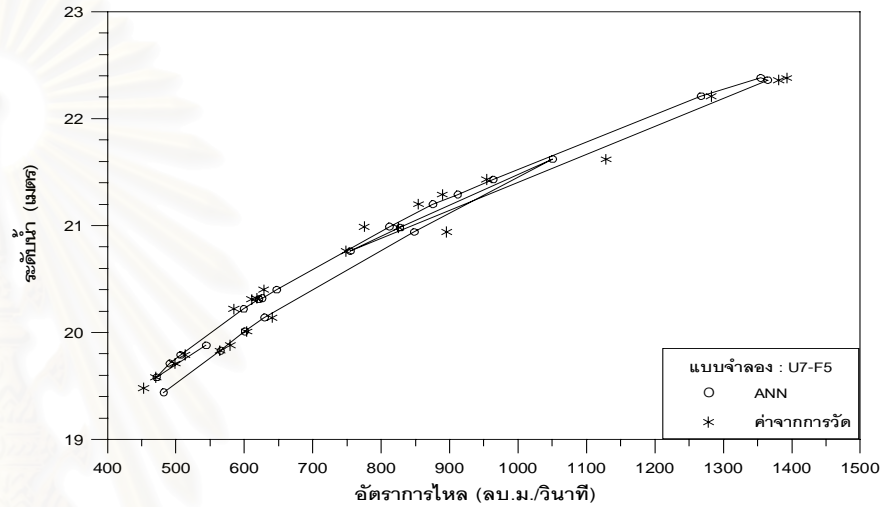
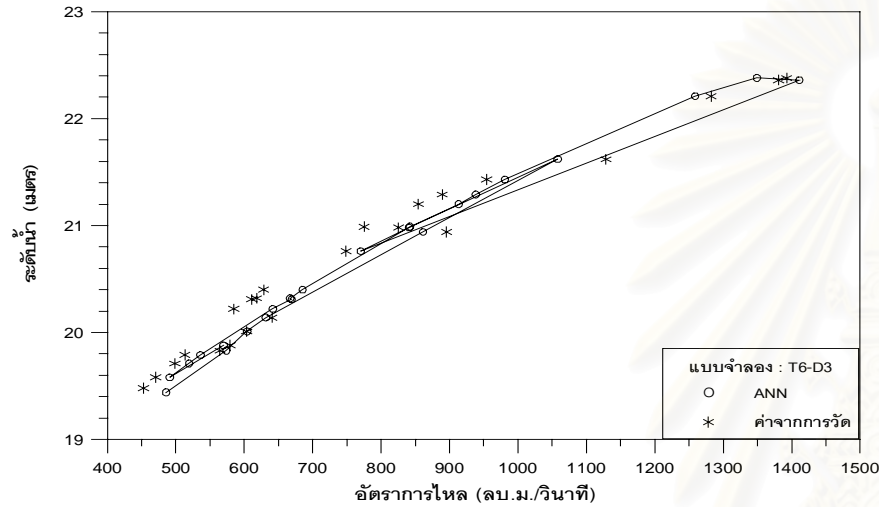
5) ค่าของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 2 นี้ยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการศึกษาในช่วงแรก โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 6-28 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 6-11 ความผิดพลาดหากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะมากที่สุดในช่วงที่อัตราการไหลต่ำ ในขณะที่ช่วงอัตราการไหลที่มากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาทีขึ้นไปค่าอัตราการไหลจากแบบจำลองจะต่ำกว่าความเป็นจริงและจากรูปที่ 6-12 และ 6-29 จะเห็นว่าแบบจำลอง U7 กับ T6 เดิมนี้มีค่าความผิดพลาดที่อัตราการไหลสูงที่สุดมากกว่า 150 ลบ.ม./วินาที ทั้ง สองแบบจำลอง แต่เมื่อนำมารวมกันกับตัวแปรกลุ่มอื่น จะพบว่าค่าความผิดพลาดมากที่สุดจะมีการลดลง

6.1.4 ผลการทดสอบของการศึกษาตัวแปรนำเข้าในช่วงที่ 2

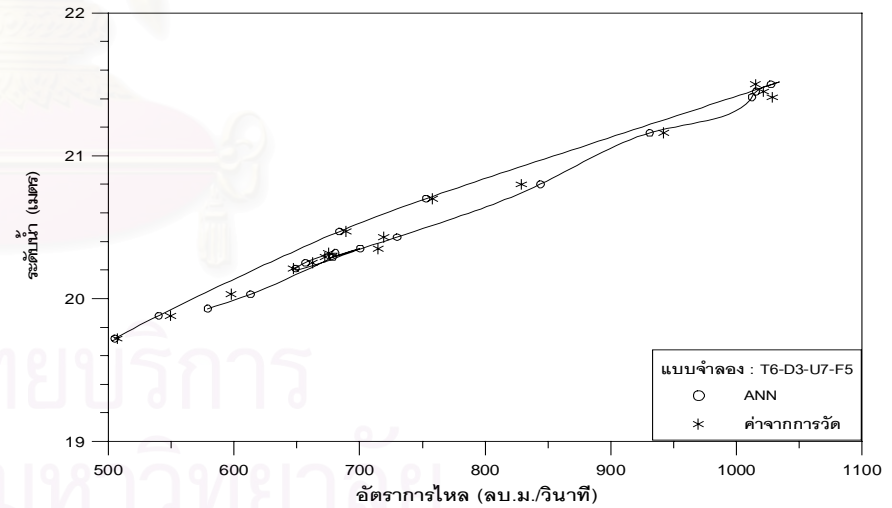
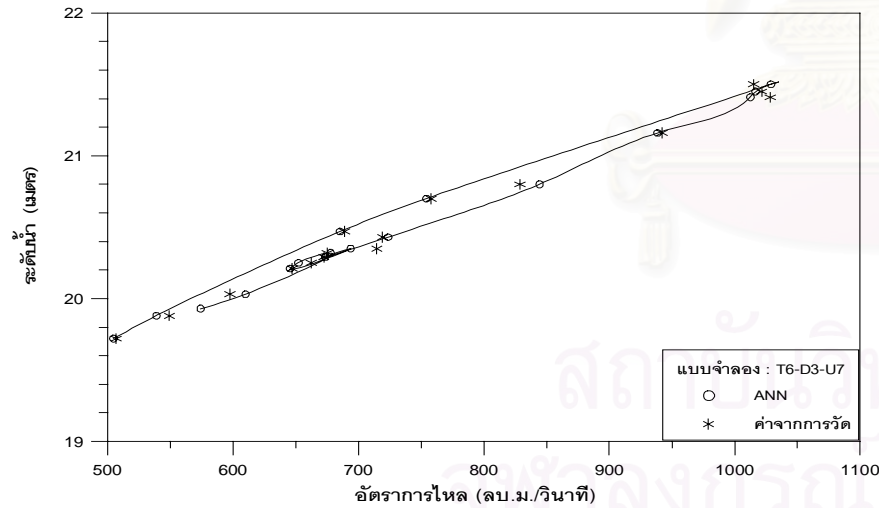
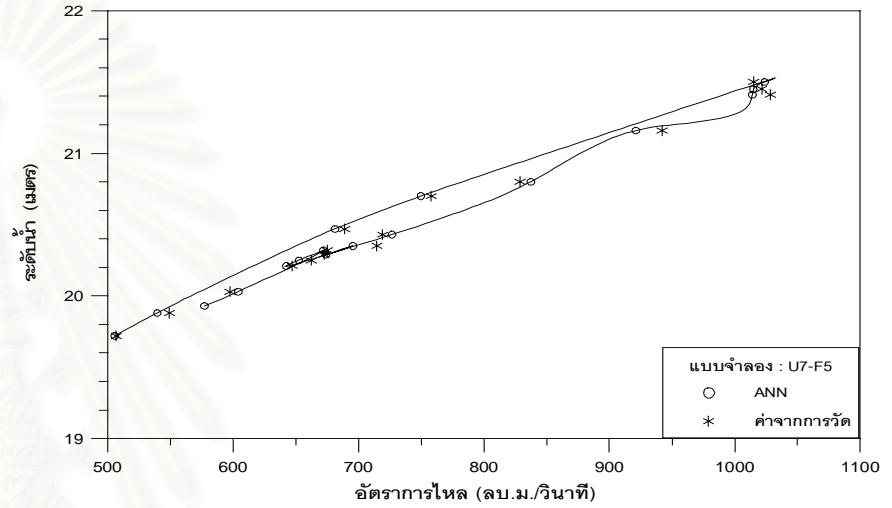
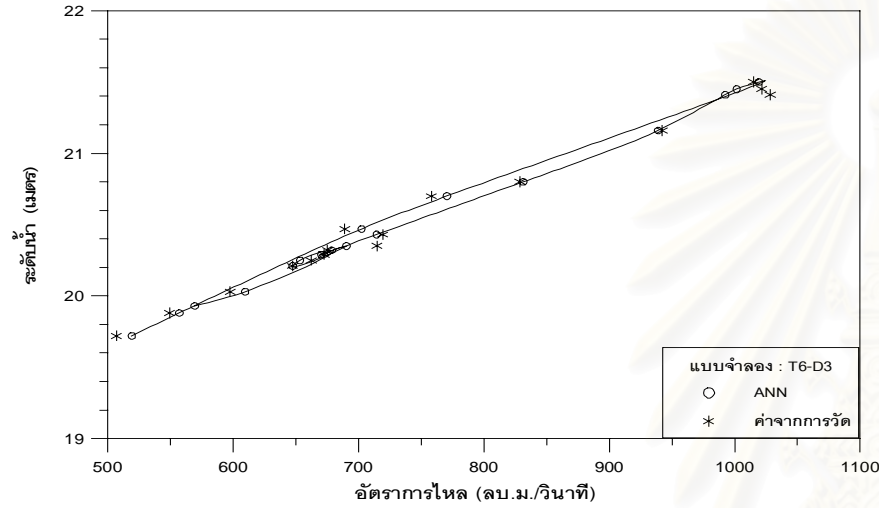
จากการศึกษาตัวแปรนำเข้าทั้ง 2 ช่วงนี้ มีตัวแปรที่นำมาศึกษามีทั้งสิ้น 74 แบบจำลองด้วยกัน ผลทดสอบของแบบจำลองทั้ง 44 แบบจำลองในช่วงที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 6-18 ถึง 6-21 และสรุปรวมไว้ในตารางที่ 6-22 โดยปีที่ให้ทดสอบนั้นยังคงใช้ ปีเดียวกันกับการศึกษาในช่วงแรก ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ผลของการศึกษาในช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นการรวมเอาตัวแปรนำเข้าในแต่ละประเภท มารวมกัน ซึ่งผลที่ได้พบว่า ตัวแปรนำเข้าจากการศึกษาช่วงที่ 2 นี้จะให้ผลการทดสอบที่ไม่ได้ดีกว่าในช่วงแรกเด่นชัดนัก การนำตัวแปรนำบางตัวเพิ่มเข้ามาไม่ได้ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการทดสอบ และไม่ได้มีความแตกต่างมากอย่างมีนัยสำคัญ

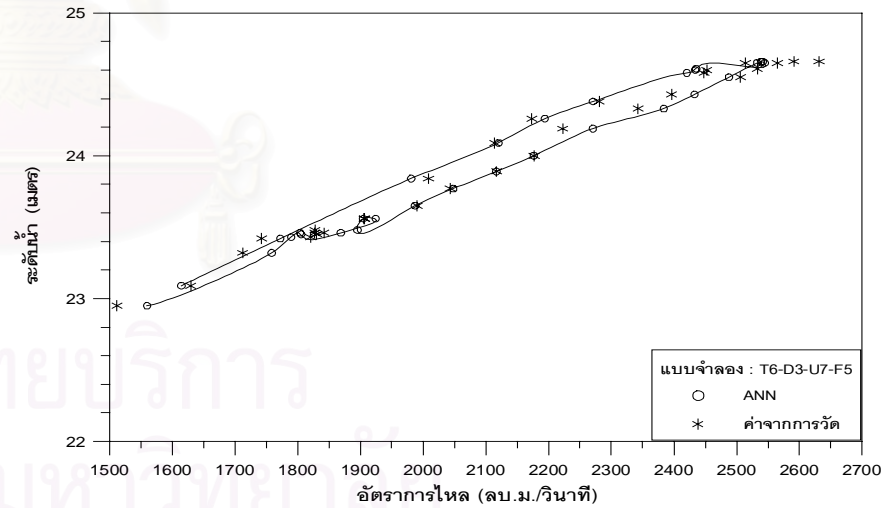
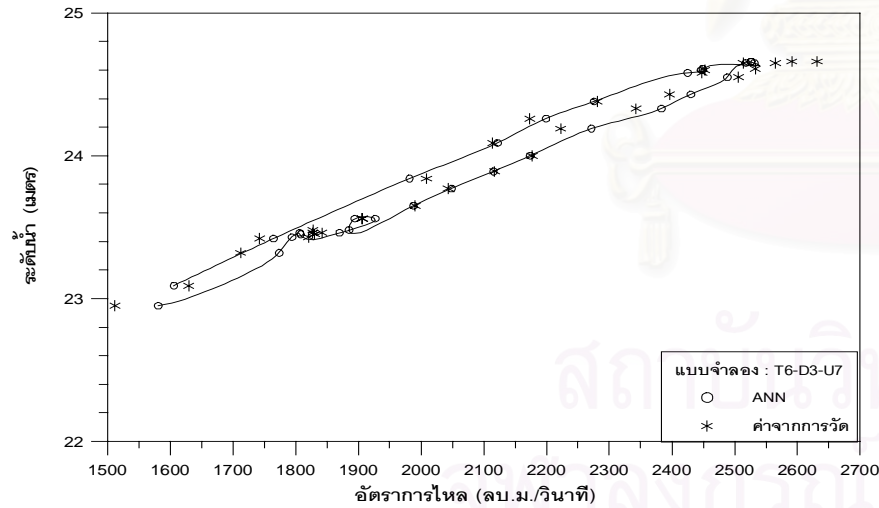
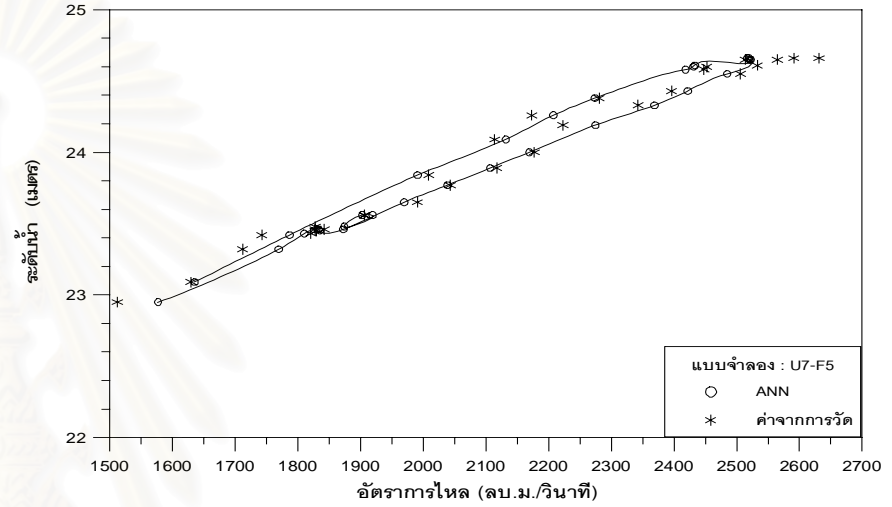
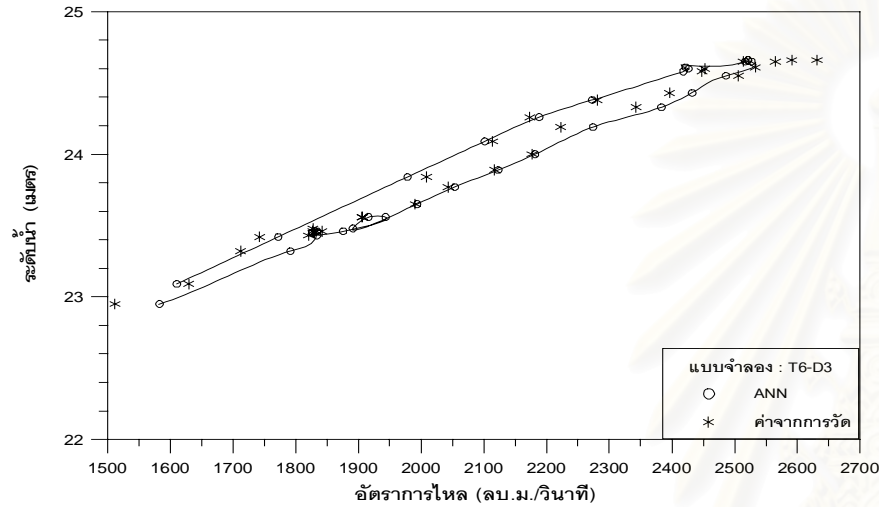
2) จากตารางที่ 6-22 ซึ่งแสดงตัวแปรนำเข้าที่ดีที่สุด ที่ได้จากการศึกษาทั้งในช่วงที่ 1 และในช่วงที่ 2 หากทำการเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่า ที่ปีน้ำมาก พ.ศ.2538 แบบจำลอง ANN ยังคงไม่สามารถที่จะทำนายค่าอัตราการไหลจากระดับน้ำได้เช่นเดิมแม้ว่าค่าประสิทธิภาพจะสูงกว่า 80% ก็ตามและเมื่อพิจารณาจากช่วงทดสอบจะเห็นว่าแบบจำลองไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวแปรนำเข้าที่มากนักโดยแบบจำลองสามารถใช้ข้อมูลเพียงแค่ค่าระดับน้ำที่สถานีหลัก สถานี N.14A และสถานี P.17 ซึ่งอยู่ทางด้านเหนือน้ำ ก็เพียงพอต่อการทดสอบที่ปี น้ำน้อย และ ปีน้ำมาก ในขณะที่ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 นั้น แบบจำลอง T6-F5 จะให้ผลที่ดีที่สุด



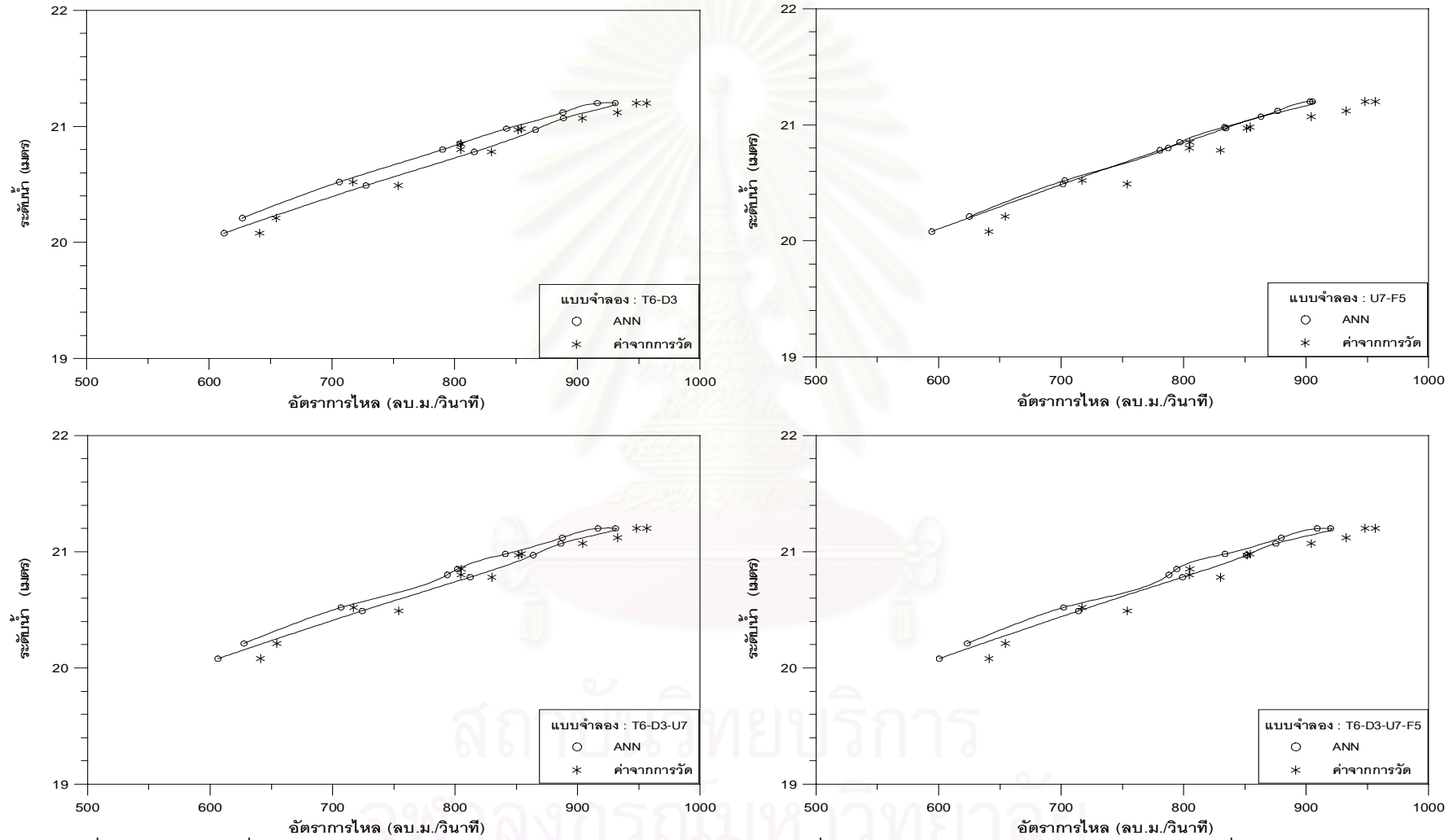
รูปที่ 6-23 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้อันที่ 2 ปี พ.ศ. 2535 ระหว่างวันที่ 22 ก.ย.- 23 พ.ย.



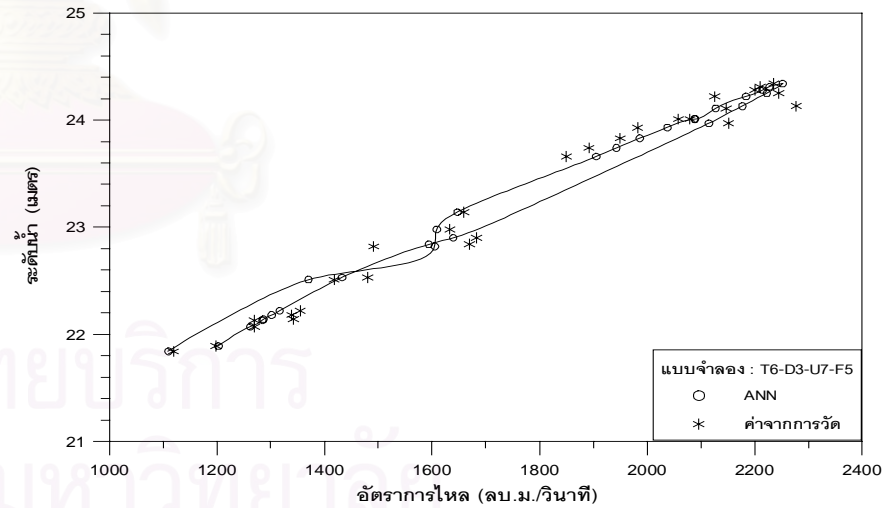
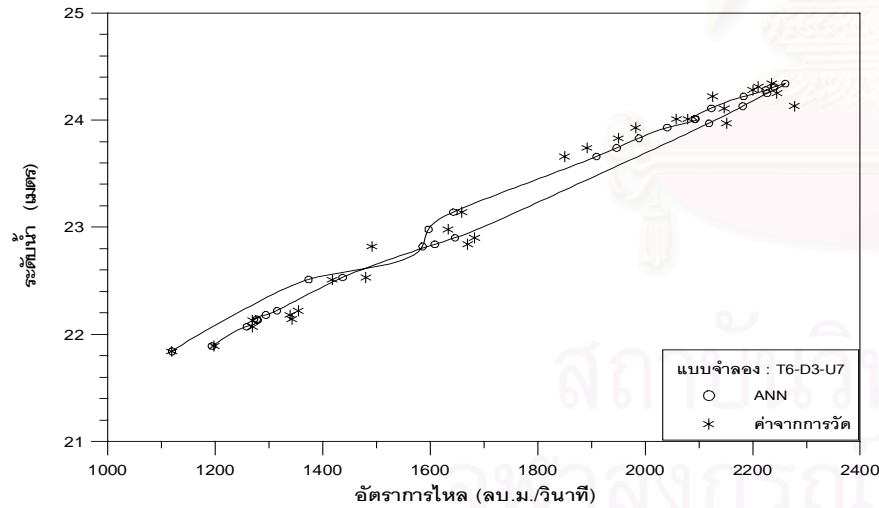
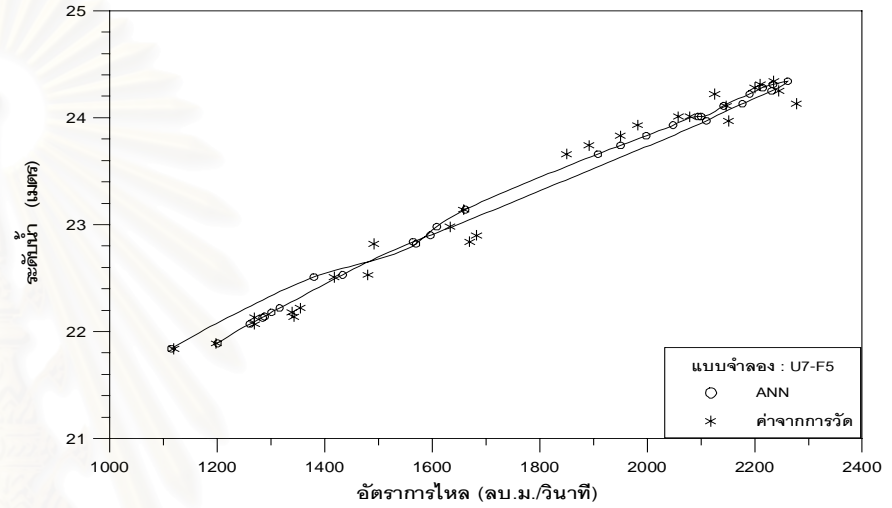
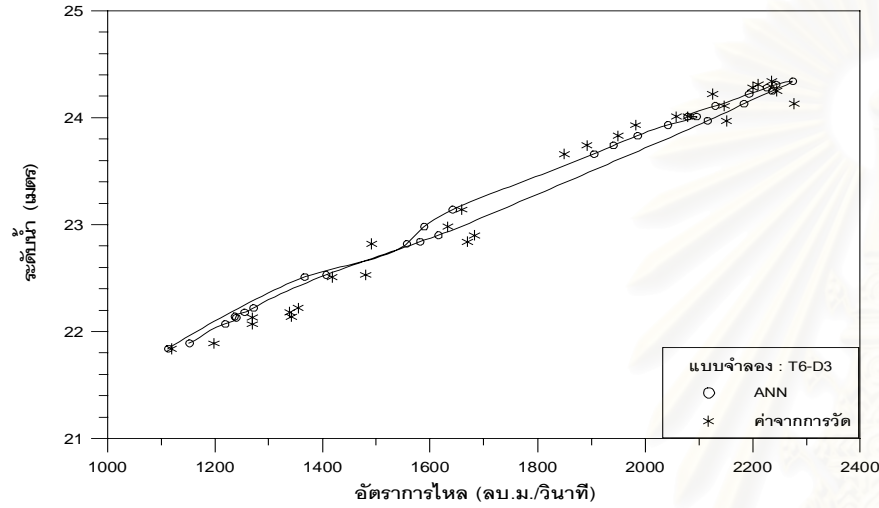
รูปที่ 6-24 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2536 ระหว่าง วันที่ 8 ก.ย.-12 ต.ค.



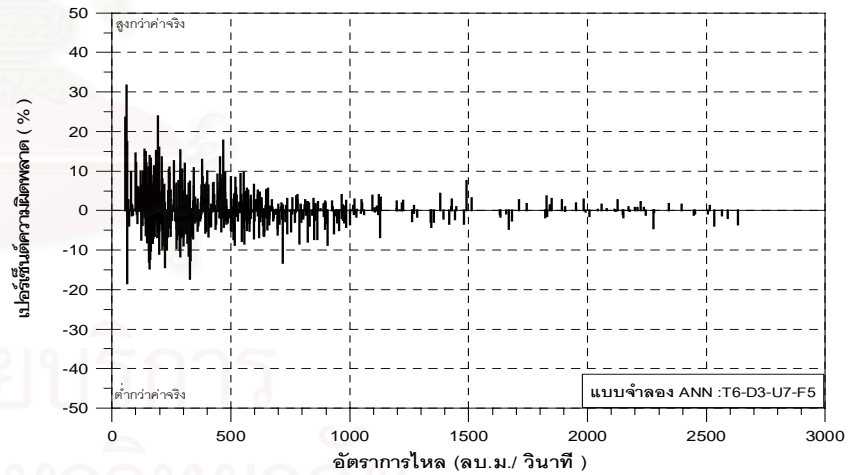
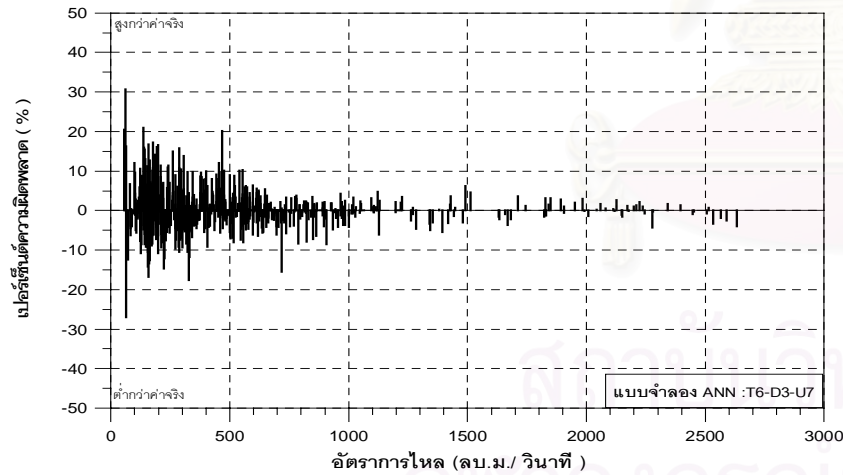
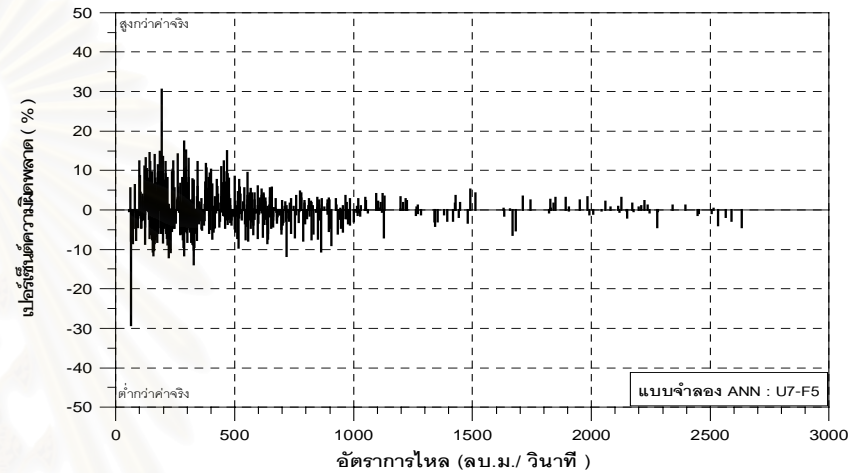
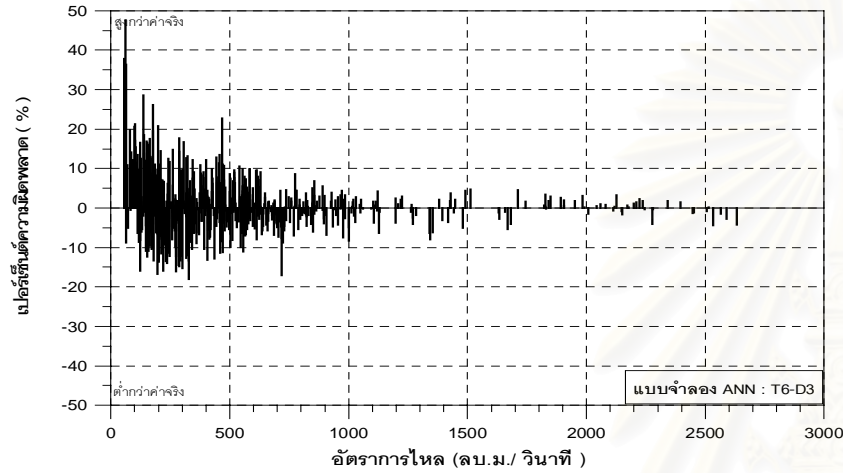
รูปที่ 6-25 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2537 ระหว่างวันที่ 2 ก.ย. - 12 ต.ค.



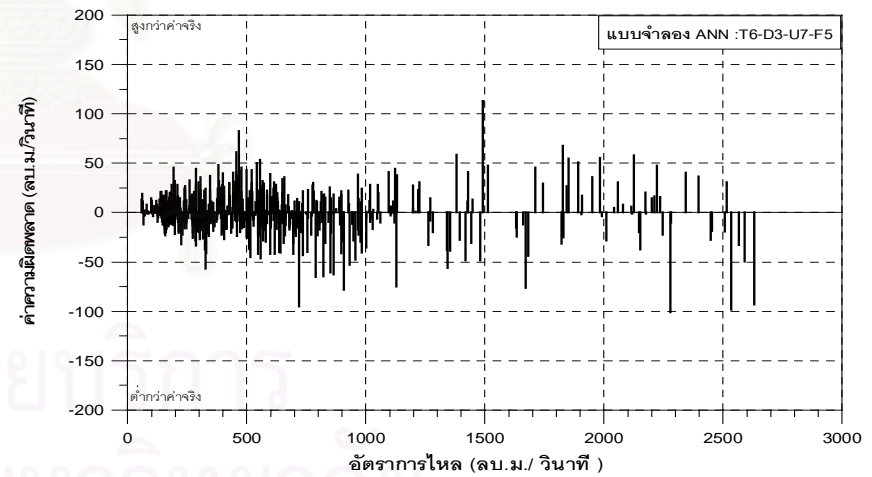
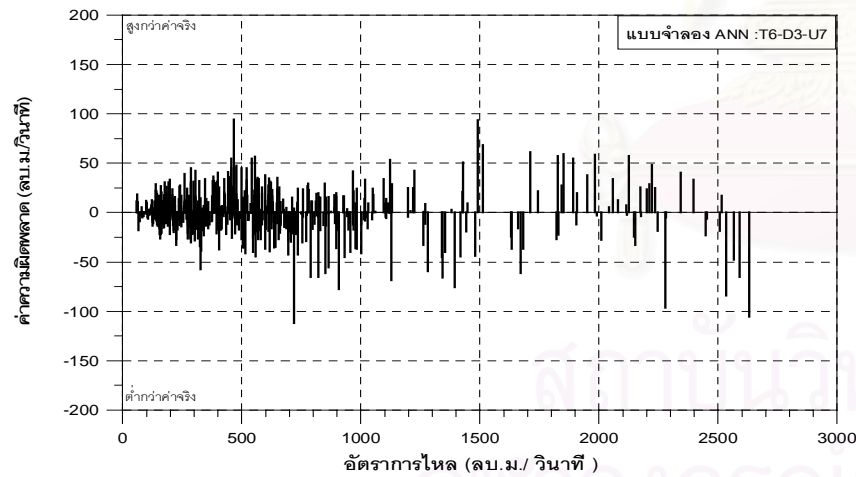
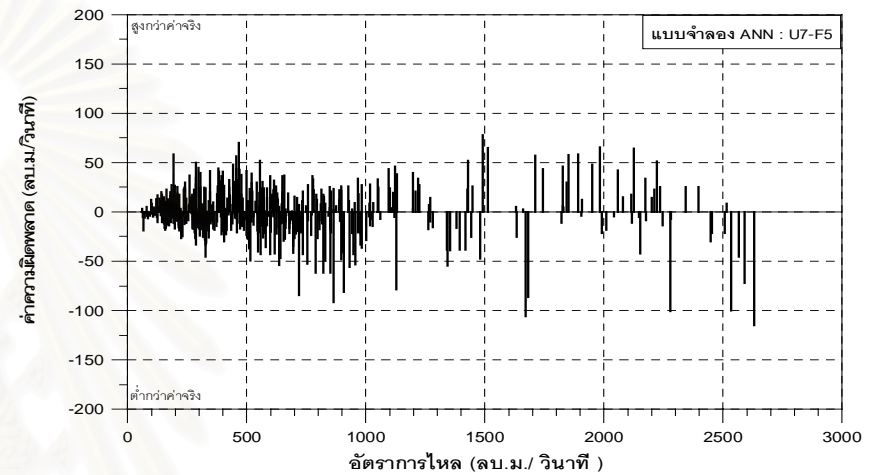
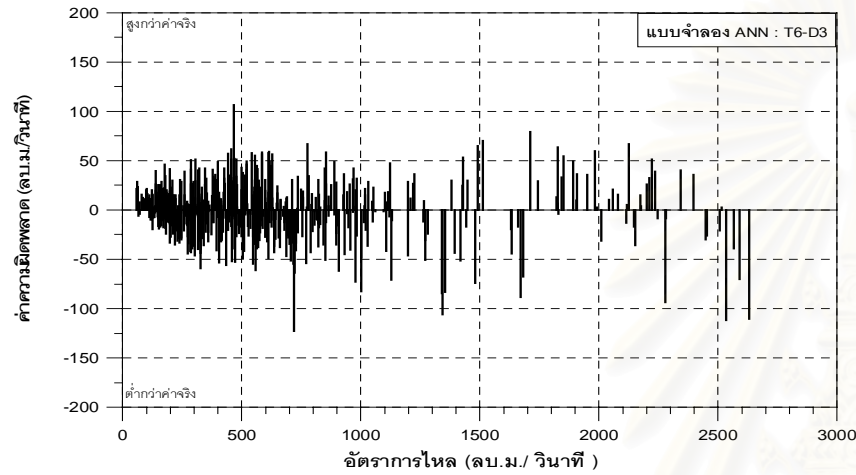
รูปที่ 6-26 ลักษณะที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2541 ระหว่างวันที่ 9 ต.ค.- 28 ต.ค.



รูปที่ 6-27 ลักษณะวงรอบที่ได้จาก แบบจำลอง ANN ในการศึกษาตัวแปรนำเข้าของช่วงที่ 2 ช่วงการเรียนรู้ ปี พ.ศ.2542 ระหว่าง วันที่ 17 ก.ย.- 30 พ.ย.



รูปที่ 6-28 เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาด ของแบบจำลอง ANN ที่ช่วงการเรียนรู้อยู่ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535-37และ 2541-42)ของการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 2



รูปที่ 6-29 ค่าความผิดพลาด ของแบบจำลอง ANN ที่ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535-37และ 2541-42) ของการศึกษาตัวแปรนำเข้าช่วงที่ 2

ตารางที่ 6-14 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 โดยคัดเลือกจากผลการเรียนรู้ในช่วงที่ 1

No.	แบบจำลอง	กลุ่มของตัวแปร				รายละเอียดตัวแปรนำเข้า	จำนวนตัวแปร
		เวลา (T)	ท้ายน้ำ (D)	เหนือน้ำ (U)	ผลต่าง (F)		
1	T6- D3	0	0	-	-	T6 , D3	5
2	T6-U7	0	-	0	-	T6 , U7	10
3	T6-F5	0	-	-	0	T6 , F5	5
4	D3-U7	-	0	0	-	D3 , U7	10
5	D3-F5	-	0	-	0	D3 , F5	5
6	U7-F5	-	-	0	0	U7 , F5	10
7	D3-U7-F5	-	0	0	0	D3 , U7 , F5	12
8	T6-U7-F5	0	-	0	0	T6 , U7 , F5	12
9	T6-D3-F5	0	0	-	0	T6 , D3 , F5	7
10	T6-D3-U7	0	0	0	-	T6 , D3 , U7	12
11	T6-D3-U7-F5	0	0	0	0	T6 , D3 , U7 , F5	14

หมายเหตุ T6 : H (t) , H (t-1) , dh/ dt D3 : H (t) , H Ct. 2 , H เขื่อน F5 :H (t) , $\Delta F1$, $\Delta F3$

U7 :H (t) , P.17 , N.14A , P.16 , N.8 , Y5 , P.15 , N.10A

ตารางที่ 6-15 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่คัดเลือกจากผลการทดสอบปีน้าน้อย

No.	แบบจำลอง	กลุ่มของตัวแปร				รายละเอียดตัวแปรนำเข้า	จำนวนตัวแปร
		เวลา (T)	ท้ายน้ำ (D)	เหนือน้ำ (U)	ผลต่าง (F)		
1	T2-D1	0	0	-	-	T2 , D1	3
2	T2-U10	0	-	0	-	T2 , U10	3
3	T2-F6	0	-	-	0	T2 , F6	4
4	D1-U10	-	0	0	-	D1 , U10	3
5	D1-F6	-	0	-	0	D1 , F6	4
6	U10-F6	-	-	0	0	U10 , F6	4
7	D1-U10-F6	-	0	0	0	D1 , U10 , F6	5
8	T2-U10-F6	0	-	0	0	T2 , U10 , F6	5
9	T2-D1-F6	0	0	-	0	T2 , D1 , F6	5
10	T2-D1-U10	0	0	0	-	T2 , D1 , U10	4
11	T2-D1-U10-F6	0	0	0	0	T2 , D1 , U10 , F6	6

หมายเหตุ T2 : H (t) , H (t-1) D1 : H (t) , H Ct. 2 U10 : H (t) , N.14A F6 :H (t) , $\Delta F2$, $\Delta F3$

ตารางที่ 6-16 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่คัดเลือกจากผลการทดสอบปีน้ำเฉลี่ย

No.	แบบจำลอง	กลุ่มของตัวแปร				รายละเอียดตัวแปรนำเข้า	จำนวนตัวแปร
		เวลา (T)	ท้ายน้ำ (D)	เหนือหน้า (U)	ผลต่าง (F)		
1	T6-D2	0	0	-	-	T6, D2	4
2	T6-U5	0	-	0	-	T6, U5	8
3	T6-F7	0	-	-	0	T6, F7	6
4	D2-U5	-	0	0	-	D2, U5	7
5	D2-F7	-	0	-	0	D2, F7	5
6	U5-F7	-	-	0	0	U5, F7	9
7	D2-U5-F7	-	0	0	0	D2, U5, F7	10
8	T6-U5-F7	0	-	0	0	T6, U5, F7	11
9	T6-D2-F7	0	0	-	0	T6, D2, F7	7
10	T6-D2-U5	0	0	0	-	T6, D2, U5	9
11	T6-D2-U5-F7	0	0	0	0	T6, D2, U5, F7	12

หมายเหตุ T6 : $H(t), H(t-1), dh/dt$ D2 : $H(t), H$ เขื่อน F7 : $H(t), \Delta F1, \Delta F2, \Delta F3$

U5 : $H(t), P.17, N.14A, P.16, N.8, Y5$

ตารางที่ 6-17 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่คัดเลือกจากผลการทดสอบ ปีน้ำมาก

No.	แบบจำลอง	กลุ่มของตัวแปร				รายละเอียดตัวแปรนำเข้า	จำนวนตัวแปร
		เวลา (T)	ท้ายน้ำ (D)	เหนือหน้า (U)	ผลต่าง (F)		
1	T3-D1	0	0	-	-	T3, D1	4
2	T3-U2	0	-	0	-	T3, U2	5
3	T3-F2	0	-	-	0	T3, F2	4
4	D1-U2	-	0	0	-	D1, U2	4
5	D1-F2	-	0	-	0	D1, F2	3
6	U2-F2	-	-	0	0	U2, F2	4
7	D1-U2-F2	-	0	0	0	D1, U2, F2	5
8	T3-U2-F2	0	-	0	0	T3, U2, F2	6
9	T3-D1-F2	0	0	-	0	T3, D1, F2	5
10	T3-D1-U2	0	0	0	-	T3, D1, U2	6
11	T3-D1-U2-F2	0	0	0	0	T3, D1, U2, F2	7

หมายเหตุ T3 : $H(t), H(t-1), H(t-2)$ D1 : $H(t), Ct.2$ U2 : $H(t), P.17, N.14A$ F2 : $H(t), \Delta F2$

ตารางที่ 6-18 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจากผลการเรียนรู้ในช่วงที่ 1

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
				ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534(ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
				EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)
1	T6- D3	T6 , D3	5-5-3-1	99.70	531,817	122	98.65	220,521	129	98.81	340,040	116	84.59	43,959,663	1,985
2	T6-U7	T6 , U7	10-2-2-1	99.78	396,774	135	98.28	279,676	164	99.16	238,909	145	86.95	37,233,100	1,853
3	T6-F5	T6 , F5	5-3-2-1	99.75	450,746	120	98.97	167,770	125	99.43	163,874	124	77.50	64,183,945	2,244
4	D3-U7	D3 , U7	10-9-9-1	99.78	396,149	123	98.63	223,639	135	99.07	264,089	141	84.10	45,358,176	2,011
5	D3-F5	D3 , F5	5-6-9-1	99.74	459,973	119	98.48	248,222	137	98.28	490,208	168	70.75	83,450,966	2,477
6	U7-F5	U7 , F5	10-7-11-1	99.79	374,773	115	98.54	238,291	153	99.34	187,766	160	82.12	51,014,150	2,055
7	D3-U7-F5	D3 , U7 , F5	12-6-3-1	99.79	371,168	108	98.25	284,717	163	98.55	414,726	148	75.47	69,968,924	2,327
8	T6-U7-F5	T6 , U7 , F5	12-5-3-1	99.80	361,557	109	98.38	264,589	159	99.29	203,597	152	82.85	48,914,491	2,036
9	T6-D3-F5	T6 , D3 , F5	7-8-4-1	99.76	428,015	107	98.80	194,949	131	99.28	205,339	115	76.57	66,852,780	2,294
10	T6-D3-U7	T6 , D3 , U7	12-10-5-1	99.80	358,105	112	98.68	214,323	138	99.12	250,625	129	85.25	42,074,582	1,956
11	T6-D3-U7-F5	T6 , D3 , U7 , F5	14-8-4-1	99.81	347,331	113	98.54	237,963	151	99.33	191,683	132	78.97	59,998,206	2,217

หมายเหตุ :

T6 = H(t) , H(t-1) , dH/ dt

U7 = H(t) , P.17 , N.14A , P.16 , N.8 , Y5 , P.15 , N.10A

D3 = H(t) , H Ct. 2 , H เชื่อน

F5 = H(t) , ΔF1 , ΔF3

ตารางที่ 6-19 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจาก ผลการทดสอบที่ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534 ในการศึกษาช่วงที่ 1

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
				ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534(ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
				EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	T2-D1	T2 , D1	3-8-4-1	99.66	606,992	139	98.72	208,673	121	98.74	360,710	175	85.16	42,345,431	1,935
2	T2-U10	T2 , U10	3-8-8-1	99.68	569,961	144	99.15	139,228	95	99.26	212,113	141	87.85	34,670,813	1,806
3	T2-F6	T2 , F6	4-7-4-1	99.68	563,770	145	99.09	147,491	97	99.21	224,544	153	86.79	37,684,980	1,856
4	D1-U10	D1 , U10	3-7-4-1	99.70	528,384	130	99.06	152,709	105	99.12	250,379	159	86.26	39,212,006	1,885
5	D1-F6	D1 , F6	4-7-4-1	99.71	514,544	127	99.03	157,213	110	99.13	247,508	168	85.29	41,962,364	1,927
6	U10-F6	U10 , F6	4-5-3-1	99.70	537,321	136	99.01	160,439	101	99.19	230,822	151	86.72	37,892,791	1,858
7	D1-U10-F6	D1 , U10 , F6	5-6-6-1	99.71	510,797	126	99.05	155,482	110	99.17	238,111	164	85.35	41,794,191	1,926
8	T2-U10-F6	T2 , U10 , F6	5-7-4-1	99.70	538,330	136	99.04	156,826	100	99.21	226,200	150	87.19	36,535,866	1,836
9	T2-D1-F6	T2 , D1 , F6	5-4-2-1	99.70	531,646	142	99.01	161,680	110	98.99	288,065	188	83.30	47,646,177	2,020
10	T2-D1-U10	T2 , D1 , U10	4-4-4-1	99.70	531,849	138	99.12	143,356	102	99.11	253,395	166	86.30	39,097,987	1,883
11	T2-D1-U10-F6	T2 , D1 , U10 , F6	6-2-2-1	99.72	507,157	132	99.02	159,479	114	99.02	279,921	180	83.55	46,941,986	2,011

หมายเหตุ

T2 = H(t) , H(t-1)

U10 = H(t) , N.14A

D1 = H(t) , H Ct. 2

F6 = H(t) , ΔF_2 , ΔF_3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-20 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจาก ผลการทดสอบที่ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 ในการศึกษาช่วงที่ 1

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
				ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534(ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
				EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	T6-D2	T6 , D2	4-6-9-1	99.70	543,401	127	98.65	219,613	123	98.74	360,710	175	84.88	43,127,491	1,966
2	T6-U5	T6 , U5	8-5-5-1	99.76	419,436	132	98.64	221,800	140	99.26	212,113	141	87.27	36,315,938	1,830
3	T6-F7	T6 , F7	6-7-4-1	99.75	444,641	105	98.96	169,709	119	99.21	224,544	153	80.24	56,372,390	2,146
4	D2-U5	D2 , U5	7-5-5-1	99.78	394,981	118	98.66	218,942	134	99.12	250,379	159	83.21	47,901,442	2,028
5	D2-F7	D2 , F7	5-5-3-1	99.74	468,906	124	98.55	236,512	135	99.13	247,508	168	68.40	90,143,741	2,557
6	U5-F7	U5 , F7	9-5-8-1	99.78	400,855	124	98.73	207,524	127	99.19	230,822	151	81.11	53,894,595	2,081
7	D2-U5-F7	D2 , U5 , F7	10-5-3-1	99.79	370,886	109	98.59	229,212	140	99.17	238,111	164	77.95	62,905,402	2,236
8	T6-U5-F7	T6 , U5 , F7	11-3-2-1	99.80	362,933	108	98.48	247,203	142	99.21	226,200	150	81.36	53,189,642	2,078
9	T6-D2-F7	T6 , D2 , F7	7-4-6-1	99.76	434,175	108	98.82	192,191	128	98.99	288,065	188	76.06	68,304,970	2,316
10	T6-D2-U5	T6 , D2 , U5	9-5-3-1	99.79	373,472	120	98.60	227,717	135	99.11	253,395	166	82.86	48,899,390	2,062
11	T6-D2-U5-F7	T6 , D2 , U5 , F7	12-8-4-1	99.80	349,998	102	98.56	234,630	139	99.02	279,921	180	80.79	54,803,384	2,126

หมายเหตุ :

T6 = $H(t), H(t-1), dH/dt$

U5 = $H(t), P.17, N.14A, P.16, N.8, Y5$

D2 = $H(t), H$ ที่อื่น

F7 = $H(t), \Delta F1, \Delta F2, \Delta F3$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-21 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าที่คัดเลือกจาก ผลการทดสอบที่ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 ในการศึกษาช่วงที่ 1

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	โครงสร้าง	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
				ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
				EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	T3-D1	T3 , D1	4-6-3-1	99.68	569,949	137	98.67	217,324	124	98.76	354,460	157	84.89	43,118,860	1,949
2	T3-U2	T3 , U2	5-9-5-1	99.72	507,898	136	99.03	157,757	101	99.19	229,846	137	87.62	35,321,877	1,820
3	T3-F2	T3 , F2	4-5-3-1	99.68	572,760	134	98.75	203,627	118	98.88	319,332	154	87.23	36,438,261	1,842
4	D1-U2	D1 , U2	4-9-9-1	99.71	525,477	134	99.05	154,912	105	99.13	248,770	159	85.91	40,185,553	1,898
5	D1-F2	D1 , F2	3-10-5-1	99.63	652,639	135	98.72	208,075	125	98.75	357,260	182	85.06	42,626,154	1,941
6	U2-F2	U2 , F2	4-9-5-1	99.70	530,790	121	99.17	135,169	98	99.35	186,485	127	88.11	33,925,178	1,794
7	D1-U2-F2	D1 , U2 , F2	5-4-6-1	99.71	511,040	124	99.05	153,917	110	99.19	231,731	155	85.81	40,485,614	1,905
8	T3-U2-F2	T3 , U2 , F2	6-8-4-1	99.73	483,107	120	99.11	145,503	104	99.32	193,661	124	87.69	35,120,536	1,819
9	T3-D1-F2	T3 , D1 , F2	5-7-4-1	99.70	542,461	131	98.76	201,346	119	98.71	367,570	164	85.97	40,039,988	1,903
10	T3-D1-U2	T3 , D1 , U2	6-6-6-1	99.73	481,805	125	99.01	161,171	105	99.05	269,914	145	86.64	38,114,234	1,868
11	T3-D1-U2-F2	T3 , D1 , U2 , F2	7-7-7-1	99.74	463,655	120	99.06	153,250	106	99.17	235,828	135	87.39	35,987,163	1,833

หมายเหตุ :

T3 = H(t) , H (t-1) , H (t-2)

U2 = H(t) , P.17 , N.14A

D1 = H(t) , H Ct. 2

F2 = H(t) , ΔF2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-22 สรุปแบบจำลองที่ได้จากการศึกษาตัวแปรนำเข้าจากช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2

: ช่วงการศึกษาที่ 1

No.	แบบจำลอง	ช่วงข้อมูลที่ให้ผลทดสอบดีที่สุด	โครงสร้าง	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
				ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
				EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	U7	ข้อมูลช่วงการเรียนรู้	8-2-2-1	99.75	443,841	157	98.10	310,005	170	99.07	266,295	165	86.91	37,343,981	1,847
2	F6	ข้อมูลปีน้ำน้อย	3-8-4-1	99.69	552,436	142	99.13	141,487	100	99.29	203,365	140	86.99	37,118,183	1,851
3	F7	ข้อมูลปีน้ำเฉลี่ย	4-7-4-1	99.72	494,348	121	99.00	162,857	118	99.40	170,788	146	78.60	61,048,904	2,198
4	U2	ข้อมูลปีน้ำมาก	3-11-1-1	99.69	547,096	140	99.11	144,299	97	99.27	208,889	139	87.68	35,161,197	1,814

หมายเหตุ : แบบจำลองที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (SSE) โดย ผลที่ได้ให้ความแตกต่างทางรูปร่างที่ชัดเจนกว่าค่าของประสิทธิภาพแบบจำลอง

: ช่วงการศึกษาที่ 2

No.	แบบจำลอง	ช่วงข้อมูลที่ให้ผลทดสอบดีที่สุด	โครงสร้าง	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
				ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
				EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	T6-D3-U7-F5	ข้อมูลช่วงการเรียนรู้	14-8-4-1	99.81	347,331	113	98.54	237,963	151	99.33	191,683	132	78.97	59,998,206	2,217
2	U2-F2	ข้อมูลปีน้ำน้อย	4-9-5-1	99.70	530,790	121	99.17	135,169	98	99.35	186,485	127	88.11	33,925,178	1,794
3	T6-F5	ข้อมูลปีน้ำเฉลี่ย	5-3-2-1	99.75	450,746	120	98.97	167,770	125	99.43	163,874	124	77.50	64,183,945	2,244
4	U2-F2	ข้อมูลปีน้ำมาก	4-9-5-1	99.70	530,790	121	99.17	135,169	98	99.35	186,485	127	88.11	33,925,178	1,794

หมายเหตุ : แบบจำลองที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (SSE) โดย ผลที่ได้ให้ความแตกต่างทางรูปร่างที่ชัดเจนกว่าค่าของประสิทธิภาพแบบจำลอง

5) ค่าของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 2 นี้ยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการศึกษาในช่วงแรก โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 6-28 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 6-11 ความผิดพลาดหากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะมากที่สุดในช่วงที่อัตราการไหลต่ำ ในขณะที่ช่วงอัตราการไหลที่มากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาทีขึ้นไปค่าอัตราการไหลจากแบบจำลองจะต่ำกว่าความเป็นจริงและจากรูปที่ 6-12 และ 6-29 จะเห็นว่าแบบจำลอง U7 กับ T6 เดิมนี้มีค่าความผิดพลาดที่อัตราการไหลสูงที่สุดมากกว่า 150 ลบ.ม./วินาที ทั้ง สองแบบจำลอง แต่เมื่อนำมารวมกันกับตัวแปรกลุ่มอื่น จะพบว่าค่าความผิดพลาดมากที่สุดจะมีการลดลง

6.1.4 ผลการทดสอบของการศึกษาตัวแปรนำเข้าในช่วงที่ 2

จากการศึกษาตัวแปรนำเข้าทั้ง 2 ช่วงนี้ มีตัวแปรที่นำมาศึกษามีทั้งสิ้น 74 แบบจำลองด้วยกัน ผลทดสอบของแบบจำลองทั้ง 44 แบบจำลองในช่วงที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 6-18 ถึง 6-21 และสรุปรวมไว้ในตารางที่ 6-22 โดยปีที่ให้ทดสอบนั้นยังคงใช้ ปีเดียวกันกับการศึกษาในช่วงแรก ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

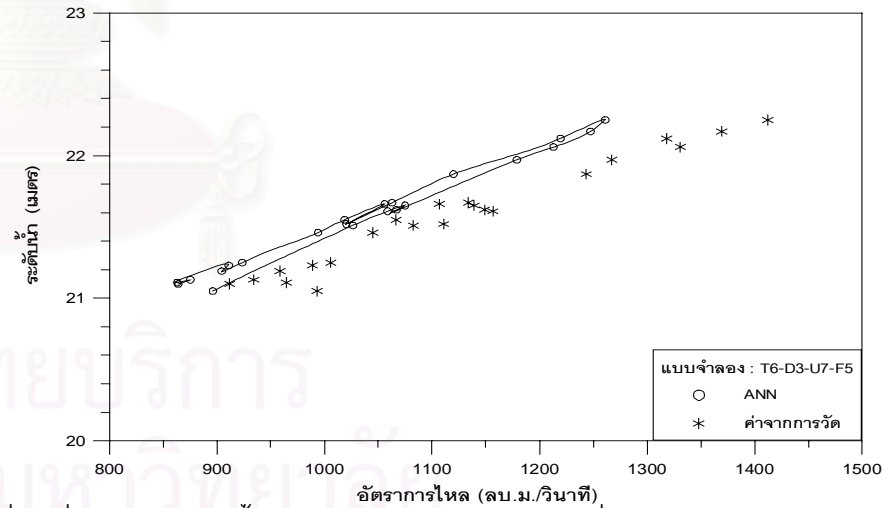
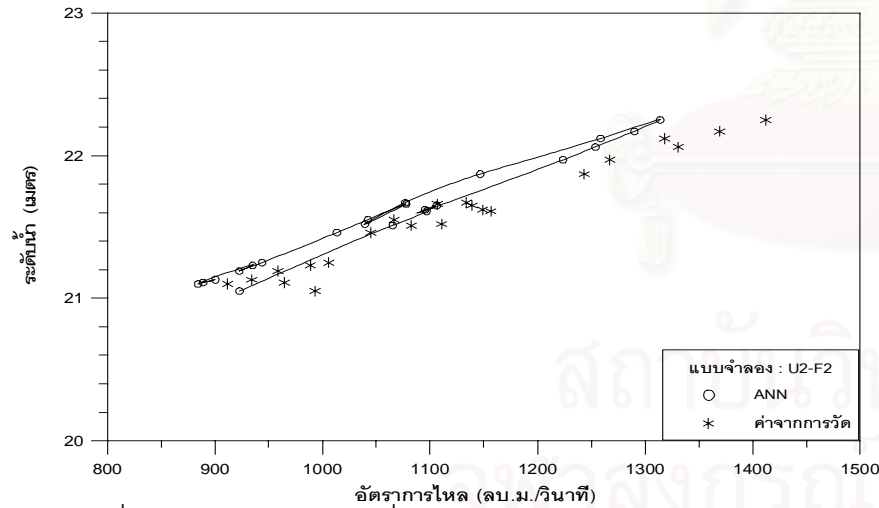
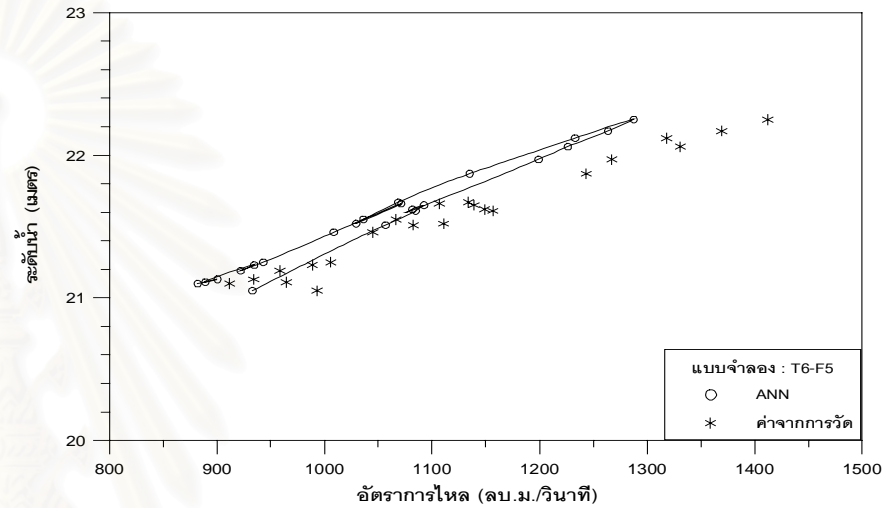
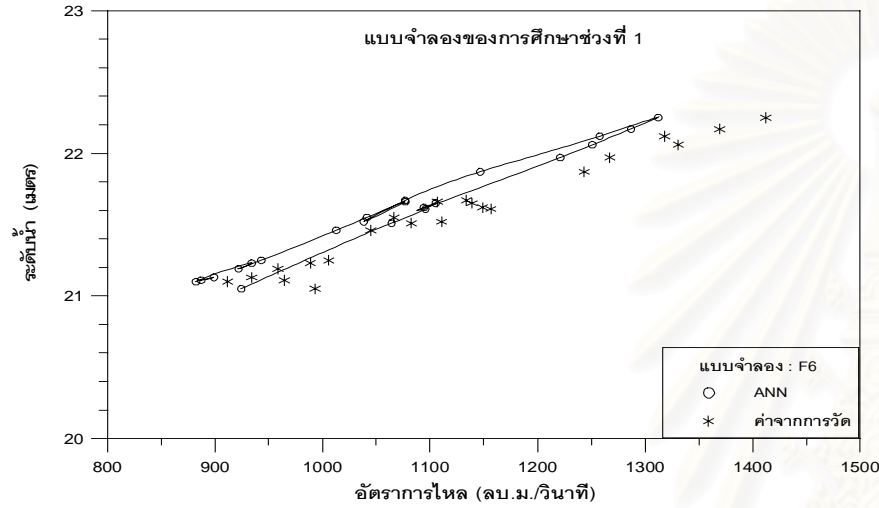
1) ผลของการศึกษาในช่วงที่ 2 ซึ่งเป็นการรวมเอาตัวแปรนำเข้าในแต่ละประเภท มารวมกัน ซึ่งผลที่ได้พบว่า ตัวแปรนำเข้าจากการศึกษาช่วงที่ 2 นี้จะให้ผลการทดสอบที่ไม่ได้ดีกว่าในช่วงแรกเด่นชัดนัก การนำตัวแปรนำบางตัวเพิ่มเข้ามาไม่ได้ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการทดสอบ และไม่ได้มีความแตกต่างมากอย่างมีนัยสำคัญ

2) จากตารางที่ 6-22 ซึ่งแสดงตัวแปรนำเข้าที่ดีที่สุด ที่ได้จากการศึกษาทั้งในช่วงที่ 1 และในช่วงที่ 2 หากทำการเปรียบเทียบกันแล้วจะพบว่า ที่ปีน้ำมาก พ.ศ.2538 แบบจำลอง ANN ยังคงไม่สามารถที่จะทำนายค่าอัตราการไหลจากระดับน้ำได้เช่นเดิมแม้ว่าค่าประสิทธิภาพจะสูงกว่า 80% ก็ตามและเมื่อพิจารณาจากช่วงทดสอบจะเห็นว่าแบบจำลองไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวแปรนำเข้าที่มากนักโดยแบบจำลองสามารถใช้ข้อมูลเพียงแค่ค่าระดับน้ำที่สถานีหลัก สถานี N.14A และสถานี P.17 ซึ่งอยู่ทางด้านเหนือน้ำ ก็เพียงพอต่อการทดสอบที่ปี น้ำน้อย และ ปีน้ำมาก ในขณะที่ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 นั้น แบบจำลอง T6-F5 จะให้ผลที่ดีที่สุด

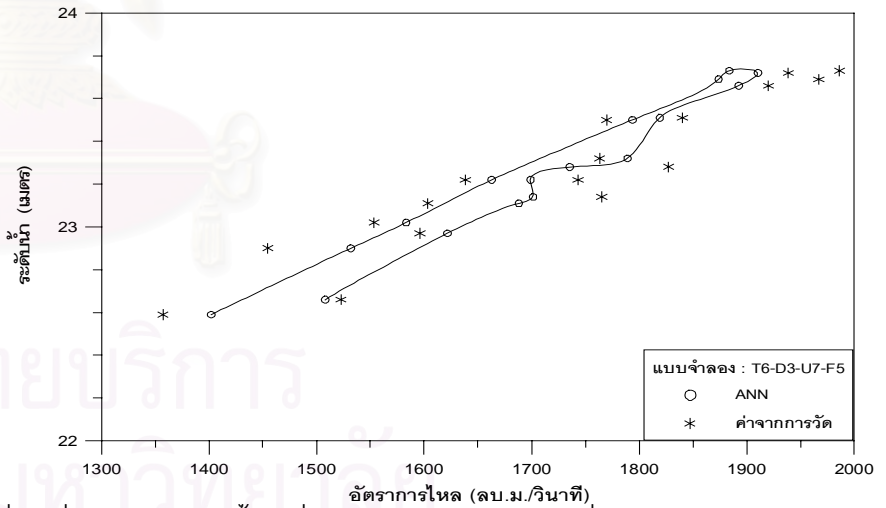
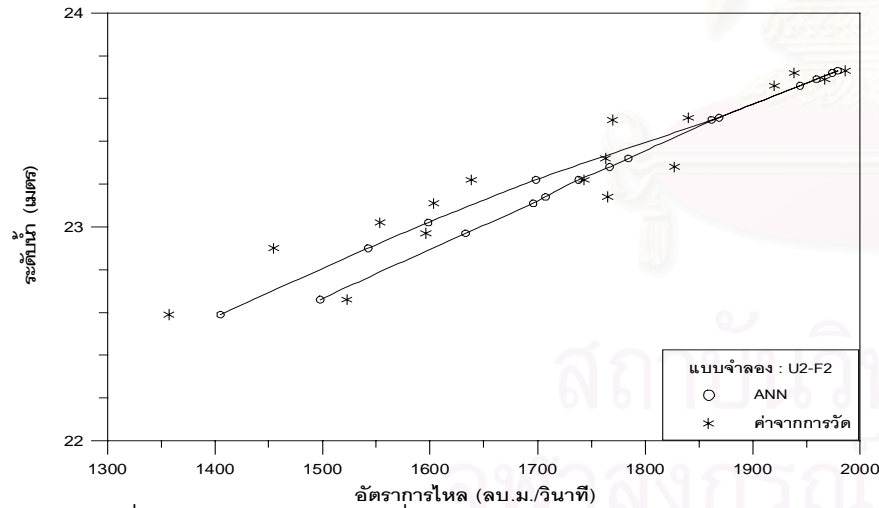
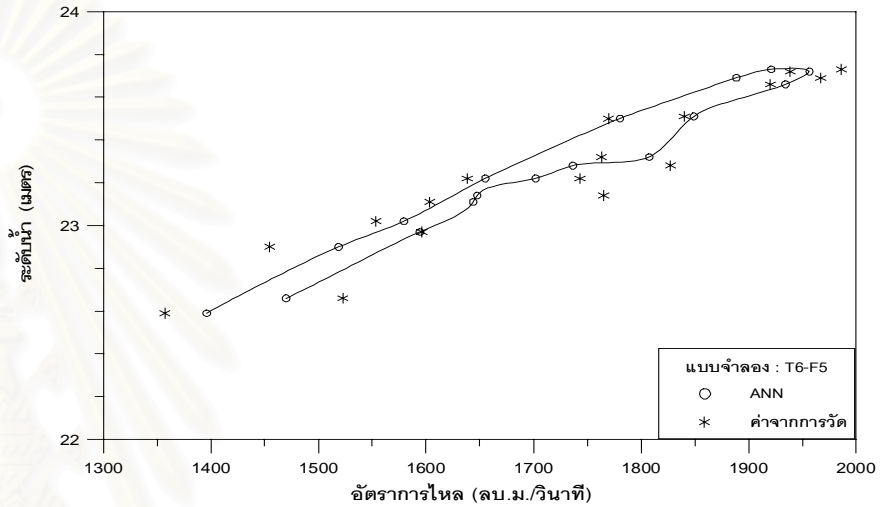
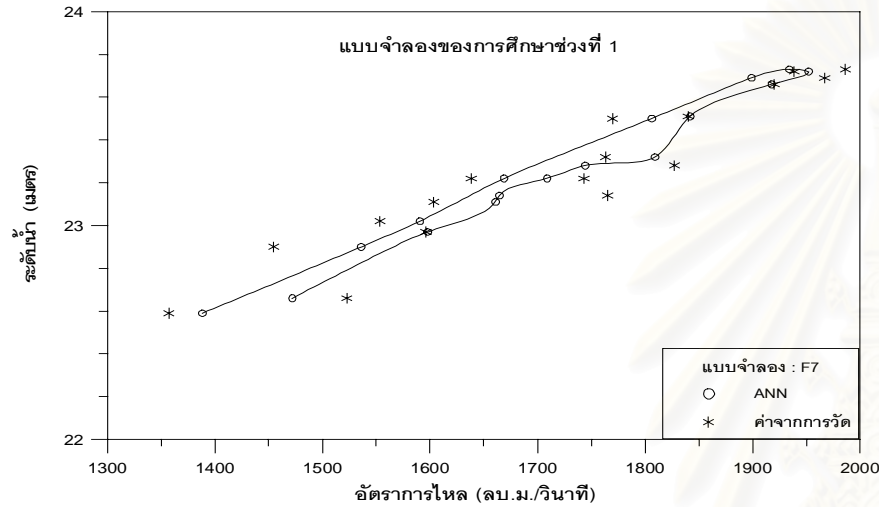
3) ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำอัตราการไหลที่ได้จากช่วงนี้โดยสรุปแล้วยังไม่มีความแตกต่างจากการศึกษาในช่วงแรกนัก ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 6-30 ถึง 6-33 ซึ่งเป็นแบบจำลอง ANN จากตารางที่ 6-22 โดยจะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ANN ยังไม่สามารถที่แสดง วงรอบที่ 2 ของปีน้ำเฉลี่ยที่ พ.ศ. 2543 ได้และที่ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 ผลที่ได้ยังมีลักษณะเช่นเดิมดังแสดงในรูปที่ 6-32 ซึ่งจะเห็นว่าที่ปีน้ำแบบจำลองที่มีตัวแปรกลุ่ม T อยู่ เช่น T6-F5 กับ T6-D3-U7-F5 นั้นจะแสดงลักษณะวงรอบที่เห็นได้ชัดเจน จึงทำให้ที่อัตราการไหลสูงสุดที่ปี พ.ศ. 2538 ของแบบจำลอง ทั้งสองนี้จะมีค่าผิดพลาดที่มากกว่าแบบจำลองอื่นๆ

ในช่วงอัตราการไหลต่ำความผิดพลาดของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นยังคงมีอยู่เช่นเดียวกับการศึกษาในช่วงแรก โดยเห็นได้จากรูปที่ 6-34 ถึง 6-36 การเคลื่อนตัวของกราฟความสัมพันธ์ที่เกิดจากแบบจำลอง ANN ในปี พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2538 ยังเกิดขึ้นอยู่ทุกตัวแปรนำเข้าที่ศึกษาทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าผลจากการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลานั้น ทำให้แบบจำลอง ANN ซึ่งใช้วิธีการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีอยู่ จะทำให้แบบจำลองมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้สูง อันจะเห็นได้จากที่ช่วงอัตราการไหลต่ำในช่วงของการเรียนรู้นั้น แบบจำลองจะให้ค่าอัตราการไหลที่มีความผิดพลาดสูงหรือต่ำกว่าเท่าๆกันดังแสดงในรูปที่ 6-29 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ANN จะอยู่ซ้อนทับกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงประมาณกลางๆ แต่เมื่อทำการทดสอบที่ปี พ.ศ.2534 กับ ปี พ.ศ. 2538 แล้วพบว่าแบบจำลองจะให้ค่าที่เบี่ยงเบนไป เนื่องจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำ - อัตราการไหลที่สองปีนี้เปลี่ยนไปจากช่วงข้อมูลในการเรียนรู้ ขณะที่ ปี พ.ศ.2543 ไม่พบปัญหาลักษณะดังกล่าวซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 6-34 ถึง 6-36

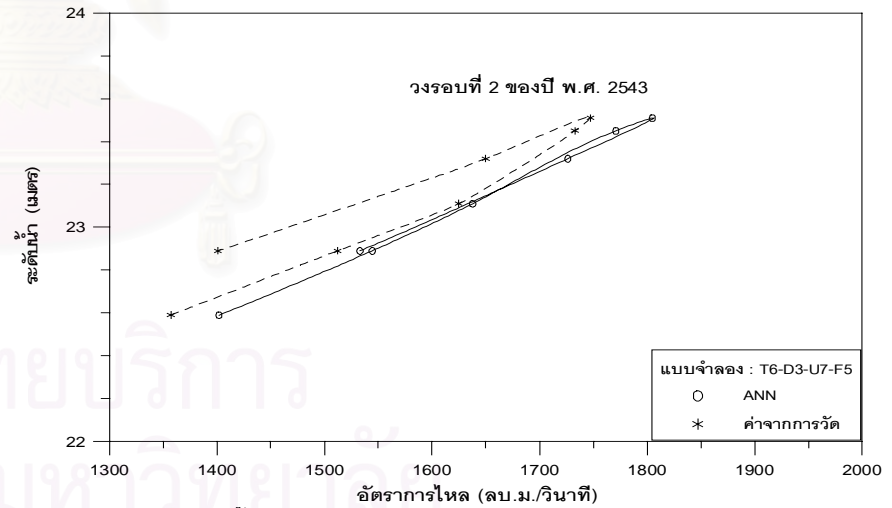
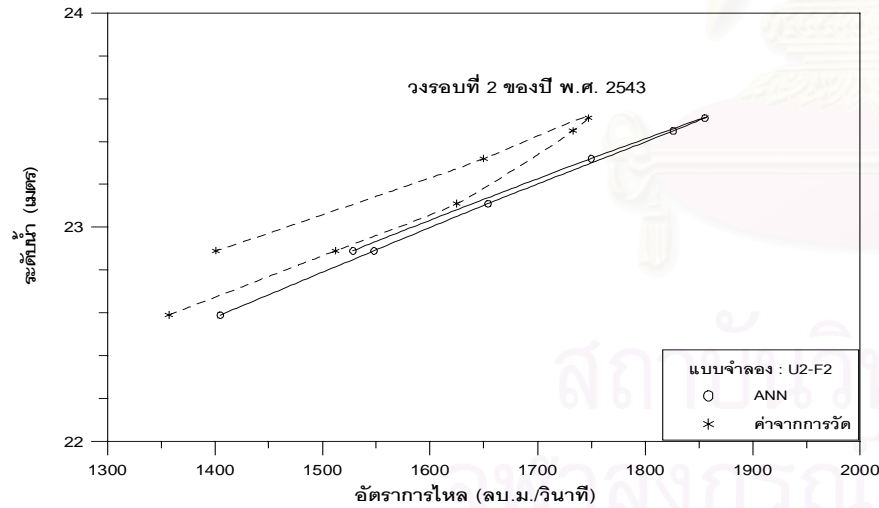
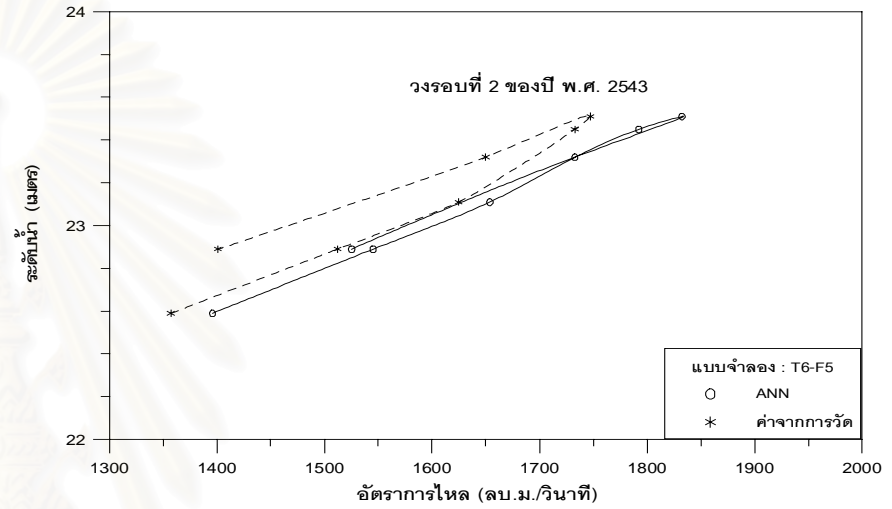
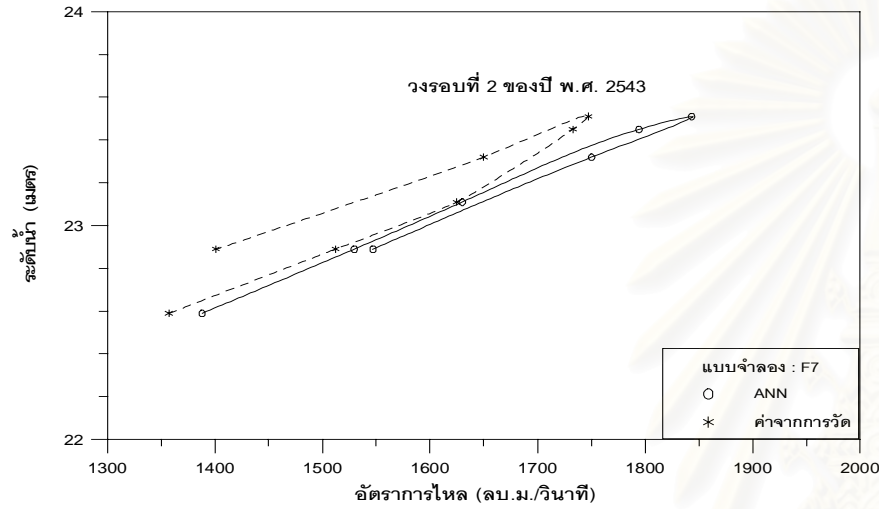
4) โดยสรุปแล้วการหาตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมนั้น ยังคงมีความผันแปรสูง จะเห็นได้จากหลายแบบจำลองด้วยกัน ที่การเพิ่มหรือลดตัวแปรบางตัวอาจจะส่งผลต่อช่วงทดสอบหรือไม่ส่งผลเลยก็ได้แต่ผลจากการทดสอบค่าประสิทธิภาพยังไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าตัวแปรนำเข้าที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้นั้นโดยส่วนใหญ่จะไม่เป็นอิสระต่อกันอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากค่าระดับน้ำของแม่น้ำสายเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันเองสูง ทำให้ผลที่ได้จึงยังไม่ชัดเจนว่าการเพิ่มหรือลด ตัวแปรนำเข้าตัวใดจะให้ค่าที่เด่นชัดออกมา เนื่องจากแต่ละตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษานั้น สามารถอธิบายค่าอัตราการไหลได้ในทิศทางเดียวกันหรือคล้ายกับเป็นตัวแปรเดียวกัน



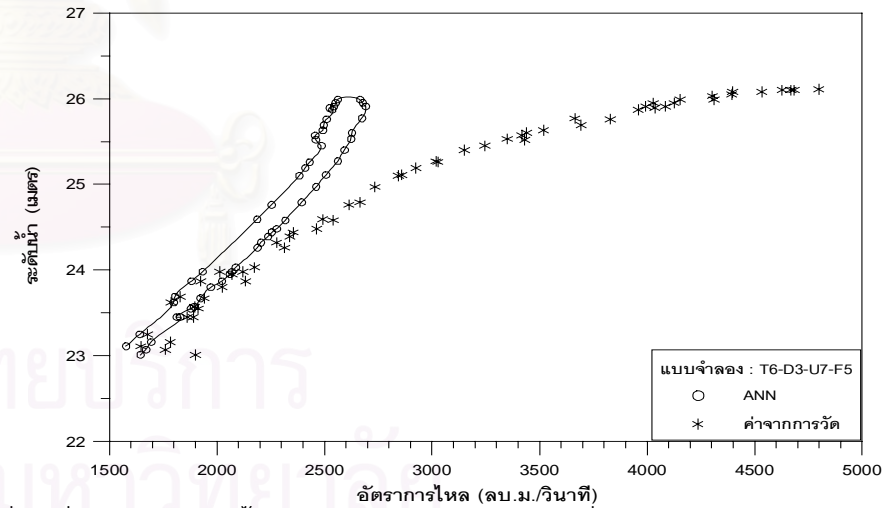
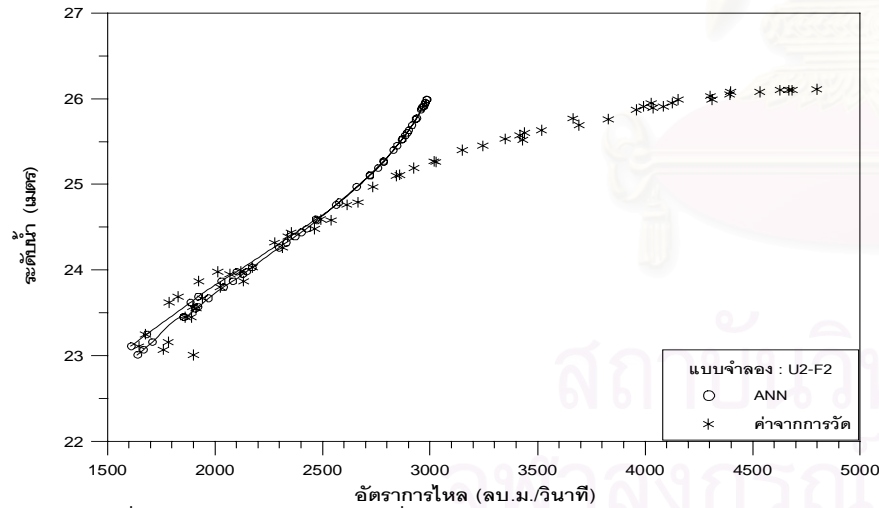
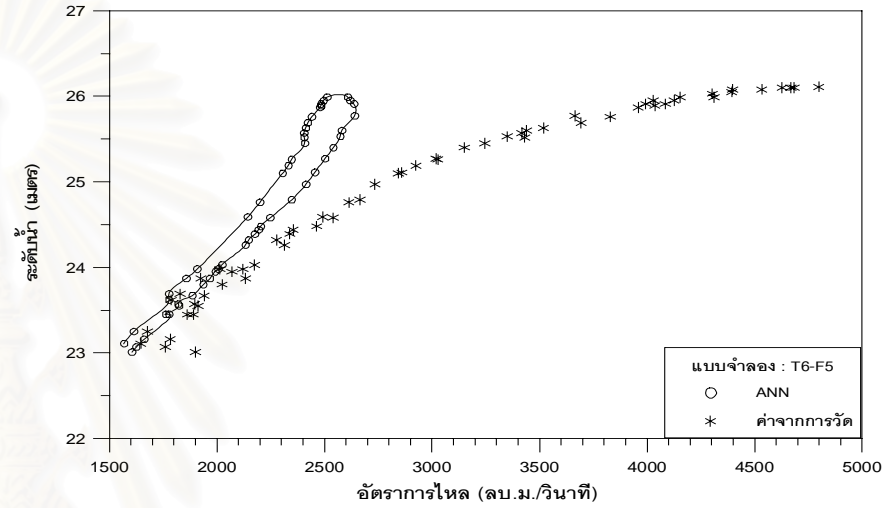
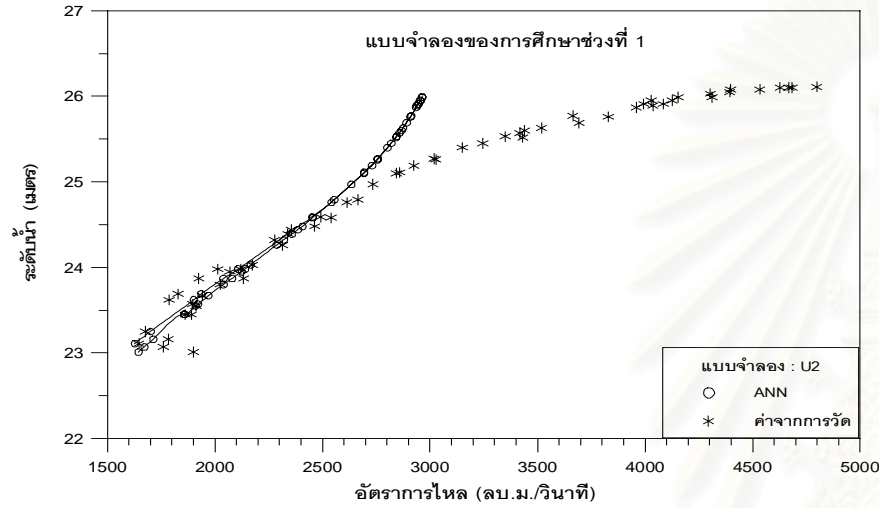
รูปที่ 6-30 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่การทดสอบ ปีนําน้อย พ.ศ.2534 ระหว่าง วันที่ 25 ส.ค. - 14 ต.ค.



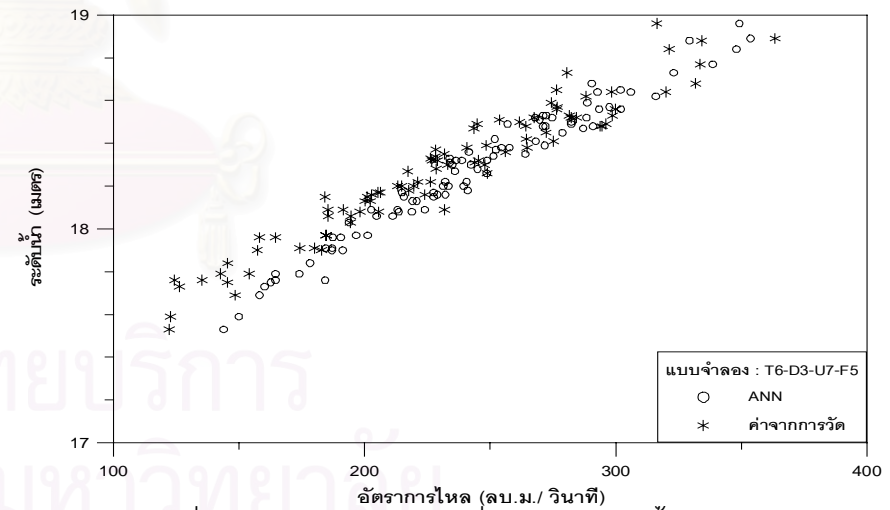
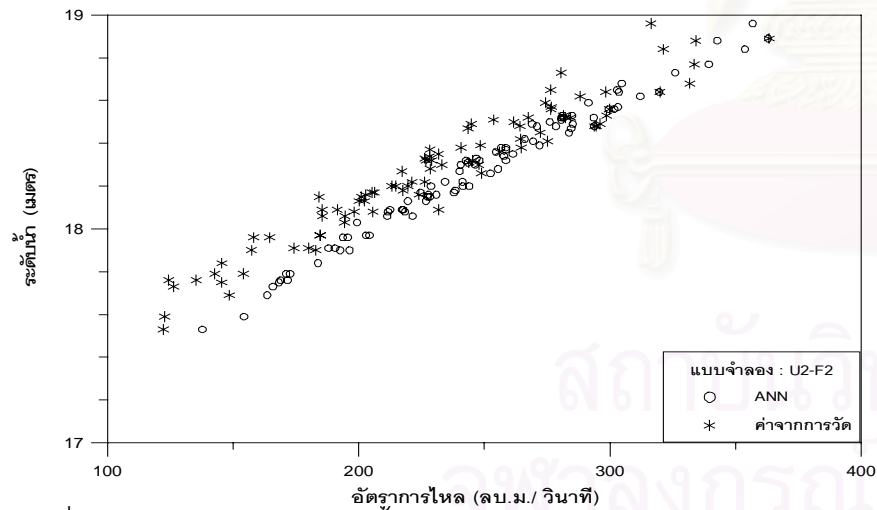
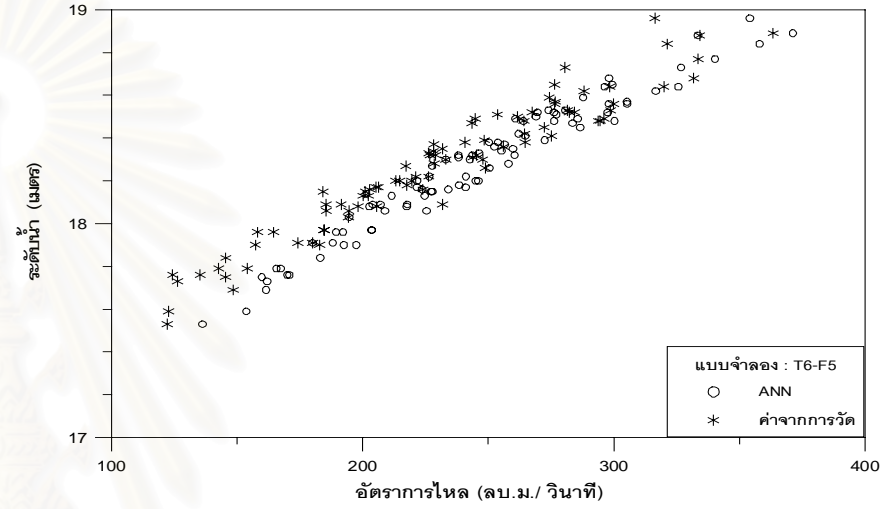
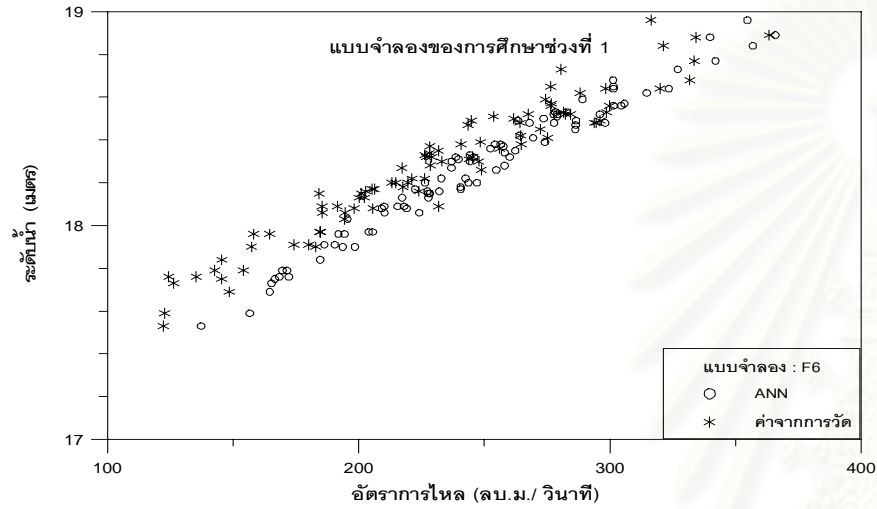
รูปที่ 6-31 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่การทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543 ระหว่างวันที่ 18 ก.ย.- 26 ต.ค.



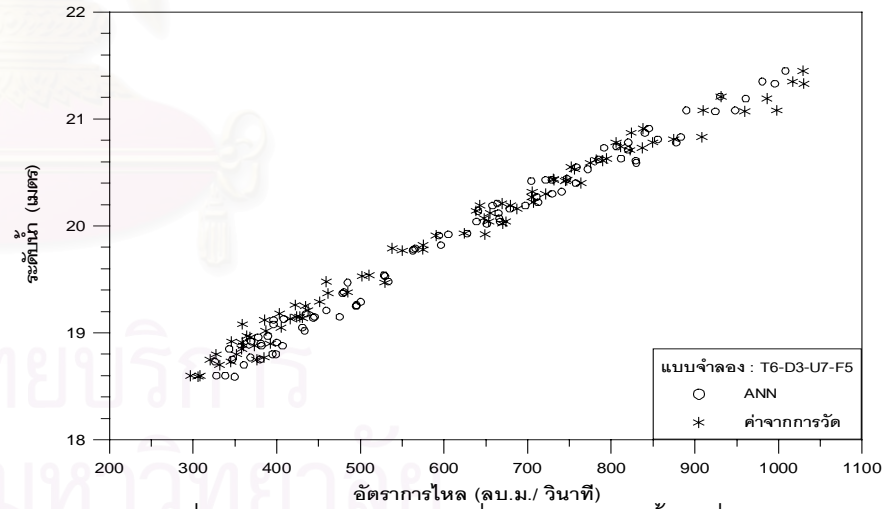
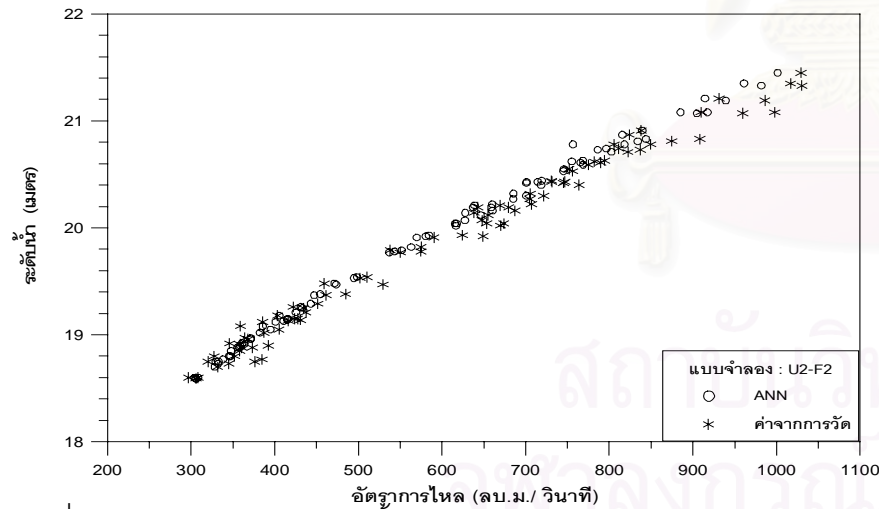
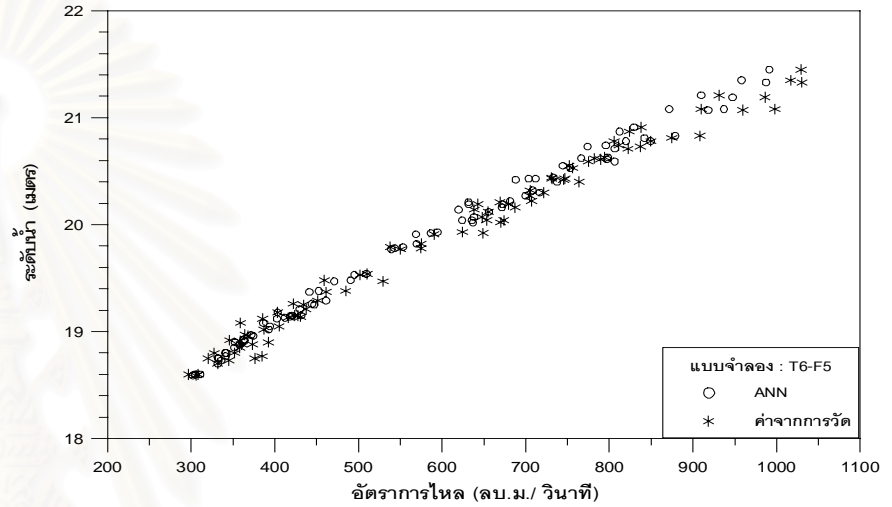
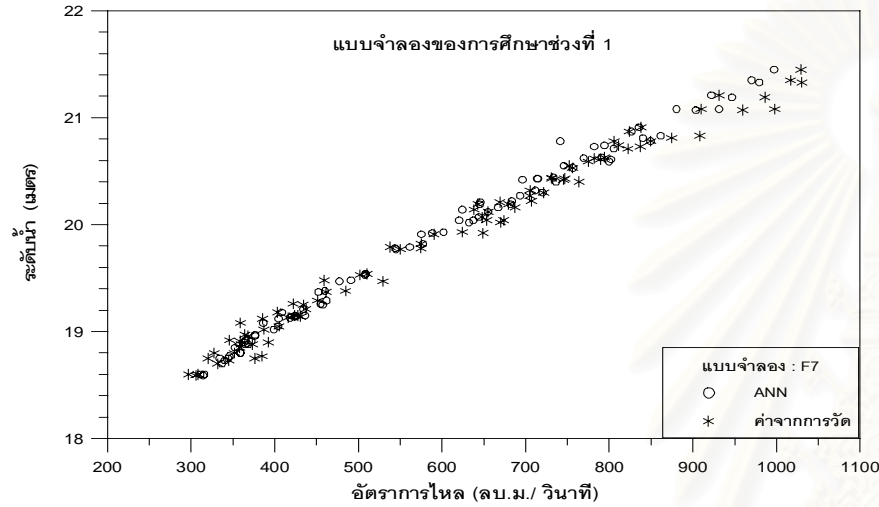
รูปที่ 6-32 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่การทดสอบ ปีน้าเฉลี่ย พ.ศ.2543 ระหว่างวันที่ 27 ต.ค.- 13 พ.ย.



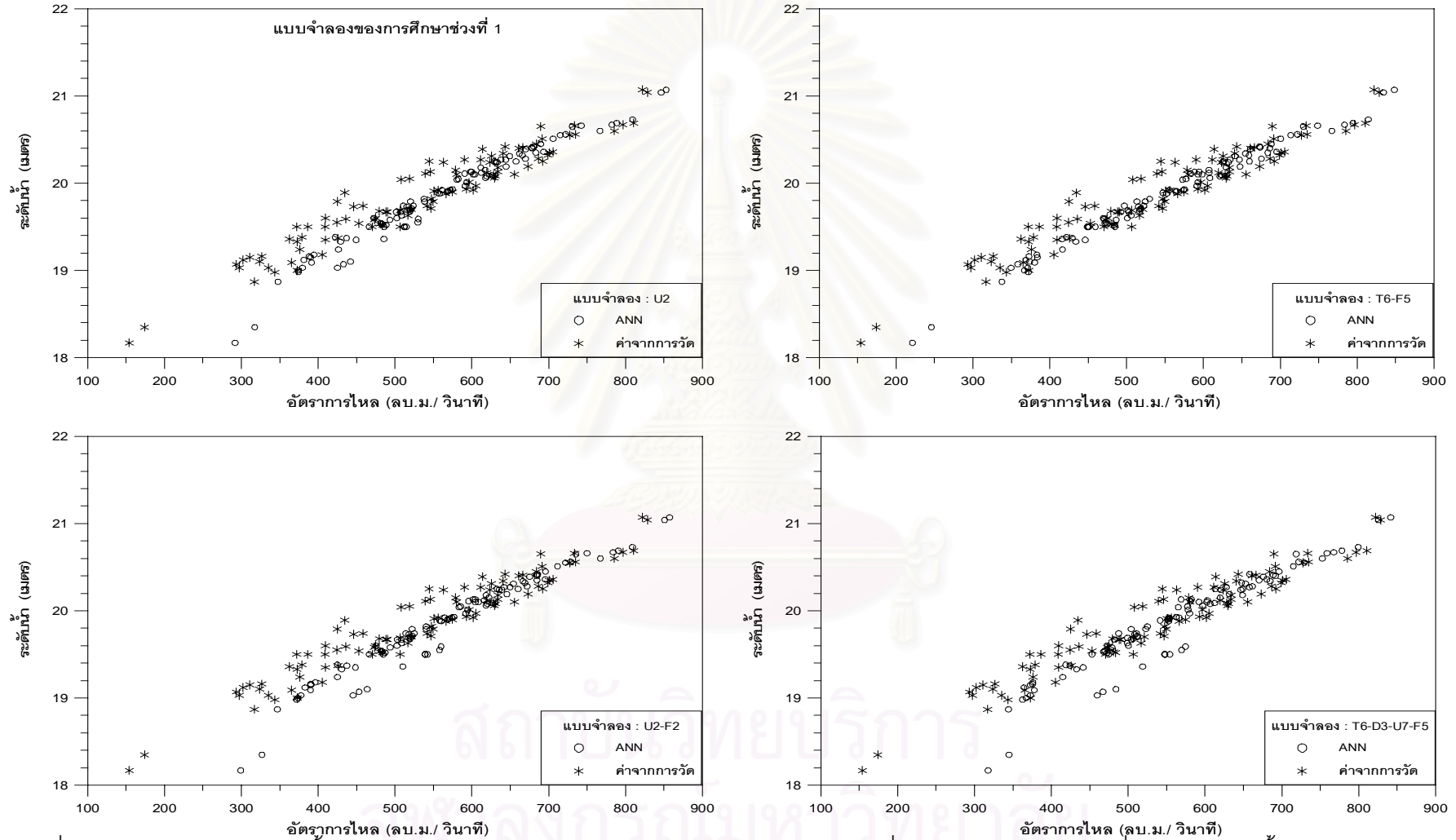
รูปที่ 6-33 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการศึกษาครั้งที่ 2 ที่การทดสอบ ปีนํ้ามาก พ.ศ.2538 ระหว่างวันที่ 25 ส.ค.- 14 พ.ย.



รูปที่ 6-34 ความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN ในช่วงอัตราการไหลต่ำของการศึกษาช่วง 2 ที่การทดสอบ ปีหน้าน้อย พ.ศ.2534



รูปที่ 6-35 ความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN ในช่วงอัตราการไหลต่ำของการศึกษาช่วง 2 ที่การทดสอบ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ.2543



รูปที่ 6-36 ความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลของแบบจำลอง ANN ในช่วงอัตราการไหลต่ำของการศึกษาช่วง 2 ที่การทดสอบ ปีน้ามาก พ.ศ.2538

6.2 ผลการศึกษาผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง ANN MLR และ กราฟความสัมพันธ์ ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 6.1 ซึ่งได้ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ที่ให้ผลดีที่สุดแล้ว การศึกษาต่อมา คือ การนำแบบจำลองทั้ง 3 แบบมาเปรียบเทียบกัน โดยการเปรียบเทียบได้ ทำการศึกษาทั้งการใช้ช่วงของข้อมูลในการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ทั้ง 1 ปี 3 ปีย้อนหลัง และ 5 ปีที่เป็นช่วงเดียวกับการศึกษาในหัวข้อ 6.1 เพื่อให้เห็นผลการทดสอบที่มาจากการใช้จำนวนข้อมูลที่แตกต่างกัน รวมทั้งการเรียนรู้ของแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลภายใน 1 ปี เพื่อเลียนแบบการสร้างกราฟความสัมพันธ์ที่ในทางปฏิบัติจะทำโดยใช้ข้อมูลรายปี สำหรับในการศึกษาหัวข้อ 6.2 นี้แบบจำลอง MLR ที่นำเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ANN จะใช้ตัวแปรนำเข้าแบบเดียวกัน ซึ่งได้มาจากการศึกษาในหัวข้อที่ 6.1 ในตารางที่ 6-22 คือ ที่ปีน้ำมาก พ.ศ. 2538 และปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534 ใช้แบบจำลอง U2-F2 และ ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543 ใช้ตัวแปรนำเข้าคือ T6-F5 โดยรายละเอียดของผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

6.2.1 ผลของการเปรียบเทียบความสามารถในการเรียนรู้

การเปรียบเทียบความสามารถในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลของการใช้แบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง โดยใช้ระยะเวลาการเรียนรู้ ที่ 5 ปี 3 ปี และที่ 1 ปี ดังแสดงตารางที่ 6-23 ซึ่งจะทำให้เห็นถึงความสามารถในการใช้แบบจำลองเป็นตัวแทนของข้อมูลที่เกิดขึ้น โดยที่ช่วงข้อมูล 5 ปี กับ 3 ปี เป็นการรวมขนาดของปริมาณน้ำหลากหลายลักษณะรวมกัน และการเรียนรู้ระยะเวลา 1ปี เป็นการเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ซึ่งโดยปกติจะจัดทำเป็นรายปีทุกปี แบบจำลอง ANN ที่ใช้ในการศึกษาที่หัวข้อ 6.2.1 คือ แบบจำลองที่มีการเรียนรู้ที่ดีที่สุด คือแบบจำลอง T6-D3-U7-F5 และในส่วนของแบบจำลอง MLR นั้นใช้แบบจำลอง T5-D3-U7-F5 ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลอง ANN ตรงที่ไม่มีตัวแปรค่าของระดับน้ำย้อนหลัง 1 วัน (H_{t-1}) เนื่องจากตัวแปรนี้ มีความสัมพันธ์กับค่าระดับน้ำที่เวลาในปัจจุบัน (H_t) สูง สำหรับรายละเอียดผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ผลของการใช้แบบจำลอง MLR ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยใช้ตัวแปรนำเข้าเดียวกันกับแบบจำลอง ANN แสดงไว้ในตารางที่ 6-23 และสมการที่ใช้แสดงในตารางที่ 6-24 ถึง 6-27 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลของแบบจำลอง MLR นั้นจะให้ค่าผลรวมของความผิดพลาดที่สูงกว่าแบบจำลอง ANN ทั้งในช่วงของการเรียนรู้ข้อมูลและช่วงของการทดสอบ โดยสมการที่ได้จากแบบจำลอง MLR จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ติดลบในสมการอยู่เสมอ

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ มีความสัมพันธ์ต่อกันที่สูงมาก และ หากพิจารณาจากตารางที่ ง-1 ซึ่งเป็นการใช้ตัวแปรของกลุ่ม B นั้น แบบจำลอง MLR จะให้ผลที่เป็นเช่นเดียวกันหมด เนื่องจากข้อมูลของค่าระดับน้ำซึ่งใช้เป็นตัวแปรนำเข้านั้น มีความสัมพันธ์ต่อกันที่สูงมากคือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เข้าใกล้ 1 เช่น ค่าระดับที่ เวลา t กับ t-1 ในขณะที่ค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (dh/dt) จะมีความสัมพันธ์ต่อค่าอัตราการไหลที่ต่ำมาก

ดังนั้นแบบจำลอง MLR ที่มีการเพิ่มตัวแปรนำเข้าที่มีความสัมพันธ์ที่ต่ำเข้าไป จะไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแต่อย่างใดซึ่งรวมทั้งตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันเองที่สูงมากเกิน จะทำให้เกิดปัญหา multicollinearity ซึ่งทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการที่ได้มีค่าที่ไม่ถูกต้องคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง กล่าวคือ ตัวแปรที่เป็นประเภทเดียวกันและอธิบายในสิ่งเดียวกัน จะมีเครื่องหมายตรงกันข้าม ซึ่งจะทำให้ผิดจากความเป็นจริง แต่ผลที่ได้จะยังคงเท่าเดิมอยู่ และสำหรับในการศึกษานี้ สมการที่ได้จากแบบจำลอง MLR ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้เนื่องจากสมการที่ได้ไม่ถูกต้อง แต่การศึกษาต้องการเพียงเพื่อจะเปรียบเทียบความผิดพลาดที่เกิดจากปัญหาในลักษณะของตัวแปรนำเข้าที่มีความสัมพันธ์กันเองสูงว่าจะมีผลต่อแบบจำลอง ANN เหมือนกันกับแบบจำลอง MLR หรือไม่อย่างไร

2) ลักษณะของแบบจำลอง MLR นั้น จะมีความแตกต่างจากแบบจำลอง ANN ที่เห็นได้ชัดเจน โดยเฉพาะการใช้ตัวแปรนำเข้า ที่มีความสัมพันธ์เองค่อนข้างสูง เช่นที่กลุ่มของตัวแปร T ตารางที่ ง-1 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มตัวแปรให้กับแบบจำลอง MLR นั้นจะให้ผลในการเรียนรู้ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 94.20% เท่ากันทุกตัวทั้ง 7 แบบจำลอง ในขณะที่แบบจำลอง ANN จะสามารถพัฒนาการเรียนรู้ได้จากทุกตัวแปรนำเข้าไม่ว่าตัวแปรนั้นจะมีความสัมพันธ์ต่อกันหรือไม่ก็ตาม ซึ่งค่าประสิทธิภาพมากที่สุดเท่ากับ 99.66% ในแบบจำลอง ANN :T6

3) สำหรับการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธี logarithmic method โดยผลการศึกษาแสดงไว้ในภาคผนวก จ ซึ่งจะเห็นได้ว่าหากข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้นั้นมี ปี พ.ศ. 2538 รวมอยู่ด้วยจะทำให้ การใช้วิธี logarithmic จะมีปัญหาเนื่องจากไม่สามารถที่จะสร้างความสัมพันธ์ในช่วงที่ น้ำล้นตลิ่งออกไปได้ดังแสดงในรูปที่ จ-8 และ จ-16 เพราะสภาวะความสัมพันธ์ในช่วงดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงไปจากในช่วงของลำน้ำมาก กล่าวคือ ค่าระดับเดียวกันจะมีความสัมพันธ์ต่ออัตราการไหลได้หลายค่า ดังนั้นการศึกษานี้จึงยกเว้นการใช้วิธี logarithmic ในช่วงของข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการปรับแก้ด้วยการลากเส้นเอง เพื่อให้ความกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ เป็นตัวแทนของช่วงข้อมูลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยในส่วนของช่วงการเรียนรู้อื่นนั้นยังคงใช้วิธีการ logarithmic ตามเดิม

4) หากเปรียบเทียบความสามารถในการเรียนรู้ข้อมูลที่เกิดขึ้นในทุกช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 6-23 แล้วจะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ANN มีความสามารถในการเรียนรู้ที่สูงกว่าแบบจำลองอื่น หากพิจารณาที่ข้อมูลการเรียนรู้ช่วงยาว 5 ปี ซึ่งเป็นช่วงข้อมูลที่มีความซับซ้อนที่สุด เนื่องจากมีหลายรูปแบบความสัมพันธ์รวมกันอยู่ จะพบว่าแบบจำลอง ANN สามารถให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์เท่ากับ 15.27 ลบ.ม./วินาที ในขณะที่การใช้กราฟจะมีค่าเท่ากับ 24.56 ลบ.ม./วินาที และแบบจำลอง MLR มีค่าเท่ากับ 54.37 ลบ.ม./วินาที ลักษณะของความผิดพลาดแสดงได้ในรูปที่ 6-37 ซึ่งจะเห็นว่าแบบจำลอง MLR จะมีค่าที่ผิดพลาดสูง โดยบางช่วงจะให้ค่าความผิดพลาดถึง 100 % เนื่องจาก ให้ค่าอัตราการไหลที่ ติดลบ และที่ช่วงอัตราการไหลสูงสุด จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง ANN จะให้ความถูกต้องที่มากกว่า แบบจำลองอื่นๆ

เมื่อพิจารณาที่ปี พ.ศ. 2537 พ.ศ. 2541 และ พ.ศ. 2542 ดังในรูปที่ 6-38 ถึง 6-40 ซึ่งเป็นตัวอย่างของความสัมพันธ์ที่ได้ ในการเรียนรู้ช่วง 5 ปี จะเห็นได้ว่า ที่ปี พ.ศ.2537 ซึ่งเป็นปีน้ำมากที่สุดในช่วงของการเรียนรู้นั้น ลักษณะของวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง MLR นั้นจะผิดพลาดมาก ในขณะที่แบบจำลอง ANN นั้นจะให้ความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกับ ค่าจริงมากกว่าและการใช้กราฟของความสัมพัทธ์นั้นจะมีข้อผิดพลาดมากในช่วงที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด ดังจะเห็นได้ที่ช่วงปลายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล และที่ปี พ.ศ. 2541 ซึ่งเป็นปีที่น้ำน้อยมาก แบบจำลอง MLR จะมีลักษณะวงรอบที่ใกล้เคียงกับค่าวัดจริงส่วนใหญ่ แต่ก็มีบางค่าที่มีลักษณะผิดไปค่อนข้างมาก เช่นที่ อัตราการไหลประมาณ 900 ลบ.ม./ วินาที และที่ปี พ.ศ. 2542 ซึ่งแบบจำลอง MLR จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ในช่วงอัตราการไหลสูงสุดไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 6-40

5) โดยสรุปแล้วจะเห็นได้ว่าสำหรับแบบจำลอง MLR นั้นยังมีความผิดพลาดอยู่สูงแม้ว่าจะสามารถสร้างลักษณะที่เป็นวงรอบได้ก็ตาม แต่วงรอบที่ได้ยังไม่ตรงกับค่าที่วัดได้จริงนัก ในขณะที่แบบจำลอง ANN นั้นจะสามารถเรียนรู้วงรอบได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามแม้ว่าการใช้วิธีสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล จะมีความผิดพลาดในช่วงอัตราการไหลสูงสุดอยู่ก็ตาม แต่การวางตัวของกราฟจะอยู่ตรงกลางของวงรอบที่เกิดขึ้นเสมอ ซึ่งทำให้ไม่พบค่าอัตราการไหลที่ เบี่ยงเบนจากค่าจริง มากเกินไปเหมือนแบบจำลอง ANN ที่ ปี พ.ศ. 2541 หรือ แบบจำลอง MLR ที่ปีอื่นๆ

ตารางที่ 6-23 ผลการทดสอบความสามารถในการเรียนรู้ของ แบบจำลอง ANN MLR

และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

No.	แบบจำลอง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้
		EI(%)	SSE ($m^3/s)^2$	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	ANN	99.83	308,213	15.27	21.35	95	0.999	5 ปี (2535-37,41-42) 676 ชุดข้อมูล
2	MLR	98.17	3,265,009	54.34	69.50	260	0.991	
3	rating curve	99.57	767,534	24.56	33.70	174	0.998	
4	ANN	99.88	143,711	13.53	18.91	104	0.999	3 ปี (2535-37) 402ชุดข้อมูล
5	MLR	98.57	1,680,048	50.69	64.65	237	0.993	
6	rating curve	99.69	367,320	22.20	30.23	143	0.998	
7	ANN	99.89	450,488	22.07	31.68	199	0.999	3 ปี (2538,2541-42) 449 ชุดข้อมูล
8	MLR	98.70	5,545,873	69.54	111.14	690	0.993	
9	rating curve	99.77	968,792	33.93	46.45	269	0.999	
10	ANN	99.86	22,576	9.87	12.74	41	0.999	1 ปี (2534) 139 ชุดข้อมูล
11	MLR	99.39	99,590	21.44	26.77	88	0.997	
12	rating curve	99.63	59,805	15.65	20.74	76	0.998	
13	ANN	99.87	12,325	8.01	10.78	42	0.999	1 ปี (2535) 106 ชุดข้อมูล
14	MLR	98.23	165,052	30.58	39.46	121	0.991	
15	rating curve	99.17	77,297	19.51	27.00	92	0.996	
16	ANN	99.91	64,603	15.39	20.48	80	1.000	1 ปี (2537) 154ชุดข้อมูล
17	MLR	99.36	472,253	41.25	55.38	220	0.997	
18	rating curve	99.79	151,923	22.38	31.41	127	0.999	
19	ANN	99.91	265,867	26.03	38.98	170	0.999	1 ปี (2538) 175ชุดข้อมูล
20	MLR	98.78	3,471,100	101.94	140.84	538	0.994	
21	rating curve	99.75	712,370	48.62	63.80	231	0.999	
22	ANN	99.86	62,126	15.71	20.28	62	0.999	1 ปี (2542) 151ชุดข้อมูล
23	MLR	99.36	284,799	34.03	43.43	145	0.997	
24	rating curve	99.57	191,674	26.53	35.63	136	0.998	
25	ANN	99.75	70,488	17.29	23.20	79	0.999	1 ปี (2543) 131ชุดข้อมูล
26	MLR	99.01	283,730	34.76	46.54	152	0.995	
27	rating curve	99.20	226,922	30.98	41.62	150	0.996	

ตารางที่ 6-24 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR :T5-D3-U7-F5 ที่การเรียนรู้ระยะเวลาต่างๆ

No.	ตัวแปร	ระยะเวลาของการเรียนรู้									หมายเหตุ
		5 ปี (2535-37,41-42) 676 ชุดข้อมูล	3 ปี (2535-37) 402 ชุดข้อมูล	3 ปี (2538,2541-42) 449 ชุดข้อมูล	1 ปี (2534) 139 ชุดข้อมูล	1 ปี (2535) 106 ชุดข้อมูล	1 ปี (2537) 154 ชุดข้อมูล	1 ปี (2538) 175 ชุดข้อมูล	1 ปี (2542) 151 ชุดข้อมูล	1 ปี (2543) 131 ชุดข้อมูล	
1	Intercept	-6413.21	-4200.46	-7061.51	-6315.88	-8544.57	-6873.78	-14854.76	-6764.99	-7577.58	*** สมการของแบบจำลอง ที่ได้ทุกช่วงการเรียนรู้ให้ค่า สัมประสิทธิ์ของการถดถอยที่ ไม่ตรงกับความเป็นจริง อันเนื่องมาจากปัญหาของ ตัวแปรนำเข้าที่มีพหุสัมพันธ์ (multicollinearity) ***
2	H (t)	-646.09	-8027.89	468.38	-795.02	-141.52	-727.18	492.51	-57.62	670.77	
3	dH/ dt	-111.82	-189.48	-19.43	-12.66	-4.34	-228.42	10.38	-22.97	-94.57	
4	Ct.2	83.52	35.00	603.07	62.29	-1.79	66.80	662.94	369.52	-703.75	
5	เชื่อน	134.13	8594.44	-805.15	-7.58	227.50	1020.20	-352.90	-134.12	-9.81	
6	P.17	-23.59	-298.73	-6.58	59.80	45.83	-221.69	17.29	-41.45	-62.83	
7	N.14A	596.24	-423.99	-125.79	892.86	90.80	-205.55	-468.55	-51.08	219.74	
8	P.16	-81.96	270.03	-82.89	-13.22	-0.32	175.85	-27.00	-16.98	58.90	
9	N.8	-1.22	-1.42	57.58	53.94	-21.66	46.12	152.87	-8.58	102.60	
10	Y.5	11.89	3.84	17.90	5.19	5.85	15.93	15.49	21.09	6.36	
11	P.15	109.61	-46.19	127.45	16.20	76.45	29.24	113.90	107.52	24.86	
12	N.10A	69.00	99.37	7.53	-2.08	-0.55	56.12	27.75	22.18	35.37	
13	$\Delta F1$	320.97	8748.54	-235.68	90.48	266.30	1213.71	0.74	328.25	-708.25	
14	$\Delta F3$	-725.91	226.08	64.93	-899.11	-17.55	10.19	260.37	51.00	-414.73	

ตารางที่ 6-25 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR :U2-F2 ที่ระยะเวลา
การเรียนรู้ต่างๆ เพื่อใช้ทดสอบที่ปีน้ำน้อย พ.ศ. 2534

No.	ตัวแปร	ระยะเวลาของการเรียนรู้				หมายเหตุ
		5 ปี (2535-37,41-42) 676 ชุดข้อมูล	3 ปี (2535-37) 402 ชุดข้อมูล	1 ปี (2535) 106 ชุดข้อมูล	1 ปี (2534) 139 ชุดข้อมูล	
1	Intercept	-7028.95	-5218.43	-7536.38	-6663.64	*** สมการของแบบจำลอง ที่ได้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ ของการถดถอยที่ไม่ตรง กับความเป็นจริง ***
2	H (t)	-72.06	323.03	164.47	9.01	
3	P.17	441.76	25.51	72.97	203.59	
4	N.14A	-29.11	-47.49	59.97	75.94	
5	$\Delta F2$	-375.19	-24.28	64.94	-113.00	

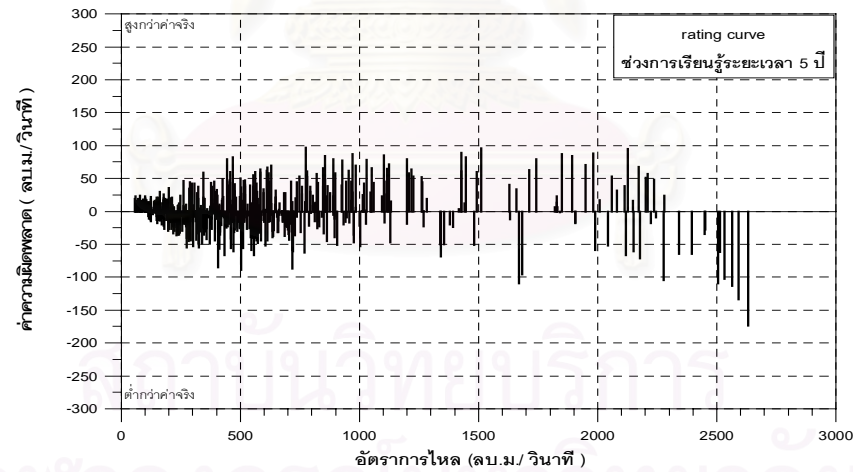
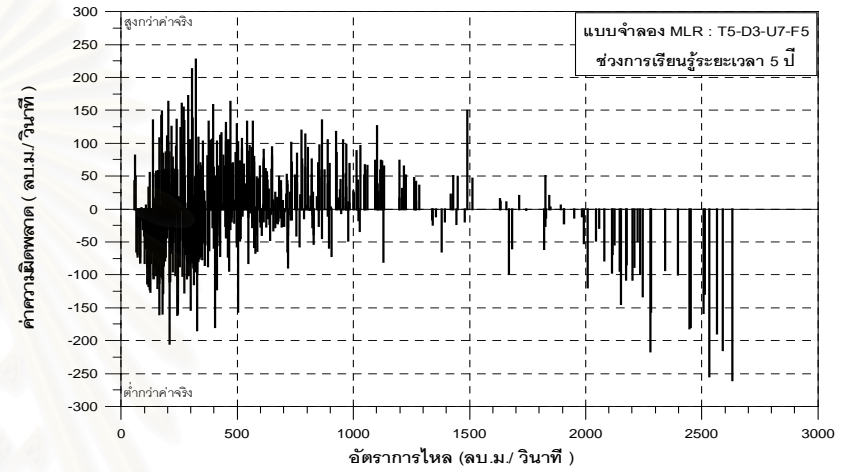
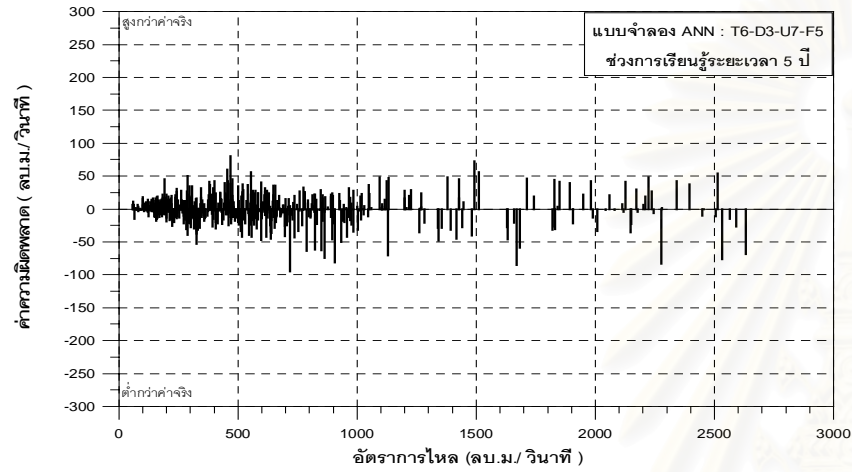
ตารางที่ 6-26 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR :T6-F5 ที่ระยะเวลา
การเรียนรู้ต่างๆ เพื่อใช้ทดสอบที่ปีน้ำเฉลี่ย พ.ศ. 2543

No.	ตัวแปร	ระยะเวลาของการเรียนรู้				หมายเหตุ
		5 ปี (2535-37,41-42) 676 ชุดข้อมูล	3 ปี (2538,2541-42) 449 ชุดข้อมูล	1 ปี (2542) 151 ชุดข้อมูล	1 ปี (2543) 131 ชุดข้อมูล	
1	Intercept	-3893.50	-8479.72	-3182.45	-5196.36	*** สมการของแบบจำลอง ที่ได้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ ของการถดถอยที่ไม่ตรง กับความเป็นจริง ***
2	H (t)	1097.83	86.16	598.61	105.68	
3	H (t-1)	-896.16	427.58	-436.71	180.20	
4	dH/dt	-992.01	910.58	-362.67	198.74	
5	$\Delta F1$	139.34	-142.42	186.47	25.89	
6	$\Delta F3$	-12.19	-187.28	-34.10	4.83	

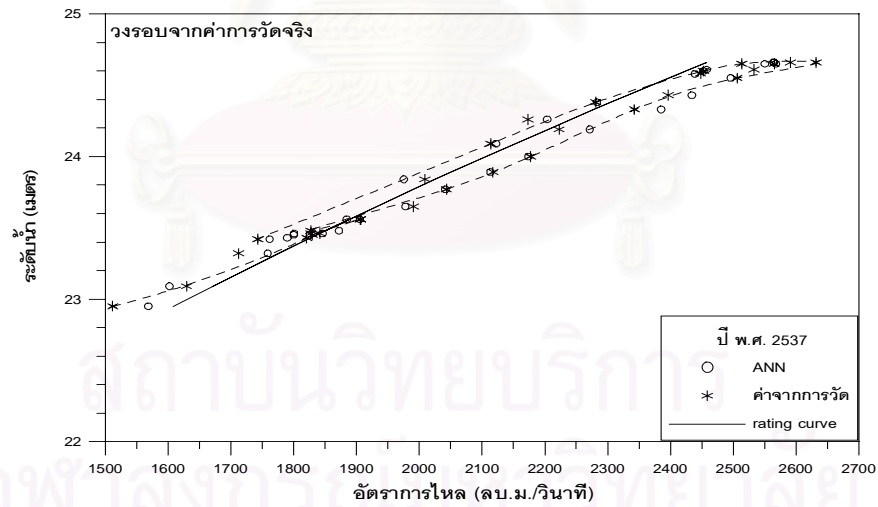
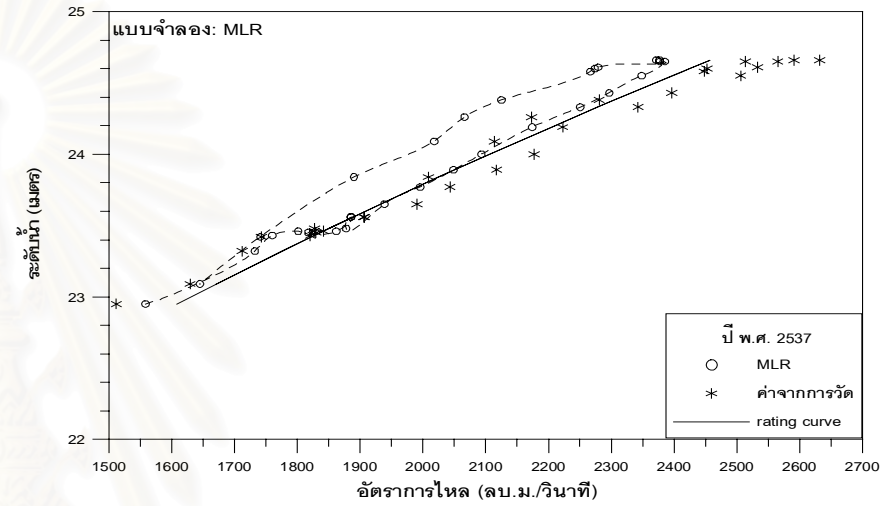
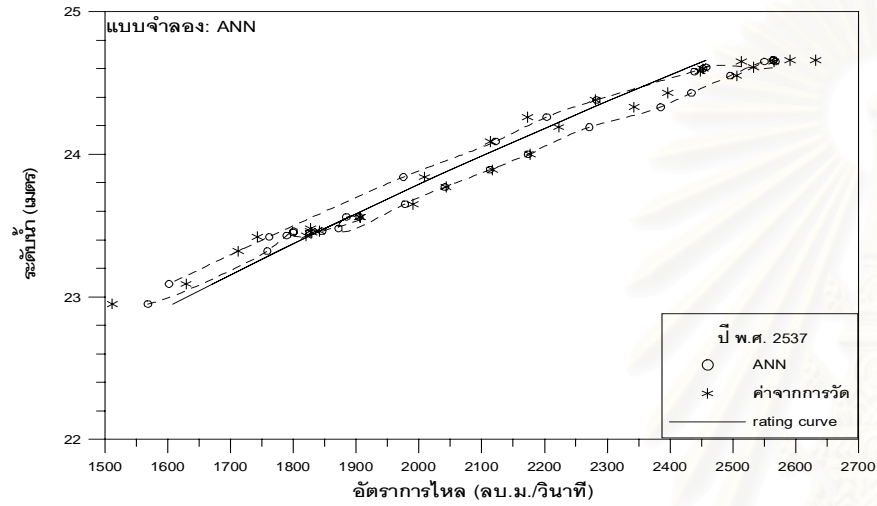
ตารางที่ 6-27 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ในสมการของแบบจำลอง MLR :U2-F2 ที่ระยะเวลา
การเรียนรู้ต่างๆ เพื่อใช้ทดสอบที่ปีน้ามาก พ.ศ. 2538

No.	ตัวแปร	ระยะเวลาของการเรียนรู้				หมายเหตุ
		5 ปี (2535-37,41-42) 676 ชุดข้อมูล	3 ปี (2535-37) 402 ชุดข้อมูล	1 ปี (2537) 154 ชุดข้อมูล	1 ปี (2538) 175 ชุดข้อมูล	
1	Intercept	-7028.95	-5218.43	-9803.47	-10157.00	*** สมการของแบบจำลอง ที่ได้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ ของการถดถอยที่ไม่ตรง กับความเป็นจริง ***
2	H (t)	-72.06	323.03	577.84	873.83	
3	P.17	441.76	25.51	-1.16	-97.80	
4	N.14A	-29.11	-47.49	-122.20	-222.96	
5	$\Delta F2$	-375.19	-24.28	113.70	108.22	

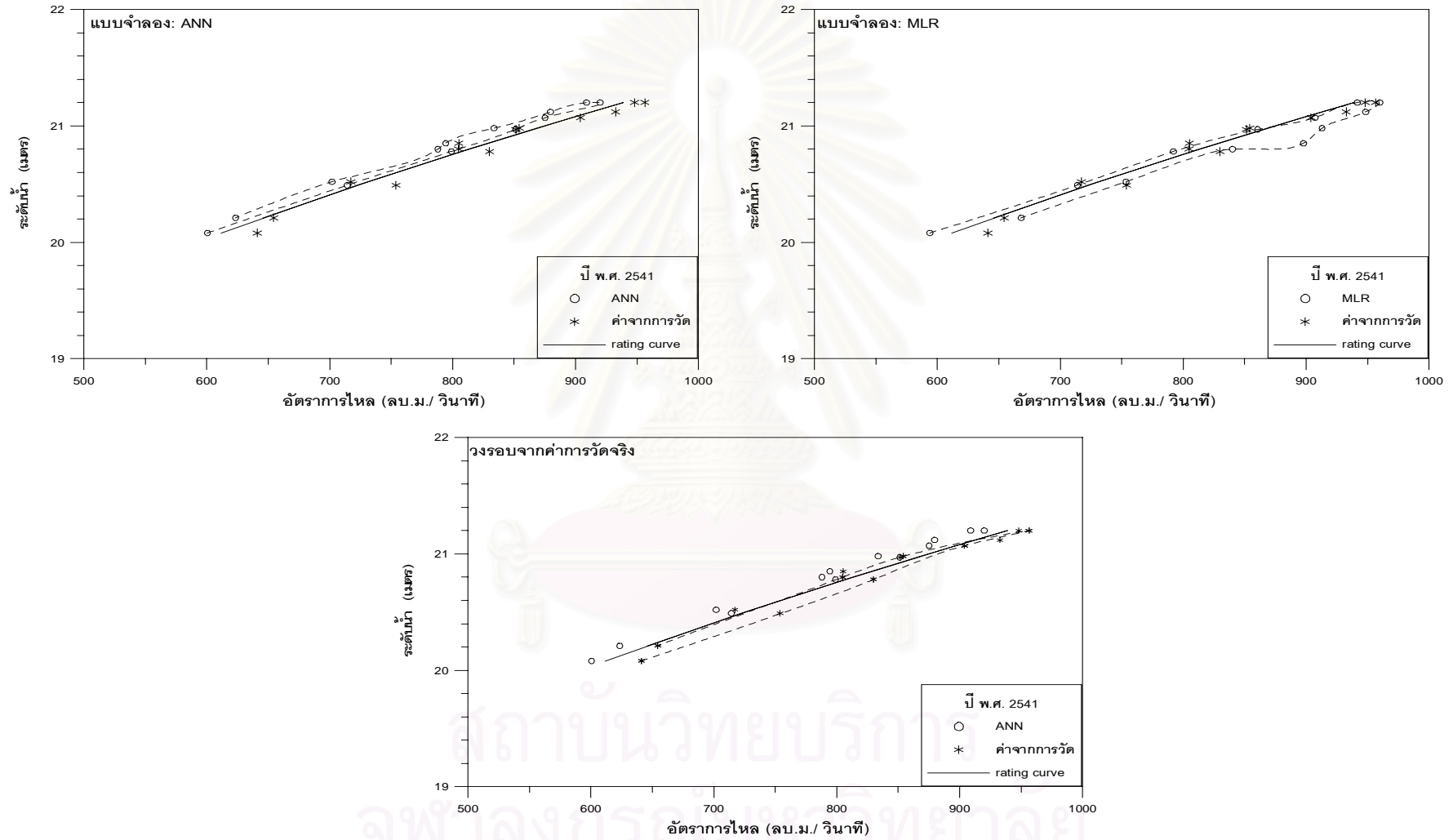
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



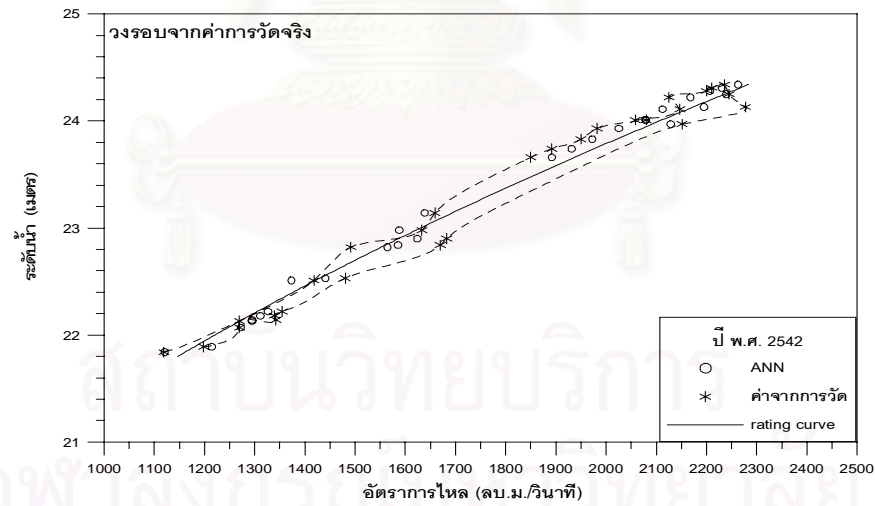
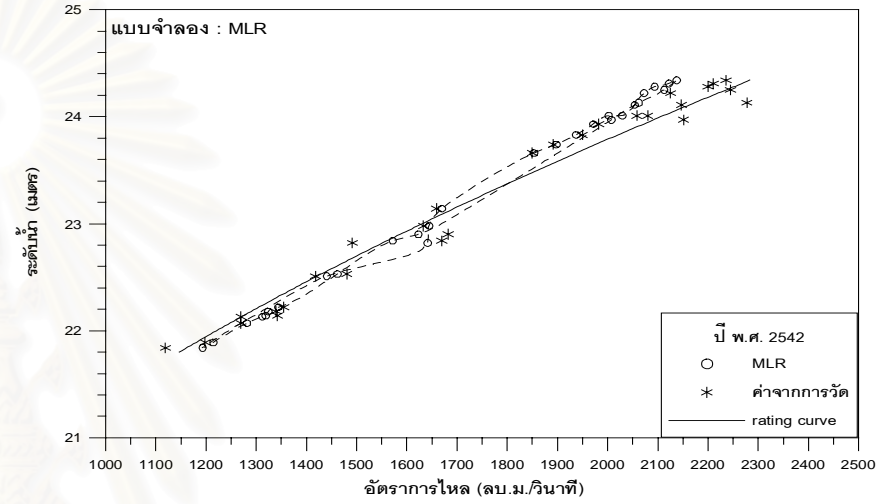
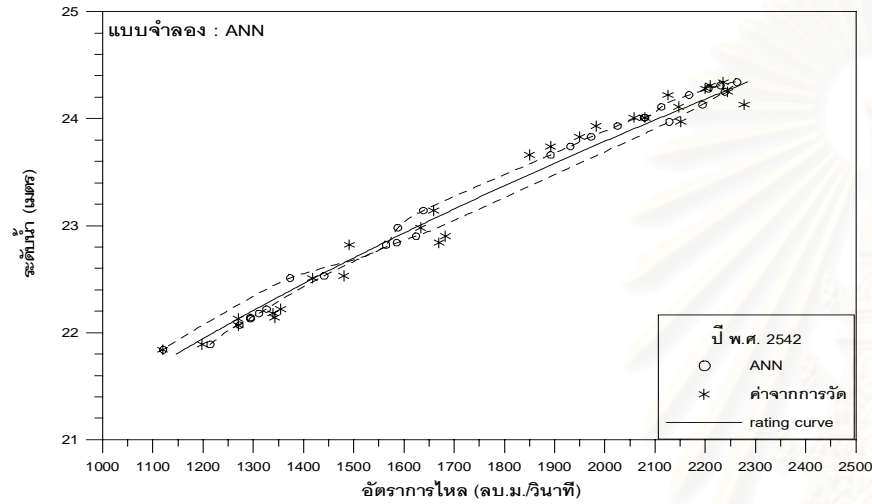
รูปที่ 6-37 ค่าความผิดพลาด ของแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ที่ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ.2535-37และ 2541-42)



รูปที่ 6-38 ลักษณะวงรอบที่ได้แบบจำลอง ANN MLR ที่ปี พ.ศ. 2537 ระหว่างวันที่ 2 ก.ย. - 12 ต.ค. ที่ช่วงการเรียนรู้ 5 ปี (พ.ศ.2535-37และ 2541-42)



รูปที่ 6-39 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN MLR ที่ปี พ.ศ. 2541 ระหว่าง วันที่ 9 ต.ค. - 28 ต.ค. ที่ช่วงการเรียนรู้ 5 ปี (พ.ศ.2535-37และ 2541-42)



รูปที่ 6-40 ลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN MLR ที่ปี พ.ศ. 2542 ระหว่างวันที่ 17 ก.ย. - 30 พ.ย. ที่ช่วงการเรียนรู้ 5 ปี (พ.ศ.2535-37และ 2541-42)

6.2.2 ผลการเปรียบเทียบช่วงทดสอบ

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบการหาค่าอัตราการไหลจากค่าระดับน้ำ โดยนอกจากการเปรียบเทียบความสามารถของแต่ละแบบจำลองแล้ว ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการใช้จำนวนข้อมูลในช่วงการเรียนรู้ที่แตกต่างกันด้วย คือ การใช้ข้อมูล 5 ปี ข้อมูล 3 ปี และข้อมูล 1ปี ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 6-28 ถึง 6-30 โดยการเปลี่ยนแปลงความยาวช่วงการเรียนรู้จะเปลี่ยนแปลงผลของแบบจำลอง ANN ได้มากกว่าผลของการใช้ตัวแปร และผลที่ได้ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือที่ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันเกินกว่า 10 ลบ.ม./วินาที แต่อย่างไรก็ตามที่ช่วงอัตราการไหลสูงๆ พบว่ามีความเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นการเปรียบเทียบจึงใช้ที่ค่าของผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง มาพิจารณา ซึ่งรายละเอียดของผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) เมื่อพิจารณาที่แบบจำลอง ANN จะพบว่าการใช้ช่วงของข้อมูลในการเรียนรู้จะมีผลต่อการทดสอบที่มากกว่า การเปลี่ยนตัวแปรนำเข้า และหากพิจารณาในรูปที่ 6-41 ซึ่งแสดงผลทดสอบที่ปี พ.ศ. 2534 จะพบว่าการเรียนรู้โดยใช้ระยะเวลา 1ปีนั้นจะดีที่สุดคือใช้การเรียนรู้ด้วยปี พ.ศ. 2535 ซึ่งจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดมากที่สุดสัมบูรณ์ ในขณะที่การเรียนรู้ด้วยข้อมูล 3 ปี นั้นกลับให้ค่าความผิดพลาดที่สูงสุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่รูป 6-42 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหล ของข้อมูลในช่วงเรียนรู้กับช่วงทดสอบ ทำให้แบบจำลองเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน คือที่อัตราการไหลสูงสุดซึ่งการเรียนรู้ด้วยข้อมูล 1ปี จะให้ค่าน้อยที่สุด (รูปที่ 6-41) และ การเรียนรู้ที่ 3 ปี และ 5 ปีจะผิดพลาดมาก เนื่องจากข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาในช่วงอัตราการไหลสูงสุด ที่ระดับเดียวกันนั้นมีค่าอัตราการไหลที่น้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 6-42 จึงทำให้แบบจำลองให้ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ต่ำกว่าค่าจริงของปี พ.ศ.2534 และ ที่ตัวแปร $\Delta F1$ ในรูปที่ 6-45 จะเห็นได้ว่ามีอิทธิพลต่อช่วงทดสอบของปี พ.ศ. 2543 โดยสังเกตที่ช่วงอัตราการไหลที่ต่ำกว่า 500 การใช้ข้อมูลเพิ่มเข้ามาเป็น 3 และ 5 ปีทำให้ค่าความผิดพลาดในช่วงดังกล่าวลดลง และมีค่าที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งเมื่อพิจารณาตามรูปที่ 6-43 และ 6-45 จะพบว่าข้อมูลที่เพิ่มเข้ามาจะมีความสัมพันธ์กันกับผลที่ได้ในช่วงทดสอบ ส่วนรูปที่ 6-44 ยังไม่เห็นผลได้ชัดเจนนัก

โดยในอีกตัวอย่าง ที่ปี พ.ศ. 2538 ที่อัตราการไหลประมาณ 2,000 ลบ.ม./วินาที นั้นจะมีค่าความผิดพลาดที่สูง ดังรูปที่ 6-46 ซึ่งหากพิจารณาที่ช่วงการเรียนรู้และทดสอบ ที่รูป 6-47 จะเห็นได้ว่าที่ค่าอัตราการไหลประมาณ 2,000 ลบ.ม./วินาที ของปีทดสอบ พ.ศ.2538 นั้นจะมีระดับที่ต่ำกว่าในช่วงข้อมูลที่ใส่สอน

ตารางที่ 6-28 ผลเปรียบเทียบการใช้จำนวนข้อมูลในการเรียนรู้ ที่การทดสอบ ปี พ.ศ.2534

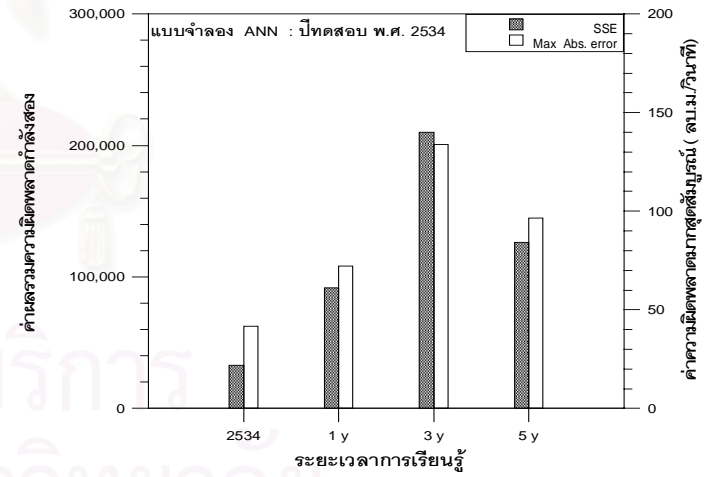
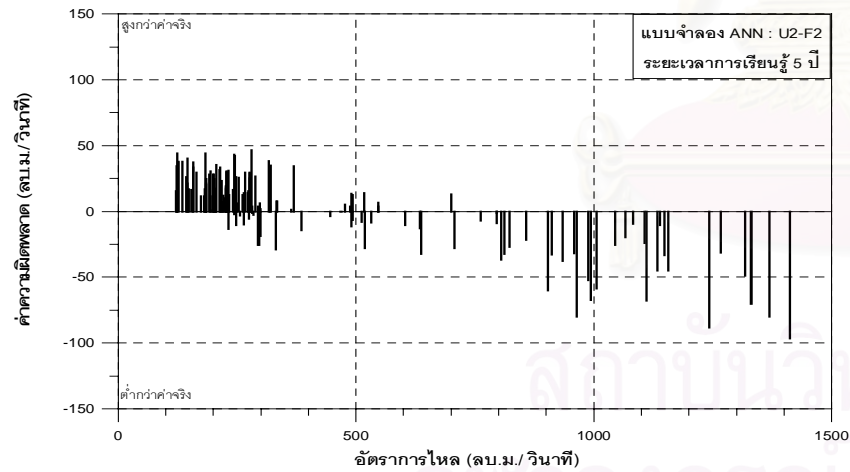
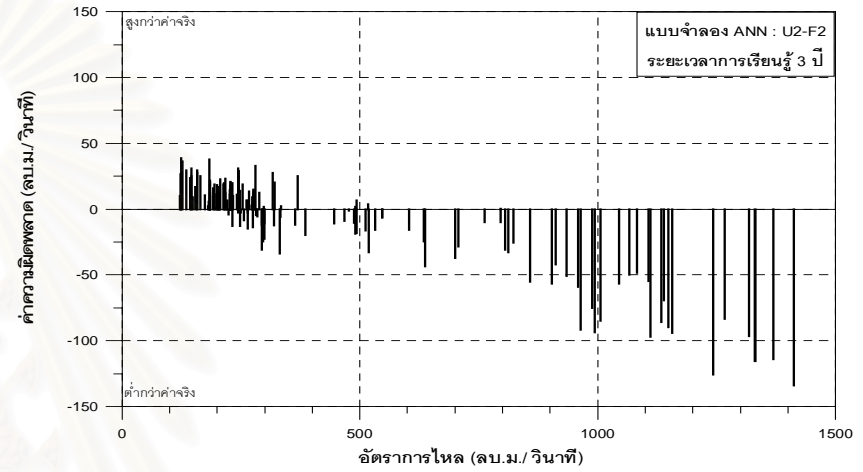
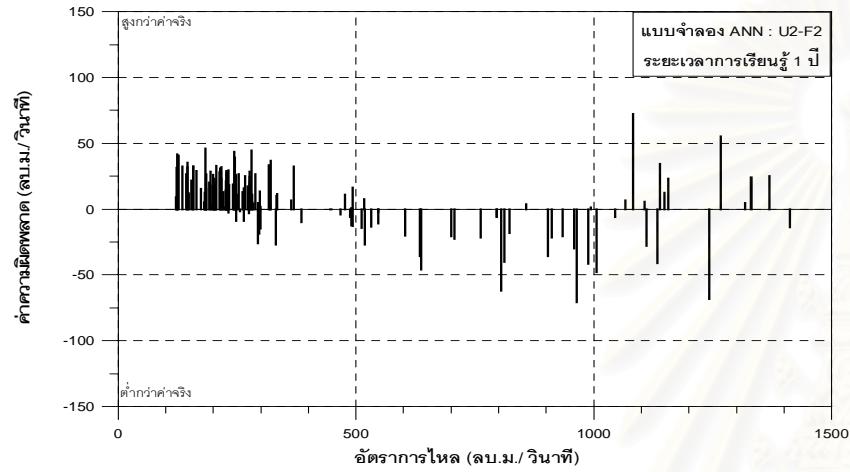
No.	แบบจำลอง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้
		EI(%)	SSE ($m^3/s)^2$	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs Error (m^3/s)	r	
1	ANN: U2 - F2	99.22	126,505	23.95	30.17	97	0.999	5 ปี(2535-37,41-42)
2	MLR: U2-F2	95.11	796,533	58.99	75.70	202	0.978	676 ชุดข้อมูล
3	rating curve	98.82	191,966	28.41	37.16	120	0.998	
4	ANN: U2 - F2	98.71	210,028	26.84	38.87	134	0.999	3 ปี (2535-37)
5	MLR: U2-F2	94.68	865,857	60.25	78.93	220	0.976	402 ชุดข้อมูล
6	rating curve	99.13	140,893	21.93	31.84	116	0.998	
7	ANN: U2 - F2	99.44	91,763	21.15	25.69	72	0.998	1 ปี (2535)
8	MLR: U2-F2	95.75	692,530	52.26	70.58	245	0.993	106 ชุดข้อมูล
9	rating curve	99.18	132,856	22.93	30.92	107	0.998	
10	ANN:U2-F2	99.80	32,655	11.93	15.33	42	0.999	1 ปี (2534)
11	MLR: U2 -F2	98.94	172,418	28.30	35.22	119	0.995	139 ชุดข้อมูล
12	rating curve	99.63	59,805	15.65	20.74	76	0.998	เรียนรู้ตัวเอง

ตารางที่ 6-29 ผลเปรียบเทียบการใช้จำนวนข้อมูลในการเรียนรู้ ที่การทดสอบ ปี พ.ศ. 2543

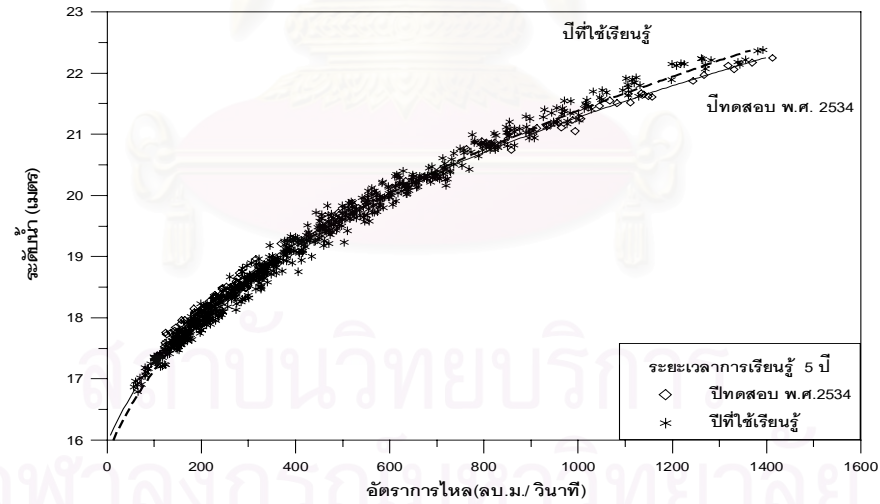
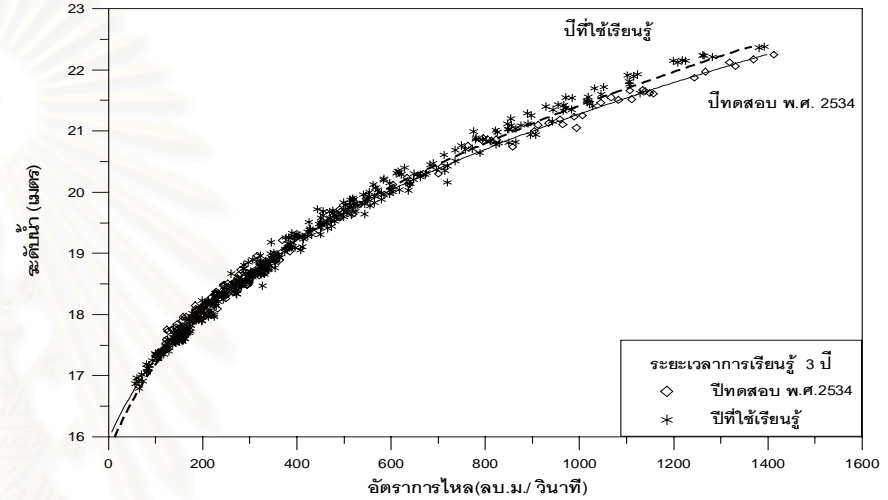
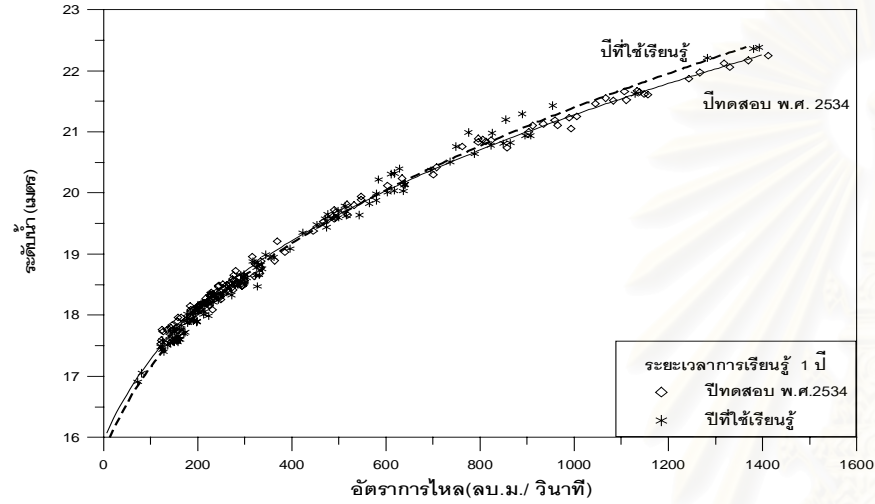
No.	แบบจำลอง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้
		EI(%)	SSE ($m^3/s)^2$	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs Error (m^3/s)	r	
1	ANN: T6-F5	99.38	176,936	26.88	36.75	127	0.997	5 ปี(2535-37,41-42)
2	MLR: T6-F5	88.45	3,296,264	134.52	158.63	349	0.981	676ชุดข้อมูล
3	rating curve	98.91	309,994	37.92	48.65	163	0.996	
4	ANN: T6-F5	99.09	260,884	30.41	44.63	156	0.997	3 ปี (2538,2541-42)
5	MLR: T6-F5	86.32	3,902,776	130.79	172.60	962	0.953	449 ชุดข้อมูล
6	rating curve	98.84	332,371	38.13	50.37	179	0.995	
7	ANN: T6-F5	99.06	268,613	33.91	45.28	146	0.997	1 ปี (2542)
8	MLR: T6-F5	89.57	2,976,048	111.02	150.72	436	0.967	151ชุดข้อมูล
9	rating curve	99.14	244,111	32.21	43.17	163	0.996	
10	ANN: T6-F5	99.70	86,783	19.25	25.74	89	0.998	1 ปี (2543)
11	MLR: T6-F5	98.03	562,889	50.42	65.55	196	0.990	131ชุดข้อมูล
12	rating curve	99.20	226,922	30.98	41.62	150	0.996	เรียนรู้ตัวเอง

ตารางที่ 6-30 ผลเปรียบเทียบการใช้จำนวนข้อมูลในการเรียนรู้ ที่การทดสอบ ปี พ.ศ. 2538

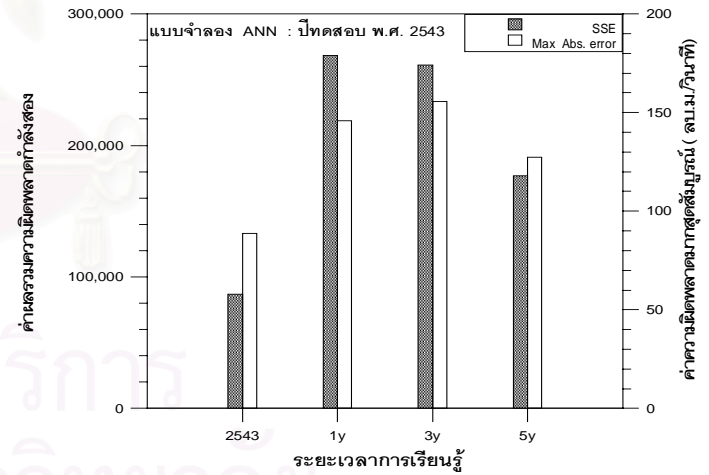
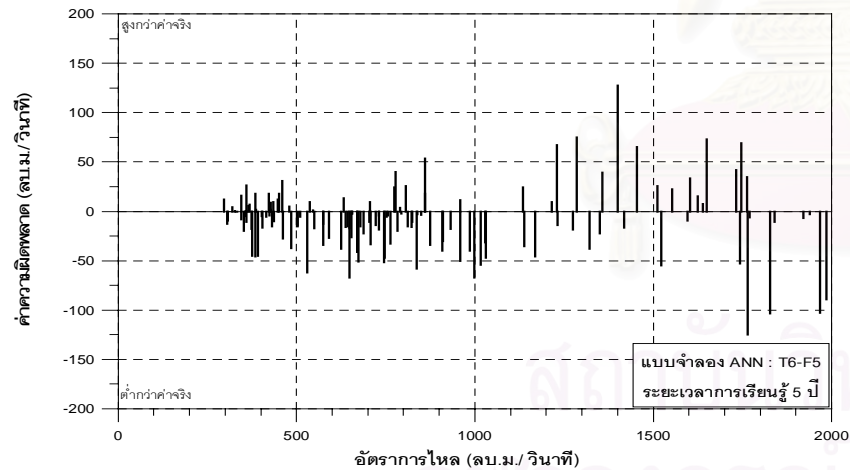
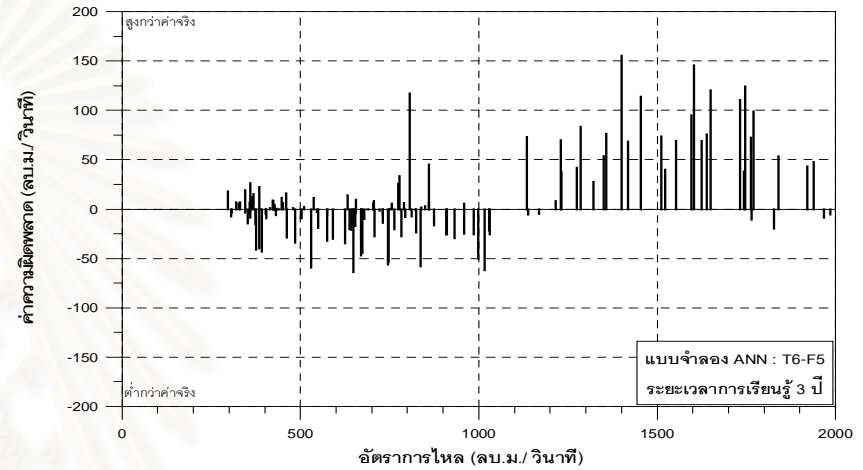
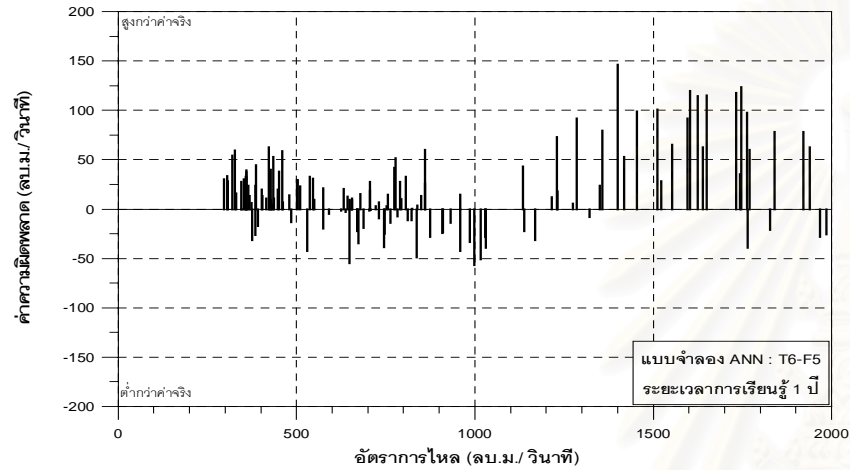
No.	แบบจำลอง	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้
		EI(%)	SSE ($m^3/s)^2$	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs Error (m^3/s)	r	
1	ANN: U2 - F2	88.11	33,925,178	197.34	440.29	1,794	0.974	5 ปี(2535-37,41-42) 676 ชุดข้อมูล
2	MLR: U2-F2	70.39	84,469,475	433.31	694.75	2,312	0.965	
3	rating curve	92.70	20,832,766	172.04	345.03	1,231	0.993	
4	ANN: U2 - F2	89.21	30,791,413	197.80	419.47	1,718	0.975	3 ปี (2535-37) 402 ชุดข้อมูล
5	MLR: U2-F2	74.24	73,477,882	383.85	647.98	2,250	0.972	
6	rating curve	93.49	18,585,132	154.95	325.88	1,390	0.987	
7	ANN: U2 - F2	88.90	31,655,063	191.15	425.31	1,758	0.974	1 ปี (2537) 154 ชุดข้อมูล
8	MLR: U2-F2	80.54	55,524,751	371.12	563.28	1,847	0.957	
9	rating curve	94.67	15,214,082	140.74	294.85	1,292	0.989	
10	ANN:U2-F2	99.87	357,405	33.17	45.19	207	0.999	1 ปี (2538) 175 ชุดข้อมูล
11	MLR: U2 -F2	97.55	7,000,861	152.08	200.01	603	0.988	
12	rating curve	99.75	712,370	48.62	63.80	231	0.999	



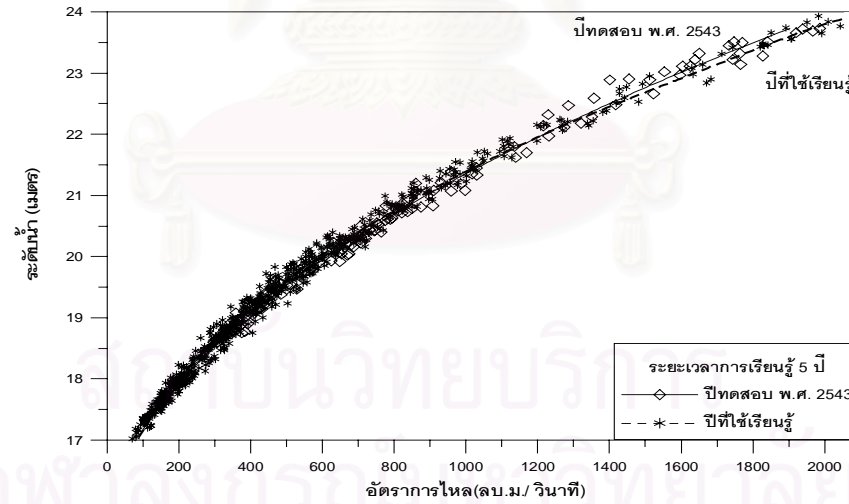
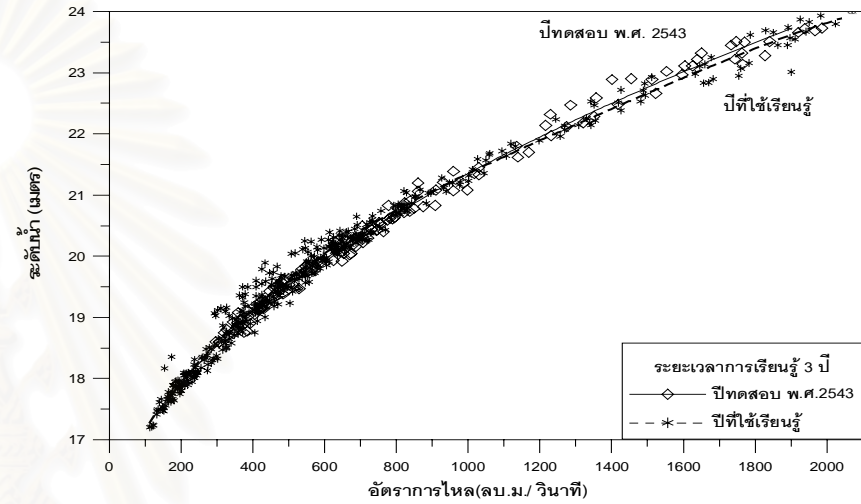
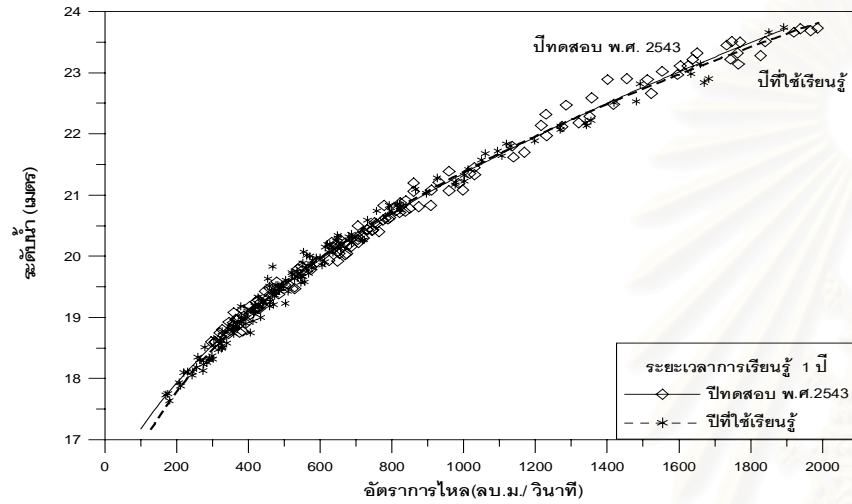
รูปที่ 6-41 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2534 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1ปี 3ปี และ 5ปี



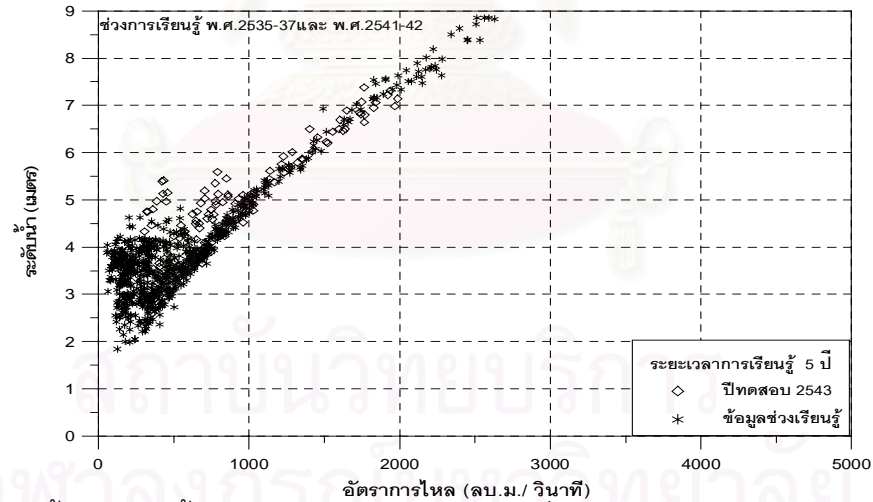
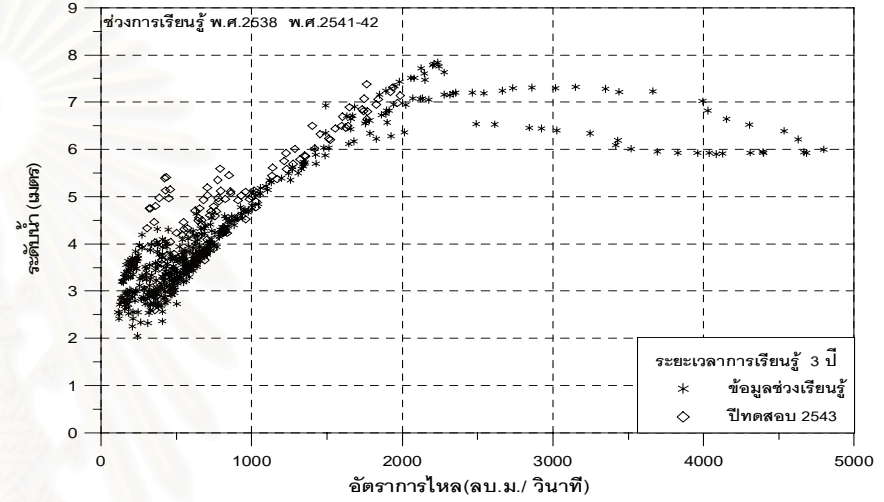
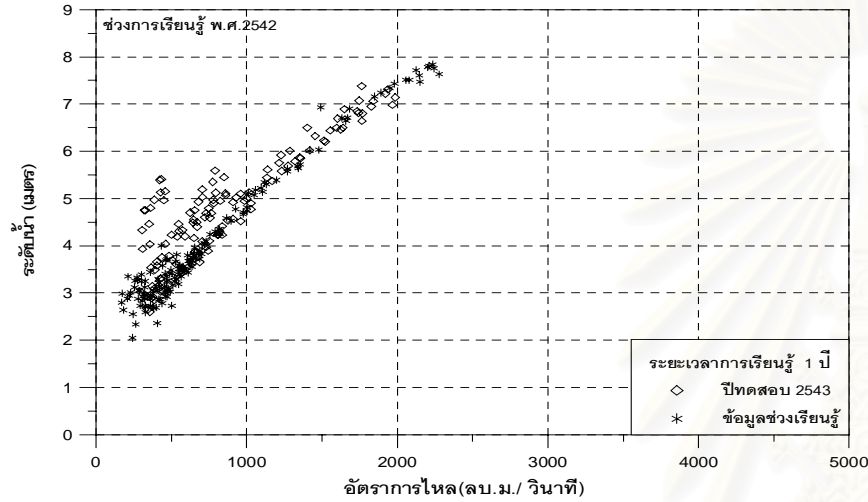
รูปที่ 6-42 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2534 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1ปี 3ปี และ 5 ปี



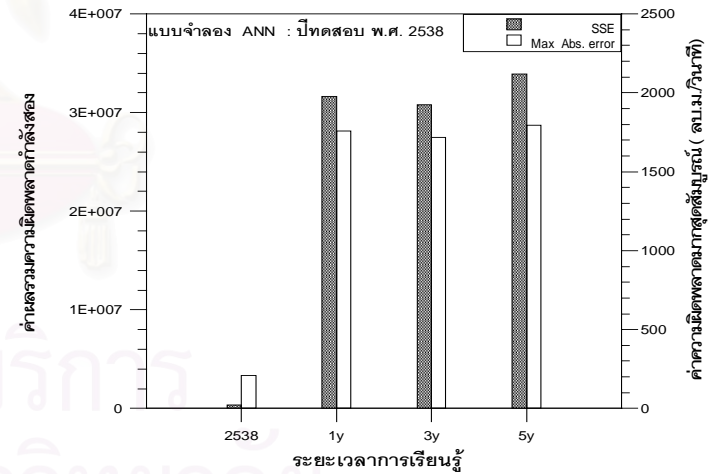
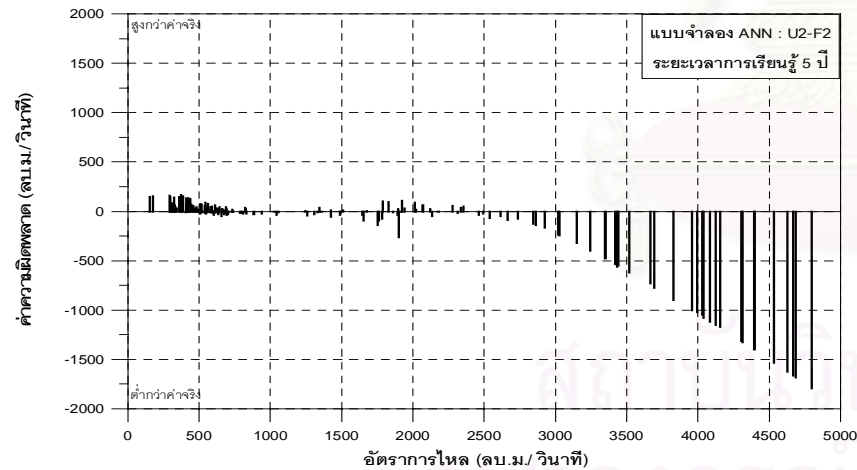
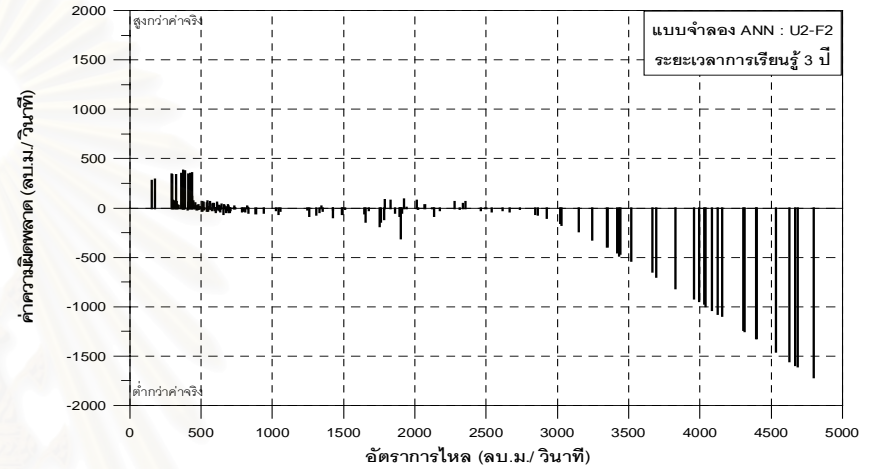
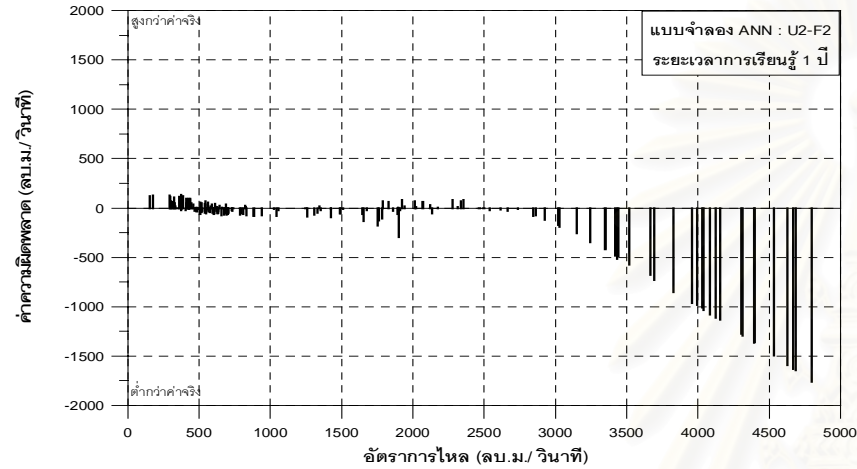
รูปที่ 6-43 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2543 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1ปี 3ปี และ 5ปี



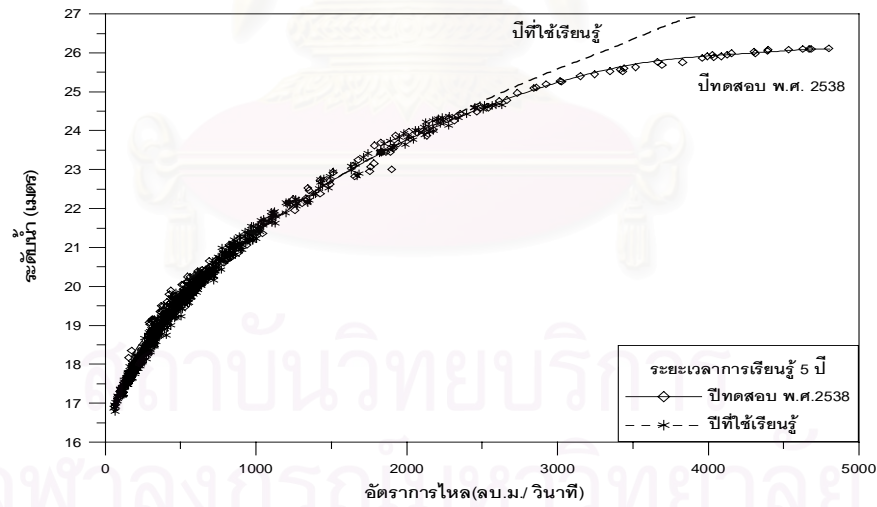
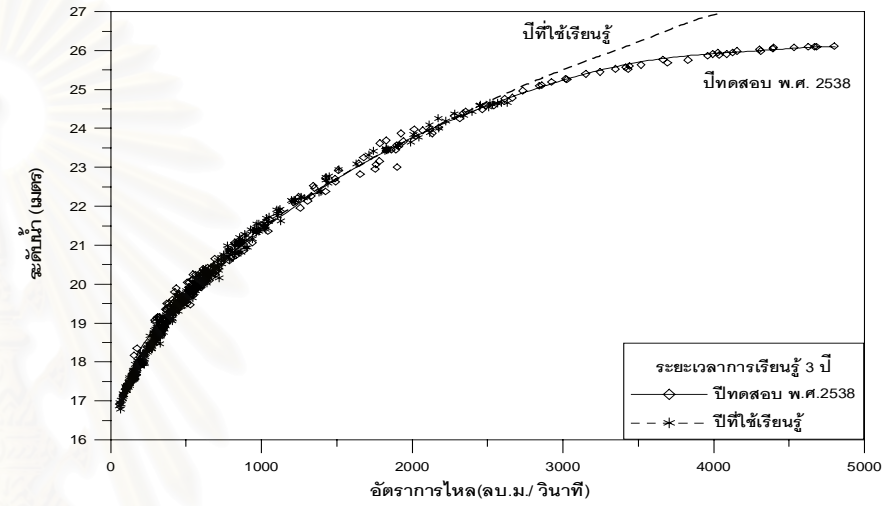
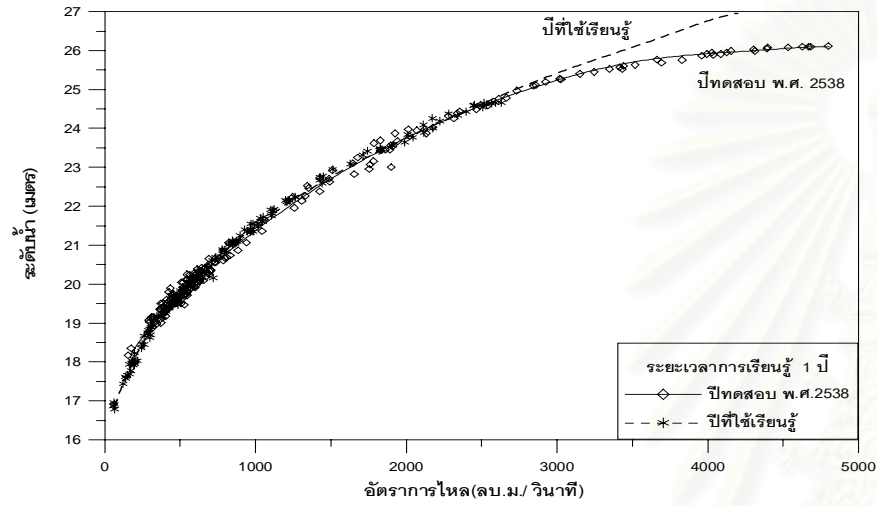
รูปที่ 6-44 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2543 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1ปี 3ปี และ 5 ปี



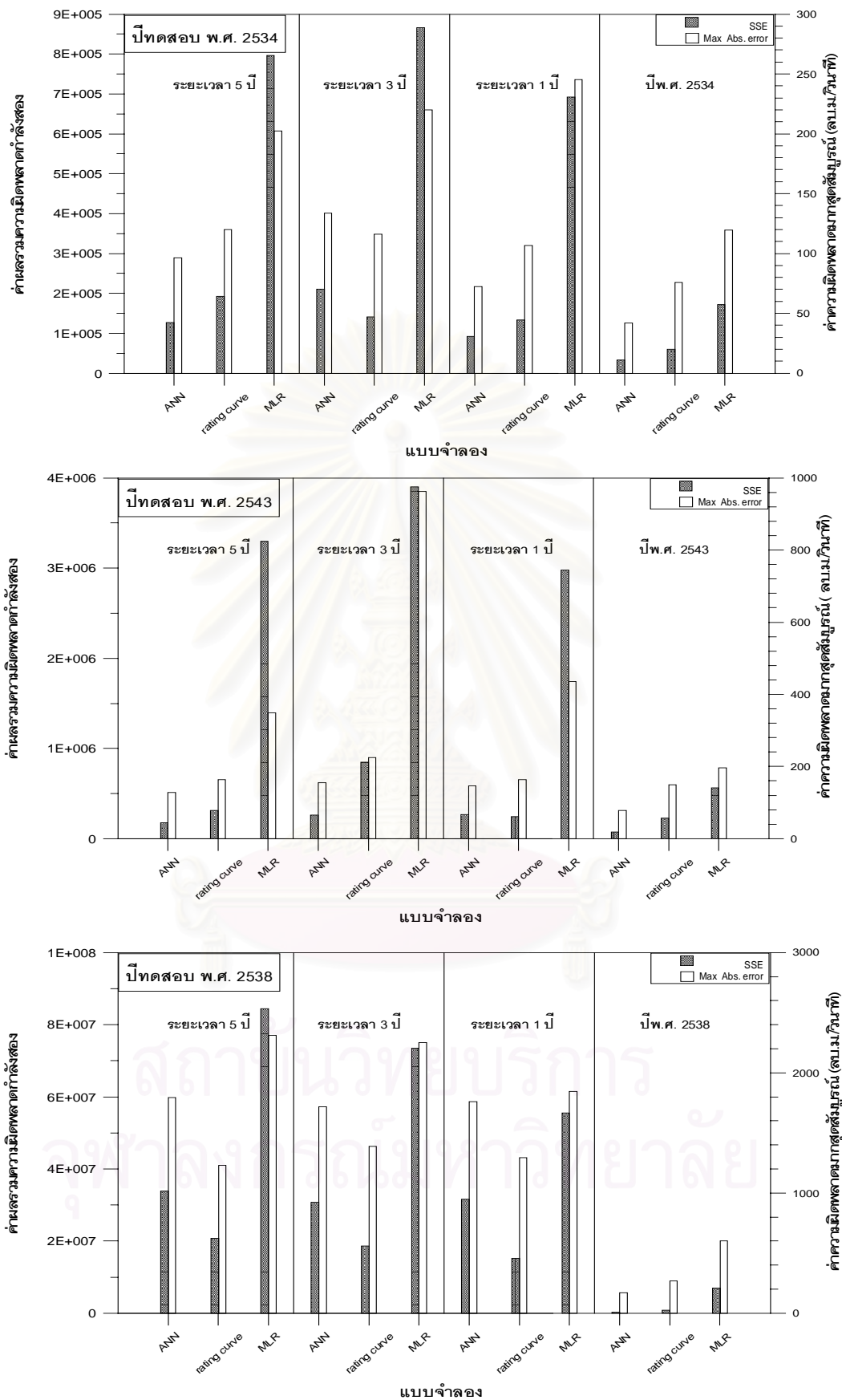
รูปที่ 6-45 ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างระดับน้ำทางทำนน้ำ - อัตราการไหลสถานี C.2 ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2543 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1ปี 3ปี และ 5ปี



รูปที่ 6-46 ค่าความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2538 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1 ปี 3 ปี และ 5 ปี



รูปที่ 6-47 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2538 ช่วงการเรียนรู้ระยะเวลา 1ปี 3ปี และ 5 ปี



รูปที่ 6-48 ผลทดสอบแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ที่การเวียนฐู 1 3 และ 5 ปี

2) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันทั้ง 3 แบบจำลองแล้ว ดังตารางที่ 6-28 ถึง 6-30 จะเห็นว่าแบบจำลอง ANN นั้นจะให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าเป็นส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะใช้ข้อมูลการเรียนรู้เป็นระยะเวลาเท่าใด ยกเว้นเพียงแต่ที่ปีทดสอบ พ.ศ. 2538 ซึ่งแบบจำลองไม่ได้เรียนรู้ข้อมูล ในช่วงดังกล่าวมาก่อน ซึ่งการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลจะให้ผลในการทดสอบของช่วงข้อมูลที่เกินกว่าการเรียนรู้ได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามที่ช่วงอัตราการไหลลดลงถึง หรือ ที่ค่าอัตราการไหลเกินกว่า 3,100 ลบ.ม./วินาทีนั้น ทุกแบบจำลองยังไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ถูกต้อง

6.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของแบบจำลอง ANN

ผลการศึกษาในหัวข้อ 6.3 นี้ แสดงถึงผลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแบบจำลอง ANN อันได้แก่ จำนวนโหนด ค่าของโมเมนต์และค่าของอัตราการเรียนรู้ที่มีต่อแบบจำลอง โดยที่รายละเอียดของผลของการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

6.3.1 โครงสร้างที่เหมาะสมของแบบจำลอง

จากการทดลองใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงโหนดของโครงสร้าง ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 พบว่าโครงสร้างที่เหมาะสมของแบบจำลองในแต่ละตัวแปรนำเข้านั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ไม่สามารถที่จะสรุปได้ชัดเจนว่าจะต้องใช้จำนวนโหนดเป็นอัตราส่วนเท่าไรจึงจะเหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามจากการทดสอบโครงข่ายมากกว่า 3,000 โครงข่ายโดยประมาณ สามารถสรุปได้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษานี้ต่อไปได้ ดังต่อไปนี้

1) หากเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ชั้นแอบแฝงจำนวน 1 กับ 2 ชั้นแล้วพบว่าการใช้ ชั้นแอบแฝงจำนวน 2 ชั้นจะให้ผลที่ดีกว่าค่อนข้างชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้จากทั้ง 74 แบบจำลองที่ใช้ ไม่มีแบบจำลองตัวใดที่ใช้ชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียว และการใช้โหนดเพียง 1 ตัวถือว่าต่ำกว่าเกินกว่าที่โครงข่ายจะสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ได้ โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 6-49 ซึ่งเป็นตัวอย่างโครงข่ายที่ใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการหาโครงสร้างที่เหมาะสม ของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง MLR และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล จะเห็นได้ว่าการใช้โหนดเพียง 1 โหนดจะเกิดปัญหาต่อทุกโครงข่ายเสมอ

จากรูปที่ 6-49 เห็นได้ว่าผลของแบบจำลองที่ได้นั้น จะถูกกำหนดโดยตัวแปรนำเข้าเป็นหลัก แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงข่ายเป็นอย่างไร ค่าผลรวมความผิดพลาดที่ได้จะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบที่ตัวแปรนำเข้าแบบเดียวกัน ยกเว้นแต่จะมีการใช้จำนวนโหนดที่มากจน

เกินไปช่วงหนึ่ง ซึ่งแบบจำลอง ANN จะเริ่มมีความผิดพลาดมากขึ้น ดังตัวอย่างเช่นที่แบบจำลอง T6-D3-U7-F5 ในรูป 6-49 แบบจำลองจะเริ่มเกิดการลู่ออกและค่าความผิดพลาดจะเริ่มสูงขึ้น ที่การใช้จำนวนโหนดที่มากเกินไป 19 โหนดขึ้นไป

2) ในทางปฏิบัติจริงนั้นหากไม่มีการลองผิดลองถูกในการหาโครงข่าย ก็อาจใช้การคำนวณรอบการปรับแก้ที่เพิ่มมากขึ้นกว่าเพื่อลดความผิดพลาดของโครงข่ายลงซึ่งจะทำให้ช่วยประหยัดเวลาในการทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโครงข่ายที่ใช้ชั้นแอบแฝง 2 ชั้น หากพิจารณาที่ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ค่าจะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ค่าความผิดพลาดมากที่สุดสัมบูรณ์จะยังมีความแตกต่างอยู่บ้างแต่เป็นบางโครงข่าย โดยเฉพาะเมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดมากขึ้น ตัวอย่างเช่นที่แบบจำลอง T6-U7 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าจำนวน 10 ตัวแปรด้วยกัน พบว่าที่โครงสร้าง 10-15-8-1 กับ 10-15-15-1 มีค่าผิดพลาดมากที่สุดแตกต่างกันอยู่ 50 ลบ.ม./วินาที หรือที่แบบจำลอง T6 ซึ่งใช้ตัวแปรนำเข้าเพียงแค่ 3 ตัวแปร พบว่าที่โครงสร้าง 3-4-4-1 มีค่าผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 167 ลบ.ม./วินาที ในขณะที่โครงสร้าง 3-4-2-1 มีค่าผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 244 ลบ.ม./วินาที ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโครงสร้างจะมีผลที่สำคัญต่อแบบจำลองด้วย ซึ่งหากมีการทดลองใช้โครงข่ายที่น้อยเกินไปจะมีโอกาสที่จะพบกับความผิดพลาดสูงได้ง่าย

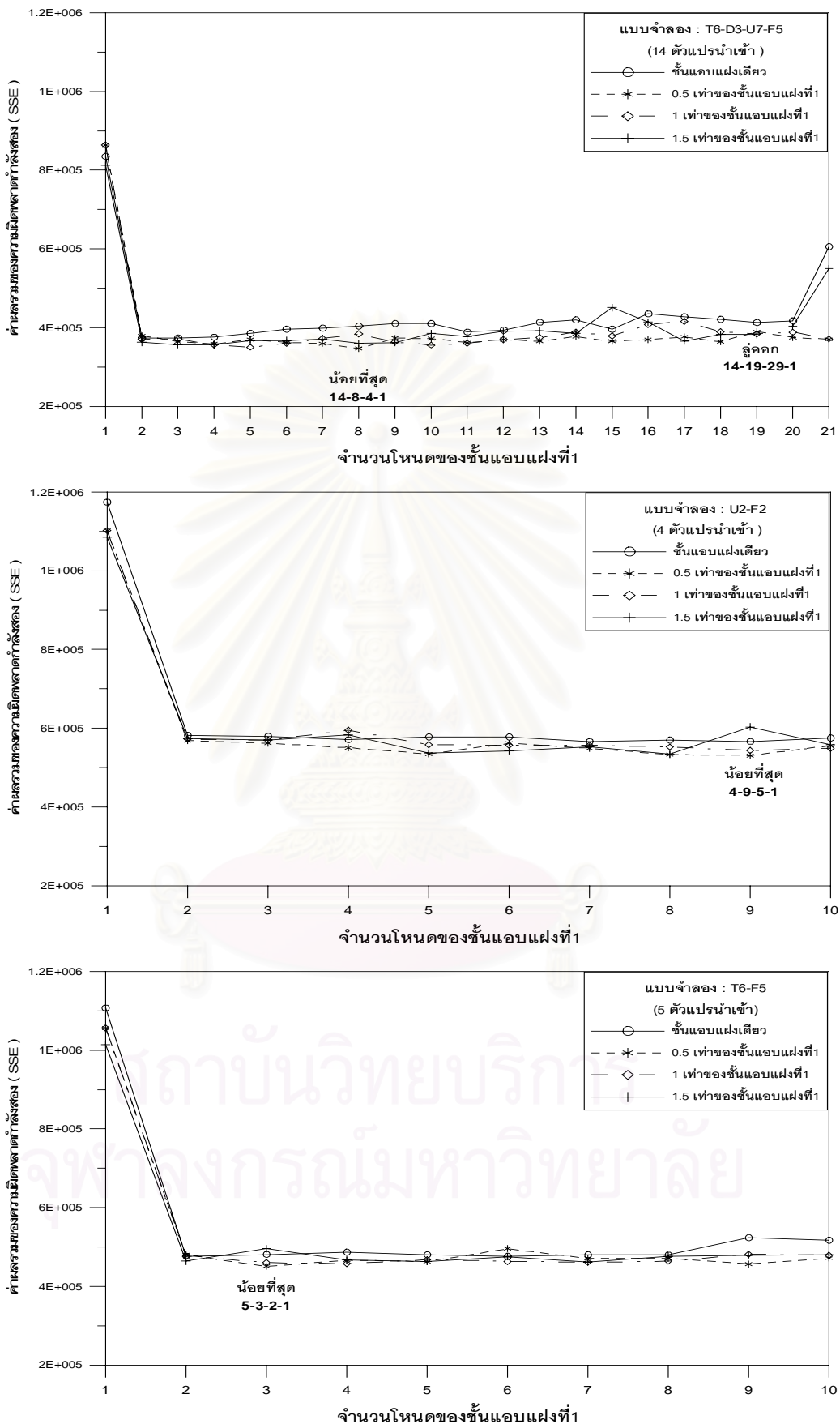
3) จำนวนของข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ นั้น จะมีผลต่อจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย กล่าวคือจำนวนข้อมูลที่น้อยการคำนวณปรับแก้จะใช้จำนวนรอบที่มากกว่าการใช้ข้อมูลในการเรียนรู้มาก ดังแสดงในรูปที่ 6-50 ซึ่งแสดงค่ารากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของค่าเอาต์พุตที่ได้จากแบบจำลองซึ่งยังอยู่ในรูปไร้หน่วย โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการคำนวณนั้น แบบจำลอง ANN จะสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ได้ดีจากจำนวนข้อมูลที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความแตกต่างของความผิดพลาดจะลดลงเมื่อมีการคำนวณที่เพิ่มขึ้น

6.3.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัมและอัตราการเรียนรู้

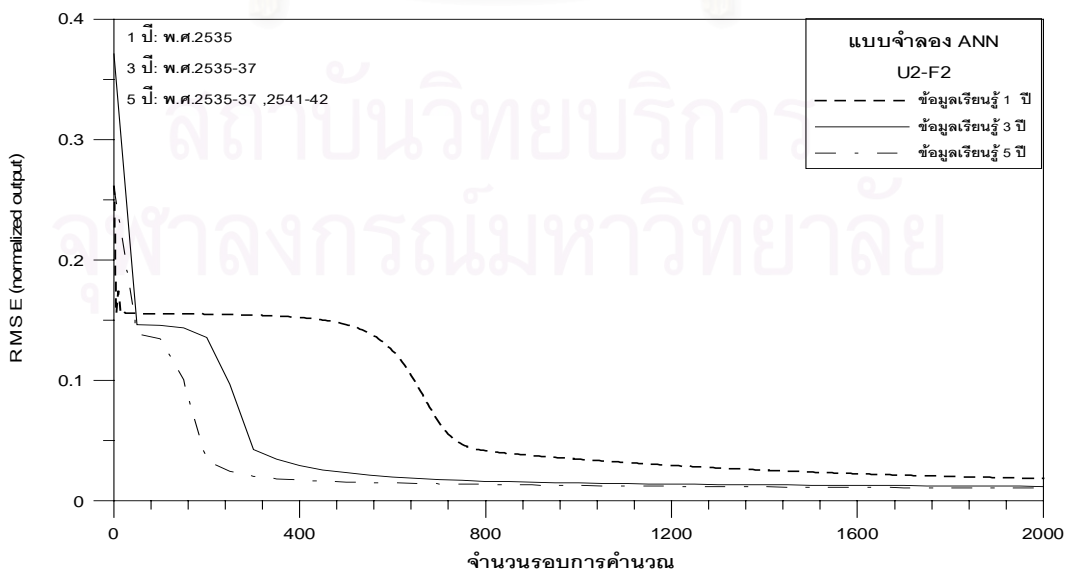
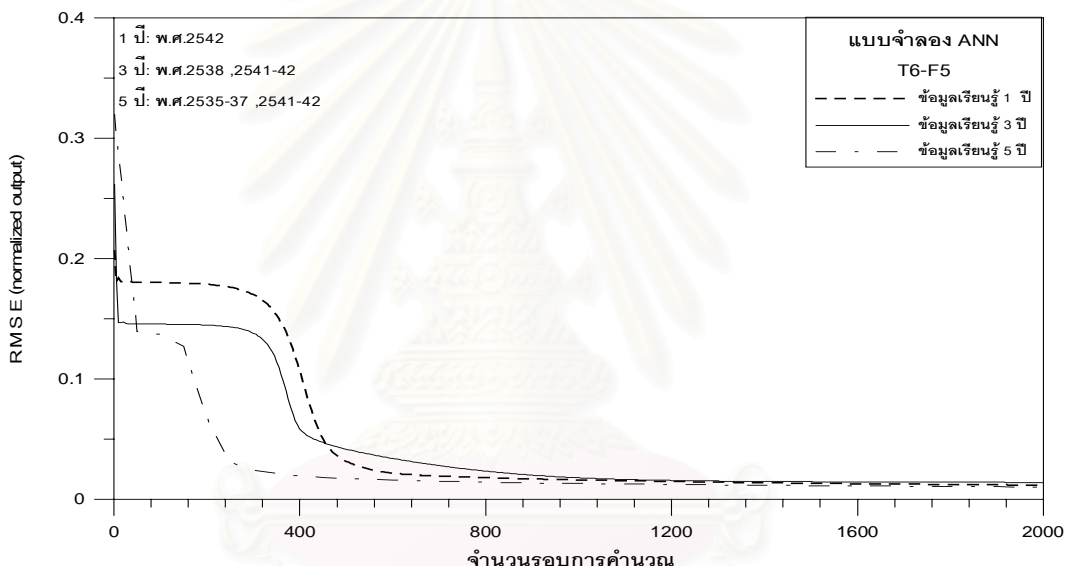
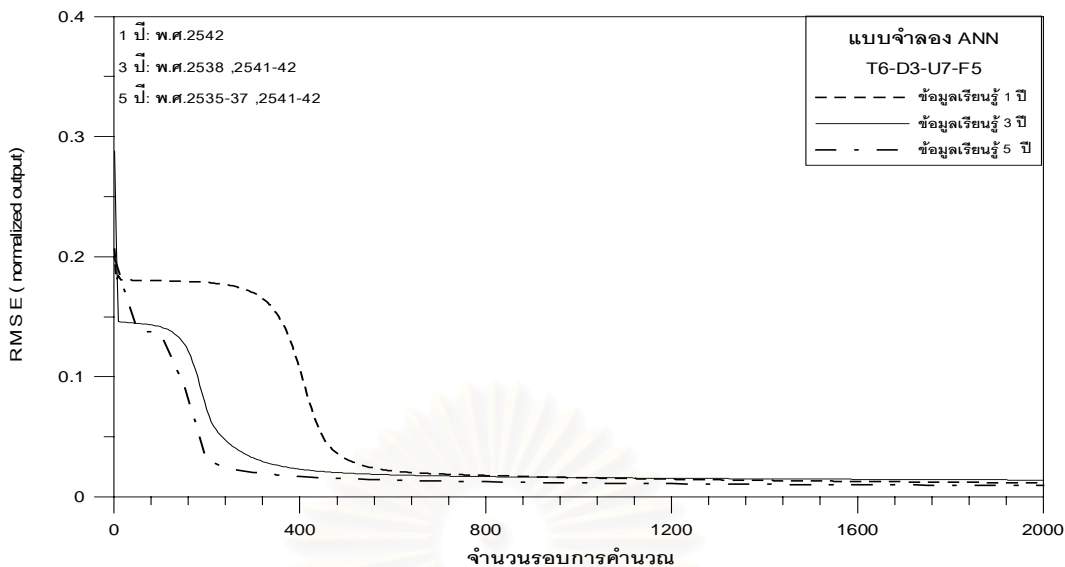
ผลการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัมและค่าอัตราการเรียนรู้ถูกแสดงดังตารางที่ 6-31 ถึง 6-32 ซึ่งแบบจำลองที่นำมาทดลองเปลี่ยนแปลง มีด้วยกัน 3 แบบจำลองคือ แบบจำลอง T6-D3-U7-F5 แบบจำลอง U2-F2 และ แบบจำลอง T6-F5 ผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การใช้ค่าของอัตราการเรียนรู้นั้น จากการทดสอบพบว่าควรมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.01 ถึง 0.025 ซึ่งผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนักในช่วงนี้ แต่เมื่อใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ที่มากเกินไปจะเกิดปัญหาของการแกว่งและการลู่ออก ทำให้ค่าที่ได้มีความผิดพลาดมาก ในขณะที่หากกำหนดเป็นค่าที่น้อยเกินไป เช่น 0.001 แบบจำลองเรียนจะรู้ได้ช้ามากเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 6-51

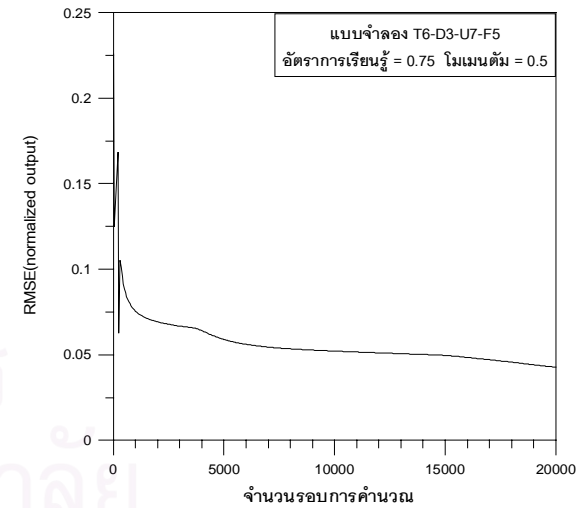
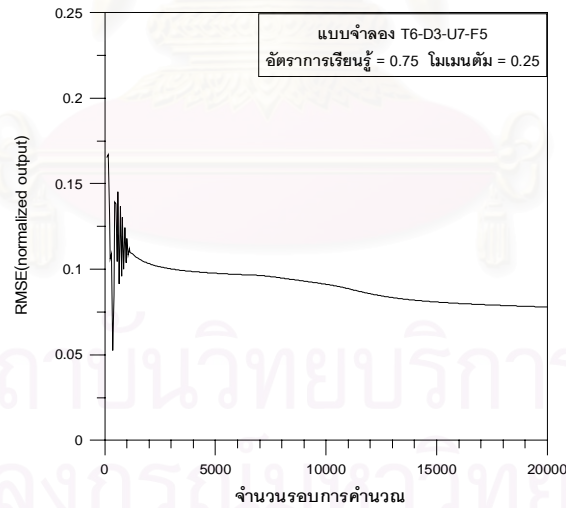
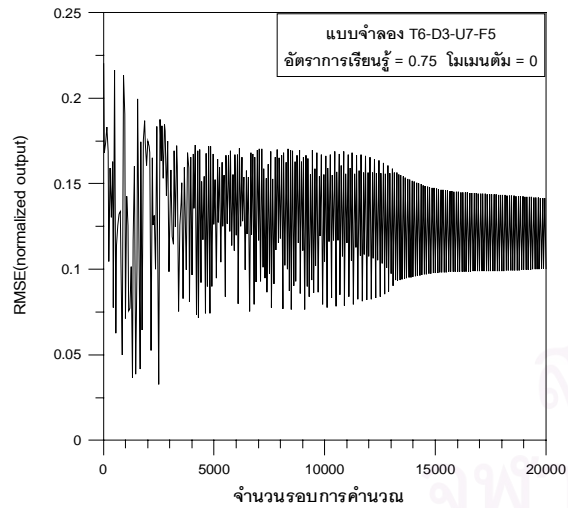
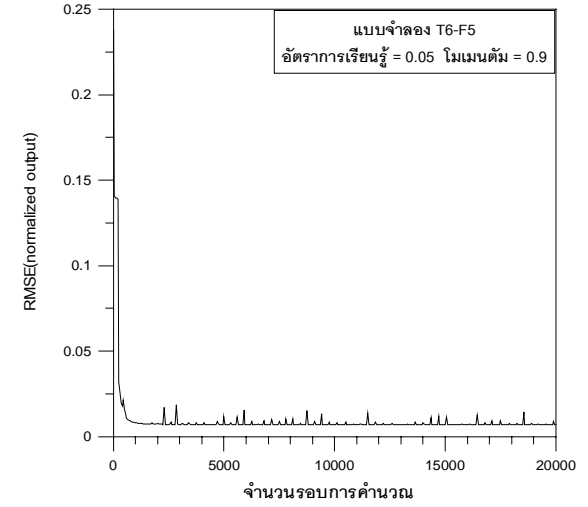
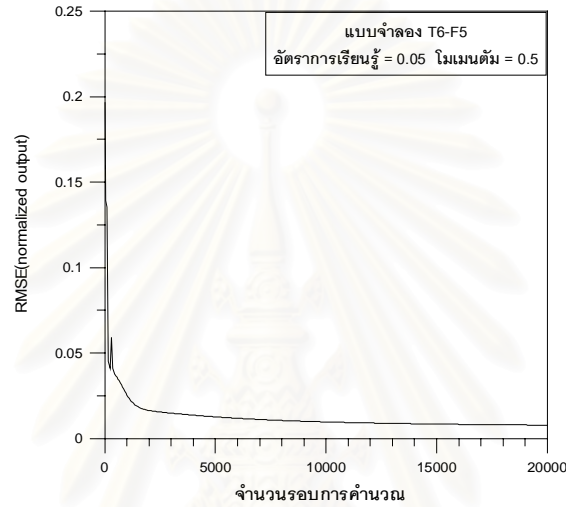
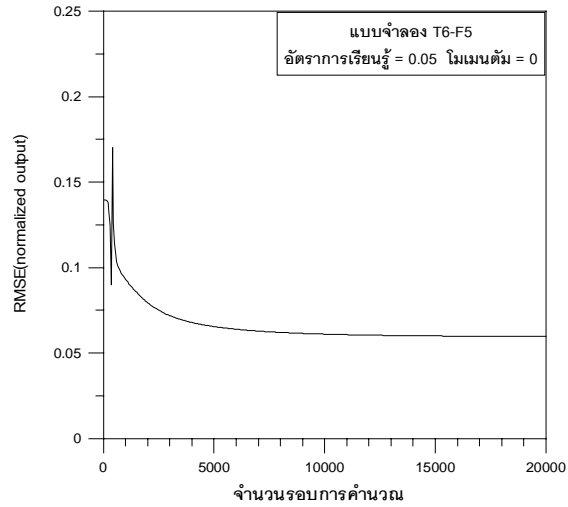
2) การใช้ค่าของโมเมนตัมนั้นจะทำให้แบบจำลองลดการแกว่งลง โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 6-52 แบบจำลอง T6-D3-U7-F5 เมื่อไม่ใช้ค่าโมเมนตัม แบบจำลองจะมีปัญหาในการแกว่งแต่เมื่อเริ่มกำหนดค่าโมเมนตัมลงไปเป็น 0.25 แบบจำลองจะลดการแกว่งลงอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเพิ่มค่าของโมเมนตัมเป็น 0.5 พบว่าแบบจำลองมีการลู่ออกค่าตอบที่ดีขึ้น เช่นเดียวกันกับที่แบบจำลอง T6-F5 แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มค่าของโมเมนตัมก็ไม่สามารถแก้ปัญหาของการแกว่งได้ทุกครั้งไป สำหรับการศึกษานี้พบว่าค่าของโมเมนตัมน่าจะใช้อยู่ที่ประมาณ 0.8 - 0.9 โดยที่การใช้ค่าโมเมนตัมเป็น 0.9 นั้น ทำให้การลู่ออกค่าตอบเร็วที่สุด ซึ่งจากรูปที่ 6-49 จะเห็นได้ว่าการแกว่งเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่ได้มีผลกระทบต่อแบบจำลองเท่าใดนัก



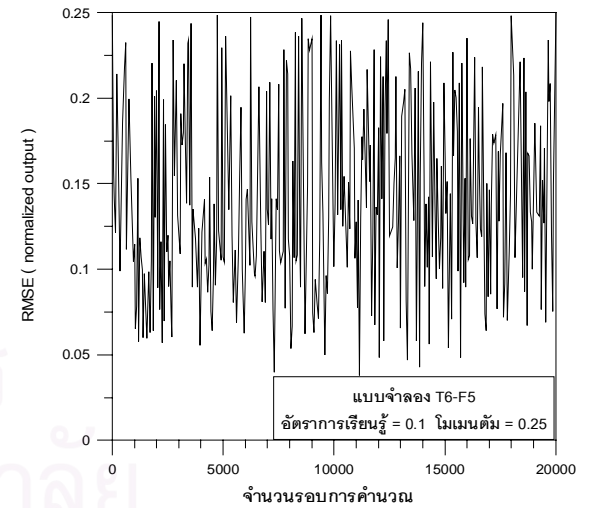
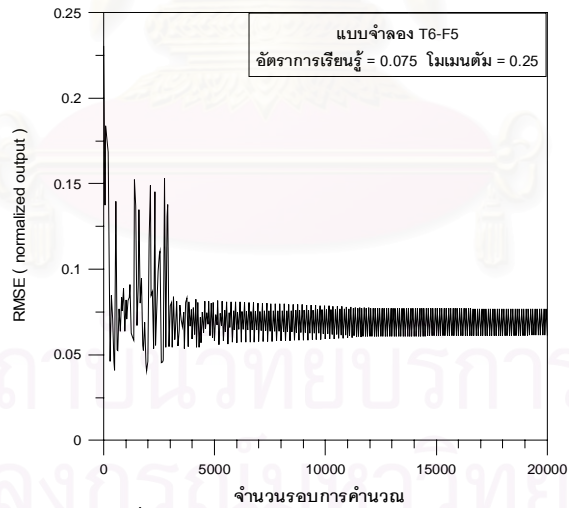
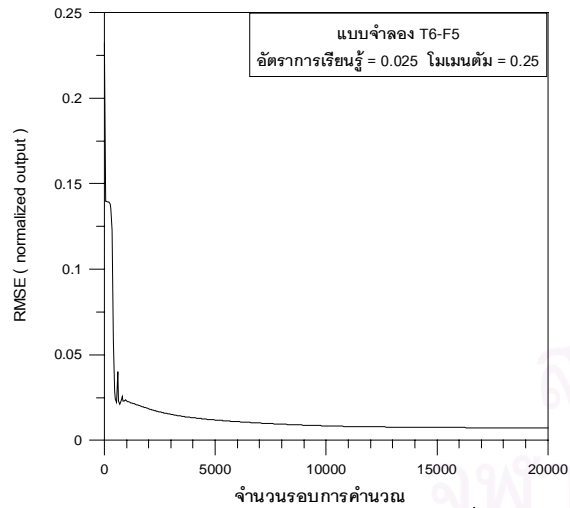
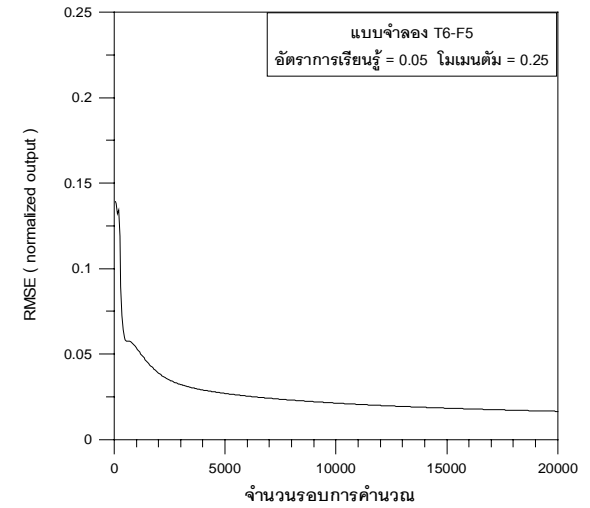
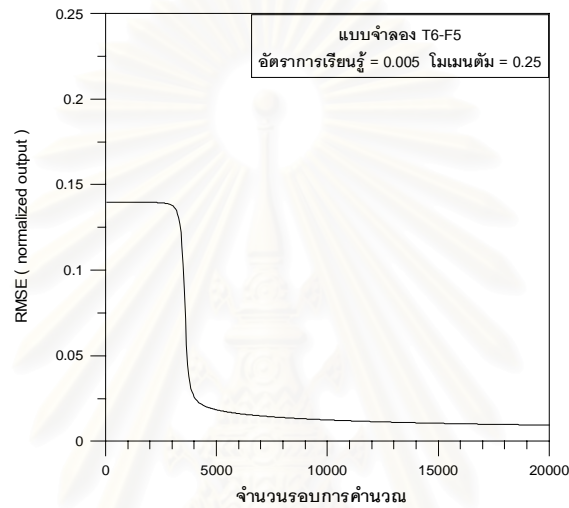
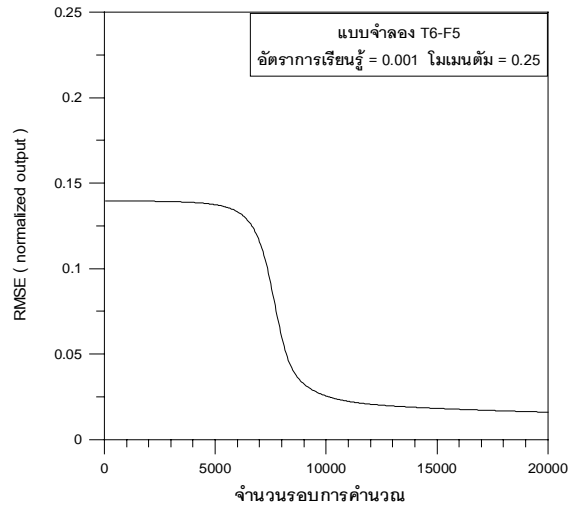
รูปที่ 6-49 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดของแบบจำลอง ANN ที่ใช้ในการศึกษาที่ 2



รูปที่ 6-50 ตัวอย่างจำนวนรอบการเรียนรู้ของ แบบจำลอง ANN ที่ข้อมูลการเรียนรู้ 1 3 และ 5 ปี



รูปที่ 6-51 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนตัมของแบบจำลอง ANN



รูปที่ 6-52 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการเรียนรู้ของ แบบจำลอง ANN

ตารางที่ 6-31 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนต์และค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง

T6-D3-U7-F5

No.	โมเมนต์	อัตราการเรียนรู้	ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	0.001	98.72	2,283,095	38.86	58.12	403	0.994	เกิดการแกว่ง เกิดการแกว่ง ลู่ออก ลู่ออก
2		0.005	99.66	600,809	21.12	29.81	185	0.998	
3		0.010	99.70	541,036	19.90	28.29	173	0.998	
4		0.025	99.65	617,889	22.49	30.23	146	0.999	
5		0.050	99.27	1,311,259	37.46	44.04	174	0.999	
6		0.075	48.31	92,232,457	358.53	369.38	910	0.985	
7		0.100	77.29	40,510,111	184.10	244.80	911	0.977	
8		0.500	-	-	-	-	-	-	
9		0.750	-	-	-	-	-	-	
10	0.25	0.001	99.04	1,709,399	33.41	50.29	354	0.995	เกิดการแกว่ง เกิดการแกว่ง ลู่ออก ลู่ออก
11		0.005	99.64	638,420	21.69	30.73	193	0.998	
12		0.010	99.70	535,430	20.15	28.14	168	0.999	
13		0.025	99.74	467,116	19.28	26.29	123	0.999	
14		0.050	98.36	2,922,697	60.05	65.75	217	0.998	
15		0.075	68.92	55,459,957	277.94	286.43	739	0.991	
16		0.100	-	-	-	-	-	-	
17		0.500	-	-	-	-	-	-	
18		0.750	-	-	-	-	-	-	
19	0.50	0.001	99.25	1,338,574	29.46	44.50	300	0.996	เกิดการแกว่ง ลู่ออก ลู่ออก
20		0.005	99.69	558,323	20.30	28.74	175	0.998	
21		0.010	99.75	448,380	18.38	25.75	143	0.999	
22		0.025	99.77	406,968	17.80	24.54	142	0.999	
23		0.050	99.69	549,238	22.02	28.50	110	0.999	
24		0.075	90.65	16,676,127	150.75	157.06	403	0.996	
25		0.100	66.24	60,225,784	284.54	298.48	684	0.984	
26		0.500	-	-	-	-	-	-	
27		0.750	-	-	-	-	-	-	
28	0.60	0.001	99.47	949,897	25.14	37.49	267	0.997	ลู่ออก ลู่ออก ลู่ออก
29		0.005	99.70	542,983	19.75	28.34	178	0.998	
30		0.010	99.77	418,072	17.75	24.87	133	0.999	
31		0.025	99.81	345,897	16.17	22.62	100	0.999	
32		0.050	99.73	473,444	19.87	26.46	115	0.999	
33		0.075	91.46	15,232,437	142.55	150.11	499	0.996	
34		0.100	-	-	-	-	-	-	
35		0.500	-	-	-	-	-	-	
36		0.750	-	-	-	-	-	-	

ตารางที่ 6-31 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนต์และค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง

T6-D3-U7-F5(ต่อ)

No.	โมเมนต์	อัตราการเรียนรู้	ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ	
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r		
37	0.70	0.001	99.52	853,658	23.94	35.54	237	0.998	ลู่ออก	
38		0.005	99.74	470,412	18.80	26.38	151	0.999		
39		0.010	99.78	395,394	17.21	24.18	126	0.999		
40		0.025	99.81	342,985	16.05	22.52	108	0.999		
41		0.050	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
42		0.075	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
43		0.100	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
44		0.500	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
45		0.750	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
46	0.80	0.001	99.55	801,577	23.77	34.43	222	0.998	ลู่ออก	
47		0.005	99.73	479,879	19.01	26.64	153	0.999		
48		0.010	99.79	374,895	16.55	23.55	122	0.999		
49		0.025	99.81	338,772	15.90	22.39	107	0.999		
50		0.050	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
51		0.075	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
52		0.100	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
53		0.500	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
54		0.750	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
55	0.90	0.001	99.67	589,867	20.77	29.54	182	0.998	ลู่ออก	
56		0.005	99.80	359,679	16.39	23.07	109	0.999		
57		0.010	99.81	341,525	15.93	22.48	113	0.999		
58		0.025	99.82	324,140	15.58	21.90	96	0.999		** ดีที่สุด **
59		0.050	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
60		0.075	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
61		0.100	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
62		0.500	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก
63		0.750	-	-	-	-	-	-		ลู่ออก

ตารางที่ 6-32 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนต์และค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง

U2-F2

No.	โมเมนต์	อัตราการเรียนรู้	ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs Error (m^3/s)	r	
1	0	0.001	98.56	2,572,061	34.69	61.68	424	0.993	เกิดการแกว่ง เกิดการแกว่ง หลุดออก หลุดออก หลุดออก
2		0.005	99.38	1,097,614	28.04	40.30	268	0.997	
3		0.010	99.55	809,995	24.27	34.62	215	0.998	
4		0.025	99.54	828,934	26.72	35.02	157	0.998	
5		0.050	87.17	22,897,190	176.72	184.04	495	0.995	
6		0.075	73.67	46,975,735	244.36	263.61	591	0.968	
7		0.100	-	-	-	-	-	-	
8		0.500	-	-	-	-	-	-	
9		0.750	-	-	-	-	-	-	
10	0.25	0.001	98.84	2,066,022	37.11	55.28	357	0.994	เกิดการแกว่ง เกิดการแกว่ง หลุดออก หลุดออก
11		0.005	99.53	837,479	24.72	35.20	226	0.998	
12		0.010	99.64	639,807	21.58	30.76	184	0.998	
13		0.025	99.59	728,002	24.76	32.82	137	0.998	
14		0.050	98.53	2,626,333	54.93	62.33	204	0.998	
15		0.075	65.30	61,919,345	287.35	302.65	892	0.985	
16		0.100	58.91	73,310,116	286.72	329.31	782	0.946	
17		0.500	-	-	-	-	-	-	
18		0.750	-	-	-	-	-	-	
19	0.50	0.001	99.04	1,711,906	34.55	50.32	329	0.995	หลุดออก หลุดออก หลุดออก หลุดออก
20		0.005	99.57	765,496	23.46	33.65	213	0.998	
21		0.010	99.60	715,952	22.89	32.54	200	0.998	
22		0.025	99.69	552,707	20.18	28.59	144	0.998	
23		0.050	99.58	748,561	25.14	33.28	139	0.999	
24		0.075	-	-	-	-	-	-	
25		0.100	-	-	-	-	-	-	
26		0.500	-	-	-	-	-	-	
27		0.750	-	-	-	-	-	-	
28	0.60	0.001	99.32	1,208,967	28.78	42.29	281	0.997	หลุดออก หลุดออก หลุดออก หลุดออก
29		0.005	99.48	933,597	26.26	37.16	238	0.997	
30		0.010	99.69	555,097	20.34	28.66	141	0.998	
31		0.025	99.69	550,056	20.19	28.53	139	0.998	
32		0.050	99.67	585,260	21.69	29.42	125	0.999	
33		0.075	-	-	-	-	-	-	
34		0.100	-	-	-	-	-	-	
35		0.500	-	-	-	-	-	-	
36		0.750	-	-	-	-	-	-	

ตารางที่ 6-32 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนต์และค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง

U2-F2 (ต่อ)

No.	โมเมนต์	อัตราการเรียนรู้	ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ	
			EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs Error (m^3/s)	r		
37	0.70	0.001	99.40	1,073,379	27.39	39.85	269	0.997	ผู้ออก	
38		0.005	99.67	588,091	20.58	29.50	166	0.998		
39		0.010	99.69	546,377	20.11	28.43	135	0.998		
40		0.025	99.70	528,683	19.90	27.97	124	0.999		
41		0.050	99.68	579,014	21.40	29.27	125	0.999		
42		0.075	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
43		0.100	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
44		0.500	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
45		0.750	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
46	0.80	0.001	99.40	1,075,276	27.98	39.88	259	0.997	ผู้ออก	
47		0.005	99.69	559,219	20.43	28.76	143	0.998		
48		0.010	99.70	541,635	19.99	28.31	134	0.998		
49		0.025	99.70	530,790	20.08	28.02	121	0.999		
50		0.050	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
51		0.075	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
52		0.100	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
53		0.500	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
54		0.750	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
55	0.90	0.001	99.58	746,468	23.08	33.23	218	0.998	ผู้ออก	
56		0.005	99.69	551,806	20.18	28.57	140	0.998		
57		0.010	99.71	518,860	19.89	27.70	115	0.999		
58		0.025	99.75	452,510	18.90	25.87	116	0.999		** ดีที่สุด **
59		0.050	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
60		0.075	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
61		0.100	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
62		0.500	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก
63		0.750	-	-	-	-	-	-		ผู้ออก

ตารางที่ 6-33 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าของโมเมนต์และค่าของอัตราการเรียนรู้ ของแบบจำลอง

T6-F5(ต่อ)

No.	โมเมนต์	อัตราการเรียนรู้	ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ	
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r		
37	0.70	0.001	99.09	1,625,426	35.20	49.04	322	0.996	ลู่ออก	
38		0.005	99.66	605,645	21.49	29.93	193	0.998		
39		0.010	99.72	503,022	19.83	27.28	153	0.999		
40		0.025	99.75	443,373	19.00	25.61	112	0.999		
41		0.050	-	-	-	-	-	-		
42		0.075	-	-	-	-	-	-		
43		0.100	-	-	-	-	-	-		
44		0.500	-	-	-	-	-	-		
45		0.750	-	-	-	-	-	-		
46		0.80	0.001	99.24	1,350,529	31.12	44.70	307		0.996
47	0.005		99.71	523,495	20.09	27.83	164	0.999		
48	0.010		99.74	467,921	19.31	26.31	131	0.999		
49	0.025		99.76	433,337	18.94	25.32	96	0.999		
50	0.050		-	-	-	-	-	-		
51	0.075		-	-	-	-	-	-		
52	0.100		-	-	-	-	-	-		
53	0.500		-	-	-	-	-	-		
54	0.750		-	-	-	-	-	-		
55	0.90		0.001	99.47	950,804	26.06	37.50	269	0.997	ลู่ออก
56		0.005	99.72	495,424	19.71	27.07	148	0.999		
57		0.010	99.75	442,315	19.09	25.58	106	0.999		
58		0.025	99.76	424,069	18.71	25.05	98	0.999		
59		0.050	99.76	423,654	18.81	25.03	97	0.999	** ดีที่สุด **	
60		0.075	-	-	-	-	-	-		
61		0.100	-	-	-	-	-	-		
62		0.500	-	-	-	-	-	-		
63		0.750	-	-	-	-	-	-		

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการศึกษา

ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้เป็น 3 ประเด็นหลักด้วยกัน ตามขั้นตอนของการศึกษานี้ คือ

- 1) การเลือกใช้ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ซึ่งเป็นผลสรุปจากการใช้ตัวแปรนำเข้าหลายๆ รูปแบบ รวมทั้งสิ้น 74 แบบจำลองด้วยกัน
- 2) การเปรียบเทียบผลที่ได้จาก แบบจำลอง ANN แบบจำลอง MLR และกราฟความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยเปรียบเทียบที่ช่วงการเรียนรู้ 1, 3 และ 5 ปี
- 3) ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนด ค่าอัตราการเรียนรู้และค่าโมเมนตัม โดยในแต่ละแบบจำลอง ได้ทดลองเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดไม่ต่ำกว่า 39 โครงข่าย

รายละเอียดของผลการสรุปในการศึกษาการใช้แบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลมีดังต่อไปนี้

7.1.1 ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN

สำหรับวิธีการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการศึกษา คือ วิธีการลองผิดลองถูกเพื่อที่จะต้องการศึกษาผลของแบบจำลอง ANN จากตัวแปรนำเข้าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในการศึกษาที่ผ่านมาของการใช้แบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำกับอัตราการไหลนั้น จะเห็นได้ว่าในแต่ละการศึกษามีความแตกต่างกันที่การเลือกใช้ตัวแปรนำเข้า ดังนั้นการเปรียบเทียบหาตัวแปรนำเข้าที่ดีที่สุด จึงถือเป็นส่วนสำคัญของการศึกษานี้

แต่อย่างไรก็ตามจากข้อมูลที่มีอยู่นั้นมีข้อจำกัดในการใช้ตัวแปรบางตัวแปรซึ่งไม่สามารถใช้ได้เช่นเดียวกับการศึกษาอื่น คือการใช้ค่าของอัตราการไหลที่เวลาย้อนหลัง (Q_{t-1}, Q_{t-2}, \dots) เนื่องจากลักษณะการเก็บข้อมูลหรือวัดอัตราการไหลนั้นส่วนใหญ่ไม่ได้มีการเก็บที่ต่อเนื่องกันทุกวัน แต่หากพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์ของแบบจำลองในทางปฏิบัติแล้ว การสร้างแบบจำลองที่ไม่ใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าของอัตราการไหลเลยนั้น จะให้ประโยชน์ต่อผู้ใช้น้อยที่สุด เนื่องจากไม่จำเป็นที่ต้องวัดค่าอัตราการไหลในแม่น้ำ เช่นเดียวกับลักษณะการใช้งานของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล ดังนั้นการศึกษาคงพยายามใช้ข้อมูลนำเข้าที่เป็นค่าระดับน้ำทั้งด้านเหนือ

น้ำและทำynnน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำกรวัดได้ง่ายและมีการบันทึกได้ต่อเนื่องมาใช้เป็นตัวแปรนำเข้าให้กับแบบจำลอง ANN ผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) จากผลการศึกษาตัวแปรนำเข้าแบบจำลอง ANN จะเห็นได้ว่าในช่วงของการเรียนรู้นั้น การเพิ่มตัวแปรนำเข้าให้กับแบบจำลองจะทำให้ประสิทธิภาพในการเรียนรู้มีค่าที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าตัวแปรนำเข้าที่เพิ่มเข้ามานั้น จะไม่มีความสัมพันธ์กับค่าของอัตราการไหลที่สถานี C.2 เลยก็ตาม เช่น ค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ(dh/dt) หรือตัวแปรนำเข้าที่เพิ่มเข้ามานั้นมีความสัมพันธ์ต่อกันเองสูง แบบจำลองก็สามารถที่จะเพิ่มความสามารถในการเรียนรู้ได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การเลือกตัวแปรนำเข้านี้วิธีการลองผิดลองถูกยังมีความจำเป็นสำหรับแบบจำลอง ANN ในบางกรณีเนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจนเหมือนแบบจำลองทางสถิติ

ซึ่งจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าหากใช้วิธีการคัดเลือกโดยใช้เกณฑ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะทำให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำนั้นไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา สิ่งที่น่าสังเกตคือ ตัวแปรนำเข้าที่เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำนั้น จะมีเครื่องหมายบวกหรือลบเข้ามาเกี่ยวข้องจึงน่าจะเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้แบบจำลอง ANN สามารถแสดงผลได้ดีกว่าการใช้ค่าระดับน้ำย้อนหลัง (H_{t-1})

2) หากพิจารณาถึงลักษณะของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษานี้ จะพบว่าตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองต่างๆ มีความสัมพันธ์ต่อกันเองที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นข้อมูลของค่าระดับน้ำที่อยู่ในแม่น้ำเดียวกันการขึ้น - ลงของระดับน้ำที่สถานีหนึ่งจะสัมพันธ์ต่อสถานีที่อยู่ติดกัน ดังนั้นผลที่ได้ในแต่ละแบบจำลองจึงมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและไม่มีความสำคัญเท่าไรนัก หากเปรียบเทียบที่ค่าของความผิดพลาดเฉลี่ย (MAE) หรือค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพ (EI) เนื่องจากตัวแปรที่ใช้อยู่ในประเภทเดียวกัน ซึ่งเมื่อเทียบกับการประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ เช่น การทำนายค่าของอัตราการไหล จะพบว่าแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรนำเข้าต่างประเภทกันตัวอย่างเช่น ค่าอัตราการไหลกับข้อมูลฝน จะให้ความแตกต่างกันที่ค่อนข้างชัดเจนกว่า โดยจะเห็นได้จากการศึกษาของDanhและคณะ (1999) กับการศึกษาของ Tokar และ Markus (2000)

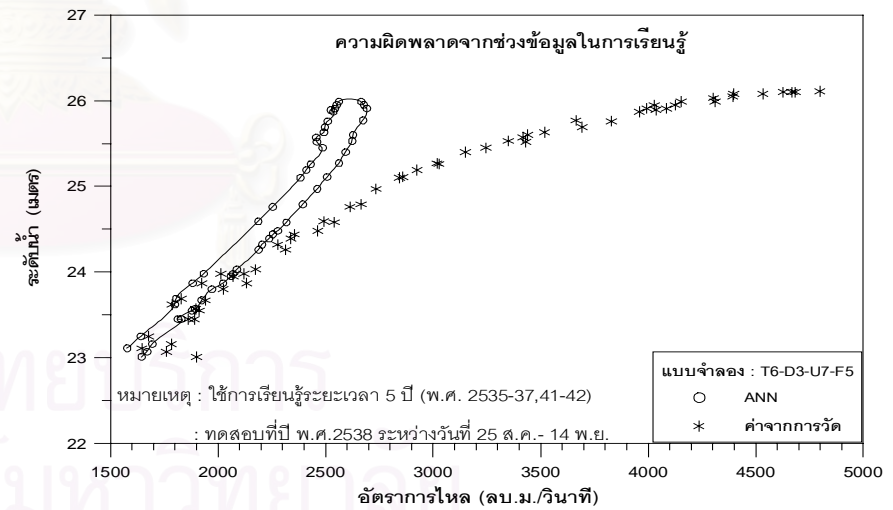
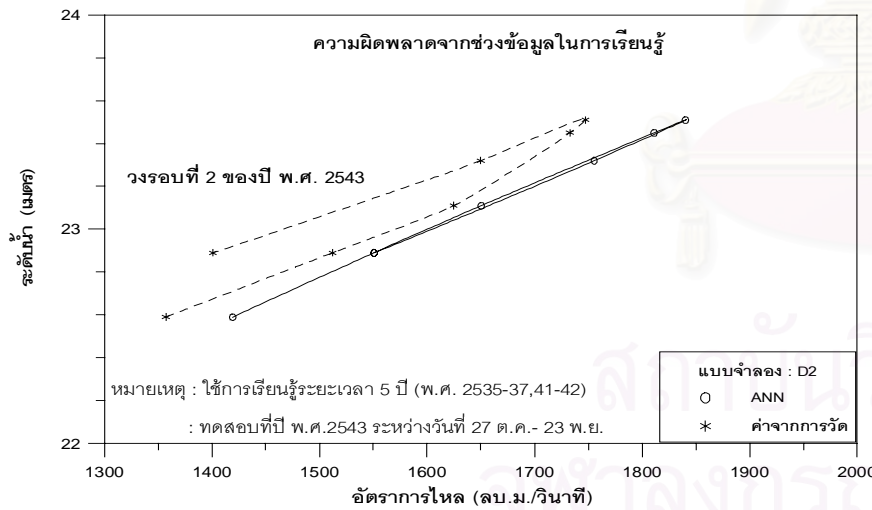
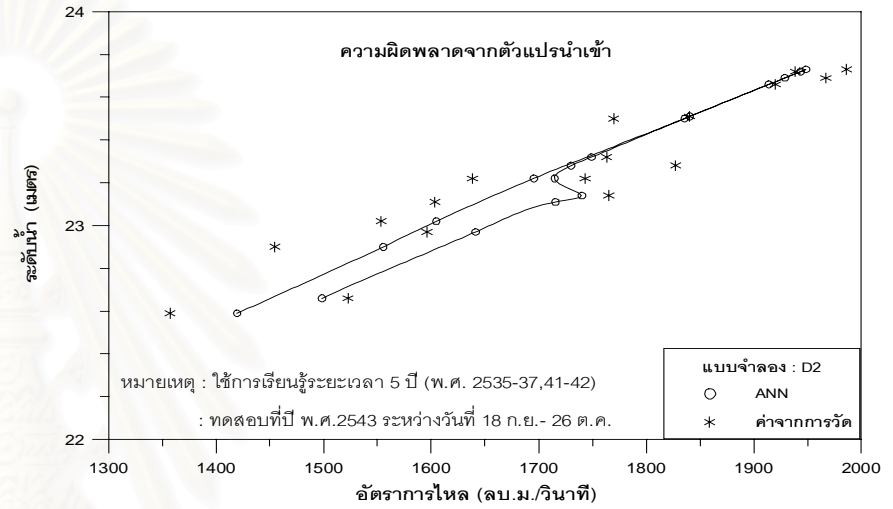
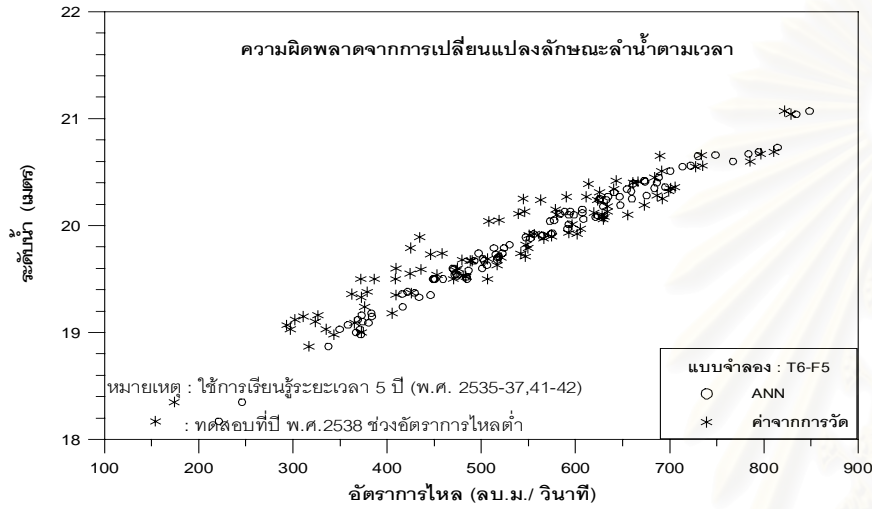
แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาที่ได้นั้น พบว่าแม้ว่าความแตกต่างจากตัวเลขทางสถิติจะมีไม่มาก แต่รูปร่างของความสัมพันธ์ที่เป็นลักษณะวงรอบที่ได้จากแบบจำลอง ANN นั้นจะมีความแตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้จากหลายแบบจำลองไม่สามารถที่จะสร้างวงรอบ ได้ แต่กลับให้ผลที่เป็นเส้นตรงหรือบางแบบจำลองให้รูปร่างที่ไม่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริง โดยที่ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้มีเฉพาะที่เหตุการณ์ในช่วงอัตราการไหลที่มีค่าสูงๆ ซึ่งทำให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้นถูกหารเฉลี่ยไปกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่มี โดยเฉพาะจำนวนข้อมูลในช่วงอัตราการไหลซึ่งมีค่าที่ผิด

พลาดไม่มากนักแต่มีจำนวนข้อมูลที่มาก ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เป็นค่าเฉลี่ยจึงไม่แตกต่างกัน หรือมีค่าที่ต่างกันเล็กน้อยมาก

3) จากการที่แบ่งแบบจำลอง ออกเป็น 3 แบบด้วยกันคือที่ช่วงของปีน้ำมาก น้ำเฉลี่ย และ ปีน้ำน้อย จะเห็นได้ว่าตัวแปรนำเข้ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากช่วงของการเรียนรู้ โดยที่ช่วงของการเรียนรู้ว่าการใช้ตัวแปรเพิ่มเข้ามาให้กับแบบจำลองจะทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Jain (2001) และ การศึกษาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000) โดยในที่สุดช่วงของการเรียนรู้ ข้อมูลที่นำมาใช้มีการรวมกัน จากเหตุการณ์ต่างๆเป็นระยะเวลา 5 ปี ทำให้แบบจำลองมีการเรียนรู้แบบครอบคลุมทุกเหตุการณ์ แต่ในช่วงของการทดสอบ ผลจากตัวแปรนำเข้าที่ได้ในแต่ละปีจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งน่าจะเป็นผลจากลักษณะของชุดตัวแปรนำเข้าในแต่ละแบบนั้นมีผลต่อค่าอัตราการไหลที่สถานี C.2 แตกต่างกันไปในแต่ละเหตุการณ์

4) สำหรับการเลือกตัวแปรนำเข้าไปใช้จริงนั้น หากพิจารณาจากผลของการศึกษาที่ได้จะพบว่าผลที่ได้จากแต่ละแบบจำลองไม่ได้มีค่าที่แตกต่างกันมากนัก โดยแม้ว่าการรวมตัวแปรในแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันดังการศึกษาในช่วงที่ 2 จะให้ผลที่ดีขึ้น แต่ก็ไม่ได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ การใช้ตัวแปรนำเข้าที่มากขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการทำงานที่เพิ่มมากขึ้น ในการจัดเรียงข้อมูลให้กับแบบจำลอง ANN ดังนั้นหากพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ รวมกันแล้วในการศึกษานี้พบว่า การใช้ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง F5 ซึ่งใช้ข้อมูลของค่าระดับน้ำที่สถานีหลัก C.2 ผลต่างของค่าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำและผลต่างระดับน้ำทางแม่น้ำนาน ก็ให้ผลที่ดีทั้งในช่วงการเรียนรู้และการทดสอบ

5) ทุกแบบจำลองจะมีปัญหาในช่วงของการเรียนรู้และทดสอบ ที่ช่วงอัตราการไหลสูงสุด หรือที่ปลายของวงรอบ ซึ่งแบบจำลองไม่สามารถที่จะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำ-อัตราการไหลได้ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดจริง ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาของ Thirumalaiah และ Deo (1998) ให้ความเห็นว่าที่ค่าอัตราการไหลสูงๆจะมีข้อมูลที่ใช้สำหรับการสอนที่น้อย ทำให้มักเกิดปัญหาที่ช่วงดังกล่าว สำหรับการศึกษานี้ในช่วงที่อัตราการไหลต่ำ แบบจำลองจะสามารถเรียนรู้ข้อมูลได้ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามในช่วงของการทดสอบแล้วจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะของความสัมพันธ์ระดับน้ำ – อัตราการไหล (shifting) มีผลอย่างยิ่งที่ทำให้แบบจำลอง ให้ผลการทดสอบที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง ปัญหาหลักอย่างหนึ่งของแบบจำลอง ANN คือการไม่สามารถที่จะทำนายความสัมพันธ์ในช่วงข้อมูล ที่นอกเหนือจากช่วงของการเรียนรู้ ดังเช่นกรณีของปี พ.ศ. 2538 หรือลักษณะของวงรอบที่ 2 ที่ ปี พ.ศ.2543 ดังรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 ลักษณะความผิดพลาดของแบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

7.1.2 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลอง ANN กับ แบบจำลอง MLR และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง ANN แบบจำลอง MLR และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลได้กล่าวสรุปไว้แล้วในบทที่ 6 ซึ่งโดยรวมแล้วแบบจำลอง ANN จะให้ผลที่ดีกว่าแบบจำลองอื่นที่นำมาเปรียบเทียบทั้งในช่วงของการเรียนรู้และทดสอบ ถ้าหากว่าแบบจำลอง ANN มีการเรียนรู้ข้อมูลในลักษณะนั้นมาก่อน สำหรับประเด็นที่เพิ่มเติมมีดังต่อไปนี้

1) หากเปรียบเทียบแบบจำลอง ANN กับแบบจำลอง MLR แล้วจะเห็นว่าแบบจำลอง ANN จะให้ผลที่ดีกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมา Tokar และ Johnson (1999) ให้ความเห็นว่าการใช้แบบจำลอง ANN จะมีการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าแบบจำลอง MLR และแบบจำลอง conceptual ซึ่งลักษณะของตัวแบบจำลอง ANN นั้นสามารถปรับเปลี่ยนตัวเอง (flexible) โดยการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแบบจำลอง ทำให้ผลการเรียนรู้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่งในขณะที่แบบจำลอง MLR หรือแบบจำลอง conceptual นั้น การเพิ่มค่าของตัวแปรนำเข้าไปกับแบบจำลอง ไม่ได้ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงที่มากนักซึ่งเห็นได้จากผลการศึกษาในครั้งนีและการศึกษาที่ผ่านมา

2) การใช้แบบจำลอง MLR นั้น จะมีปัญหาในเรื่องของ สมมติฐานของตัวแปรนำเข้าที่ต้องไม่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น ทำให้การนำแบบจำลอง MLR มาใช้กับปัญหาในเรื่องของความสัมพัทธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลครั้งนี้ เกิดปัญหาของตัวแปรอิสระมีพหุสัมพันธ์ ทำให้การประมาณค่าของตัวแปรตามไม่เหมาะสมและค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณที่ได้ขาดความเที่ยงตรง ดังจะเห็นได้จากสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าที่ติดลบกับค่าตัวแปรของระดับน้ำซึ่งขัดแย้งกันกับลักษณะทางกายภาพ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแบบจำลอง MLR นั้นไม่มีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้กับปัญหาที่ศึกษานี้ แต่อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ที่แบบจำลอง ANN จะเกิดปัญหาในลักษณะนี้เช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากลักษณะของแบบจำลองเป็นกล่องดำ จึงไม่แสดงความสัมพันธ์ภายในตัวโครงข่ายออกมาชัดเจนเหมือนกับแบบจำลอง MLR

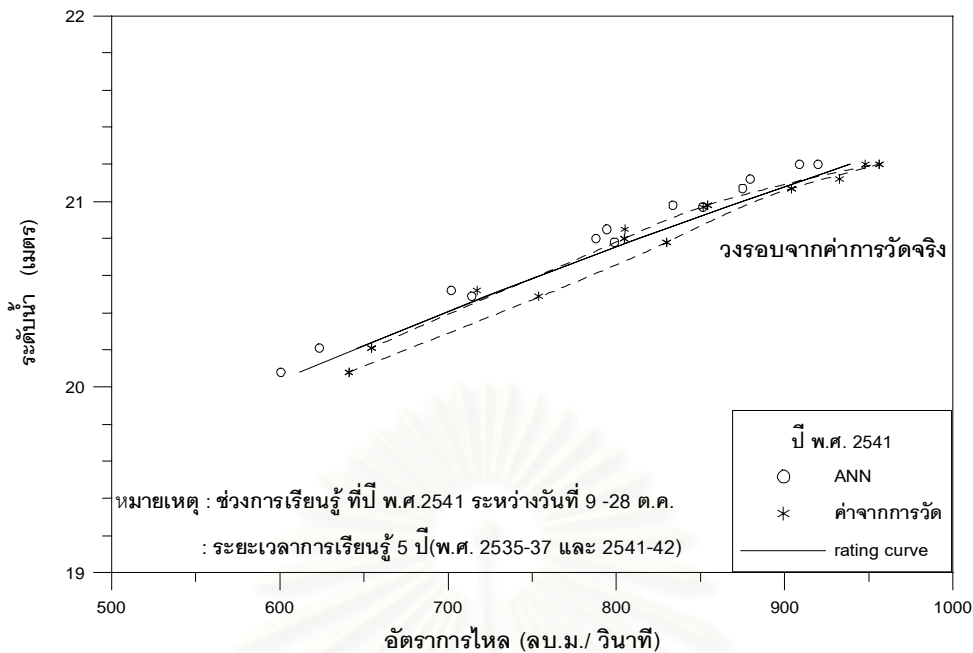
นอกจากนี้ผลที่ได้จากแบบจำลอง ANN จะไม่เหมือนกันกับแบบจำลอง MLR ที่สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาใช้ในวิเคราะห์ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอิสระจะทำให้ตัวแปรตามมีการเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยเพียงใด

3) ผลสรุปการเปรียบเทียบระหว่าง ANN กับ การใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล พบว่าการใช้กราฟ ยังคงเป็นวิธีที่เหมาะสมอยู่ในหลายประการด้วยกัน ทั้งความง่ายต่อการจัดทำ และความสะดวกในการใช้งาน โดยถึงแม้ว่าการใช้กราฟจะมีข้อด้อยตรงที่ไม่สามารถจำลองความสัมพันธ์ในช่วงอัตราการไหลสูงสุดได้ แต่แบบจำลอง ANN ก็ไม่ได้มีความสามารถในส่วนนี้ที่ดีกว่ามากนัก และสำหรับในลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นวงรอบแล้ว การใช้แบบจำลอง ANN จะให้ความถูกต้องมากกว่า ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบของแบบจำลอง ANN ที่เป็นแบบจำลองไม่เชิงเส้น แต่ในกรณีของสถานี C.2 โดยส่วนใหญ่ในลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นวงรอบนั้นไม่ได้เกิดขึ้นชัดเจนทุกปีเสมอไป จะมีเฉพาะปี พ.ศ.2537 ที่ลักษณะของวงรอบจะชัดเจนที่สุด ซึ่งหากลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นวงรอบไม่ได้เกิดขึ้นแล้ว การใช้ทั้งแบบจำลอง ANN หรือ กราฟ ก็จะไม่ได้อะไรที่แตกต่างกัน ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 7-2 และ 7-3

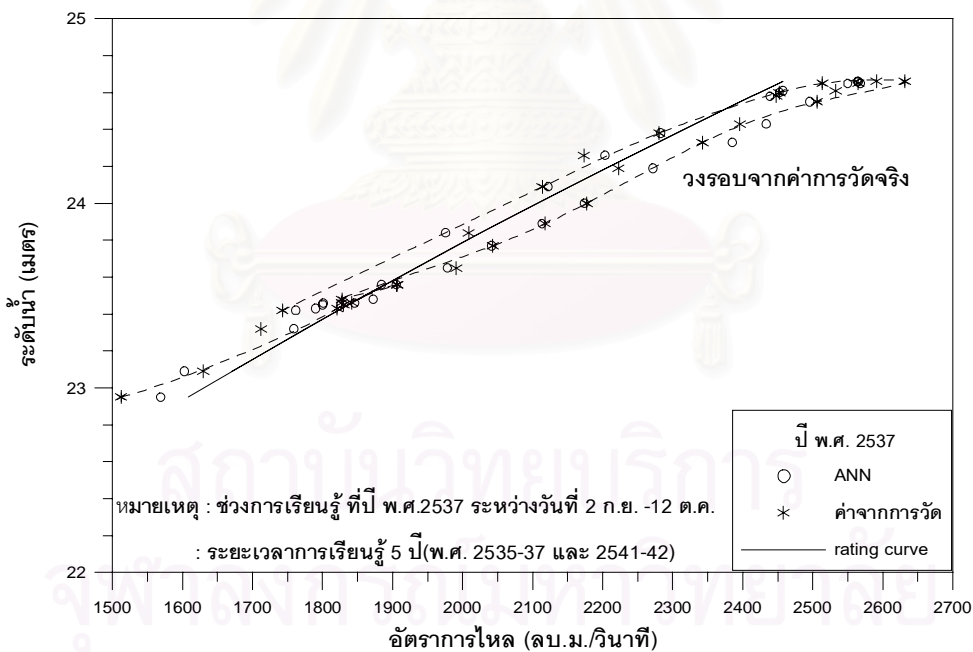
ข้อจำกัดของแบบจำลอง ANN อีกอย่างหนึ่งคือ ไม่สามารถทำนายค่าที่เกินกว่าข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ได้ ในขณะที่การใช้กราฟนั้นสามารถที่จะต่อขยายความสัมพันธ์ออกไปในช่วงที่ข้อมูลไม่มีได้ นอกจากนี้แล้วการใช้กราฟยังสามารถเปลี่ยนข้อมูลของอัตราการไหลเป็นค่าระดับน้ำได้ง่ายกว่าการใช้แบบจำลอง ANN ซึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขึ้นมาใหม่

4) ในความเป็นจริงแล้ว ตามสถานีส่วนใหญ่จะไม่ได้มีการวัดค่าอัตราการไหลจริงที่มากนัก สถานี C.2 ถือว่าเป็นสถานีที่มีการวัดข้อมูลที่ค่อนข้างมาก ประเด็นที่สำคัญคือแบบจำลอง ANN นั้นจำเป็นที่จะใช้จำนวนข้อมูลที่มากพอในกระบวนการเรียนรู้ดังนั้นการนำแบบจำลอง ANN ไปใช้ในสถานีอื่นๆ ที่มีการเก็บข้อมูลอัตราการไหลไม่มากพอจะไม่สามารถทำได้ ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล - ระดับน้ำซึ่งหากแม้ว่าข้อมูลที่มีอยู่นั้นจะมีจำนวนน้อย การสร้างกราฟก็สามารถที่จะทำได้ แม้ว่าจะให้ความถูกต้องที่ไม่ดีนัก

5) จากผลการทดลองเปลี่ยนแปลงช่วงข้อมูลของการเรียนรู้นั้น พบว่ามีผลต่อช่วงการทดสอบ โดยแบบจำลองจะแสดงผลในแบบเดียวกันกับข้อมูลที่นำมาใช้สอน ซึ่งค่าที่มีลักษณะที่ไม่อยู่ในกลุ่ม หรือเป็นค่ารบกวน (noise) หากอยู่ในช่วงของการทดสอบแล้วแบบจำลอง ANN จะไม่สามารถหาค่าเหล่านี้ได้ ดังเห็นได้จากกรณีของปีทดสอบพ.ศ.2538 ที่ช่วงอัตราการไหลประมาณ 2000 ลบ.ม./วินาที หรือลักษณะของวงรอบจากยอดน้ำหลากลูกที่ 2 ของปีทดสอบ พ.ศ. 2538 ซึ่งเป็นค่าที่หลุดออกจากกลุ่ม ทำให้แบบจำลอง ANN ไม่สามารถหาค่าได้



รูปที่ 7-2 ในปีที่มีลักษณะวงรอบไม่ชัดเจนทั้งแบบจำลอง ANN และ rating curve ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 7-3 ในปีที่มีลักษณะวงรอบชัดเจน แบบจำลอง ANN จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ได้ดีกว่า rating curve และ ลดความผิดพลาดในช่วงปลายของกราฟ

6) การใช้จำนวนข้อมูลในการเรียนรู้ที่มาก จะทำให้ผลในช่วงทดสอบของแบบจำลอง ANN มีความผิดพลาด อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลนั้น มีค่าลดลง เพราะช่วงข้อมูลที่เรียนรู้มีช่วงที่กว้างครอบคลุมหลายเหตุการณ์ แต่อย่างไรก็ตามถ้าหากว่า การเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลนั้น มีค่าที่ไม่แตกต่างจากปีก่อนหน้านี้นัก การใช้ข้อมูลเพียงปีเดียวก็จะให้ผลในการทดสอบที่ดีกว่าเช่นกรณีของ ปี พ.ศ. 2534

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้มีผลอย่างเห็นได้ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องด้วยความสัมพันธ์ระดับ - อัตราการไหล มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่ไม่อาจคาดเดาได้ว่าจะมีทิศทางเป็นอย่างไร แต่ลักษณะของแม่น้ำจะมีการกัดเซาะและทับถมควบคู่กันไปเสมอ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่มีขึ้นจึงมีช่วงจำกัดของตัวเองอยู่ อย่างไรก็ตามปัญหาในลักษณะนี้ก็เกิดเช่นเดียวกันกับการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล โดยที่แม้ว่าจะมีการจัดทำใหม่ในทุกๆปี แต่ความสัมพันธ์ที่ได้ก็ไม่มีลักษณะที่คงตัว มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

7) หากเปรียบเทียบกับผลการศึกษาที่ผ่านมาของ Jain และ Chalisgaonkar (2000) ดังแสดงในรูปที่ 2-7 จะเห็นได้ว่าหากใช้ตัวแปรนำเข้าที่เป็นค่าของอัตราการไหลย้อนหลัง จะทำให้ปัญหาของการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล มีค่าที่ลดลงดังจะเห็นได้จากค่าที่ได้จากแบบจำลอง ANN มีค่าที่เกาะกลุ่มกันกับค่าของอัตราการไหลมากกว่าการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลอย่างเห็นได้ชัดเจน

7.1.3 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนด ค่าอัตราการเรียนรู้ และ ค่าโมเมนตัม

ผลที่ได้จากการศึกษาในส่วนนี้ ได้กล่าวไว้แล้วในส่วนของบทที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง ANN นั้นส่วนใหญ่เป็นผลมาจากชนิดและจำนวนของตัวแปรนำเข้ามากกว่าเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดภายในโครงสร้าง หรือค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งประเด็นที่สรุปเพิ่มเติมนั้นมีดังต่อไปนี้

1) เนื่องจากลักษณะของตัวแบบจำลอง ANN เองที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ภายในโครงข่ายได้หลายค่า ทำให้การหาโครงข่ายที่เหมาะสมของแบบจำลองจะต้องใช้การลองผิดลองถูกในการหาหลายครั้งด้วยกัน ซึ่งเป็นการเสียเวลาในการทำงานอย่างมากหากเริ่มศึกษากับรูปแบบของปัญหาใหม่ หรือเปลี่ยนสถานที่ศึกษาใหม่เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ อัตราการเรียนรู้กับค่า

โมเมนตัมมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบของปัญหา ดังจะเห็นได้จากการศึกษาที่ผ่านมา ส่วนใหญ่จะมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ที่แตกต่างกันออกไป

โดยจากผลการศึกษาคั้งนี้จะเห็นได้ว่าการกำหนดจำนวนโหนดที่ใช้ชั้นนั้น ยังต้องอาศัยวิธีการลองผิดลองถูกในการหา โดยผลที่ได้ไม่สามารถสรุปเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมได้ แต่พบว่าโครงข่ายที่มีชั้นแอบแฝงจำนวน 2 ชั้นจะให้การเรียนรู้ที่ดีกว่าโครงข่ายที่ใช้ชั้นแอบแฝงเพียงชั้นเดียว ในส่วนของการใช้ค่าโมเมนตัมและอัตราการเรียนรู้นั้น จะเห็นได้ว่าหากเลือกใช้ในค่าที่ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดปัญหาของการแกว่งและการลู่ออกของคำตอบ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับจำนวนรอบ หรือค่าจากแบบจำลองที่ได้มีลักษณะที่ผิดปกติ เช่น มีค่าคงที่ตลอดหรือมีค่าความผิดพลาดสูงผิดปกติ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยปรับค่าโมเมนตัมและค่าอัตราการเรียนรู้ให้เหมาะสม

2) จากผลการศึกษาพบว่า หากใช้จำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงแรกเพียงโหนดเดียว แล้วค่าความผิดพลาดจะสูงกว่าปกติและเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดขึ้น ค่าความผิดพลาดมีลักษณะทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่อย่างไรก็ตามการใช้จำนวนโหนดที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาของการลู่ออกได้ ซึ่งการใช้จำนวนโหนดของชั้นแอบแฝงแรกนั้น ในทางปฏิบัติอาจไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เกิน 5 โหนด อันเนื่องจากโครงข่ายส่วนใหญ่ค่าความผิดพลาดจะไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นการลองผิดลองถูกหาจำนวนโหนด จึงขึ้นกับความละเอียดของงานที่ต้องการและเวลาในการปฏิบัติงานที่มีอยู่

7.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อประโยชน์สำหรับการดำเนินการศึกษาหรือการนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นต่อไป จึงขอเสนอแนะดังต่อไปนี้

1) ในการศึกษาแบบจำลองทางอุทกวิทยาทุกแบบจำลองนั้น ข้อมูลที่มาจากการวัดจริงนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อการศึกษาโดยที่หากปราศจากข้อมูลแล้ว จะไม่สามารถที่จะทดสอบและเปรียบเทียบแบบจำลองได้ หรือถ้าหากข้อมูลที่มีอยู่นั้นมีจำนวนที่น้อยเกินไป หากนำไปเปรียบเทียบแบบจำลองหรือนำเอาไปใช้ในการสอนให้กับแบบจำลองแล้ว ผลที่ได้จะไม่มีที่น่าเชื่อถือ

ในอนาคตหากมีการเก็บข้อมูลหรือมีการวัดอัตราการไหลในสถานีอื่นที่เพิ่มมากขึ้น จะสามารถนำข้อมูลมาใช้ศึกษาให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN กับพื้นที่อื่นได้อีกต่อไป โดยอาจจะศึกษากับ แม่น้ำที่มีลักษณะของวงรอบที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนกว่าที่สถานี C.2 หรือ ไม่มีสิ่งก่อสร้างทางชลศาสตร์ มาขวางลำน้ำเพื่อให้เห็นผลในรูปแบบอื่นที่แตกต่างกันออกไป อันเนื่อง

จากงานวิจัยในลักษณะนี้ยังมีไม่มากนัก และลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ – อัตราการไหล ในแต่ละแม่น้ำนั้นมีความแตกต่างกัน

นอกจากนี้ในช่วงของการรวบรวมข้อมูล พบว่ามีข้อมูลที่ขาดหายไปบางส่วน โดยที่ไม่ได้มีการสำรองข้อมูลเอาไว้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงไม่สามารถศึกษากับลักษณะของข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกันยาวนานได้ รวมทั้งความต่อเนื่องของการวัดจริงซึ่งในบางปีที่ช่วงน้ำหลากมีข้อมูลบางส่วนที่ขาดหายไป จึงเสนอแนะให้มีการจัดเก็บรักษาข้อมูลสำรวจในปีเก่าๆเป็นรูปของไฟล์ในคอมพิวเตอร์ เพื่อจะสะดวกในการเก็บรักษาและการนำไปใช้ในการศึกษาอื่นๆต่อไปในอนาคต

2) ในส่วนของขั้นตอนในการศึกษานี้ ได้มีการแบ่งแยกแบบจำลอง ANN ออกไปตามขนาดของน้ำหลาก ซึ่งทำให้มีแบบจำลองที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป โดยจะเห็นได้ว่าลักษณะของการศึกษามีความยุ่งยากในขั้นตอนของการทำงาน แต่อย่างไรก็ตามหากมีการศึกษาต่อไปในอนาคตขอเสนอแนะว่า ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องแยกแบบจำลอง ที่ทดสอบตามเหตุการณ์ต่างๆ แล้วมารวมกัน เนื่องจากผลที่ได้ไม่แตกต่างกันนัก โดยการศึกษาต่อไปอาจเลือกรวมปีทดสอบเป็นชุดเดียวกัน (ปีน้ำมาก-เฉลี่ย-น้อย) แล้วเลือกแบบจำลองจากผลการทดสอบซึ่งจะได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องครอบคลุมในทุกๆเหตุการณ์ หรืออาจเลือกใช้ปีที่ เป็นข้อมูลใหม่สุดมาเป็นปีทดสอบ และใช้ปีที่เหลือในการเรียนรู้ เพื่อให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ได้อย่างต่อเนื่องกัน

3) สำหรับการเลือกใช้ข้อมูลในการเรียนรู้ ในทางอุดมคติแล้วหากเลือกใช้ปีข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนกับช่วงที่ทดสอบได้ แบบจำลองจะให้ผลการทดสอบที่ออกมาดี ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทำเช่นนี้ได้ เนื่องจากการเพิ่มจำนวนของข้อมูลจำเป็นที่จะต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลที่มากขึ้น ซึ่งทำให้ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของเวลามากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ข้อมูลที่มีลักษณะการเรียนรู้เพียงปีเดียวย้อนหลังสามารถให้ผลที่ดีได้ สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาอีกประการคือ การเลือกใช้จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการสอนมากนั้น ในทางปฏิบัติอาจจะทำให้เสียเวลาในการเตรียมข้อมูลให้แบบจำลอง ANN เป็นอย่างมาก อันเนื่องมาจากข้อมูลของค่าอัตราการไหลจริงในสถานีหลักที่ศึกษาไม่ได้มีการเก็บที่ต่อเนื่องกันทุกวัน ทำให้มีปัญหาในการจับคู่กับค่าระดับน้ำที่สถานีอื่นเพื่อใช้เป็นตัวแปรนำเข้าไปกับแบบจำลอง ANN

4) ในการศึกษาพบว่า การพิจารณาผลที่ได้จากแบบจำลอง ANN ในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล หากใช้การวัดประสิทธิภาพของ แบบจำลอง ANN ด้วยการใส่ค่าดัชนีการวัดประสิทธิภาพ EI (Nash และ Sutcliffe ,1970) นั้นไม่ได้เห็นผลที่ชัดเจนนัก ในขณะที่การวัดผลด้วยการใช้ค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสองนั้น จะเห็นผลที่ชัดเจนกว่า เนื่องจากเป็นผลรวมความผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้งหมด แต่จะทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับชุดของข้อมูลที่มีจำนวนไม่เท่ากันได้

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการวัดผลของแบบจำลอง คือ รูปร่างของความสัมพันธ์ระดับน้ำ - อัตราการไหลที่ได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวแปรนำเข้าที่เป็นค่าระดับในด้านท้ายน้ำจะให้รูปร่างความสัมพันธ์ที่แตกต่างจากตัวแปรนำเข้าไปในแบบอื่น โดยที่การวัดผลจากตัวเลขเพียงอย่างเดียว หรือ การพิจารณาที่กราฟน้ำท่า (แสดงในภาคผนวก ข) ยังไม่มีความชัดเจนเพียงพอ สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องที่ได้จากแบบจำลอง ANN โดยเฉพาะการพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นตอนที่เกิดวงรอบนั้น จะถูกหารด้วยจำนวนของข้อมูลที่ช่วงอัตราการไหลต่ำๆ ซึ่งมีความผิดพลาดน้อยมาก ดังนั้นค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จึงไม่ได้แสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่แท้จริง ซึ่งถ้าหากมีการศึกษาต่อไปในอนาคต จึงเสนอแนะให้มีการทดลองแยกพิจารณาข้อมูลในช่วงที่เกิดน้ำหลากออกมาจากชุดข้อมูลรวม เพื่อให้ผลที่ได้มีความชัดเจนขึ้น

5) จากผลการศึกษาซึ่งแบบจำลอง MLR นั้นให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง อันเนื่องมาจากข้อมูลตัวแปรนำเข้านั้นมีความสัมพันธ์กันเองที่สูง ซึ่งในการศึกษาต่อไป อาจจะมีการศึกษาถึงผลกระทบลักษณะนี้ว่ามีต่อแบบจำลอง ANN หรือไม่ โดยกำหนดให้ข้อมูลตัวแปรอื่นๆให้มีค่าคงที่แล้ว ทดลองเพิ่มค่าตัวแปรบางตัวให้มีค่าเพิ่มขึ้น แล้วศึกษาผลที่ได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ถูกต้องหรือไม่ เช่นการเพิ่มค่าของระดับน้ำ ควรที่จะให้ค่าของอัตราการไหลที่สูงขึ้น หรือ ปริมาณฝนตกที่มากขึ้น ควรที่จะส่งผลให้ระดับน้ำ กับ อัตราการไหลมีค่าที่สูงขึ้นตามกันไปด้วย

6) ในการศึกษาครั้งนี้นั้น ได้ใช้ตัวแปรนำเข้าเป็นค่าของระดับน้ำทั้งหมด ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนรูปของตัวแปรนำเข้าไปบางตัว เช่น ค่าระดับน้ำที่สถานีหลัก เวลาปัจจุบัน $H(t)$ กับ เวลาย้อนหลัง $H(t-1)$ หากเปลี่ยนรูปเป็นค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (dh/dt) แล้วจะให้ผลที่ดีขึ้นแต่ก็น้อยมาก โดยจะเห็นได้ก็เช่นเดียวกันกับการใช้กลุ่มตัวแปรที่เป็นผลต่างระดับน้ำ (F) ซึ่งจะไม่พบถึงความแตกต่างอีกเช่นกัน ดังนั้นในการศึกษาต่อไปในอนาคต จึงแนะนำว่าหากข้อมูลที่ใช้เป็นตัวแปรนำเข้าเป็นข้อมูล

ประเภทเดียวกัน จะไม่เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประสิทธิภาพของแบบจำลองเท่าใดนัก หรือหากจะทำการเปรียบเทียบกัน ก็จะทำให้ค่าที่ออกมาไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นข้อมูลนำเข้าที่ใช้ควรจะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

7) การศึกษาต่อไปในอนาคต อาจพิจารณาตัวแปรนำเข้าอื่นๆจากสมการโมเมนตัมโดยพิจารณาจากเทอมที่มีผลมากที่สุด ซึ่งในการศึกษานี้มีการพิจารณาเฉพาะบางเทอมเท่านั้น ความถูกต้องที่ได้จึงอาจยังไม่สมบูรณ์นัก และการเปรียบเทียบอาจเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อื่นๆ ที่สามารถให้ความถูกต้องได้มากกว่าการสร้างกราฟ เช่น แบบจำลอง Dynamic-wave

8) ในด้านการประยุกต์ใช้นั้นจากผลการศึกษาแนะนำว่า ในกรณีที่ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหลไม่ได้มีลักษณะเป็นวงรอบที่ชัดเจน การใช้กราฟในวิธีแบบเดิมจะดีกว่า เนื่องจากไม่มีขั้นตอนยุ่งยากในการปรับเทียบเหมือนแบบจำลอง ANN แต่ถ้าหากว่าความสัมพันธ์มีลักษณะที่เป็นวงรอบชัดเจนมาก การใช้แบบจำลอง ANN จะให้ผลที่ดีกว่าการสร้างกราฟความสัมพันธ์ และหากเป็นกรณีที่ข้อมูลนอกเหนือจากการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN วิธีการต่อ-ขยายของกราฟจะให้ผลที่ดีกว่า

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กীরติ ลีวัจนกุล. อุทกวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1: มหาวิทยาลัยรังสิต, 2543.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. การใช้ SPSS for Window ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 6: บริษัท
ธรรมสาร จำกัด, 2546.
- คณะทำงานประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม. เอกสารประกอบการฝึกอบรมครั้งที่ 1 การ
ประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม. กรมชลประทาน, 2546.
- เจษฎา สารสินพิทักษ์. การศึกษาแนวทางการประเมินเนื้องานก่อสร้างอาคารด้วยแบบจำลอง
โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- เฉลิมชัย บวรธรรมรัตน์. การศึกษาเพื่อจัดหาแนวผันน้ำ และ แหล่งเก็บกักน้ำบริเวณที่ราบลุ่ม
เพื่อบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขา
วิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
- ชูโชค อายุพงศ์. การวัดปริมาณการไหลในลำน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541.
- เทอดเกียรติ สุวัฒน์กุล, ทรงศักดิ์ แจ่มพงษา, จตุรงค์ รัตนานุสนธิ์, นลินี จำนงค์พล และ เสรี
ศุภราทิตย์. การพัฒนา Software ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับทำนายน้ำท่วม. เอกสารการ
ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545.
- ธนพล พิमान. การศึกษาความเหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์น้ำท่า
รายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรม
แหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- นลินี จำนงค์พล และ เสรี ศุภราทิตย์. การพยากรณ์อนุกรมเวลาระดับน้ำเพื่อการเตือนภัยน้ำ
ท่วม. เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8. วิศวกรรมสถานแห่ง
ประเทศไทย, 2545.
- พิเชษฐ วรุณโชติกุล. การพยากรณ์ระดับน้ำล่องหน้า 1 วัน ที่สถานี N1 โดยโครงข่ายประสาท
เทียม. วารสารชมรมนักอุทกวิทยาไทย. ปีที่ 8 ฉบับที่ 7(2546) :273-282.

- พงษ์ศักดิ์ สุทธิพันธ์. การพยากรณ์ระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาภายใต้อิทธิพลของระดับน้ำขึ้นน้ำลงโดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- ภูวดล สุขชา และ ชูโชค อายูรพงศ์. การทำนายปริมาณน้ำรายวันไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธาราโดยใช้โครงข่ายใยประสาทเทียม. เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545.
- เล็ก จินดาสงวน. การพยากรณ์สภาพน้ำของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ประจำปี 2546, วารสารชมรมนักอุทกวิทยาไทย. ปีที่ 8 ฉบับที่ 7, 2546.
- วิรัชช พานิชวงค์. การวิเคราะห์การถดถอย. พิมพ์ครั้งที่ 2: ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- วีรพล แต่สมบัติ. หลักอุทกวิทยา : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2533.
- วีรพล แต่สมบัติ. อุทกวิทยาประยุกต์ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2531.
- วุฒิพงษ์ พรสุขจันทร์. การรู้จำเสียงตัวเลขภาษาไทย แบบไม่ขึ้นกับผู้พูดโดยใช้แอลพีซี และนิวรอลเน็ตเวิร์ก แบบแบ็กพรอพาเกชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- วุฒิชัย บุญผ่อง. การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม (ANNs) ในการทำนายอัตราการไหลรายวันกรณีศึกษา แม่น้ำจันทบุรี จ.จันทบุรี และคลองอู่ตะเภา จ.สงขลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2544.
- ศุภัทธา สุนทรภักย์. การพัฒนาเครื่องมือซอฟต์แวร์ในการจำลองการทำงานของนิวรอลเน็ตเวิร์กโดยใช้แบบจำลองแบ็กพรอพาเกชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- เสรี ศุภราทิตย์. คู่มือการพยากรณ์น้ำโดยโครงข่ายใยประสาทเทียม. พิมพ์ครั้งที่ 1: สถาบันพัฒนาการชลประทาน, 2544.
- หรรษา วัฒนานุกิจ. วิศวกรรมแม่น้ำ: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2541.

ภาษาอังกฤษ

- AIT, DHI, and Acres. Chao Phraya Flood Management Review. The Royal Thai Government, 1996.
- Bedient, P.B., and Huber, W.C. Hydrology and Floodplain Analysis: Addison - Wesley Publishing Company, 1989.
- Bhattacharya, B., and Solomatine, D.P. Application of Artificial Neural Network in Stage-Discharge relationship. 4-th international Conference on Hydroinformatics. Iowa City USA July, 2000.
- Chester, M. Neural Networks A Tutorial. New Jersey: PTR Prentice - Hall Englewood., 1993.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. Applied Hydrology: McGraw - Hill Book Company, 1988.
- Shamseldin, A.Y., and Connor, K.M. A non - linear neural network technique for updating of river flow forecasts. Hydrology and Earth System Sciences. 5.No.4 (2001): 577 - 597.
- Danh, N.T., Phien, H.N., and Gupta, A.D. Neural network model for river flow forecasting. Water SA. 25 No.1(1999): 33 - 39.
- Dolling, O.R., and Varas, E.A. Artificial neural networks for streamflow prediction. Journal Of Hydraulic Research. 40.No.5(2002): 574 - 554.
- Elshorbagy, A., Simonovic, S.P., Panu, U.S., and Fellow, P.E. Performance Evaluation Of Artificial Neural Networks For Runoff Prediction. Journal of Hydrologic Engineering. 5 No.4 (2000): 424 – 427.
- Fenton, J.D., and Keller , R.J. The Calculation Of Streamflow From Measurements Of Stage, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 2001.
- Fausett, L. Fundamentals Of Neural Networks : Architecture , Algorithms, and Application. New Jersey: Prentice – Hall,1994.
- Fread, D.L. A Dynamic Model Of Stage - Discharge Relation Affected By Changing Discharge. NOAA Technical Memorandum NWS HYDRO-16,1982.
- Grover, N.C., and Harrington, A.W. Stream Flow measurement ,records and their uses. Inc New York: Dover Publication.

- Jain, S.K., and Chalisgaonkar, D. Setting Up Stage-Discharge Relation Using ANN
Journal of Hydrologic Engineering. 5 No.4 (2000): 428 - 433.
- Jain, S.K. Development Of Integrated Sediment Rating Curves Using ANNs , Journal of Hydraulic Engineering. 27.No.1(2001): 30 – 37.
- Jirayoot, K. and Al-Soufi, K. Prediction of Daily river discharge by an artificial neural network model. Hydrologic & Environmental Modeling in the Mekong Basin . (2000): 149 –168.
- Kecman, V. Learning and Soft Computing.: The MIT Press, 2001.
- Kennedy, E.J. Discharge Rating At Gaging Station,Chapter A10. Techniques of Water - Resource Investigations of the United States Geological Survey. Washington: USGS, 1984.
- Mitchell, T.M. Machine Learning. Cap. 4 Artificial Neural Networks: Mc Graw Hill,1997
- Maren, A.J., Harston, C.T., Robert , M. Handbook Of Neural Computing Application: Academic Press Inc., 1990.
- Manusthiparom, C. Neural Network Models for Forecasting Hourly Water Levels and Discharge of Chao Phraya River at Bangkok Memorial Bridge. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 2000.
- Liong , S.Y., Lim, W.H.,and Paudyal, G.N. River Stage Forecasting In Bangladesh : Neural Network Approach. Journal of Computing in Civil Engineering.14.No.1 (2000): 1 – 8.
- RANTZ, S.E., and others. Measurement and Computation of Streamflow : Volume 2. Computation of Discharge: USGS, 1982.
- Singh, V.P. Elementary Hydrology .New jersey: Prentice - Hall, 1992.
- Siang, J.J. Application of Back Propagation Method in Forecasting problem. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1992.
- Sudheer, K.P., Gosain, A.K., Ramasastry, K.S. Estimating Actual Evapotranspiration From Limited Climatic Data Using Neural Computing Technique. Journal of Irrigation and Drainage Engineering . 129.No.3(2003): 214 – 218.
- Sureerattan, S. Backpropagation Networks For Forecasting. Phd.Technical Science Thesis. Asian Institute of Technology, Thailand, 2000.

- Tingsanchali, T., and Win, T.Y. Daily Flood Forecasting Model Of Prasae River Basin, Thailand, Hydrologic & Environmental Modeling in the Mekong Basin. (2000): 169 -180.
- Tingsanchali, T., Hydrologic and hydraulic modeling –Thai experiences. Proceeding Of The International Expert Meeting On Early Warning for The Mekong River. 27th February – 1st March (2002): 156 -184
- Tokar, A.S., and Jonhson, P.A. Rainfall – Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks. Journal of Hydrologic Engineering, 4.No.3 (1999): 232 - 239.
- ToKar, A.S., and Markus ,M. Precipitation – Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks And Conceptual Models. Journal Of Hydrologic Engineering . 5.No.2(2000): 156 – 161.
- Tohma, S., and Igata, S. Rainfall Estimation from GMS Imagery Data Using neural Networks. Hydraulic Engineering software, 1: 121 - 130
- The ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, Preliminary concept, Journal of Hydrologic Engineering, 5.No.2 (2000):115–123.
- The ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, Hydrologic Applications, Journal of Hydrologic Engineering, 5.No.2(2000): 124 – 137.
- Thirumalaiah, K. and Deo, M.C. River Stage Forecasting Using Artificial Neural Networks, Journal of Hydrologic Engineering, 3.No.1(1998): 26 – 32.
- Tawfik, M., Ibrahim, A., and Fahmy, H. Hysteresis Sensitivitive Neural Network For Modeling Rating Curves. Journal of Computing in Civil Engineering. 11.No.3 (1997): 206 – 211.
- Westphal, J.A., Thompson, .D.B., Stevens, G.T., and Strauser, C.N. Stage - Discharge Relation on The Middle Mississippi River. Journal of Water Resources Planning and Management. 125.No.1(1999): 48 – 53.
- Zeidenderg, M., Neural Networks In Artificial Intellingence. England; Ellis Horwood Limited, 1990.



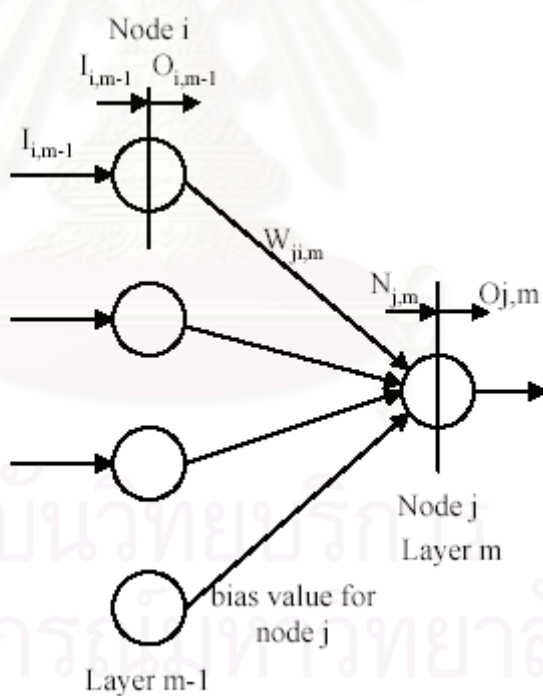
ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม แบบ Backpropagation

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.1 กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (Back propagation learning Algorithm)

วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กลับเป็นกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น โดยการเรียนรู้จะใช้ชุดของข้อมูลที่เป็นคู่ ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต หรือที่เรียกว่า “ รูปแบบ (patterns) ” ซึ่งอินพุตที่เข้าสู่โครงข่ายนั้นจะให้ผลลัพธ์ที่ออกมาเป็นค่าเอาต์พุต ซึ่งค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าจริง โดยถ้าหากว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าที่ได้จากโครงข่าย กับ ค่าจริง (actual value)แล้ว กระบวนการเรียนรู้จะถือว่าไม่จำเป็น แต่ในความเป็นจริงแล้ว จะมีความแตกต่าง หรือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมา ซึ่งทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆที่อยู่ภายในโครงข่ายนั้นจะถูกทำให้เปลี่ยนแปลง เนื่องมาจากกระบวนการปรับแก้แบบแพร่กลับที่เกิดขึ้น และเพราะว่ากระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กลับนี้ ต้องใช้ค่าจริง ในการสอนจึงถือว่าเป็นวิธีการเรียนรู้แบบที่ต้องมีการสอน (supervised training) สำหรับขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้สามารถแสดงได้ดังนี้ (Rumelhart et at.(1986) อ้างอิงจาก Danh et al. ,1999)



รูปที่ ก-1 ขั้นตอนการแปลงค่าข้อมูลนำเข้าชั้น m-1 เป็นผลลัพธ์ที่ชั้น m
ที่มา : Rumelhart et at.(1986) (อ้างอิงจาก Danh et al.,1999)

รายละเอียดของตัวแปรที่ใช้

$W_{ji,m}(n)$	คือ	ค่าถ่วงน้ำหนักที่อยู่ระหว่าง โหนด j^{th} ในชั้นที่ m กับโหนด i^{th} ในชั้น $m-1$ ที่รอบการคำนวณ ที่ n^{th}
$O_{j,m}$	คือ	ค่าเอาต์พุตของโหนด j^{th} ในชั้นที่ m ($m = 1, 2, \dots, L$)
I_i	คือ	ค่าอินพุตของโหนด i^{th}
t_j	คือ	ค่าเป้าหมายของโหนด j ที่ชั้นเอาต์พุต
n_m	คือ	จำนวนของโหนดในชั้นที่ m^{th}

ผลลัพธ์จากแต่ละโหนดหาได้จาก การใช้ฟังก์ชันกระตุ้น ดังแสดงในสมการที่ ก-1

$$O_{j,m} = f(N_{j,m}) = \frac{1}{1 + e^{-N_{j,m}}} \quad (\text{ก-1})$$

โดยที่ค่าของ $N_{j,m}$ สามารถหาได้จากสมการที่ ก-2

$$N_{j,m} = \sum_{i=1}^{n_{m-1}} W_{ji,m} \cdot O_{i,m-1} + \theta_{j,m} \quad (m = 1, 2, \dots, L) \quad (\text{ก-2})$$

เมื่อ $O_{i,0} = I_i$ และ $\theta_{j,m}$ คือ ค่าไบแอส (คล้ายกับค่าคงที่ในแบบจำลองการถดถอย)

ผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นสุดท้ายจะถูกเปรียบเทียบกับค่าจริง และค่าความผิดพลาดที่ได้ถูกคำนวณเป็นครึ่งหนึ่งของผลรวมความผิดพลาดกำลังสองดังแสดงในสมการที่ ก-3

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_L} (t_j - O_{j,L})^2 \quad (\text{ก-3})$$

และค่าผลรวมของความผิดพลาดทั้งหมดคือ

$$E = \sum_P E_p \quad (\text{ก-4})$$

ก.1.1 รายละเอียดของขั้นตอนการคำนวณ

- 1) กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักที่อยู่ภายในโครงข่าย และ ค่าไบแอส โดยใช้เป็นค่าที่น้อยๆ

ขั้นตอนการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward pass)

- 2) หากกำหนดให้ค่าของตัวแปรนำเข้า คือ I_1, I_2, \dots, I_{n_0} และค่าเป้าหมายที่ต้องการ คือ t_1, t_2, \dots, t_{n_L} สำหรับชั้นที่ $m = 1, 2, 3, \dots, L$:

a. คำนวณ

$$N_{j,m} = \sum_{i=1}^{n_{m-1}} W_{ji,m} \cdot O_{i,m-1} + \theta_{j,m} \quad (\text{ก-5})$$

b. คำนวณผลลัพธ์โครงข่าย ของโหนด j^{th} ในชั้น m

$$O_{j,m} = f(N_{j,m}) = \frac{1}{1 + e^{-N_{j,m}}}; j = 1, 2, \dots, n_m \quad (\text{ก-6})$$

- 3) เปรียบเทียบผลลัพธ์โครงข่าย ($O_{1,1}, O_{2,1}, \dots, O_{n_L,L}$) กับค่าเป้าหมายที่ต้องการ (t_1, t_2, \dots, t_{n_L}) จากสมการ ก-7

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_L} (t_j - O_{j,L})^2 \quad (\text{ก-7})$$

$$E = \sum_P E_p \quad (\text{ก-8})$$

โดยที่ค่าผลรวมความผิดพลาดจะรวมทั้งหมดทุกรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในช่วงของการสอน ซึ่งถ้าหากค่า E ลดลงจนถึงค่าที่ต่ำสุด ที่กำหนด หรือ จำนวนรอบในการคำนวณครบ ตามกำหนด การเรียนรู้จะถือว่าเสร็จสิ้นลง ไม่ต้องคำนวณขั้นตอนต่อไป แต่ถ้ายังไม่ถึงค่าที่กำหนด การคำนวณยังคงมีต่อไป

ขั้นตอนการย้อนกลับ (Backward pass)

4) สำหรับชั้นที่ $m = L, L-1, \dots, 1$:

a. สำหรับ $j = 1, 2, 3, \dots, n_m$; คำนวณ

$$\delta_{j,m} = O_{j,m}(1 - O_{j,m}) \cdot (t_j - O_{j,m}) \quad (\text{ก-9})$$

เมื่อ $m = L$ (ชั้นของเอาต์พุต)

$$\delta_{j,m} = O_{j,m}(1 - O_{j,m}) \cdot \sum_{k=1}^{n_{m+1}} w_{kj,m+1} \delta_{j,m+1} \quad (\text{ก-10})$$

เมื่อ $m =$ ชั้นแอบแฝง

b. คำนวณส่วนปรับแก้ของค่าถ่วงน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

$$\Delta w_{ji,m}(n+1) = \eta \cdot \delta_{j,m} O_{i,m-1} + \alpha \Delta w_{ji,m}(n) \quad (\text{ก-11})$$

c. คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใหม่

$$w_{ji,m}(n+1) = \Delta w_{ji,m}(n) + w_{ji,m}(n) \quad (\text{ก-12})$$

5) ทำซ้ำที่ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้คือ ในการเรียนรู้แบบ backpropagation นั้นจะ พยายามลดค่าความผิดพลาด(E) ที่เกิดขึ้นมาให้น้อยที่สุด โดยการปรับแก้ที่ค่าถ่วงน้ำหนักที่อยู่ภายในโครงข่าย

จาก กฎลูกโซ่ (Chain rule)

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji,m}} = \frac{\partial E_p}{\partial N_{j,m}} \cdot \frac{\partial N_{j,m}}{\partial w_{ji,m}}$$

ดังนั้น

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji,m}} = -\delta_{j,m} \cdot O_{i,m-1}$$

โดยที่

$$\delta_{j,m} = \frac{\partial E_p}{\partial N_{j,m}} \quad (\text{ก-13})$$

และสำหรับโหนดที่ $\overset{\text{ชั้น}}{\text{ชั้น}}$ ของเอพท์พุต ($m=L$) ใช้กฎลูกโซ่อีกครั้ง

$$\delta_{j,L} = -\frac{\partial E_p}{\partial O_{j,L}} \cdot \frac{\partial O_{j,L}}{\partial N_{i,j}}$$

หรือ

$$\delta_{j,L} = (t_j - O_{j,L}) f'(N_{j,L}) \text{ จากสมการที่ ก-2 และ ก-4}$$

และในลักษณะคล้ายกัน ที่ชั้นแอบแฝงอื่นๆ เพียงแต่ค่าเป้าหมายของโหนดในชั้นแอบแฝงยังไม่ทราบค่า

$$\delta_{j,m} = -\frac{\partial E_p}{\partial O_{j,m}} \cdot \frac{\partial O_{j,m}}{\partial N_{i,m}} \text{ (กฎลูกโซ่)}$$

$$\delta_{j,m} = \left[-\sum_{k=1}^{n_{m+1}} \frac{\partial E_p}{\partial N_{k,m+1}} \cdot \frac{\partial N_{k,m+1}}{\partial O_{j,m}} \right] \cdot \frac{\partial O_{j,m}}{\partial N_{j,m}}$$

จากสมการที่ ก-2 ก-6 และ ก-13

$$\delta_{j,m} = \left[\sum_{k=1}^{n_{m+1}} W_{kj,m+1} \delta_{k,m+1} \right] \cdot f'(N_{j,m})$$

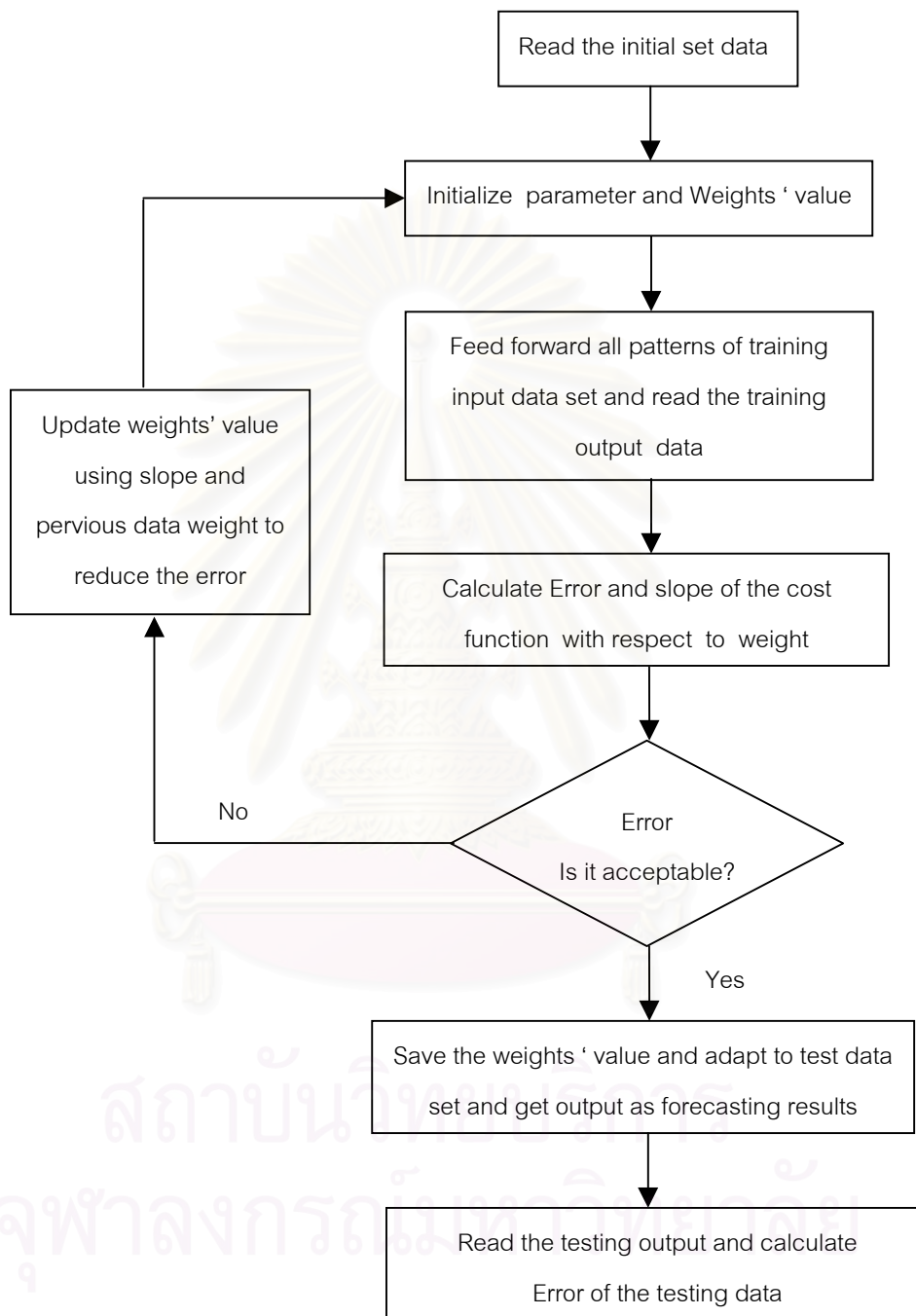
ดังนั้นค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงคือ

$$\Delta W_{ji,m}(n+1) = \eta \delta_{j,m} \cdot O_{i,m-1} \quad (\text{ก-14})$$

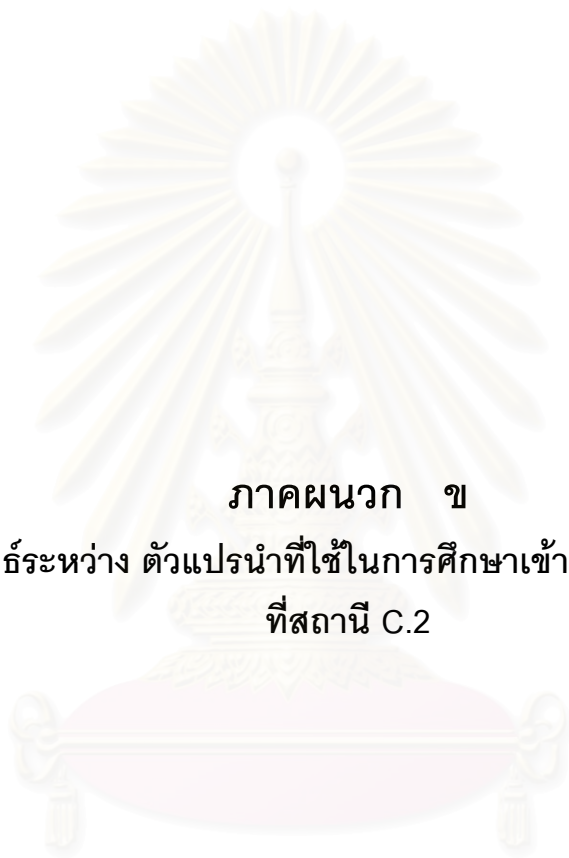
โดยที่

$$\delta_{j,L} = (t_j - O_{j,L}) f'(N_{j,L}) \text{ ในชั้นของเอพท์พุต (} m=L \text{)}$$

$$\delta_{j,m} = \left[\sum_{k=1}^{n_{m+1}} W_{kj,m+1} \delta_{k,m+1} \right] \cdot f'(N_{j,m}) \text{ ในชั้นแอบแฝง (} m < L \text{)} \quad (\text{ก-15})$$



รูปที่ ก-2 ผังกระบวนการเรียนรู้แบบ Backpropagation ของแบบจำลอง ANN



ภาคผนวก ข

ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรนำที่ใช้ในการศึกษาเข้า กับ ค่าอัตราการไหล
ที่สถานี C.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ช่วงของการเรียนรู้

ตัวแปร	Q C2	H(t)	H(t-1)	H(t-2)	H(t-3)	dh/dt	Dam	Ct.2	P.17	P.16	P.15	N14A.	N.8	Y.5	N10A.	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Q C2	1																	
H(t)	0.968	1																
H(t-1)	0.964	0.996	1															
H(t-2)	0.954	0.986	0.995	1														
H(t-3)	0.941	0.971	0.984	0.995	1													
dh/dt	0.168	0.170	0.082	0.017	-0.018	1												
Dam	0.572	0.719	0.729	0.735	0.730	-0.015	1											
Ct.2	0.722	0.830	0.836	0.837	0.829	0.036	0.954	1										
P.17	0.777	0.760	0.746	0.727	0.702	0.254	0.432	0.572	1									
P.16	0.517	0.497	0.486	0.471	0.452	0.183	0.156	0.273	0.792	1								
P.15	0.714	0.685	0.671	0.651	0.625	0.243	0.359	0.495	0.954	0.827	1							
N14A.	0.921	0.966	0.956	0.940	0.922	0.232	0.727	0.809	0.669	0.396	0.604	1						
N.8	0.897	0.926	0.911	0.891	0.869	0.279	0.658	0.743	0.669	0.401	0.615	0.980	1					
Y.5	0.768	0.769	0.772	0.772	0.771	0.063	0.453	0.563	0.500	0.397	0.430	0.734	0.677	1				
N10A	0.861	0.878	0.860	0.837	0.813	0.317	0.599	0.681	0.658	0.425	0.624	0.951	0.982	0.628	1			
Fall 1	0.916	0.847	0.835	0.816	0.799	0.249	0.241	0.430	0.732	0.574	0.682	0.794	0.790	0.728	0.769	1		
Fall 2	-0.915	-0.963	-0.964	-0.958	-0.950	-0.111	-0.741	-0.823	-0.557	-0.306	-0.479	-0.958	-0.906	-0.776	-0.849	-0.779	1	
Fall 3	0.628	0.689	0.669	0.646	0.623	0.310	0.584	0.594	0.340	0.108	0.309	0.853	0.879	0.506	0.892	0.516	-0.740	1

ตาราง ข-2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ช่วงการทดสอบ ปี พ.ศ.2534

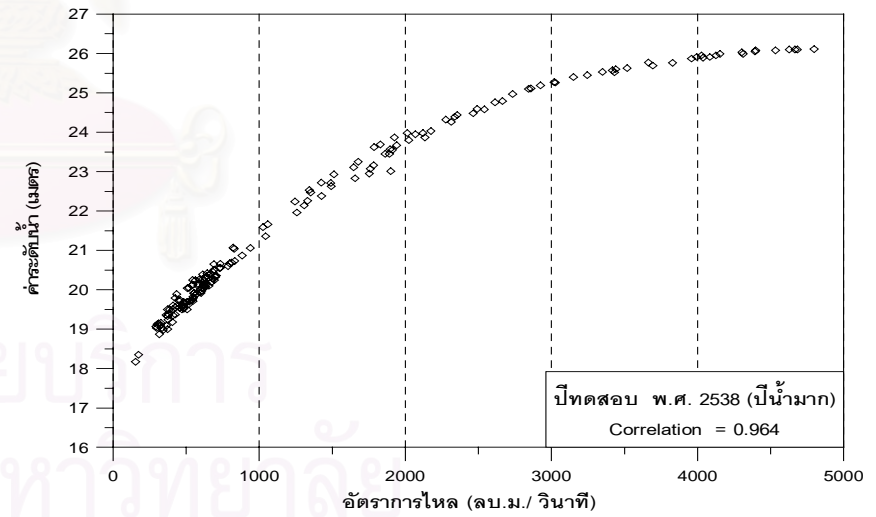
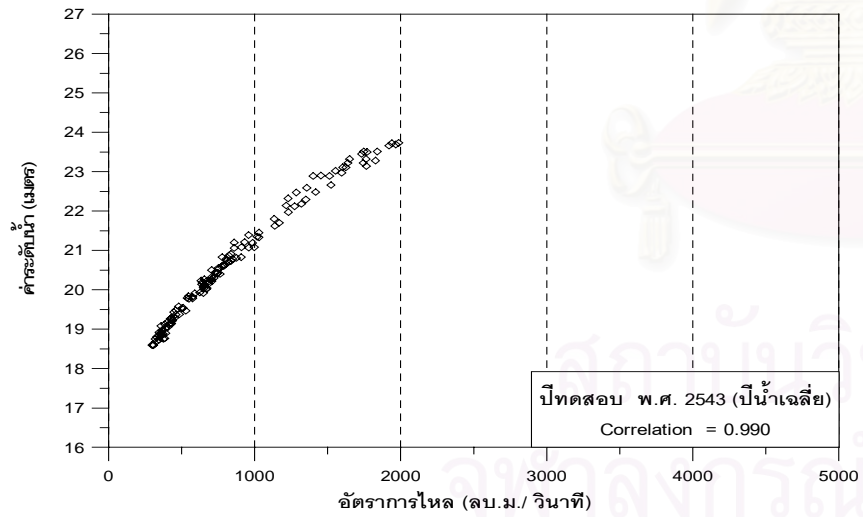
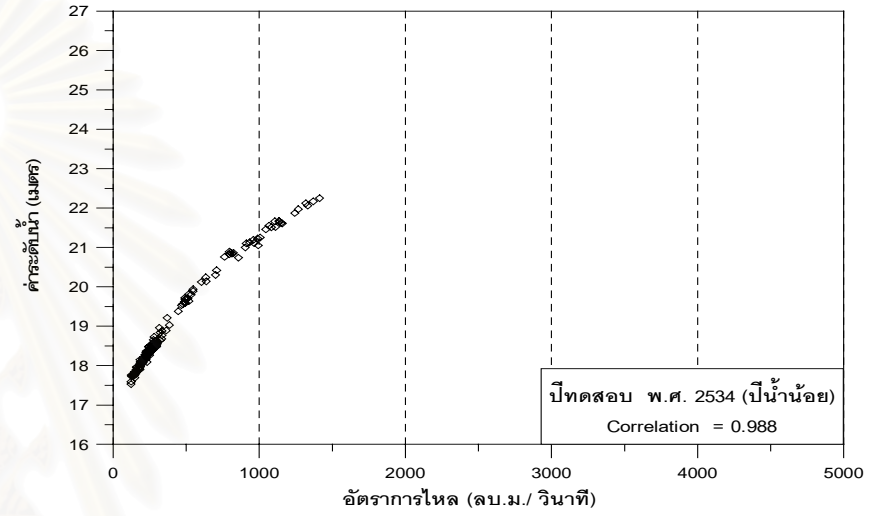
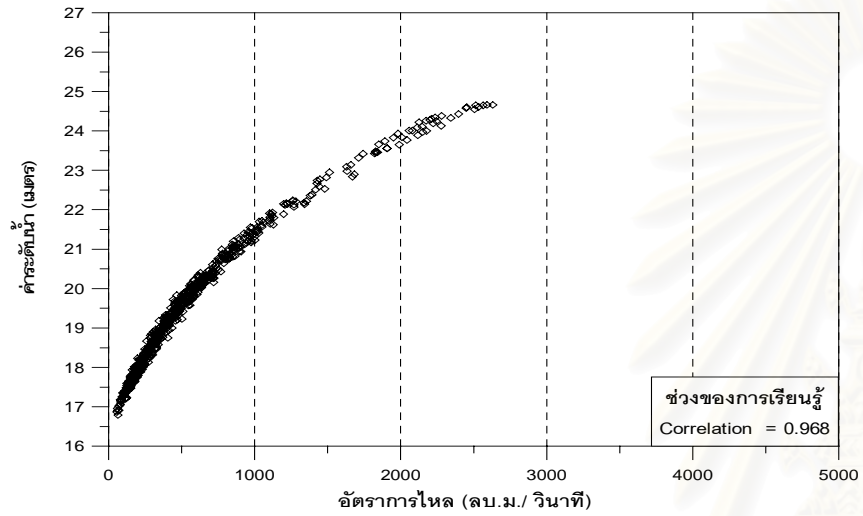
ตัวแปร	Q.C.2	H(t)	H(t-1)	H(t-2)	H(t-3)	dh/dt	Dam	Ct.2	P.17	P.16	P.15	N14A.	N.8	Y.5	N10A.	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Q.C2	1																	
H(t)	0.988	1																
H(t-1)	0.980	0.993	1															
H(t-2)	0.967	0.979	0.993	1														
H(t-3)	0.950	0.962	0.979	0.994	1													
dh/dt	0.210	0.204	0.087	0.021	-0.001	1												
Dam	0.797	0.849	0.865	0.872	0.870	-0.010	1											
Ct.2	0.825	0.876	0.888	0.891	0.886	0.022	0.991	1										
P.17	0.450	0.469	0.462	0.471	0.473	0.122	0.427	0.445	1									
P.16	0.488	0.499	0.482	0.484	0.482	0.212	0.454	0.473	0.884	1								
P.15	0.378	0.383	0.377	0.390	0.394	-0.105	0.373	0.380	0.801	0.893	1							
N14A.	0.976	0.960	0.946	0.924	0.899	0.252	0.766	0.795	0.302	0.367	0.256	1						
N.8	0.949	0.916	0.895	0.868	0.840	0.302	0.698	0.728	0.263	0.348	0.243	0.988	1					
Y.5	0.621	0.641	0.648	0.657	0.661	0.041	0.497	0.508	0.486	0.497	0.428	0.520	0.453	1				
N10A	0.908	0.864	0.837	0.807	0.777	0.348	0.637	0.667	0.221	0.325	0.224	0.962	0.992	0.382	1			
Fall 1	0.781	0.732	0.727	0.710	0.687	0.146	0.296	0.331	0.284	0.283	0.207	0.757	0.753	0.571	0.724	1		
Fall 2	-0.968	-0.977	-0.971	-0.953	-0.934	-0.193	-0.822	-0.847	-0.268	-0.329	-0.223	-0.973	-0.935	-0.581	-0.889	-0.729	1	
Fall 3	0.850	0.800	0.780	0.749	0.718	0.283	0.575	0.602	0.058	0.161	0.068	0.936	0.965	0.309	0.974	0.703	-0.858	1

ตาราง ข-3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ช่วงการทดสอบ ปี พ.ศ.2543

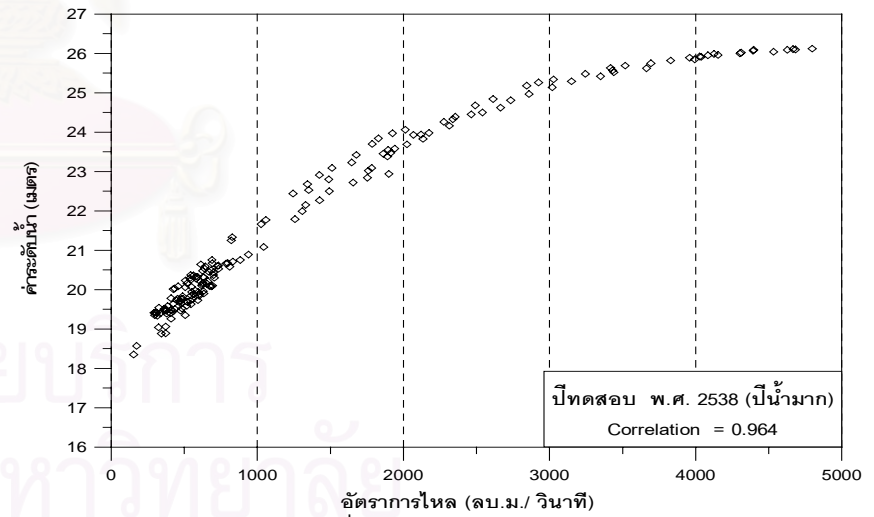
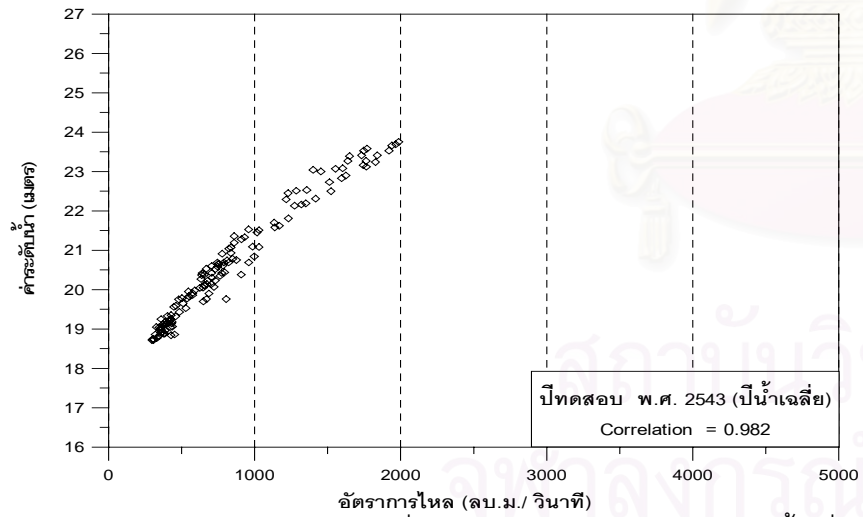
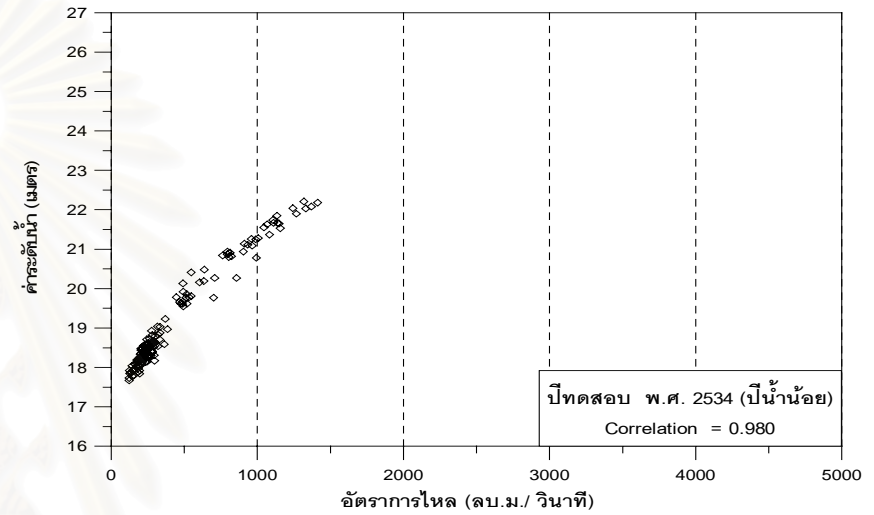
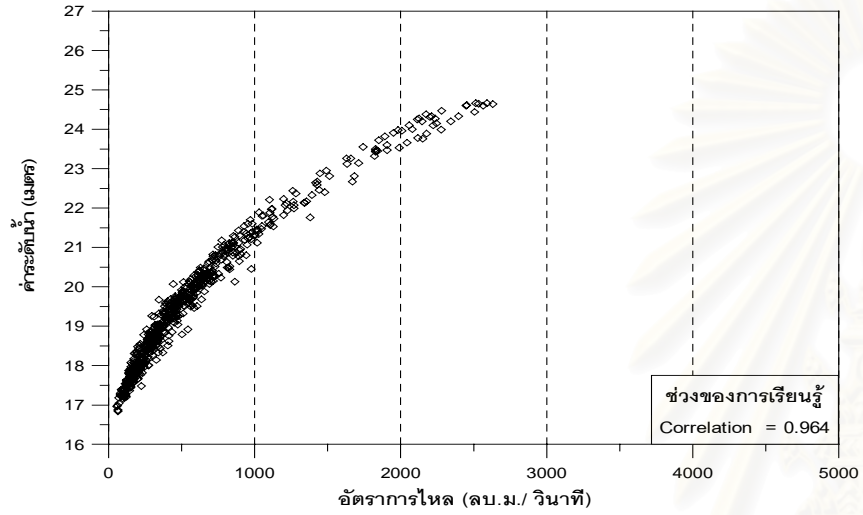
ตัวแปร	Q.C.2	H(t)	H(t-1)	H(t-2)	H(t-3)	dh/dt	Dam	Ct.2	P.17	P.16	P.15	N14A.	N.8	Y.5	N10A.	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Q.C2	1																	
H(t)	0.990	1																
H(t-1)	0.982	0.994	1															
H(t-2)	0.968	0.981	0.994	1														
H(t-3)	0.949	0.965	0.981	0.994	1													
dh/dt	0.217	0.208	0.096	0.032	0.005	1												
Dam	0.308	0.343	0.345	0.347	0.352	0.039	1											
Ct.2	0.600	0.631	0.635	0.637	0.638	0.061	0.026	1										
P.17	0.730	0.686	0.666	0.636	0.597	0.284	0.240	0.295	1									
P.16	0.756	0.709	0.685	0.651	0.608	0.321	0.204	0.325	0.983	1								
P.15	0.689	0.640	0.613	0.578	0.535	0.324	0.144	0.314	0.943	0.973	1							
N14A.	0.955	0.963	0.949	0.926	0.902	0.266	0.266	0.612	0.621	0.664	0.611	1						
N.8	0.929	0.923	0.902	0.871	0.842	0.328	0.211	0.547	0.646	0.696	0.649	0.987	1					
Y.5	0.915	0.939	0.947	0.948	0.946	0.080	0.362	0.625	0.519	0.546	0.477	0.899	0.838	1				
N10A.	0.896	0.882	0.856	0.821	0.788	0.363	0.151	0.505	0.647	0.702	0.662	0.964	0.993	0.782	1			
Fall 1	0.893	0.888	0.878	0.860	0.839	0.226	0.417	0.204	0.691	0.702	0.621	0.852	0.841	0.815	0.814	1		
Fall 2	-0.919	-0.951	-0.952	-0.948	-0.945	-0.138	-0.325	-0.658	-0.428	-0.464	-0.394	-0.933	-0.873	-0.947	-0.821	-0.810	1	
Fall 3	0.715	0.718	0.693	0.656	0.625	0.320	0.081	0.465	0.389	0.461	0.448	0.879	0.914	0.660	0.928	0.630	-0.726	1

ตาราง ข-4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ช่วงการทดสอบ ปี พ.ศ.2538

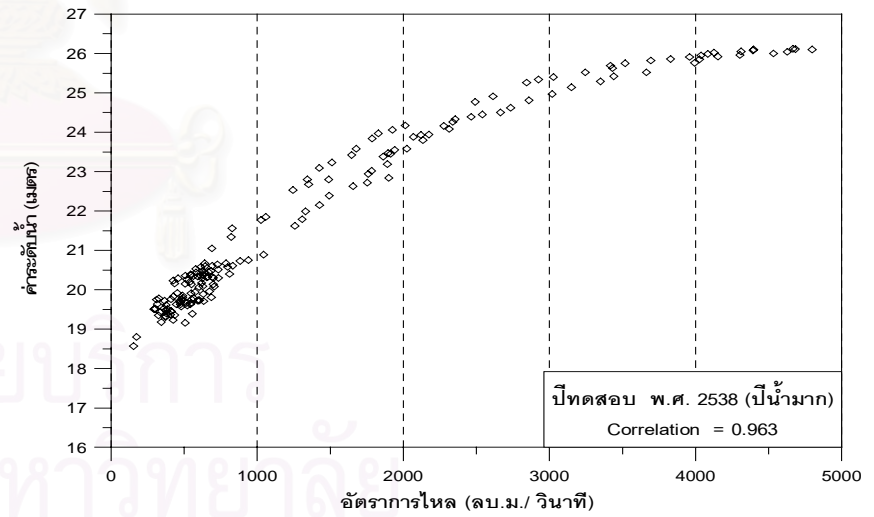
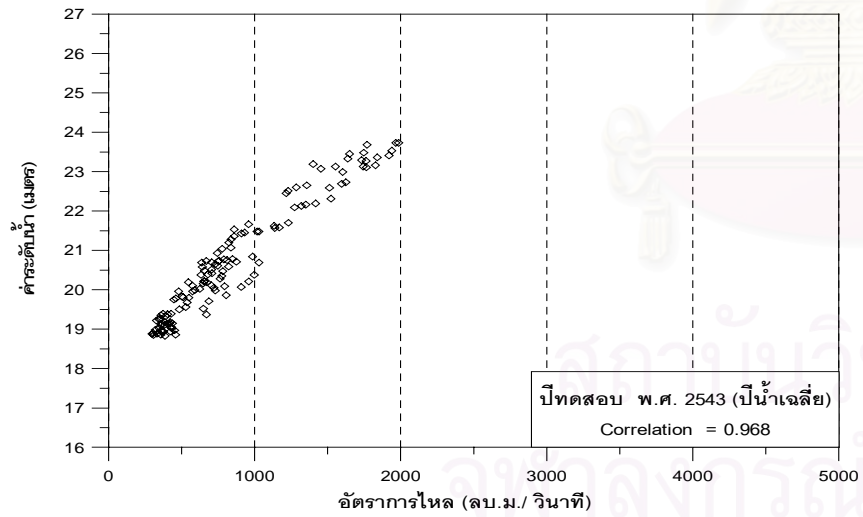
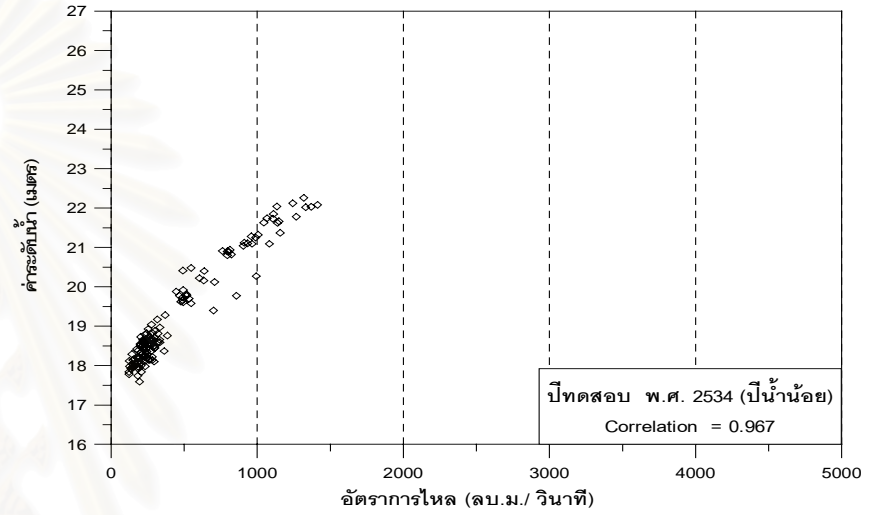
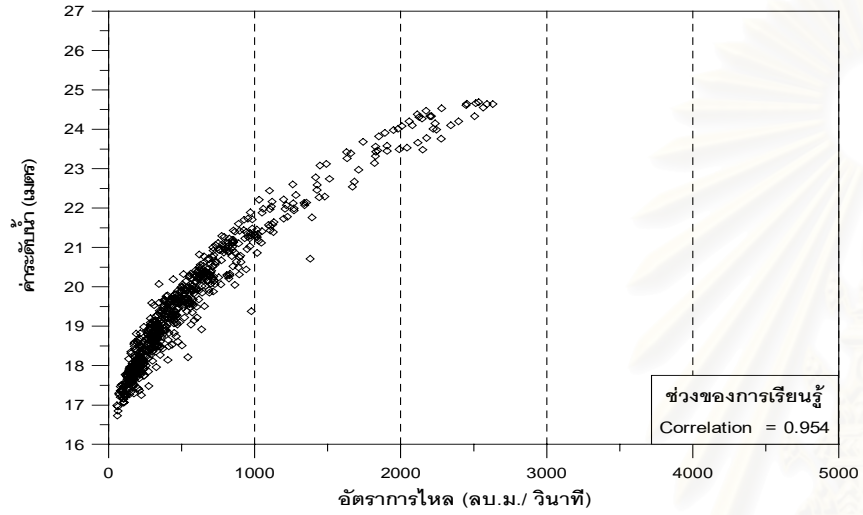
ตัวแปร	Q.C.2	H(t)	H(t-1)	H(t-2)	H(t-3)	dh/dt	Dam	Ct.2	P.17	P.16	P.15	N14A.	N.8	Y.5	N10A.	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Q.C2	1																	
H(t)	0.964	1																
H(t-1)	0.964	0.998	1															
H(t-2)	0.963	0.995	0.998	1														
H(t-3)	0.958	0.989	0.994	0.998	1													
dh/dt	0.254	0.292	0.237	0.209	0.189	1												
Dam	0.596	0.527	0.539	0.547	0.552	-0.057	1											
Ct.2	0.955	0.894	0.899	0.903	0.904	0.142	0.777	1										
P.17	0.704	0.685	0.671	0.660	0.647	0.397	0.097	0.566	1									
P.16	0.683	0.672	0.659	0.648	0.632	0.385	0.151	0.553	0.107	1								
P.15	0.542	0.534	0.523	0.513	0.501	0.325	0.070	0.406	0.095	0.927	1							
N14A.	0.872	0.954	0.945	0.935	0.924	0.400	0.447	0.773	-0.135	0.622	0.498	1						
N.8	0.863	0.938	0.926	0.914	0.901	0.446	0.413	0.754	-0.122	0.650	0.529	0.995	1					
Y.5	0.936	0.972	0.970	0.967	0.961	0.288	0.441	0.849	-0.004	0.687	0.539	0.932	0.918	1				
N10A.	0.872	0.933	0.921	0.910	0.897	0.446	0.391	0.758	-0.069	0.663	0.544	0.982	0.991	0.915	1			
Fall 1	0.797	0.914	0.906	0.897	0.887	0.375	0.205	0.635	-0.021	0.657	0.552	0.944	0.934	0.906	0.922	1		
Fall 2	-0.934	-0.981	-0.983	-0.982	-0.979	-0.217	-0.526	-0.880	-0.531	-0.502	-0.352	-0.943	-0.915	-0.945	-0.903	-0.882	1	
Fall 3	0.235	0.394	0.371	0.348	0.330	0.487	0.037	0.108	-0.295	0.207	0.176	0.652	0.675	0.398	0.648	0.580	-0.481	1



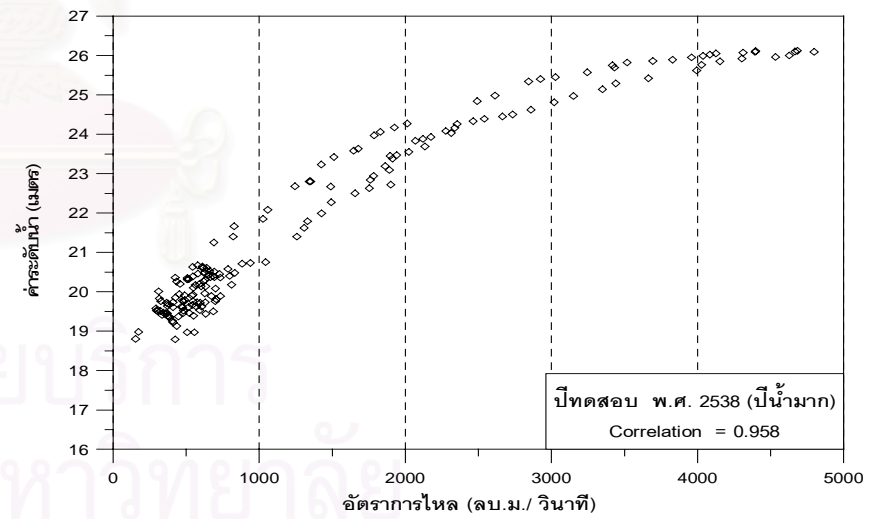
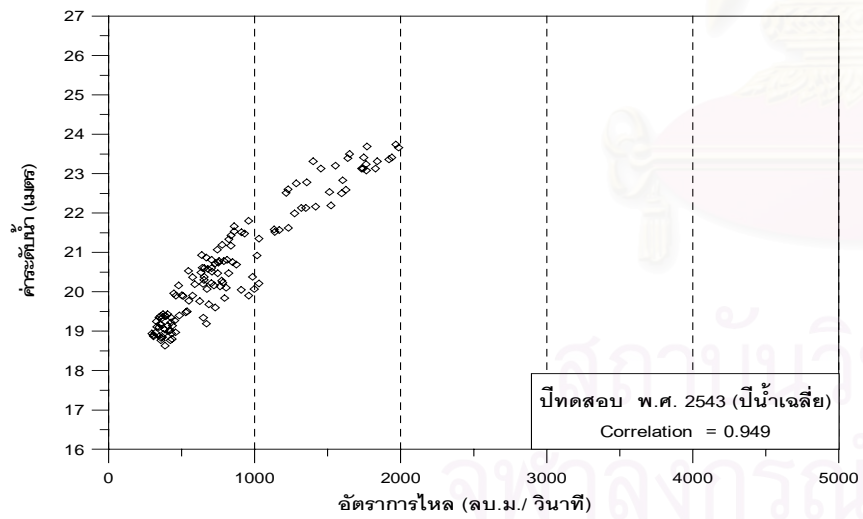
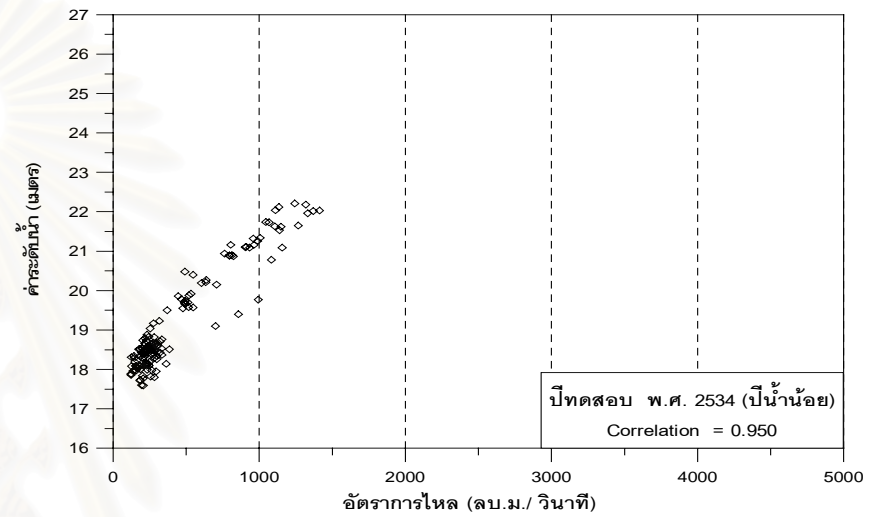
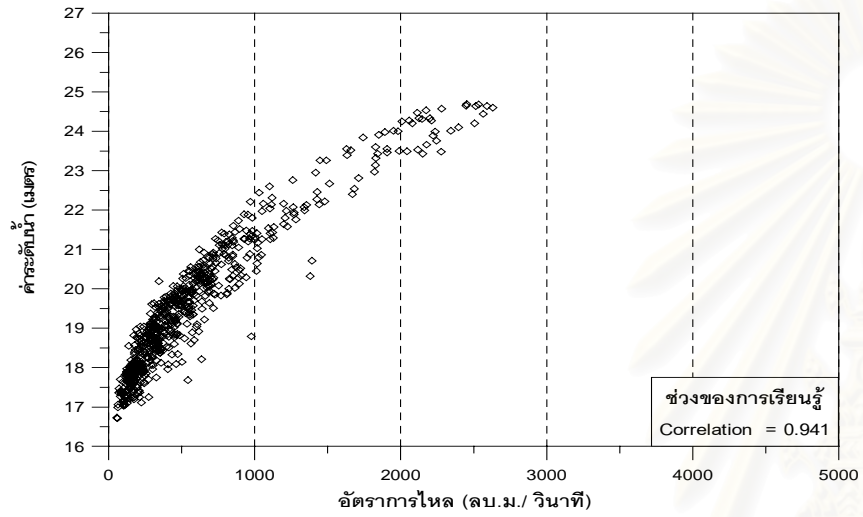
รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ ที่เวลาปัจจุบัน กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



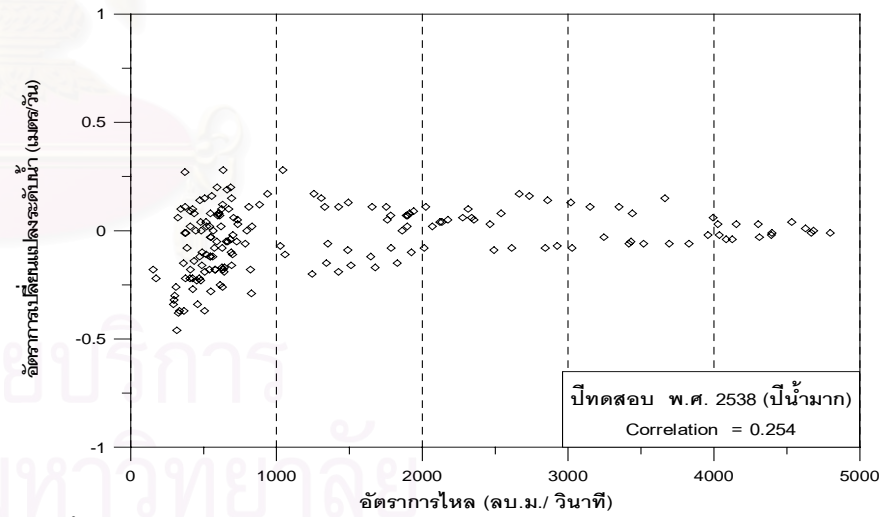
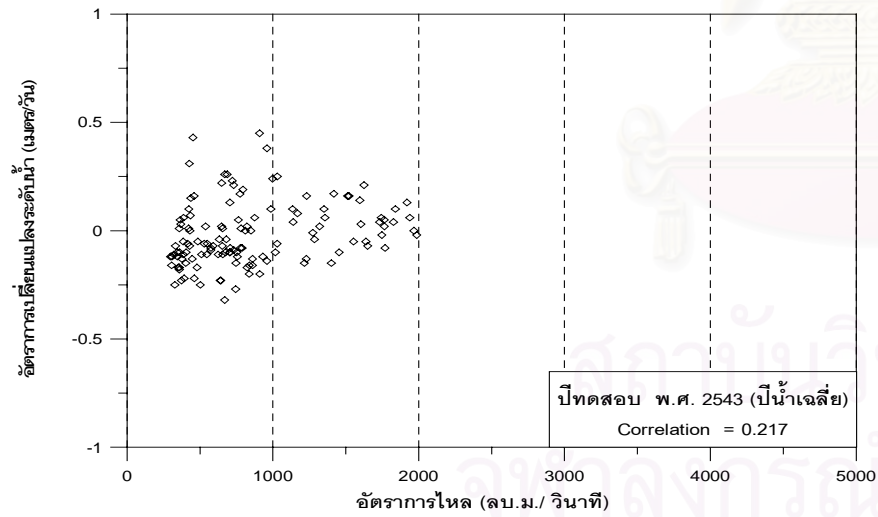
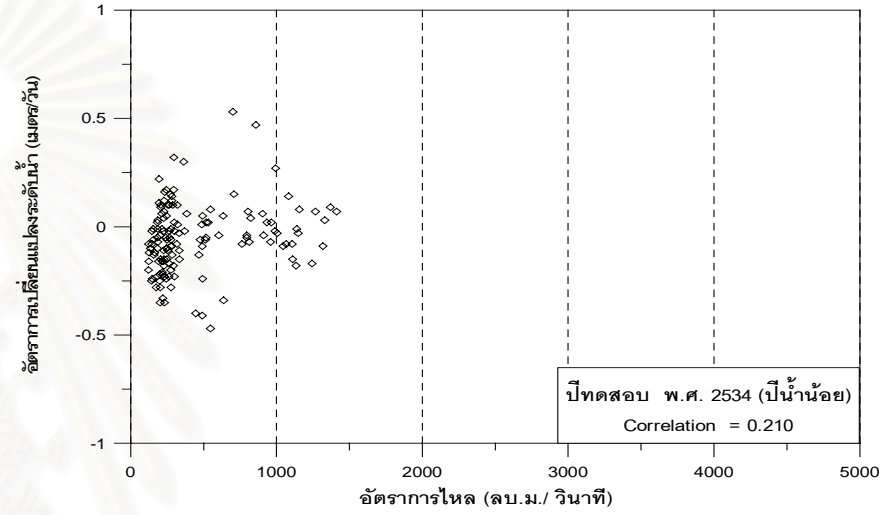
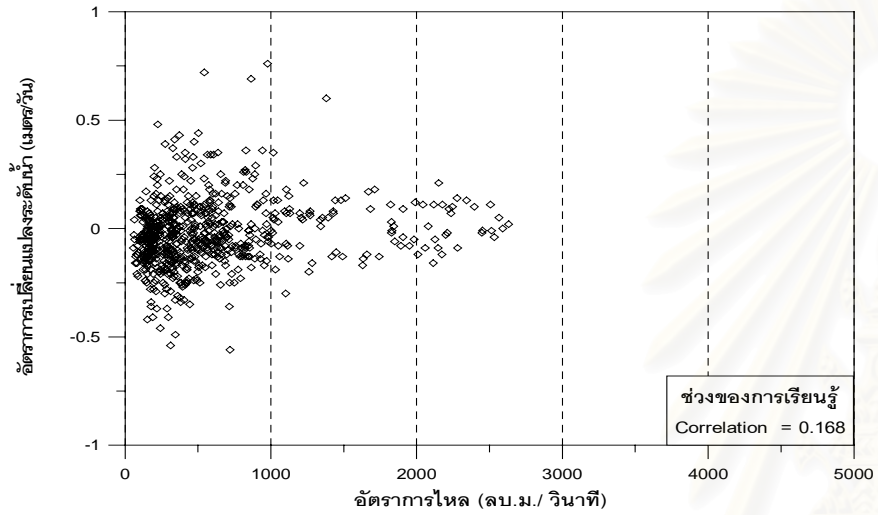
รูปที่ ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ ที่เวลาย้อนหลัง 1 วัน กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



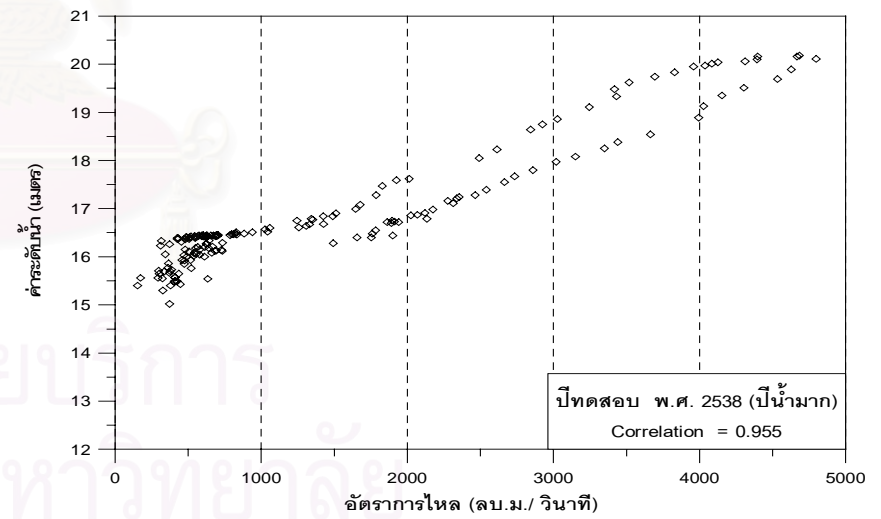
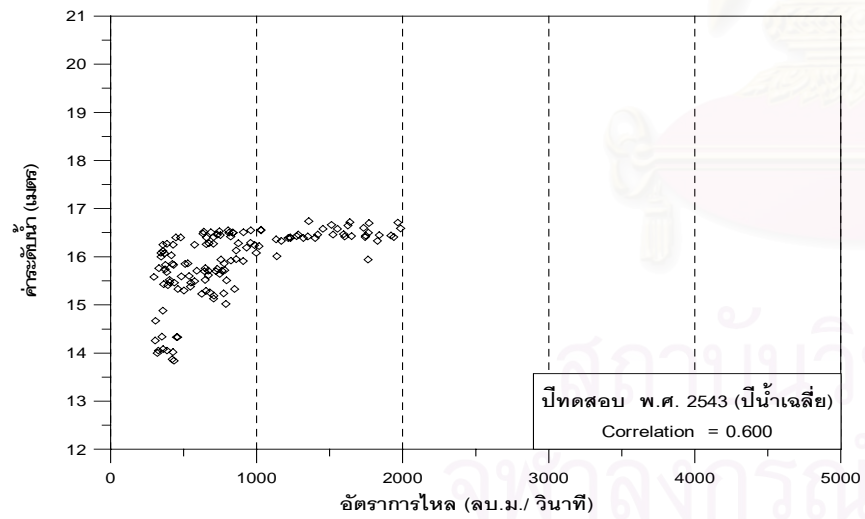
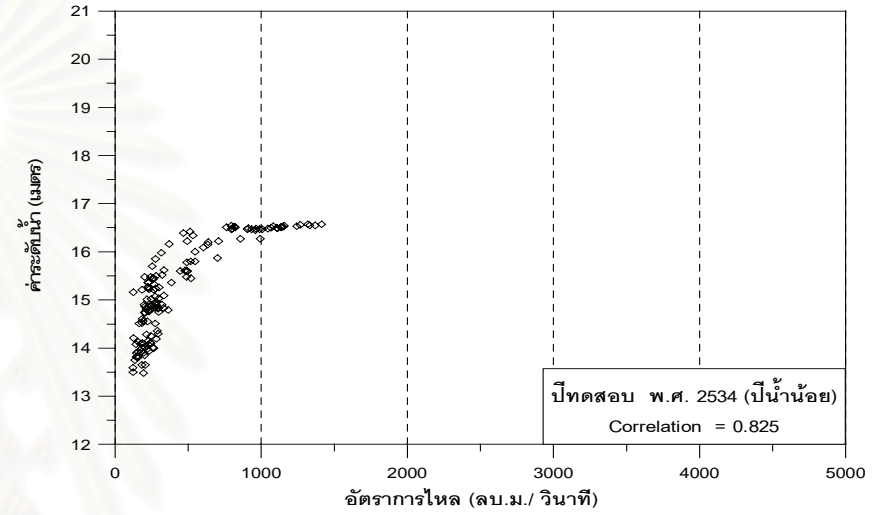
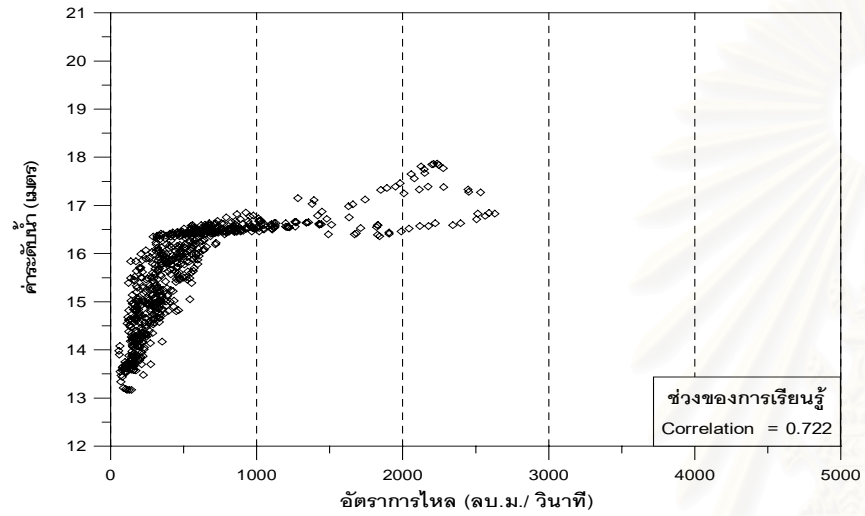
รูปที่ ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ ที่เวลาย้อนหลัง 2 วัน กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



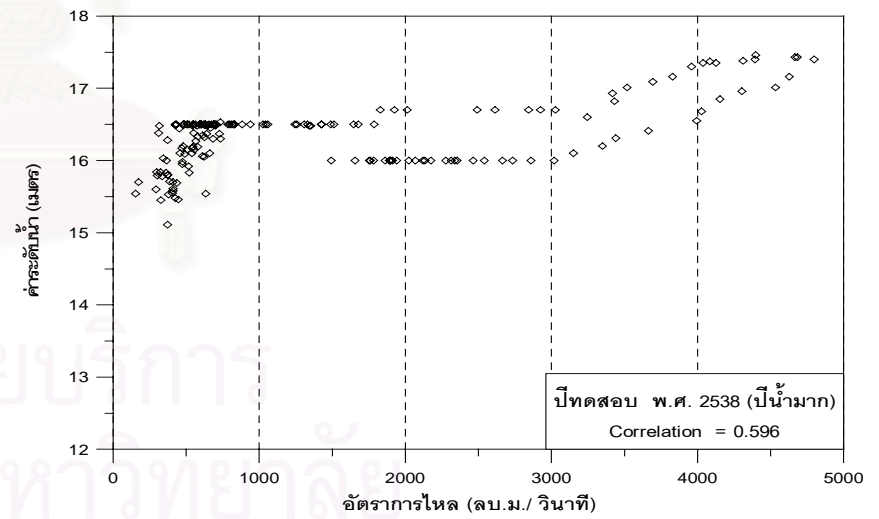
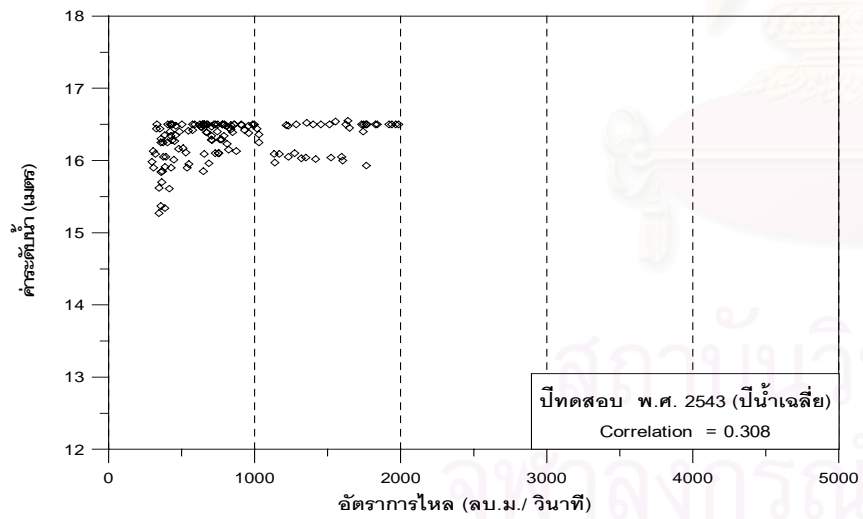
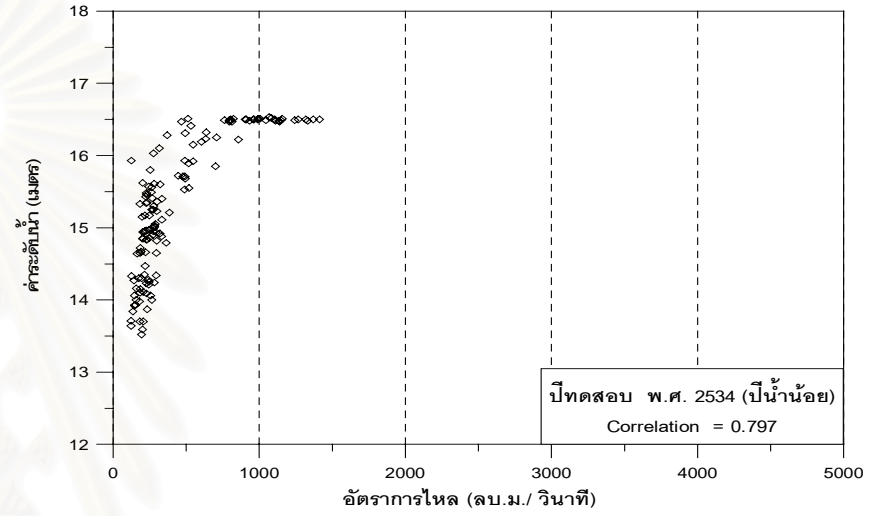
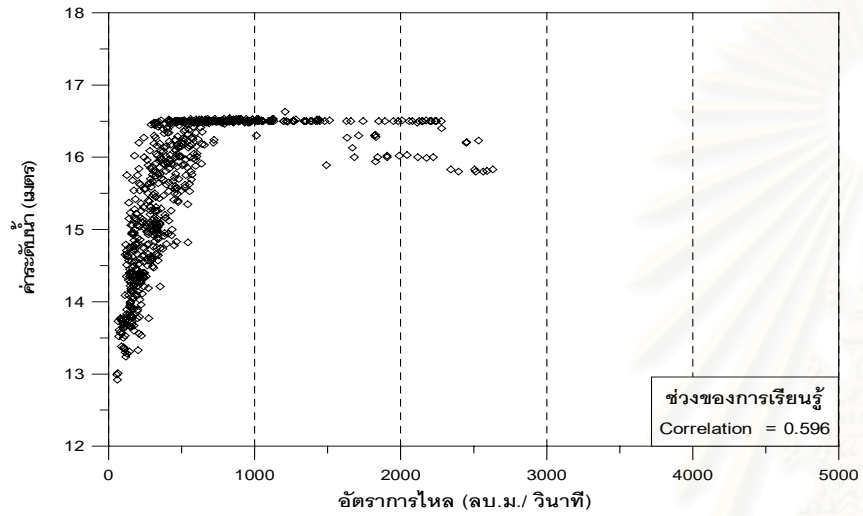
รูปที่ ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ ที่เวลาย้อนหลัง 3 วัน กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



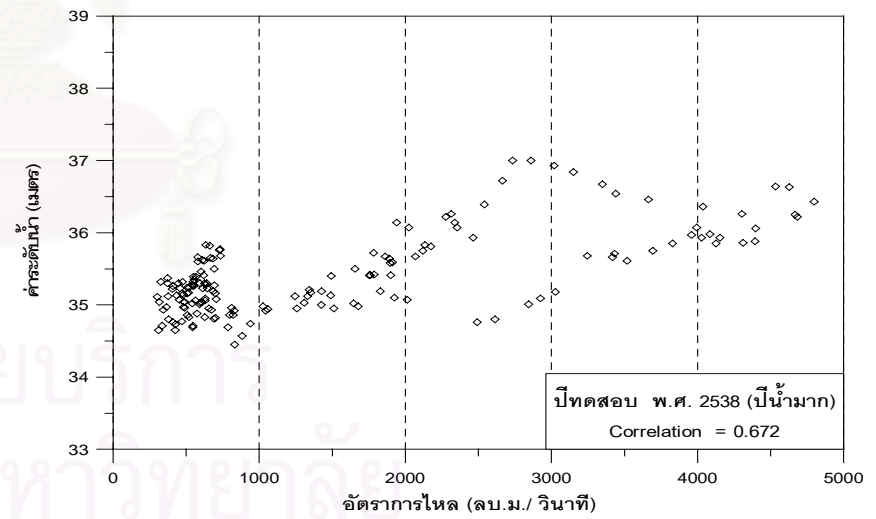
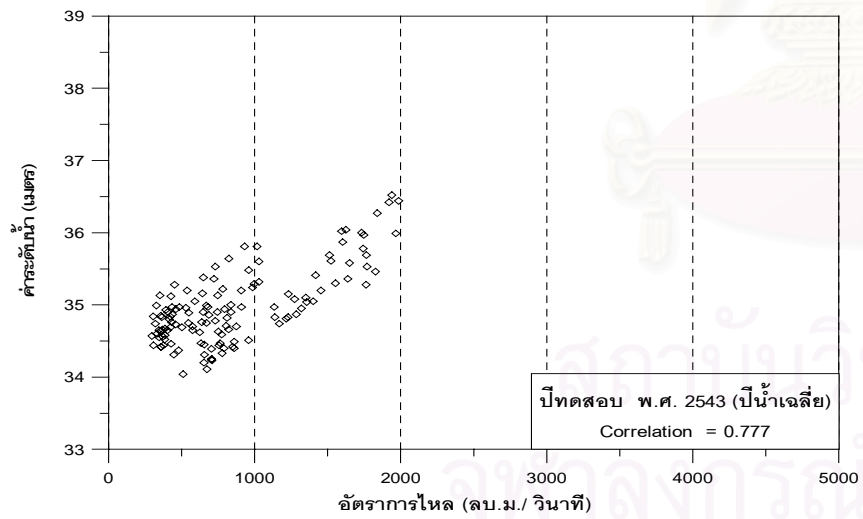
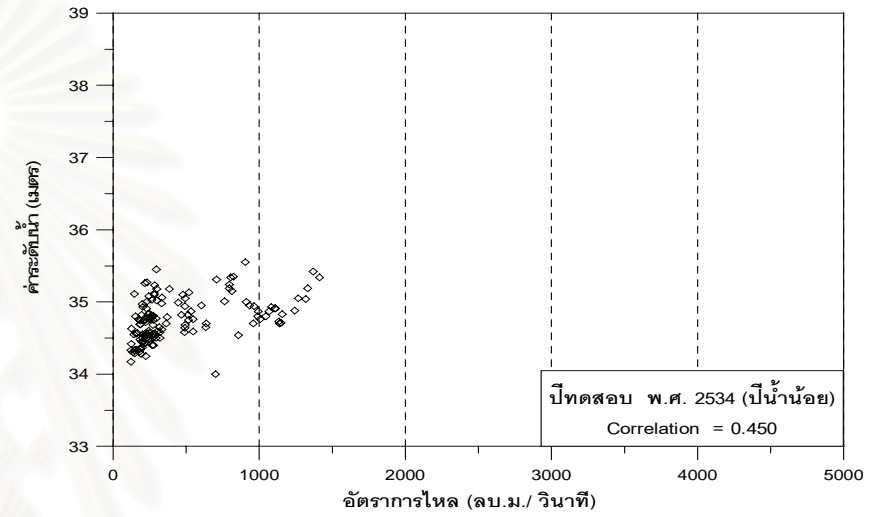
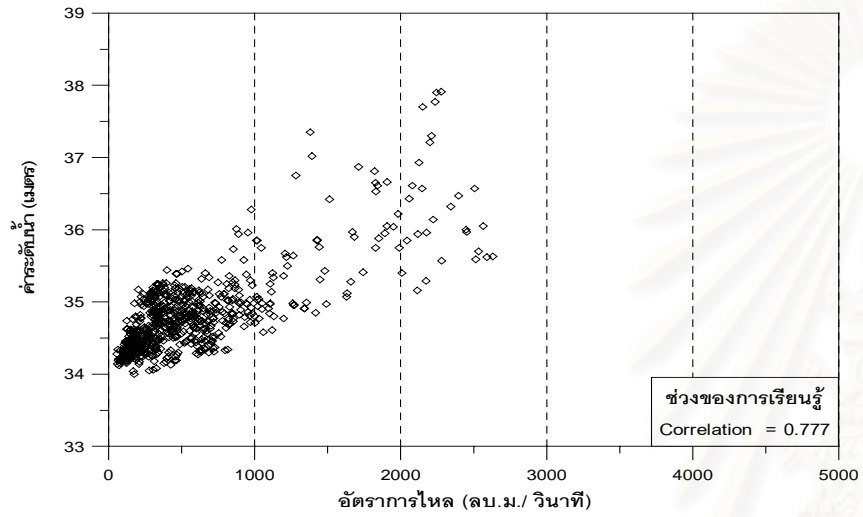
รูปที่ ข-5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (dh/dt) กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



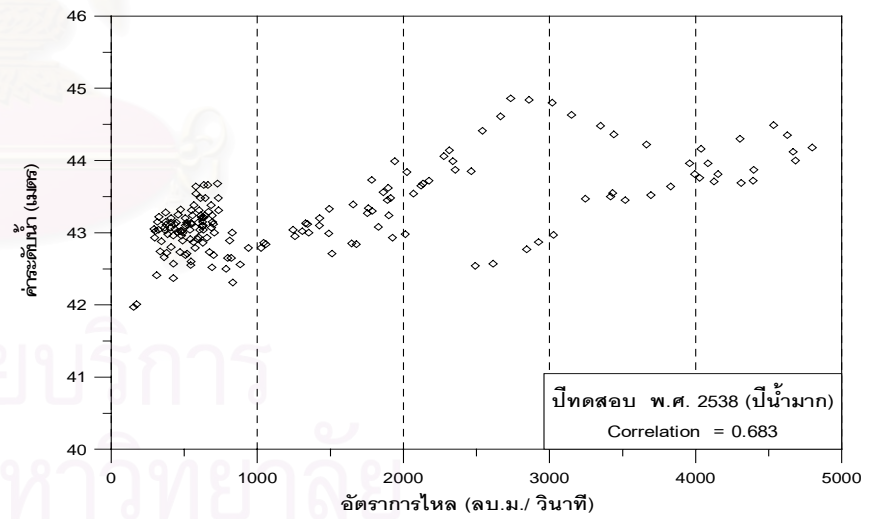
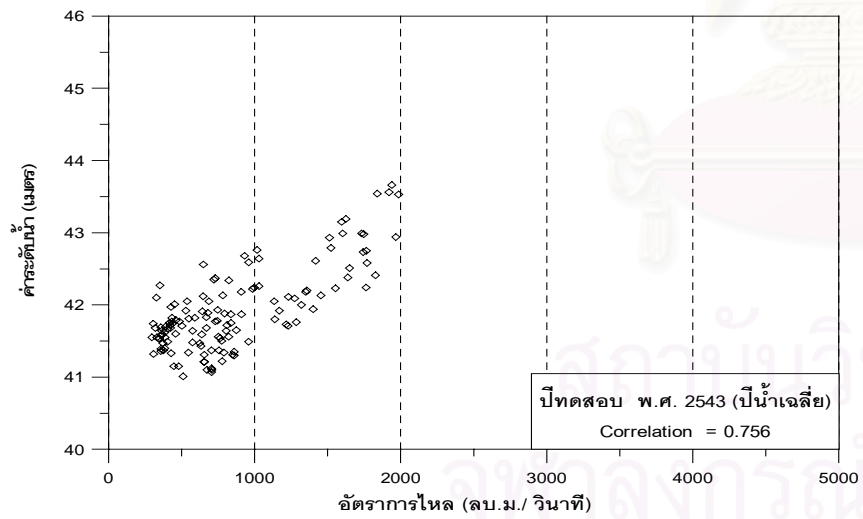
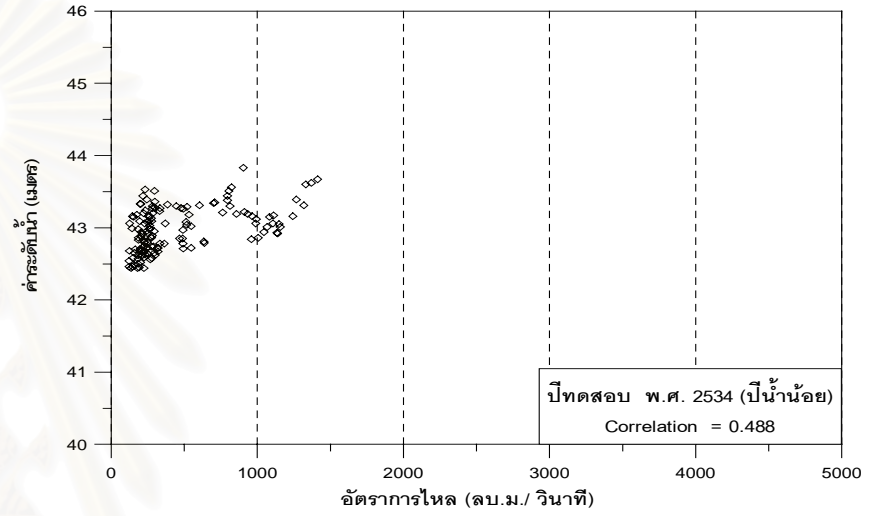
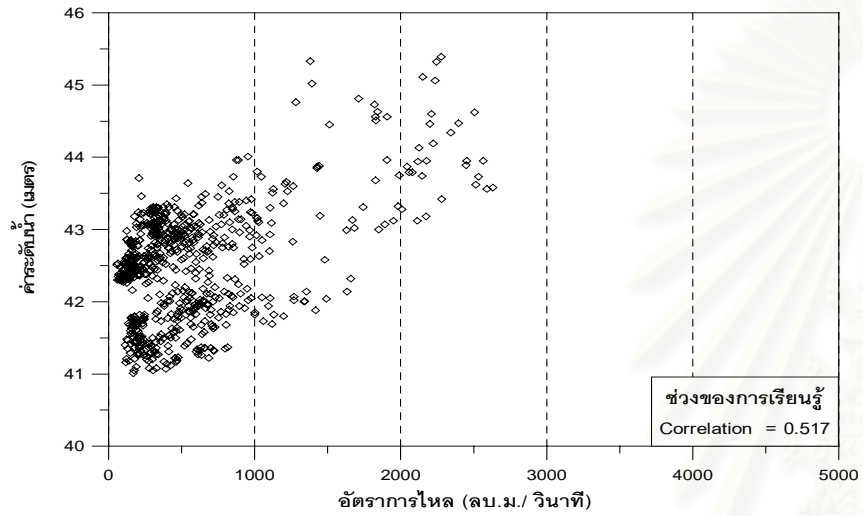
รูปที่ ข-6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี Ct.2 กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



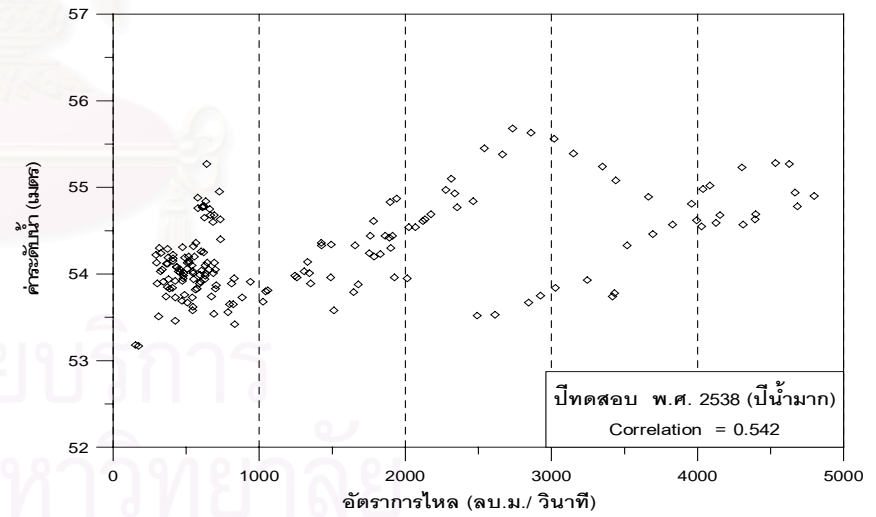
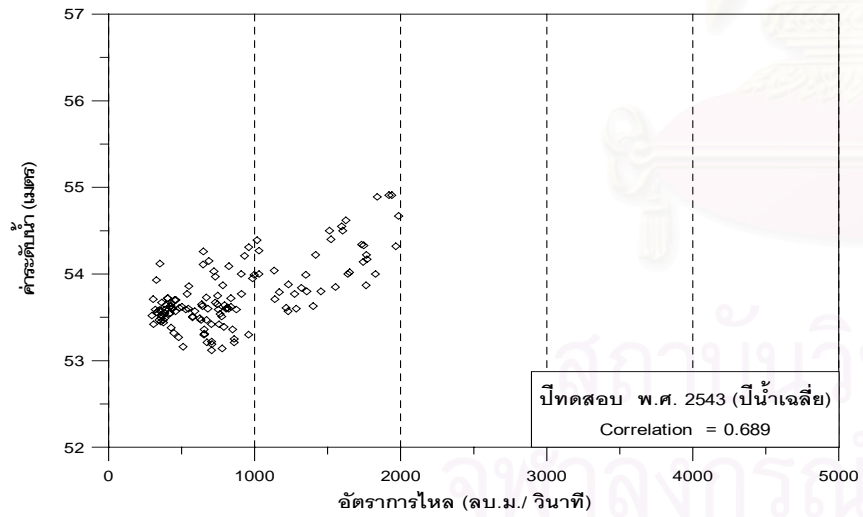
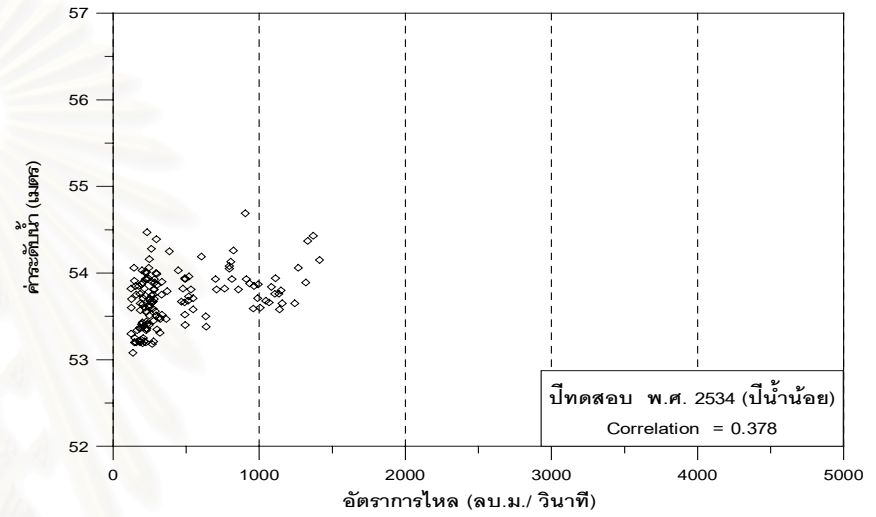
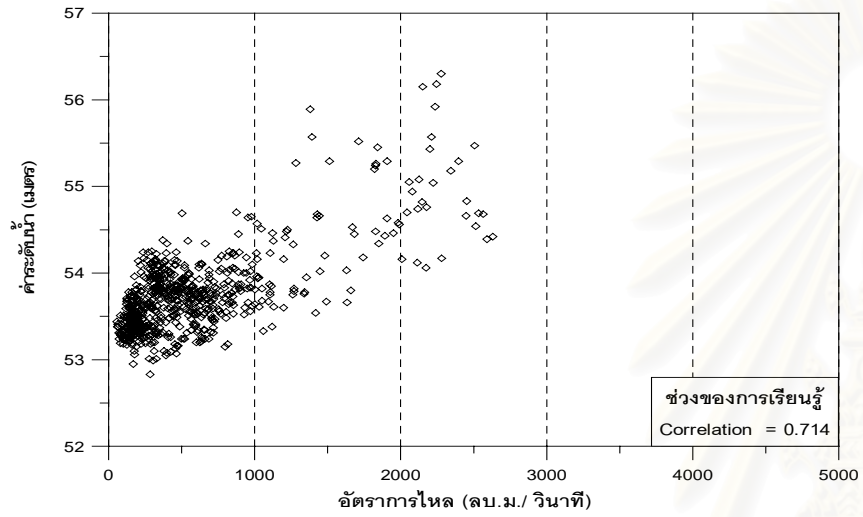
รูปที่ ข-7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่เขื่อนเจ้าพระยา กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



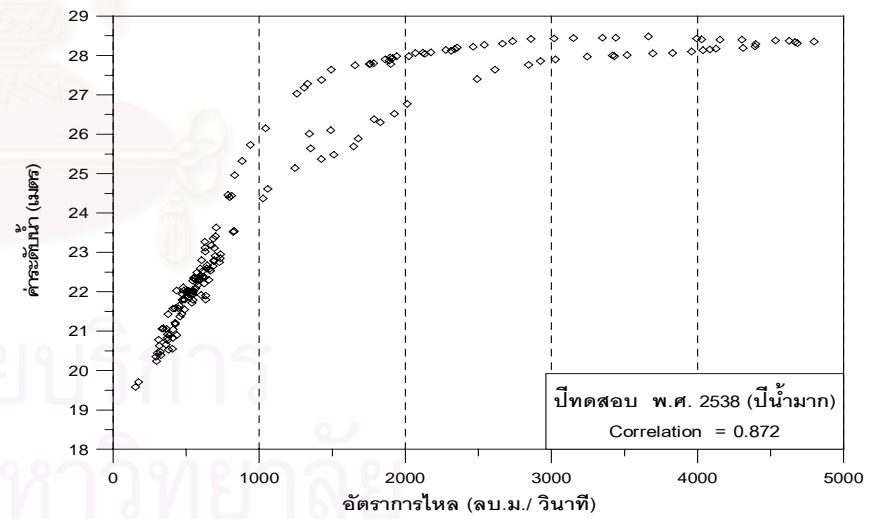
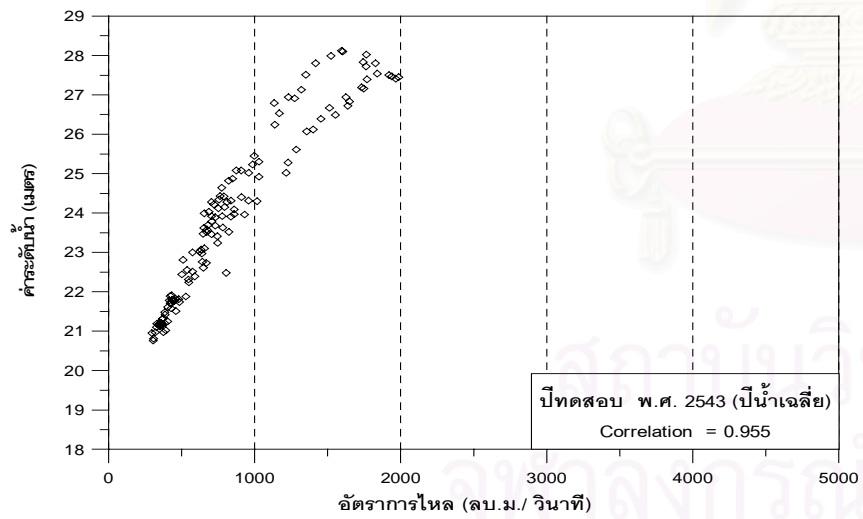
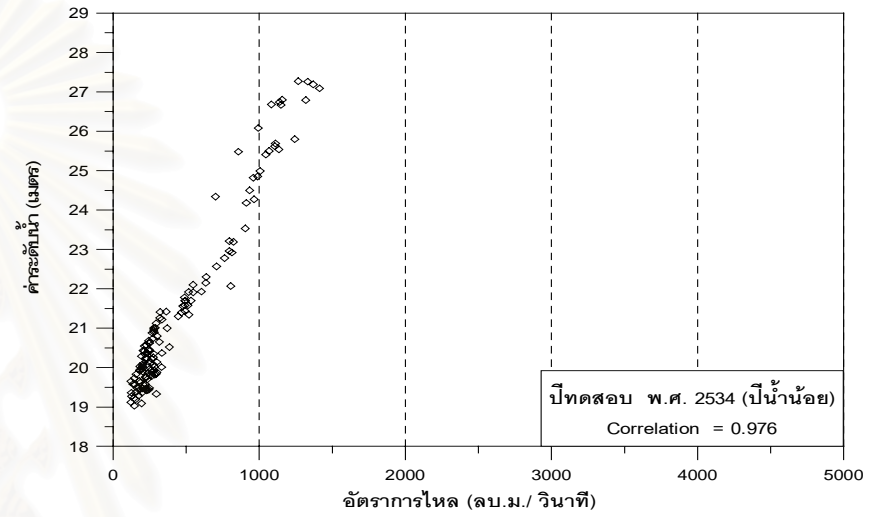
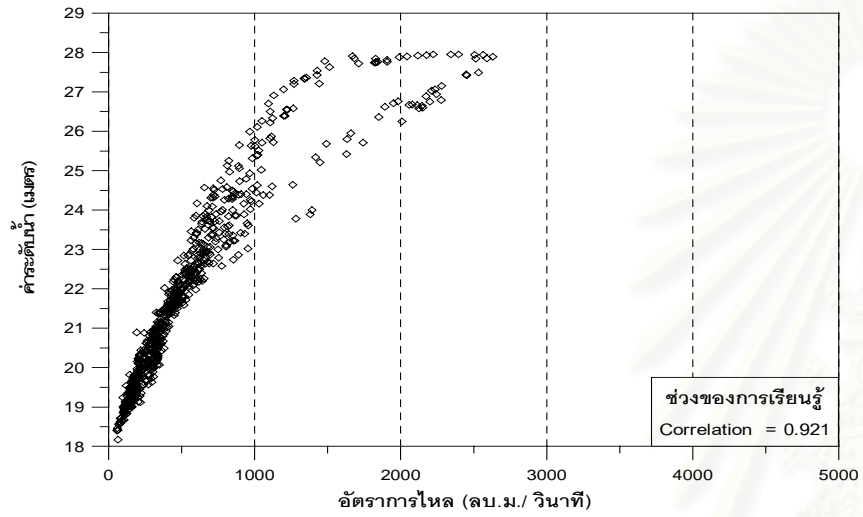
รูปที่ ข-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี P.17 กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



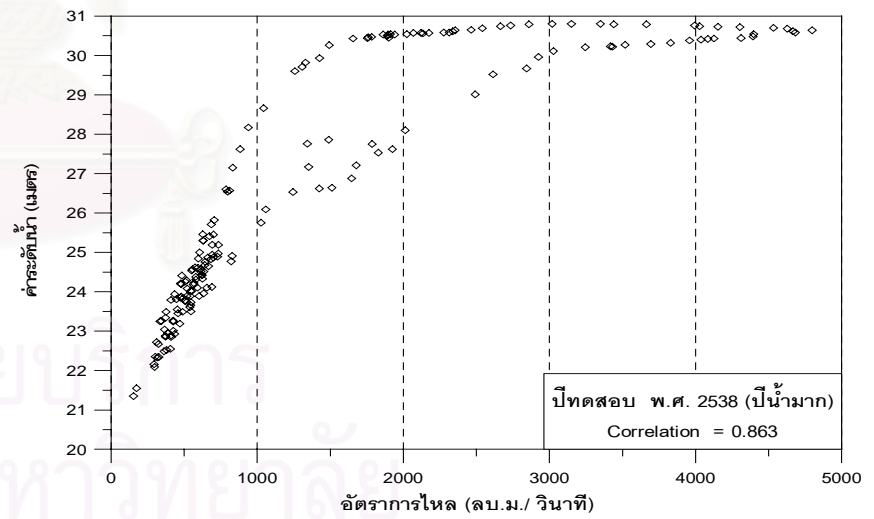
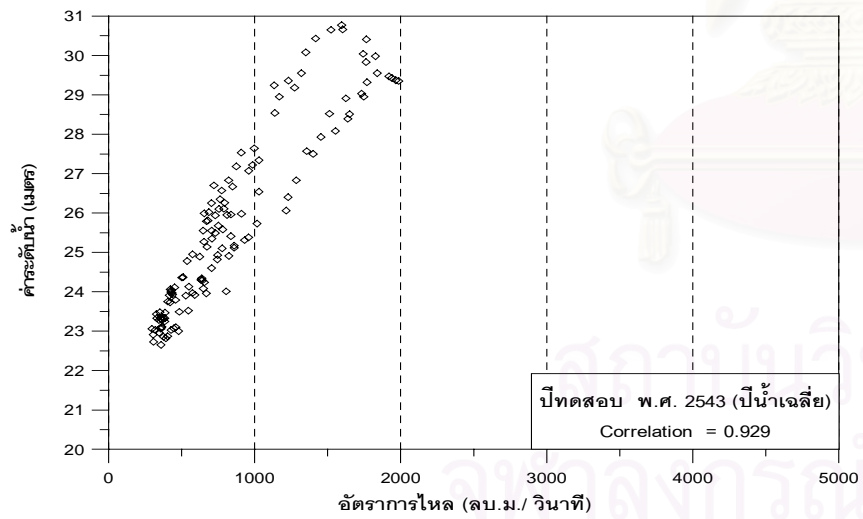
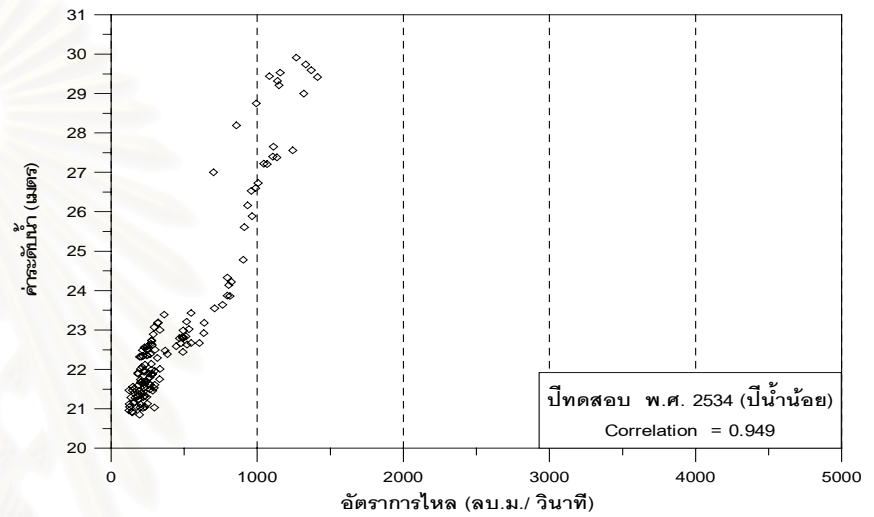
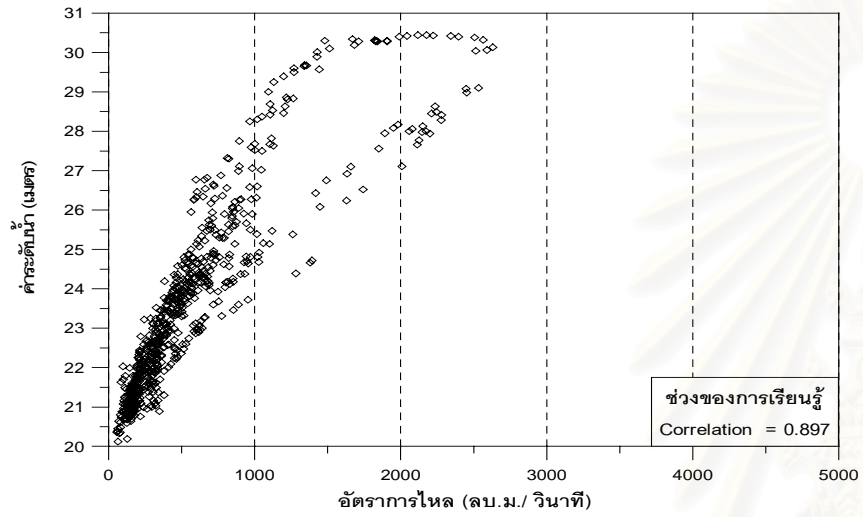
รูปที่ ข-9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี P.16 กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



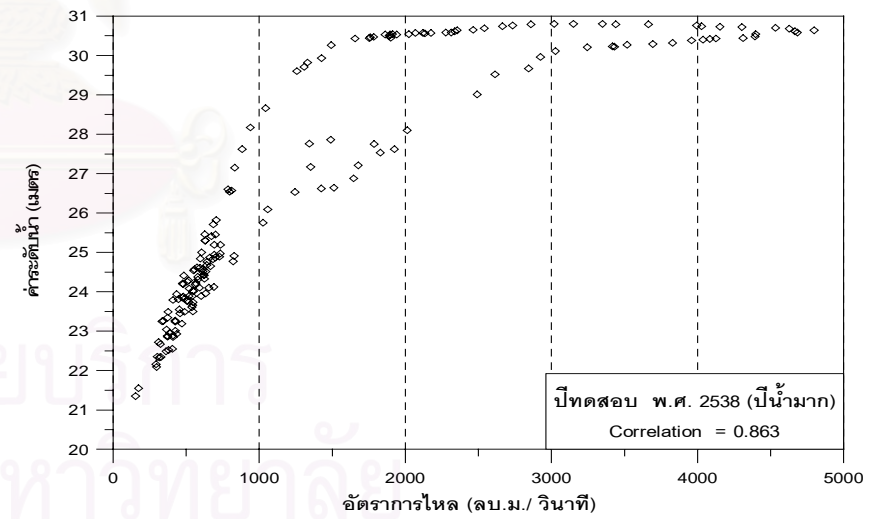
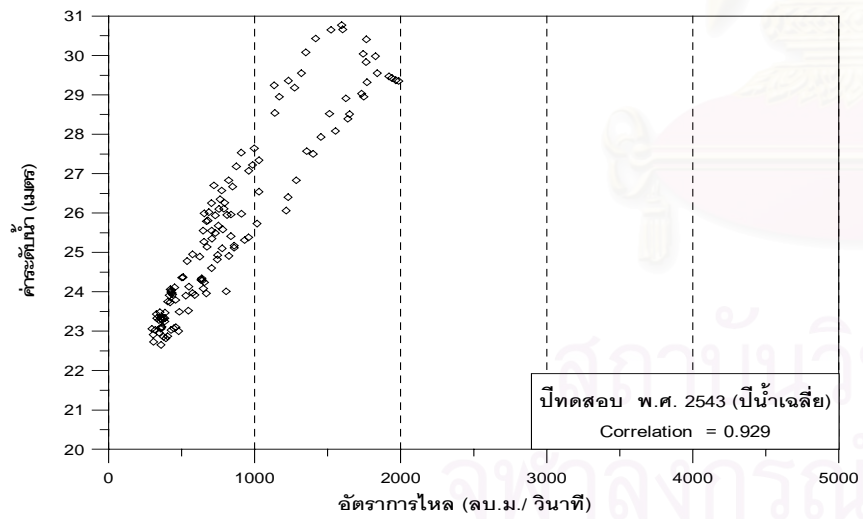
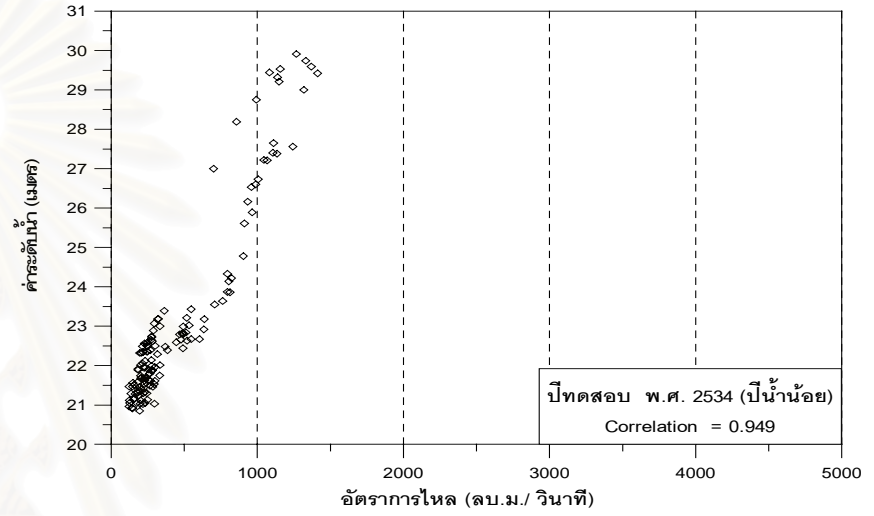
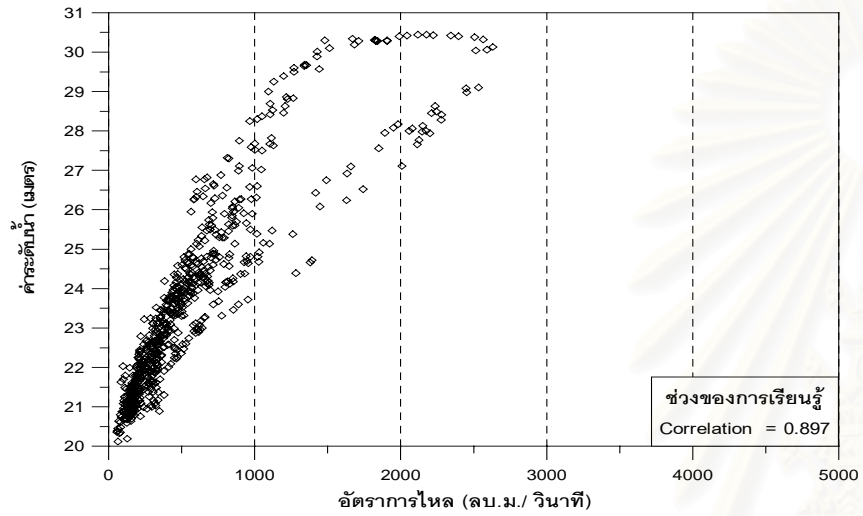
รูปที่ ข-10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี P.15 กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



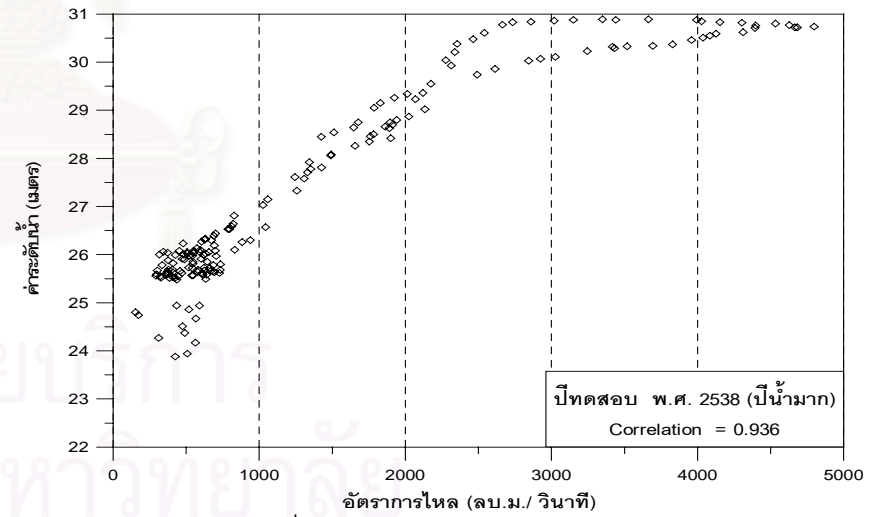
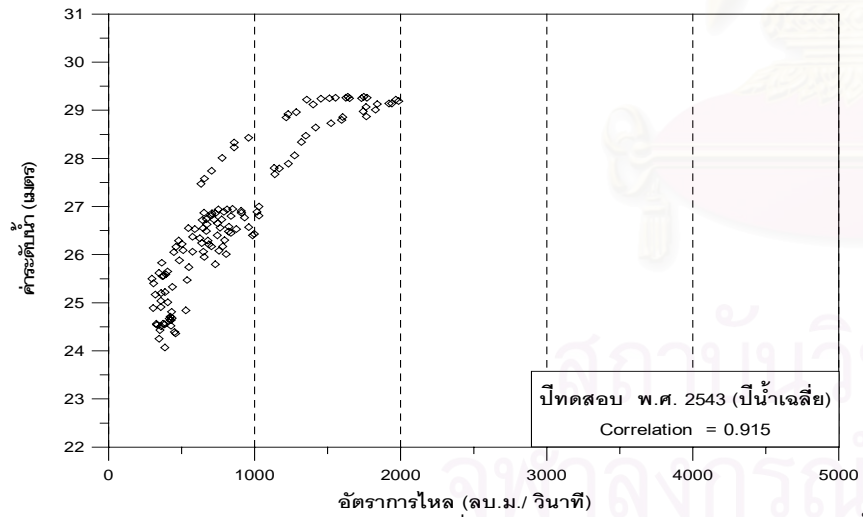
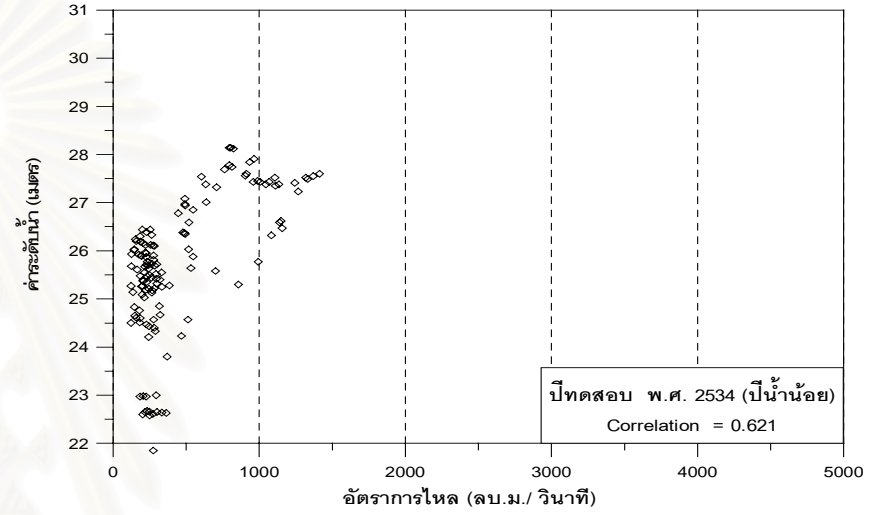
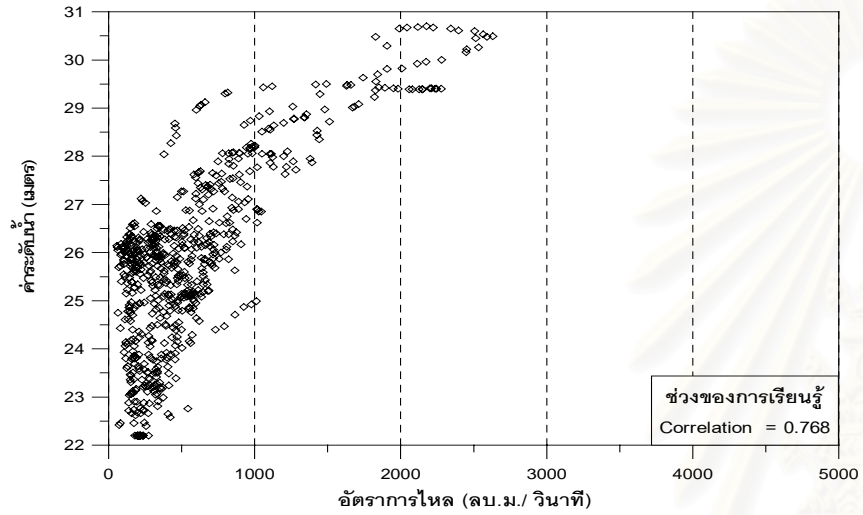
รูปที่ ข-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี N14A. กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



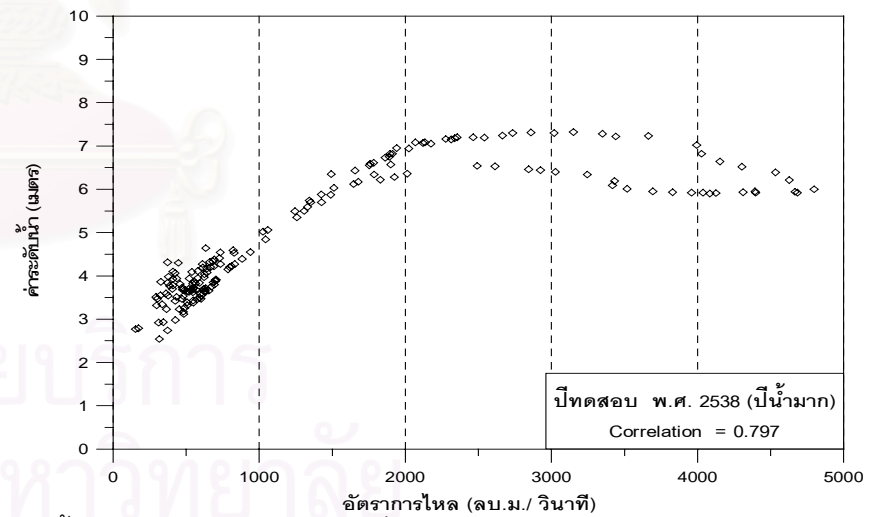
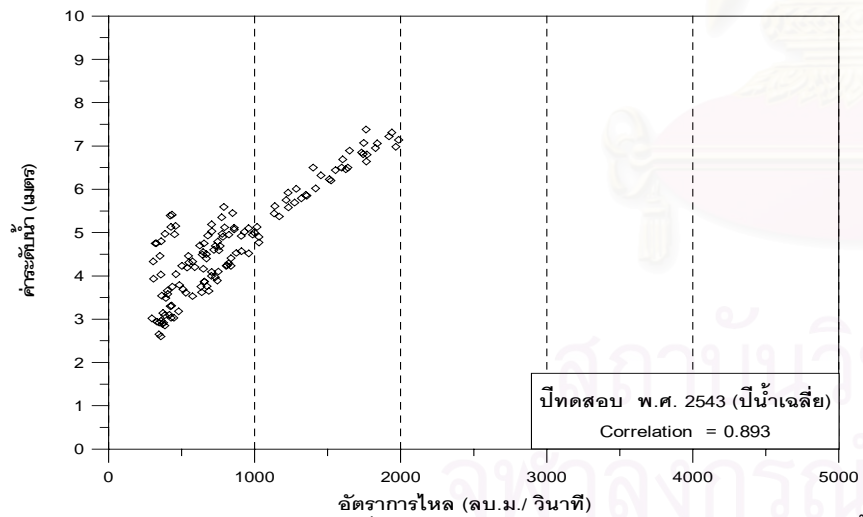
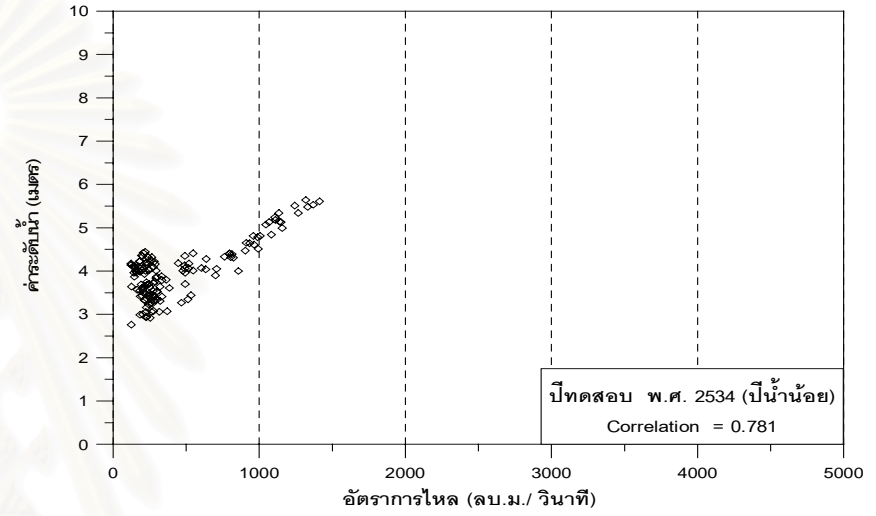
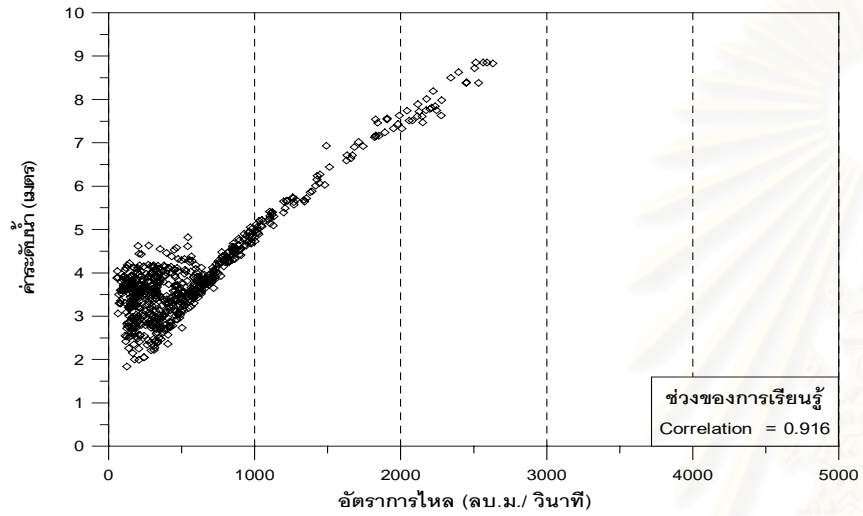
รูปที่ ข-12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี N.8 กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



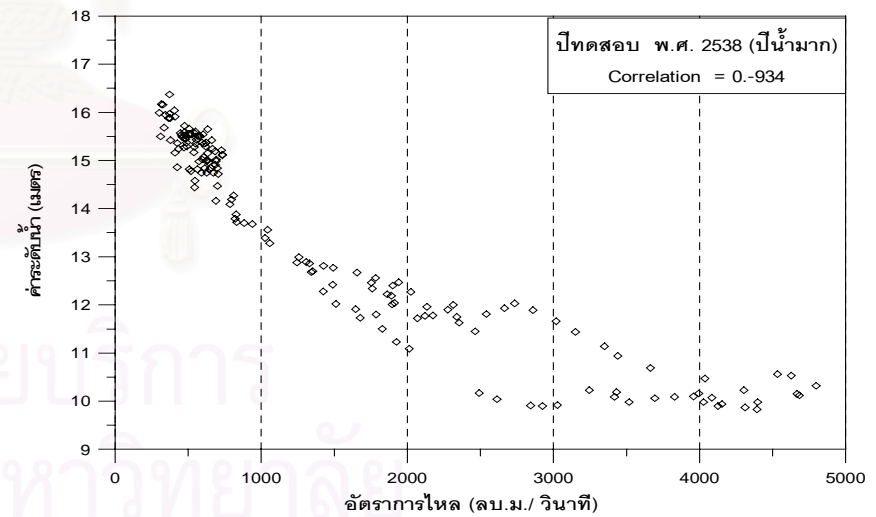
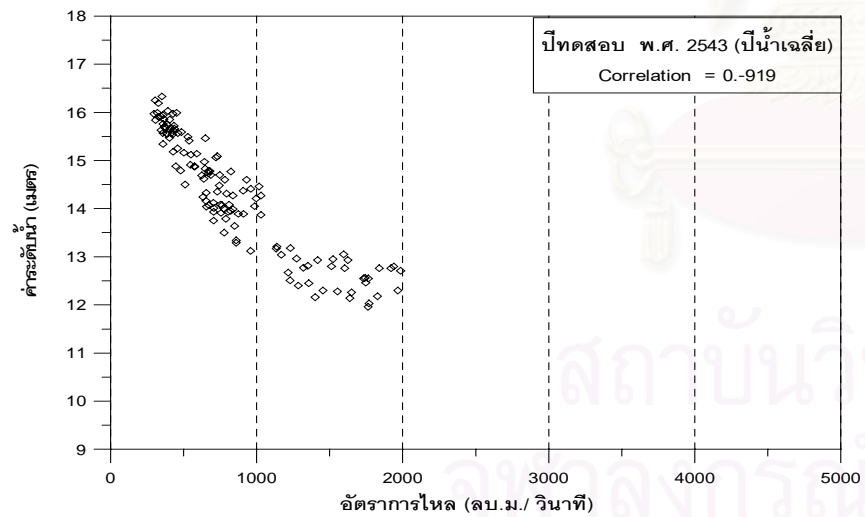
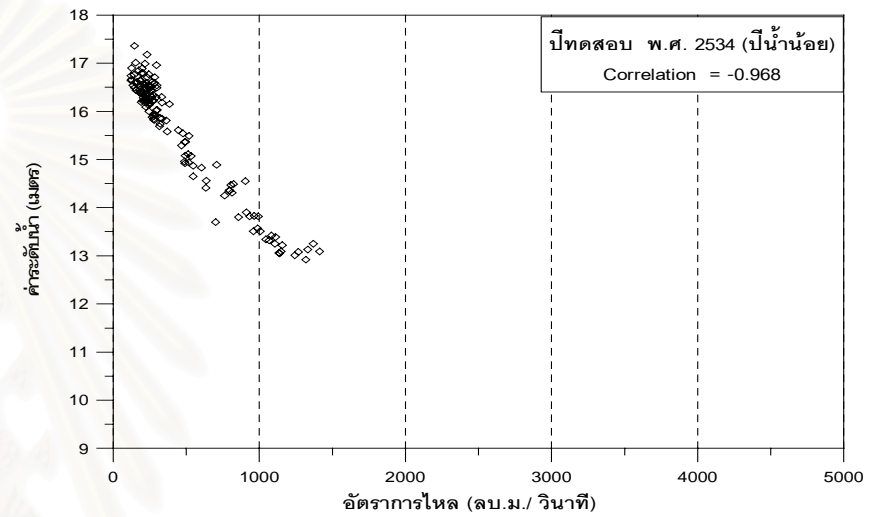
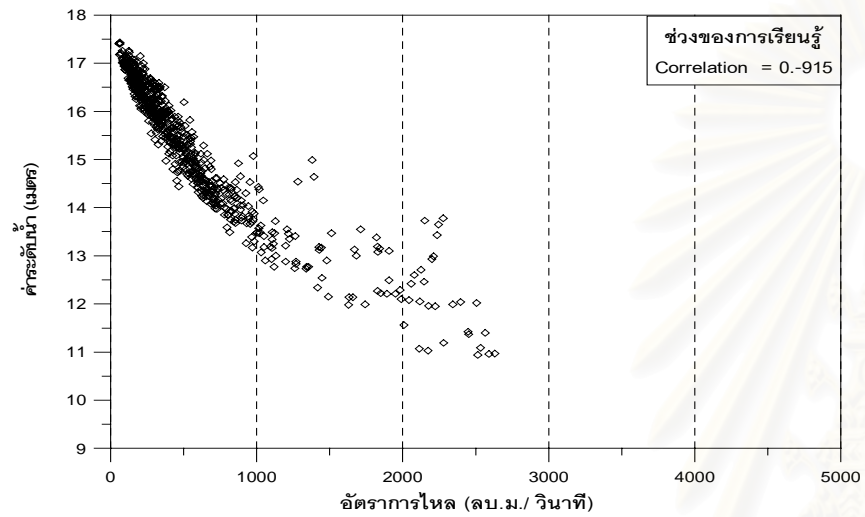
รูปที่ ข-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี N.10A กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



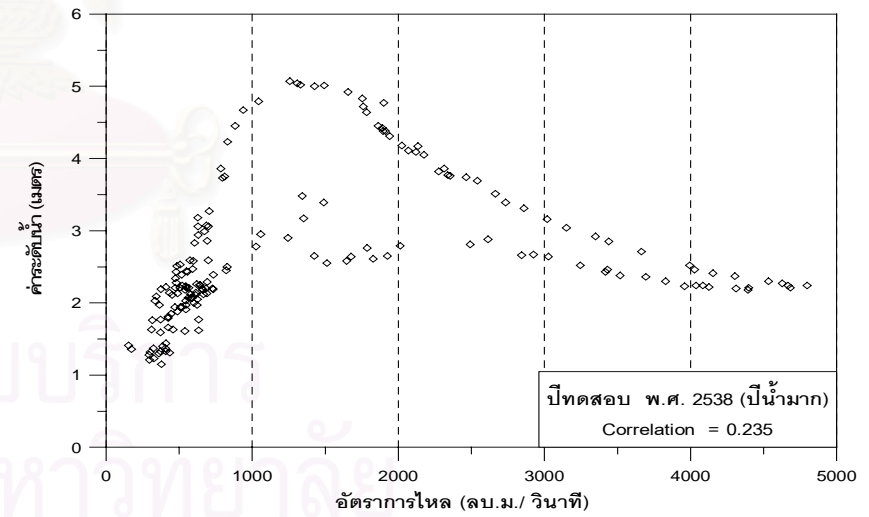
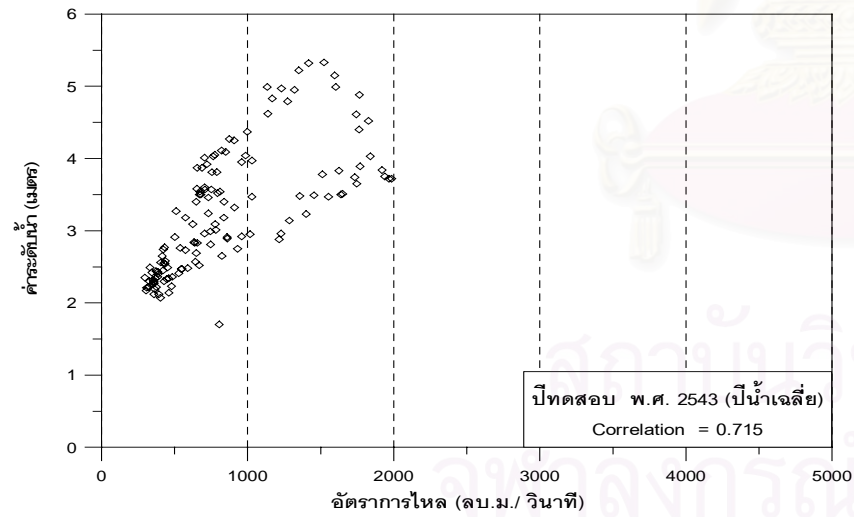
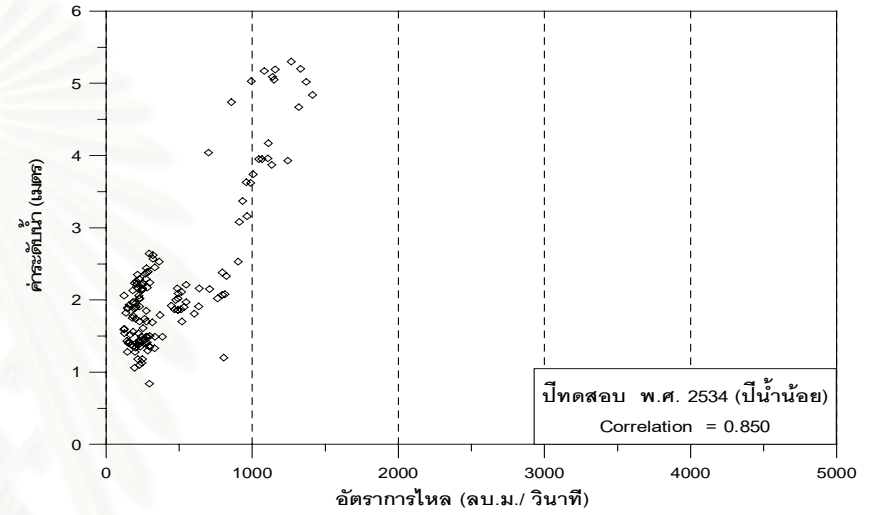
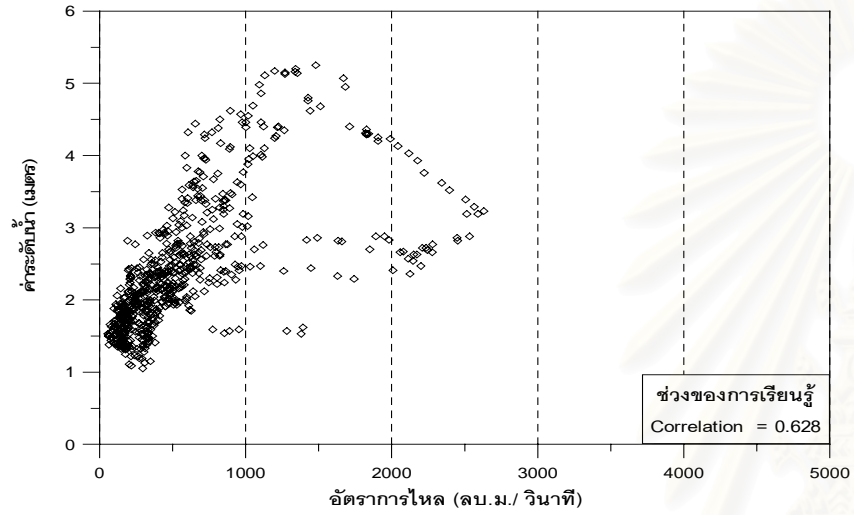
รูปที่ ข-14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสถานี Y.5 กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



รูปที่ ข-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างระดับน้ำด้านท้ายน้ำ ($\Delta F1$) กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



รูปที่ ข-16 ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างระดับน้ำด้านแม่น้ำปิง ($\Delta F2$) กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



รูปที่ ข-17 ความสัมพันธ์ระหว่าง ผลต่างระดับน้ำด้านแม่น้ำน่าน ($\Delta F3$) กับ อัตราการไหล ที่สถานี C.2



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดของแบบจำลอง ANN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-1 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง T6

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, $H(t-1)$, dh/dt

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.62	680,809	22.34	31.74	193	0.998	
2	1	1	99.40	1,067,269	28.19	39.73	264	0.997	
3	1	2	99.42	1,034,447	27.76	39.12	260	0.997	
4	2		99.62	678,071	22.29	31.67	192	0.998	
5	2	1	99.63	654,601	21.93	31.12	184	0.998	
6	2	2	99.54	812,384	24.35	34.67	229	0.998	
7	2	3	99.62	686,118	22.29	31.86	198	0.998	
8	3		99.62	672,400	22.16	31.54	192	0.998	
9	3	2	99.64	649,089	21.93	30.99	179	0.998	
10	3	3	99.63	658,868	22.03	31.22	185	0.998	
11	3	5	99.63	656,595	22.03	31.17	183	0.998	
12	4		99.62	673,046	22.14	31.55	194	0.998	
13	4	2	99.49	913,052	26.00	36.75	244	0.997	
14	4	4	99.65	621,582	21.52	30.32	167	0.998	
15	4	6	99.64	639,487	21.81	30.76	175	0.998	
16	5		99.62	674,351	22.21	31.58	192	0.998	
17	5	3	99.65	619,634	21.53	30.28	164	0.998	
18	5	5	99.64	636,689	21.79	30.69	173	0.998	
19	5	8	99.64	646,624	21.89	30.93	180	0.998	
20	6		99.62	673,283	22.15	31.56	193	0.998	
21	6	3	99.64	637,503	21.76	30.71	173	0.998	
22	6	6	99.56	777,395	23.77	33.91	221	0.998	
23	6	9	99.64	650,790	21.97	31.03	183	0.998	
24	7		99.57	768,397	23.48	33.71	221	0.998	
25	7	4	99.65	629,855	21.61	30.52	172	0.998	
26	7	7	99.55	810,247	24.46	34.62	225	0.998	
27	7	11	99.65	620,958	21.56	30.31	168	0.998	
28	8		99.57	770,611	23.51	33.76	222	0.998	
29	8	4	99.66	614,158	21.44	30.14	161	0.998	** เล็ก **
30	8	8	99.65	632,284	21.70	30.58	174	0.998	
31	8	12	99.61	697,735	22.57	32.13	202	0.998	
32	9		99.61	687,746	22.39	31.90	199	0.998	
33	9	5	99.65	622,924	21.54	30.36	166	0.998	
34	9	9	99.66	614,174	21.43	30.14	160	0.998	
35	9	14	99.64	642,432	21.85	30.83	179	0.998	
36	10		99.62	678,567	22.23	31.68	195	0.998	
37	10	5	99.65	625,469	21.60	30.42	167	0.998	
38	10	10	99.64	638,901	21.76	30.74	174	0.998	
39	10	15	99.61	704,662	22.85	32.29	201	0.998	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-2 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง F1

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t), \Delta F1$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.34	1,184,995	29.65	41.87	272	0.997	
2	1	1	99.35	1,151,129	29.30	41.27	267	0.997	
3	1	2	99.40	1,077,605	28.48	39.93	255	0.997	
4	2		99.62	671,487	23.22	31.52	146	0.998	
5	2	1	99.62	675,691	23.30	31.62	145	0.998	
6	2	2	99.62	676,938	23.42	31.64	147	0.998	
7	2	3	99.63	662,643	23.14	31.31	139	0.998	
8	3		99.63	667,916	23.17	31.43	142	0.998	
9	3	2	99.62	672,044	23.21	31.53	143	0.998	
10	3	3	99.62	671,293	23.23	31.51	145	0.998	
11	3	5	99.62	675,669	23.41	31.62	147	0.998	
12	4		99.62	673,362	23.37	31.56	146	0.998	
13	4	2	99.62	671,704	23.37	31.52	146	0.998	
14	4	4	99.62	670,719	23.33	31.50	148	0.998	
15	4	6	99.63	662,024	23.28	31.29	141	0.998	
16	5		99.62	671,998	23.42	31.53	141	0.998	
17	5	3	99.64	634,801	22.62	30.64	129	0.998	** เล็ก **
18	5	5	99.64	647,913	22.92	30.96	135	0.998	
19	5	8	99.59	726,940	24.01	32.79	174	0.998	
20	6		99.61	696,509	23.80	32.10	155	0.998	
21	6	3	99.64	645,517	22.92	30.90	133	0.998	
22	6	6	99.64	640,850	22.79	30.79	129	0.998	
23	6	9	99.63	651,657	23.06	31.05	135	0.998	
24	7		99.62	677,182	23.56	31.65	142	0.998	
25	7	4	99.64	641,498	22.73	30.81	130	0.998	
26	7	7	99.60	717,392	23.93	32.58	171	0.998	
27	7	11	99.60	719,132	23.94	32.62	171	0.998	
28	8		99.61	700,052	23.80	32.18	158	0.998	
29	8	4	99.64	635,700	22.70	30.67	125	0.998	
30	8	8	99.60	707,239	23.75	32.35	167	0.998	
31	8	12	99.61	688,065	23.51	31.90	159	0.998	
32	9		99.61	702,706	23.65	32.24	164	0.998	
33	9	5	99.64	647,980	22.93	30.96	136	0.998	
34	9	9	99.61	695,299	23.66	32.07	160	0.998	
35	9	14	99.63	666,127	23.13	31.39	143	0.998	
36	10		99.63	668,652	23.26	31.45	146	0.998	
37	10	5	99.64	638,480	22.87	30.73	130	0.998	
38	10	10	99.64	638,992	22.72	30.74	126	0.998	
39	10	15	99.59	732,529	24.03	32.92	176	0.998	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-3 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง U2

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, P.17, N 14A.

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.38	1,100,331	28.68	40.34	259	0.997	
2	1	1	99.38	1,101,522	28.81	40.37	257	0.997	
3	1	2	99.40	1,076,353	28.48	39.90	254	0.997	
4	2		99.66	614,515	20.90	30.15	183	0.998	
5	2	1	99.66	601,845	20.65	29.84	173	0.998	
6	2	2	99.67	596,487	20.61	29.70	168	0.998	
7	2	3	99.60	709,060	22.51	32.39	214	0.998	
8	3		99.64	648,847	21.09	30.98	204	0.998	
9	3	2	99.66	604,885	20.61	29.91	179	0.998	
10	3	3	99.67	583,590	20.48	29.38	163	0.998	
11	3	5	99.68	568,606	20.51	29.00	157	0.998	
12	4		99.63	654,480	21.22	31.12	206	0.998	
13	4	2	99.69	555,453	20.11	28.66	151	0.998	
14	4	4	99.69	551,937	20.06	28.57	147	0.998	
15	4	6	99.66	604,381	20.52	29.90	183	0.998	
16	5		99.64	645,881	21.17	30.91	201	0.998	
17	5	3	99.69	557,482	20.24	28.72	149	0.998	
18	5	5	99.66	603,111	20.61	29.87	178	0.998	
19	5	8	99.68	577,254	20.45	29.22	168	0.998	
20	6		99.62	679,015	21.85	31.69	210	0.998	
21	6	3	99.69	549,879	20.11	28.52	143	0.998	
22	6	6	99.69	556,035	20.16	28.68	149	0.998	
23	6	9	99.68	567,028	20.30	28.96	158	0.998	
24	7		99.63	652,255	21.52	31.06	198	0.998	
25	7	4	99.68	576,216	20.43	29.20	163	0.998	
26	7	7	99.66	601,590	20.87	29.83	177	0.998	
27	7	11	99.69	547,096	20.07	28.45	140	0.998	** เล็ก **
28	8		99.65	621,983	20.99	30.33	188	0.998	
29	8	4	99.69	547,665	20.14	28.46	138	0.998	
30	8	8	99.68	572,349	20.45	29.10	159	0.998	
31	8	12	99.63	668,925	22.01	31.46	201	0.998	
32	9		99.64	641,503	21.37	30.81	193	0.998	
33	9	5	99.69	551,989	20.18	28.58	144	0.998	
34	9	9	99.68	562,570	20.42	28.85	151	0.998	
35	9	14	99.61	704,321	22.85	32.28	206	0.998	
36	10		99.61	701,973	22.39	32.22	212	0.998	
37	10	5	99.69	556,181	20.28	28.68	143	0.998	
38	10	10	99.64	649,079	21.95	30.99	189	0.998	
39	10	15	99.59	732,912	23.59	32.93	205	0.998	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-4 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง U10

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, N.14A

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.34	1,170,020	29.40	41.60	273	0.997	
2	1	1	99.38	1,106,014	28.75	40.45	264	0.997	
3	1	2	99.40	1,079,124	28.41	39.95	260	0.997	
4	2		99.64	647,775	21.71	30.96	194	0.998	
5	2	1	99.65	626,296	21.43	30.44	184	0.998	
6	2	2	99.66	598,087	20.96	29.74	171	0.998	
7	2	3	99.57	769,012	23.76	33.73	222	0.998	
8	3		99.64	636,753	21.48	30.69	191	0.998	
9	3	2	99.66	599,290	21.00	29.77	175	0.998	
10	3	3	99.65	630,785	21.48	30.55	193	0.998	
11	3	5	99.65	627,560	21.30	30.47	193	0.998	
12	4		99.65	619,785	21.16	30.28	189	0.998	
13	4	2	99.67	582,675	20.76	29.36	165	0.998	
14	4	4	99.69	556,345	20.36	28.69	146	0.998	** เล็ก **
15	4	6	99.65	626,235	21.19	30.44	194	0.998	
16	5		99.66	612,738	21.09	30.11	185	0.998	
17	5	3	99.67	591,079	20.79	29.57	173	0.998	
18	5	5	99.66	604,456	20.94	29.90	182	0.998	
19	5	8	99.64	650,737	21.78	31.03	198	0.998	
20	6		99.65	617,053	21.04	30.21	188	0.998	
21	6	3	99.66	599,262	20.88	29.77	179	0.998	
22	6	6	99.68	573,043	20.57	29.12	160	0.998	
23	6	9	99.62	674,951	22.29	31.60	202	0.998	
24	7		99.63	654,554	21.60	31.12	200	0.998	
25	7	4	99.67	579,916	20.72	29.29	169	0.998	
26	7	7	99.67	591,495	20.90	29.58	174	0.998	
27	7	11	99.64	650,592	21.78	31.02	197	0.998	
28	8		99.58	752,596	23.23	33.37	222	0.998	
29	8	4	99.68	574,844	20.56	29.16	162	0.998	
30	8	8	99.68	568,829	20.51	29.01	158	0.998	
31	8	12	99.61	697,394	22.77	32.12	205	0.998	
32	9		99.64	648,200	21.53	30.97	198	0.998	
33	9	5	99.69	560,753	20.43	28.80	148	0.998	
34	9	9	99.68	573,542	20.57	29.13	163	0.998	
35	9	14	99.62	678,956	22.53	31.69	197	0.998	
36	10		99.58	755,110	23.19	33.42	222	0.998	
37	10	5	99.69	560,667	20.41	28.80	148	0.998	
38	10	10	99.66	599,221	20.94	29.77	178	0.998	
39	10	15	99.59	724,477	23.10	32.74	211	0.998	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-5 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง D3

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, เชื้อน, Ct.2

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.35	1,158,740	29.05	41.40	275	0.997	
2	1	1	99.37	1,131,932	28.74	40.92	271	0.997	
3	1	2	99.38	1,112,254	28.53	40.56	268	0.997	
4	2		99.64	649,260	22.95	30.99	148	0.998	
5	2	1	99.62	676,557	23.40	31.64	158	0.998	
6	2	2	99.63	656,351	23.07	31.16	148	0.998	
7	2	3	99.62	684,287	23.53	31.82	150	0.998	
8	3		99.63	665,616	23.30	31.38	151	0.998	
9	3	2	99.63	656,993	23.11	31.18	146	0.998	
10	3	3	99.65	626,807	22.76	30.45	126	0.998	
11	3	5	99.63	654,788	23.16	31.12	140	0.998	
12	4		99.61	690,342	23.66	31.96	155	0.998	
13	4	2	99.63	654,402	23.03	31.11	156	0.998	
14	4	4	99.62	679,087	23.56	31.69	145	0.998	
15	4	6	99.61	698,136	23.69	32.14	158	0.998	
16	5		99.62	669,360	23.38	31.47	142	0.998	
17	5	3	99.64	650,497	23.00	31.02	151	0.998	
18	5	5	99.65	624,198	22.67	30.39	134	0.998	
19	5	8	99.62	683,181	23.51	31.79	150	0.998	
20	6		99.58	749,498	24.84	33.30	173	0.998	
21	6	3	99.63	664,405	23.36	31.35	143	0.998	
22	6	6	99.63	668,211	23.46	31.44	138	0.998	
23	6	9	99.64	645,741	23.16	30.91	129	0.998	
24	7		99.63	657,986	23.19	31.20	143	0.998	
25	7	4	99.65	633,083	22.90	30.60	124	0.998	
26	7	7	99.63	656,471	23.40	31.16	135	0.998	
27	7	11	99.63	665,438	23.37	31.37	140	0.998	
28	8		99.60	707,269	24.18	32.35	155	0.998	
29	8	4	99.61	687,986	23.76	31.90	149	0.998	
30	8	8	99.64	648,551	23.23	30.97	132	0.998	
31	8	12	99.64	649,407	23.15	30.99	131	0.998	
32	9		99.62	680,852	23.77	31.74	139	0.998	
33	9	5	99.62	681,082	23.65	31.74	146	0.998	
34	9	9	99.62	670,390	23.54	31.49	140	0.998	
35	9	14	99.63	660,156	23.34	31.25	135	0.998	
36	10		99.61	695,192	23.93	32.07	151	0.998	
37	10	5	99.65	621,594	22.69	30.32	120	0.998	** เล็ก **
38	10	10	99.63	660,663	23.47	31.26	137	0.998	
39	10	15	99.63	664,677	23.48	31.36	141	0.998	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-6 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง U5-F7

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, P.17, N.14A, P.16, N.8, Y5, $\Delta F1$, $\Delta F2$, $\Delta F3$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.40	1,071,084	27.82	39.81	256	0.997	
2	1	1	99.30	1,250,258	30.80	43.01	267	0.997	
3	1	2	99.43	1,008,839	27.06	38.63	248	0.997	
4	2		99.77	418,451	17.67	24.88	124	0.999	
5	2	1	99.77	411,470	17.74	24.67	126	0.999	
6	2	2	99.76	422,784	17.71	25.01	125	0.999	
7	2	3	99.77	411,518	17.63	24.67	124	0.999	
8	3		99.73	477,091	18.56	26.57	146	0.999	
9	3	2	99.77	411,000	17.46	24.66	121	0.999	
10	3	3	99.77	403,540	17.23	24.43	115	0.999	
11	3	5	99.77	408,419	17.47	24.58	121	0.999	
12	4		99.77	413,632	17.43	24.74	119	0.999	
13	4	2	99.77	414,765	17.62	24.77	121	0.999	
14	4	4	99.77	418,488	17.53	24.88	122	0.999	
15	4	6	99.77	404,742	17.27	24.47	120	0.999	
16	5		99.73	476,497	18.63	26.55	149	0.999	
17	5	3	99.77	417,309	17.71	24.85	121	0.999	
18	5	5	99.77	411,664	17.54	24.68	121	0.999	
19	5	8	99.78	400,855	16.98	24.35	124	0.999	** เล็ก **
20	6		99.77	417,891	17.65	24.86	118	0.999	
21	6	3	99.77	408,748	17.48	24.59	123	0.999	
22	6	6	99.76	424,240	17.63	25.05	129	0.999	
23	6	9	99.74	457,049	18.40	26.00	134	0.999	
24	7		99.76	430,663	17.91	25.24	122	0.999	
25	7	4	99.77	407,243	17.38	24.54	117	0.999	
26	7	7	99.77	413,254	17.60	24.72	118	0.999	
27	7	11	99.75	447,591	18.28	25.73	131	0.999	
28	8		99.76	419,450	17.71	24.91	119	0.999	
29	8	4	99.77	402,348	17.25	24.40	114	0.999	
30	8	8	99.76	428,579	17.68	25.18	134	0.999	
31	8	12	99.75	454,368	18.20	25.93	142	0.999	
32	9		99.76	432,423	17.93	25.29	127	0.999	
33	9	5	99.76	431,472	17.92	25.26	125	0.999	
34	9	9	99.76	429,976	17.91	25.22	122	0.999	
35	9	14	99.76	430,684	17.86	25.24	128	0.999	
36	10		99.76	426,978	17.80	25.13	123	0.999	
37	10	5	99.77	406,199	17.33	24.51	114	0.999	
38	10	10	99.76	426,538	17.76	25.12	124	0.999	
39	10	15	99.75	449,375	18.09	25.78	138	0.999	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-6 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง U5-F7 (ต่อ)

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, P.17, N.14A, P.16, N.8, Y5, $\Delta F1$, $\Delta F2$, $\Delta F3$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
40	11		99.76	424,782	17.87	25.07	119	0.999	
41	11	6	99.77	407,910	17.46	24.56	116	0.999	
42	11	11	99.76	424,877	17.64	25.07	124	0.999	
43	11	17	99.76	431,369	17.72	25.26	132	0.999	
44	12		99.76	423,473	17.71	25.03	122	0.999	
45	12	6	99.75	443,687	18.07	25.62	133	0.999	
46	12	12	99.75	451,120	18.34	25.83	133	0.999	
47	12	18	99.76	428,521	17.76	25.18	128	0.999	
48	13		99.76	422,593	17.68	25.00	123	0.999	
49	13	7	99.77	405,781	17.41	24.50	115	0.999	
50	13	13	99.77	418,388	17.62	24.88	119	0.999	
51	13	20	99.75	454,374	18.23	25.93	139	0.999	
52	14		99.76	431,037	17.68	25.25	133	0.999	
53	14	7	99.75	443,512	17.99	25.61	132	0.999	
54	14	14	99.75	454,167	18.31	25.92	134	0.999	
55	14	21	99.76	428,306	17.82	25.17	123	0.999	

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-7 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง U2-F2

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนตัม 0.80
 อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล
 ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, P.17, N.14A, $\Delta F2$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.34	1,174,150	29.53	41.68	269	0.997	
2	1	1	99.38	1,101,897	28.79	40.37	258	0.997	
3	1	2	99.39	1,084,647	28.56	40.06	255	0.997	
4	2		99.67	581,797	20.42	29.34	160	0.998	
5	2	1	99.68	568,429	20.39	29.00	148	0.998	
6	2	2	99.68	572,053	20.32	29.09	153	0.998	
7	2	3	99.68	574,134	20.33	29.14	153	0.998	
8	3		99.68	579,433	20.45	29.28	154	0.998	
9	3	2	99.69	561,676	20.25	28.83	144	0.998	
10	3	3	99.68	569,572	20.31	29.03	151	0.998	
11	3	5	99.68	569,364	20.29	29.02	150	0.998	
12	4		99.68	570,661	20.41	29.05	149	0.998	
13	4	2	99.69	550,477	20.14	28.54	137	0.998	
14	4	4	99.67	595,127	20.67	29.67	173	0.998	
15	4	6	99.67	583,298	20.47	29.37	161	0.998	
16	5		99.68	577,615	20.47	29.23	152	0.998	
17	5	3	99.70	534,408	20.08	28.12	129	0.999	
18	5	5	99.69	558,230	20.22	28.74	143	0.998	
19	5	8	99.70	536,606	19.90	28.17	132	0.998	
20	6		99.68	577,645	20.45	29.23	153	0.998	
21	6	3	99.69	561,604	20.24	28.82	150	0.998	
22	6	6	99.69	556,782	20.20	28.70	145	0.998	
23	6	9	99.70	542,206	19.96	28.32	135	0.998	
24	7		99.68	566,515	20.39	28.95	150	0.998	
25	7	4	99.69	549,118	20.13	28.50	135	0.998	
26	7	7	99.69	556,747	20.22	28.70	149	0.998	
27	7	11	99.69	552,694	20.23	28.59	145	0.998	
28	8		99.68	569,950	20.34	29.04	150	0.998	
29	8	4	99.70	532,992	20.09	28.08	123	0.999	
30	8	8	99.69	552,201	20.16	28.58	138	0.998	
31	8	12	99.70	534,495	19.97	28.12	136	0.999	
32	9		99.68	566,399	20.37	28.95	150	0.998	
33	9	5	99.70	530,790	20.08	28.02	121	0.999	** เล็ก **
34	9	9	99.70	543,438	20.08	28.35	133	0.998	
35	9	14	99.66	603,337	20.77	29.87	174	0.998	
36	10		99.68	574,920	20.43	29.16	155	0.998	
37	10	5	99.69	555,930	20.16	28.68	143	0.998	
38	10	10	99.69	549,198	20.14	28.50	139	0.998	
39	10	15	99.69	558,535	20.26	28.74	147	0.998	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-8 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง T6-F5

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80

อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล

ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, $H(t-1)$, dH/dt , $\Delta F1$, $\Delta F3$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.38	1,107,068	28.39	40.47	274	0.997	
2	1	1	99.41	1,056,444	27.73	39.53	268	0.997	
3	1	2	99.43	1,014,400	27.18	38.74	262	0.997	
4	2		99.73	476,923	19.36	26.56	139	0.999	
5	2	1	99.73	480,198	19.51	26.65	140	0.999	
6	2	2	99.73	476,718	19.43	26.56	138	0.999	
7	2	3	99.74	464,356	19.23	26.21	131	0.999	
8	3		99.73	480,984	19.45	26.67	141	0.999	
9	3	2	99.75	450,746	19.10	25.82	120	0.999	** เล็ก **
10	3	3	99.74	460,676	19.23	26.11	126	0.999	
11	3	5	99.72	495,882	19.66	27.08	149	0.999	
12	4		99.73	486,742	19.55	26.83	142	0.999	
13	4	2	99.74	466,510	19.39	26.27	131	0.999	
14	4	4	99.74	457,544	19.15	26.02	125	0.999	
15	4	6	99.74	467,661	19.18	26.30	137	0.999	
16	5		99.73	480,360	19.44	26.66	141	0.999	
17	5	3	99.74	462,979	19.17	26.17	132	0.999	
18	5	5	99.74	467,786	19.22	26.31	135	0.999	
19	5	8	99.74	463,192	19.13	26.18	133	0.999	
20	6		99.73	476,025	19.33	26.54	140	0.999	
21	6	3	99.72	495,647	19.69	27.08	150	0.999	
22	6	6	99.74	463,479	19.20	26.18	131	0.999	
23	6	9	99.73	475,305	19.28	26.52	142	0.999	
24	7		99.73	479,784	19.45	26.64	139	0.999	
25	7	4	99.74	470,675	19.38	26.39	133	0.999	
26	7	7	99.74	461,183	19.15	26.12	129	0.999	
27	7	11	99.74	462,194	19.19	26.15	129	0.999	
28	8		99.73	479,744	19.40	26.64	141	0.999	
29	8	4	99.74	471,397	19.29	26.41	134	0.999	
30	8	8	99.74	463,945	19.18	26.20	124	0.999	
31	8	12	99.73	476,554	19.32	26.55	140	0.999	
32	9		99.71	523,517	20.19	27.83	161	0.999	
33	9	5	99.74	456,637	19.09	25.99	123	0.999	
34	9	9	99.73	481,871	19.48	26.70	142	0.999	
35	9	14	99.73	478,422	19.43	26.60	140	0.999	
36	10		99.71	517,149	20.06	27.66	160	0.999	
37	10	5	99.74	471,726	19.30	26.42	137	0.999	
38	10	10	99.73	479,421	19.38	26.63	134	0.999	
39	10	15	99.73	479,658	19.48	26.64	141	0.999	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-9 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง D3- U7-F5

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80

อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล

ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, Ct. 2, เชื้ออน, P.17, N14A., P.16, N.8, Y5, P.15, N10A., $\Delta F1$, $\Delta F3$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.51	879,635	26.05	36.07	231	0.998	
2	1	1	99.48	925,805	26.99	37.01	222	0.997	
3	1	2	99.52	851,859	25.70	35.50	217	0.998	
4	2		99.78	387,922	16.92	23.96	126	0.999	
5	2	1	99.78	387,660	17.12	23.95	135	0.999	
6	2	2	99.78	386,861	17.08	23.92	135	0.999	
7	2	3	99.79	382,460	17.04	23.79	130	0.999	
8	3		99.78	386,380	16.79	23.91	126	0.999	
9	3	2	99.78	384,672	16.97	23.85	134	0.999	
10	3	3	99.78	386,849	16.74	23.92	123	0.999	
11	3	5	99.79	377,356	16.54	23.63	113	0.999	
12	4		99.78	393,813	16.92	24.14	123	0.999	
13	4	2	99.79	375,870	16.65	23.58	124	0.999	
14	4	4	99.79	377,548	16.50	23.63	121	0.999	
15	4	6	99.79	376,044	16.67	23.59	118	0.999	
16	5		99.77	413,978	17.63	24.75	119	0.999	
17	5	3	99.78	395,589	16.81	24.19	133	0.999	
18	5	5	99.79	381,714	16.72	23.76	127	0.999	
19	5	8	99.79	374,260	16.60	23.53	110	0.999	
20	6		99.77	417,706	17.73	24.86	130	0.999	
21	6	3	99.79	371,168	16.54	23.43	108	0.999	** เล็ก **
22	6	6	99.79	373,677	16.78	23.51	104	0.999	
23	6	9	99.78	396,893	17.10	24.23	133	0.999	
24	7		99.77	415,102	17.71	24.78	125	0.999	
25	7	4	99.78	386,721	16.90	23.92	128	0.999	
26	7	7	99.78	386,251	16.81	23.90	121	0.999	
27	7	11	99.78	390,681	17.02	24.04	133	0.999	
28	8		99.76	420,659	17.78	24.95	128	0.999	
29	8	4	99.79	381,305	16.82	23.75	120	0.999	
30	8	8	99.78	387,754	16.93	23.95	117	0.999	
31	8	12	99.78	391,158	16.94	24.05	133	0.999	
32	9		99.75	438,830	18.08	25.48	140	0.999	
33	9	5	99.78	385,822	16.80	23.89	120	0.999	
34	9	9	99.78	386,069	16.88	23.90	118	0.999	
35	9	14	99.78	392,754	17.18	24.10	117	0.999	
36	10		99.77	411,457	17.48	24.67	138	0.999	
37	10	5	99.78	389,746	17.25	24.01	113	0.999	
38	10	10	99.77	401,922	17.25	24.38	126	0.999	
39	10	15	99.77	407,695	17.17	24.56	138	0.999	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-9 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง D3- U7-F5 (ต่อ)

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80

อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล

ตัวแปรนำเข้า $H(t)$, Ct. 2, เชื้ออน, P.17, N14A., P.16, N.8, Y5, P.15, N10A., $\Delta F1$, $\Delta F3$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
40	11		99.77	418,034	17.58	24.87	136	0.999	
41	11	6	99.78	384,754	16.75	23.86	127	0.999	
42	11	11	99.78	390,486	17.03	24.03	125	0.999	
43	11	17	99.77	414,796	17.29	24.77	134	0.999	
44	12		99.78	400,073	17.29	24.33	124	0.999	
45	12	6	99.78	394,907	17.14	24.17	120	0.999	
46	12	12	99.77	408,725	17.63	24.59	121	0.999	
47	12	18	99.79	380,842	16.88	23.74	117	0.999	
48	13		99.76	431,162	17.67	25.25	139	0.999	
49	13	7	99.77	412,450	17.57	24.70	126	0.999	
50	13	13	99.77	402,830	17.24	24.41	127	0.999	
51	13	20	99.77	418,934	17.79	24.89	129	0.999	
52	14		99.78	393,813	16.92	24.14	123	0.999	
53	14	7	99.77	403,507	17.37	24.43	121	0.999	
54	14	14	99.79	380,520	16.82	23.73	119	0.999	
55	14	21	99.76	422,605	17.51	25.00	135	0.999	
56	15		99.77	414,003	17.55	24.75	133	0.999	
57	15	8	99.78	388,951	17.25	23.99	114	0.999	
58	15	15	99.79	382,908	16.84	23.80	113	0.999	
59	15	23	99.77	409,947	17.57	24.63	124	0.999	
60	16		99.76	436,025	17.85	25.40	142	0.999	
61	16	8	99.77	413,378	17.66	24.73	131	0.999	
62	16	16	99.77	412,173	17.63	24.69	128	0.999	
63	16	24	99.76	425,634	17.88	25.09	132	0.999	
64	17		99.76	421,511	17.83	24.97	135	0.999	
65	17	9	99.78	397,777	17.23	24.26	121	0.999	
66	17	17	99.79	378,566	16.83	23.66	117	0.999	
67	17	26	-	-	-	-	-	-	สูญออก
68	18		99.74	455,850	18.33	25.97	142	0.999	
69	18	9	99.77	403,310	17.63	24.43	118	0.999	
70	18	18	99.78	396,568	17.02	24.22	132	0.999	
71	18	27	99.75	448,065	18.70	25.75	127	0.999	

ตาราง ค-10 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง T6-D3- U7-F5

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80

อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล

ตัวแปรนำเข้า $H(t), H(t-1), dH/dt, Ct, 2, \text{เพื่อน}, P.17, N.14A, P.16, N.8, Y5, P.15, N10A, \Delta F1, \Delta F3$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
1	1		99.53	834,954	25.06	35.14	223	0.998	
2	1	1	99.52	864,160	25.60	35.75	225	0.998	
3	1	2	99.54	812,098	24.90	34.66	211	0.998	
4	2		99.79	373,401	16.64	23.50	127	0.999	
5	2	1	99.79	379,138	17.08	23.68	143	0.999	
6	2	2	99.79	370,149	16.80	23.40	136	0.999	
7	2	3	99.80	362,704	16.46	23.16	121	0.999	
8	3		99.79	374,219	16.57	23.53	126	0.999	
9	3	2	99.80	364,773	16.47	23.23	127	0.999	
10	3	3	99.79	371,034	16.49	23.43	142	0.999	
11	3	5	99.80	356,837	16.25	22.98	114	0.999	
12	4		99.79	375,507	16.44	23.57	125	0.999	
13	4	2	99.80	358,674	16.19	23.03	113	0.999	
14	4	4	99.80	356,181	16.27	22.95	117	0.999	
15	4	6	99.80	356,286	16.20	22.96	116	0.999	
16	5		99.78	385,056	16.58	23.87	126	0.999	
17	5	3	99.79	369,529	16.47	23.38	128	0.999	
18	5	5	99.80	350,466	16.21	22.77	102	0.999	
19	5	8	99.79	366,288	16.40	23.28	127	0.999	
20	6		99.78	396,222	16.79	24.21	133	0.999	
21	6	3	99.80	362,361	16.43	23.15	119	0.999	
22	6	6	99.80	360,107	16.29	23.08	112	0.999	
23	6	9	99.79	367,326	16.45	23.31	112	0.999	
24	7		99.78	398,404	17.12	24.28	131	0.999	
25	7	4	99.80	359,555	16.14	23.06	123	0.999	
26	7	7	99.79	372,718	16.56	23.48	125	0.999	
27	7	11	99.79	371,083	16.43	23.43	119	0.999	
28	8		99.77	403,800	17.27	24.44	127	0.999	
29	8	4	99.81	347,331	16.17	22.67	113	0.999	** เล็ก **
30	8	8	99.78	383,818	16.66	23.83	128	0.999	
31	8	12	99.80	360,143	16.26	23.08	112	0.999	
32	9		99.77	410,467	17.22	24.64	134	0.999	
33	9	5	99.79	373,108	16.59	23.49	128	0.999	
34	9	9	99.80	363,721	16.43	23.20	107	0.999	
35	9	14	99.80	361,733	16.42	23.13	110	0.999	
36	10		99.77	410,041	17.46	24.63	129	0.999	
37	10	5	99.79	372,169	16.71	23.46	111	0.999	
38	10	10	99.80	355,682	16.22	22.94	111	0.999	
39	10	15	99.78	384,697	16.65	23.86	122	0.999	

หมายเหตุ : โครงสร้างที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

ตาราง ค-10 ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนโหนดแบบจำลอง T6-D3- U7-F5 (ต่อ)

จำนวนรอบ 20,000 รอบ ค่าโมเมนต์ 0.80

อัตราการเรียนรู้ 0.01 จำนวนข้อมูล 676 ชุดข้อมูล

ตัวแปรนำเข้า $H(t), H(t-1), dH/dt, Ct, 2, \text{เงื่อนไข}, P.17, N.14A, P.16, N.8, Y5, P.15, N10A., \Delta F1, \Delta F3$

No.	จำนวนโหนดชั้นแอบแฝง		ประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	MAE (m^3/s)	RMSE (m^3/s)	Max Abs. Error (m^3/s)	r	
76	20		99.77	417,580	17.80	24.85	135	0.999	
77	20	10	99.79	374,934	16.72	23.55	116	0.999	
78	20	20	99.78	388,486	17.03	23.97	119	0.999	
79	20	30	99.77	404,288	17.38	24.46	127	0.999	
80	21		99.66	605,681	21.47	29.93	169	0.998	
81	21	11	99.79	370,256	16.70	23.40	113	0.999	
82	21	21	99.79	371,405	16.75	23.44	111	0.999	
83	21	32	99.69	550,270	20.07	28.53	169	0.998	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง MLR

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง MLR ในการศึกษาช่วงที่ 1: กลุ่ม T

กลุ่ม T : ค่าระดับน้ำสถานี C.2

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี(2535-37,41-42)			ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	T1	H (t)	94.20	10,356,407	621	96.45	577,324	157	96.54	986,362	237	70.63	83,776,296	2,381
2	T2	H (t) , H (t-1)	94.20	10,353,947	622	96.46	576,503	156	96.56	982,228	238	70.61	83,832,498	2,382
3	T3	H (t) , H (t-1) , H (t-2)	94.20	10,353,412	621	96.47	575,175	156	96.55	985,019	238	70.62	83,814,736	2,382
4	T4	H (t) , H (t-1) , H (t-2) , H (t-3)	94.22	10,319,256	622	96.27	608,180	162	96.42	1,020,986	239	70.72	83,536,769	2,378
5	T5	H (t) , dH/ dt	94.20	10,354,144	622	96.46	576,592	156	96.56	982,387	238	70.62	83,830,523	2,382
6	T6	H (t) , H (t-1) , dH/ dt	94.20	10,353,927	622	96.46	576,494	156	96.56	982,217	238	70.61	83,832,706	2,382
7	T7	H (t) , H (t-1) , H (t-2) , dH/ dt	94.19	10,357,737	621	96.46	577,047	156	96.54	988,382	237	70.64	83,774,640	2,381

ตารางที่ ง-2 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง MLR ในการศึกษาช่วงที่ 1: กลุ่ม D

กลุ่ม D : ค่าระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี (2535-37,41-42)			ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)	EI(%)	SSE (m^3/s) ²	Max Abs. Error (m^3/s)
1	D1	H (t) , H Ct.2	96.13	6,898,117	456	95.74	693,205	150	94.03	1,703,050	281	67.53	92,636,087	2,549
2	D2	H (t) , H เชื่อน	97.10	5,172,121	381	95.98	654,786	196	97.46	724,350	176	76.21	67,862,655	2,277
3	D3	H (t) , H Ct.2 , H เชื่อน	97.42	4,609,760	367	96.69	538,867	244	91.70	2,368,351	361	81.70	52,201,435	2,063

ตารางที่ ง-3 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง MLR ในการศึกษาช่วงที่ 1 : กลุ่ม U

กลุ่ม U : ค่าระดับน้ำด้านเหนือน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี (2535-37,41-42)			ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)
1	U1	H(t),P.17	94.57	9,687,717	661	96.42	582,690	164	97.32	763,823	229	67.66	92,274,286	2,382
2	U2	H(t),P.17 ,N.14A	94.68	9,485,143	625	95.11	796,630	202	97.14	817,343	248	70.39	84,462,466	2,312
3	U3	H(t),P.17 ,N.14A ,P.16	94.72	9,424,719	630	95.13	792,718	199	96.90	885,296	242	69.77	86,229,782	2,312
4	U4	H(t),P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8	94.52	9,780,018	392	93.64	1,035,742	376	94.66	1,523,025	257	79.92	57,282,100	2,008
5	U5	H(t),P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5	95.87	7,367,982	457	94.98	817,137	353	97.11	825,298	181	77.40	64,471,772	2,089
6	U6	H(t),P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15	96.05	7,054,511	444	93.37	1,080,207	351	97.05	841,352	204	78.68	60,820,440	2,092
7	U7	H(t),P.17 ,N.14A ,P.16 ,N.8 , Y5, P.15 , N.10A	96.61	6,056,724	337	92.09	1,288,748	377	96.94	872,447	251	84.60	43,939,182	1,859
8	U8	H(t),P.17 ,P.16	94.59	9,657,199	665	96.52	567,412	160	97.16	810,506	225	67.17	93,658,444	2,384
9	U9	H(t),P.17 ,P.16 , P.15	94.72	9,419,096	658	96.35	594,488	162	97.11	824,031	245	69.45	87,148,714	2,394
10	U10	H(t),N.14A	94.50	9,818,277	580	94.81	845,151	215	96.50	1,000,008	242	73.49	75,629,035	2,274
11	U11	H(t),N.14A ,N.8	95.54	7,961,625	457	96.22	615,253	326	97.66	666,442	198	78.68	60,825,509	2,081
12	U12	H(t),N.14A ,N.8 , N.10A	95.86	7,389,224	409	95.83	678,595	326	98.04	559,340	202	81.43	52,982,602	1,969
13	U13	H(t),N.14A ,N.8 , N.10A , Y.5	96.15	6,871,649	393	94.64	873,107	365	98.25	499,154	194	81.85	51,769,392	1,959

ตารางที่ ง-4 ผลการทดสอบตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง MLR ในการศึกษาช่วงที่ 1 : กลุ่ม F

กลุ่ม F : ผลต่างค่าระดับน้ำ

No.	แบบจำลอง	ตัวแปรนำเข้า	ช่วงการเรียนรู้			ช่วงการทดสอบ								
			ระยะเวลา 5 ปี (2535-37,41-42)			ปี 2534 (ปีน้ำน้อย)			ปี 2543 (ปีน้ำเฉลี่ย)			ปี 2538(ปีน้ำมาก)		
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)	EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	Max Abs. Error (m ³ /s)
1	F1	H (t) , ΔF1	97.10	5,172,121	381	95.10	798,562	170	94.74	1,502,050	291	63.96	102,823,723	2,649
2	F2	H (t) , ΔF2	94.57	9,686,859	661	96.42	582,221	164	97.32	763,305	229	67.65	92,282,796	2,383
3	F3	H (t) , ΔF3	94.50	9,818,512	580	94.81	845,262	215	96.49	1,000,089	242	73.49	75,626,877	2,274
4	F4	H (t) , ΔF1 ,ΔF2	97.13	5,123,434	398	95.06	803,841	164	95.10	1,398,932	287	63.58	103,895,622	2,642
5	F5	H (t) , ΔF1 ,ΔF3	97.16	5,070,607	369	94.49	897,103	181	95.11	1,395,287	283	65.61	98,102,288	2,595
6	F6	H (t) , ΔF2 ,ΔF3	94.68	9,485,141	625	95.11	796,630	202	97.14	817,343	248	70.39	84,462,466	2,312
7	F7	H (t) , ΔF1 ,ΔF2 ,ΔF3	97.17	5,057,978	381	94.54	889,801	176	95.26	1,352,486	282	65.16	99,392,450	2,600

สมการของแบบจำลอง MLR

กลุ่มตัวแปรนำเข้า T

$$T1 : Q = 280.57 H(t) - 4908.86$$

$$T2 : Q = 293.32 H(t) - 12.94 H(t-1) - 4904.75$$

$$T3 : Q = 296.90 H(t) - 21.42 H(t-1) + 4.923 H(t-2) - 4905.18$$

$$T4 : Q = 274.63 H(t) + 77.95 H(t-1) - 157.91H(t-2) + 85.80 H(t-3) - 4903.83$$

$$T5 : Q = 280.38 H(t) + 12.93 dh/dt - 4904.75$$

$$T6 : Q = 1253.78 H(t) - 973.40 H(t-1) - 960.46 dh/dt - 4904.75$$

$$T7 : Q = 1049.19 H(t) - 773.71 H(t-1) + 4.92 H(t-2) - 752.29 dh/dt - 4905.18$$

กลุ่มตัวแปรนำเข้า D

$$D1 : Q = 343.58 H(t) - 129.38 Ct.2 - 4120.13$$

$$D2 : Q = 334.50 H(t) - 136.97 Dam - 3829.94$$

$$D3 : Q = 314.79 H(t) - 226.82 Dam + 113.09 Ct.2 - 3811.61$$

กลุ่มตัวแปรนำเข้า U

$$U1 : Q = 259.35 H(t) + 85.89 P.17 - 7484.98$$

$$U2 : Q = 303.14 H(t) + 66.56 P.17 - 29.11 N.14A - 7028.95$$

$$U3 : Q = 303.79 H(t) + 82.52 P.17 - 30.47 N.14A - 12.42 P.16 - 7039.70$$

$$U4 : Q = 403.08 H(t) + 9.75 P.17 - 212.94 N.14A - 15 P.16 + 128.21 N.8 - 5318.28$$

$$U5 : Q = 371.01 H(t) + 51.56 P.17 - 219.94 N.14A - 33.11 P.16 + 135.43 N.8 + 27.99 Y.5 \\ - 6168.95$$

$$U6 : Q = 378.46 H(t) + 67.02 P.17 - 222 N.14A - 54.52 P.16 + 131.94 N.8 + 30.63 Y.5 \\ + 172.70 P.15 - 10497$$

$$U7 : Q = 451.74 H(t) - 46.22 P.17 - 272.11 N.14A - 81.29 P.16 + 28.94 N.8 + 33.50 Y.5 \\ + 124.13P.15 + 111.15 N10A. - 8239.95$$

$$U8 : Q = 258.53 H(t) + 95.72 P.17 - 7.24 P.16 - 7503.70$$

$$U9 : Q = 260.34 H(t) + 2.37 P.17 - 21.42 P.16 + 132.48 P.15 - 10806.5$$

$$U10 : Q = 340.20 H(t) - 44.49 N.14A - 5097.77$$

$$U11 : Q = 395.3 H(t) - 204.23 N14A. + 122.48 N.8 - 5567.86$$

$$U12 : Q = 420.01 H(t) - 208.2 N14A. + 37.41 N.8 + 74.96 N10A. - 5837.61$$

$$U13 : Q = 403.15 H(t) - 224.83 N14A. + 45.81 N.8 + 80.33 N10A. + 26.31 Y.5 - 6158.09$$

กลุ่มตัวแปรนำเข้า F

$$F1 : Q = 197.53 H(t) + 136.97 \Delta F1 - 3829.94$$

$$F2 : Q = 345.23 H(t) + 85.89 \Delta F2 - 7484.98$$

$$F3 : Q = 295.73 H(t) - 44.5 \Delta F3 - 5097.77$$

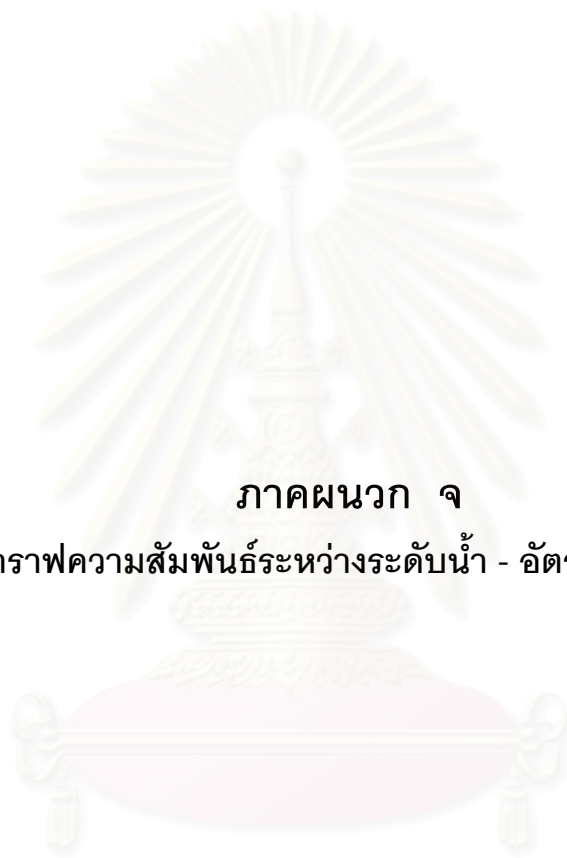
$$F4 : Q = 218.16 H(t) + 133.48 \Delta F1 + 24.6 \Delta F2 - 4595.31$$

$$F5 : Q = 206.13 H(t) + 133.74 \Delta F1 - 19.50 \Delta F3 - 3938.22$$

$$F6 : Q = 340.59 H(t) + 66.56 \Delta F2 - 29.11 \Delta F3 - 7028.95$$

$$F7 : Q = 216.73 H(t) + 132.22 \Delta F1 + 14.23 \Delta F2 - 16.5 \Delta F3 - 4364.12$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ - อัตราการไหล

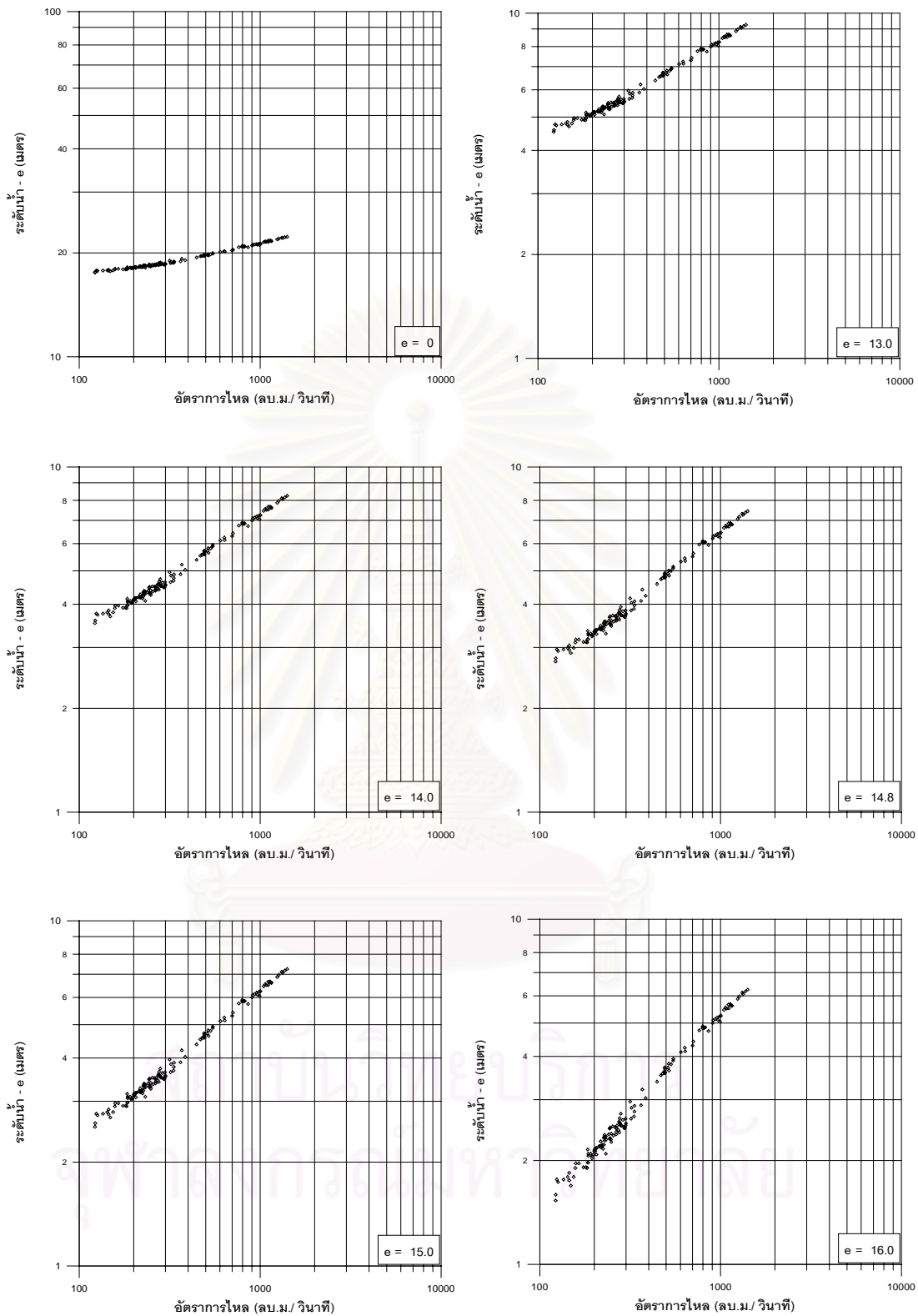
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ -1 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ระยะเวลา 1 ปี พ.ศ. 2534

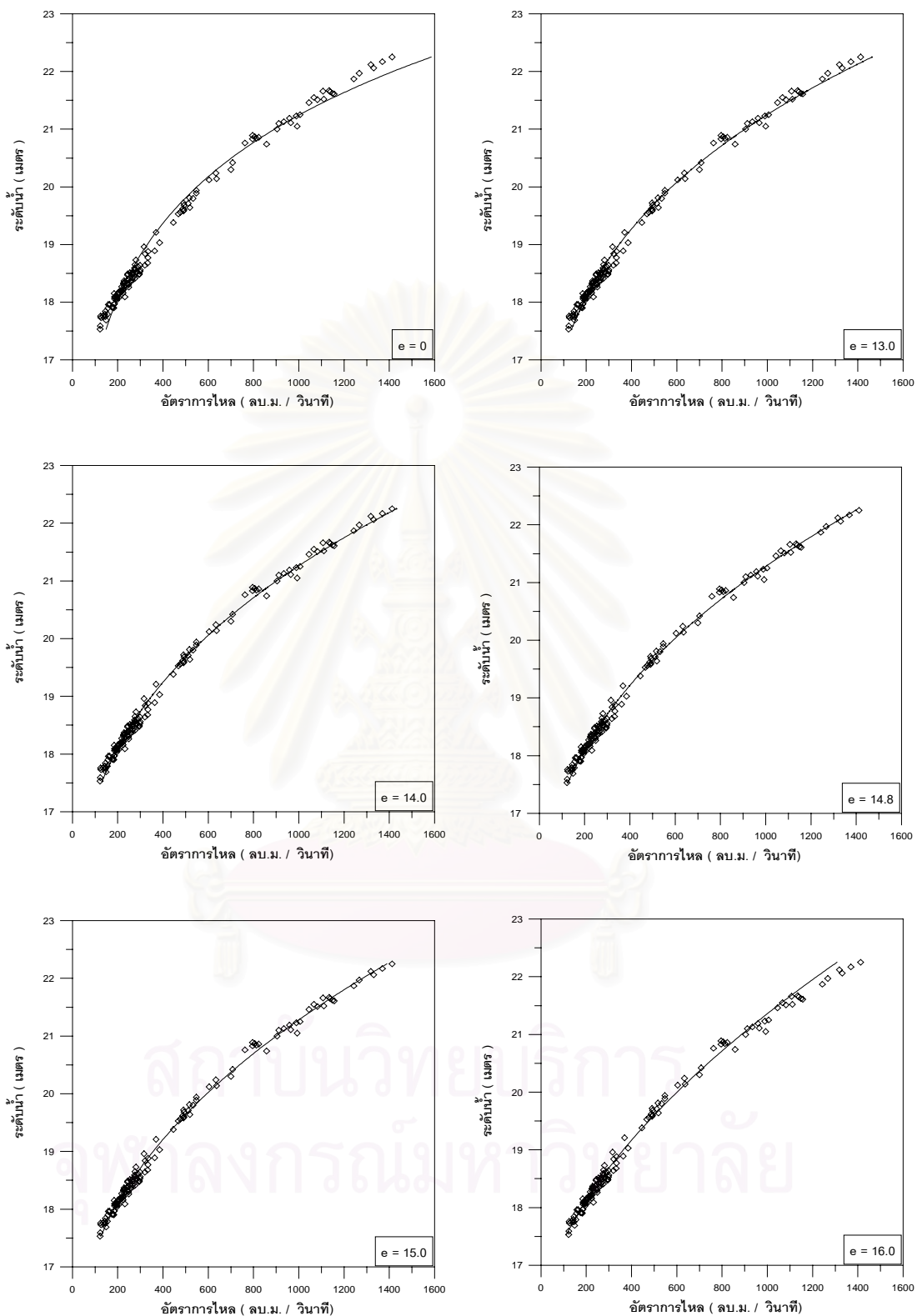
No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 6.6 \times 10^{-11} (H)^{9.931}$	98.42	257,245	28.98	43.02	177	0.995	
2	13.0	$Q = 0.88(H-13.0)^{3.335}$	99.47	87,071	18.72	25.03	77	0.998	
3	13.5	$Q = 1.83(H-13.5)^{3.076}$	99.54	75,128	17.61	23.25	75	0.998	
4	14.0	$Q = 3.77(H-14.0)^{2.815}$	99.58	67,991	16.66	22.12	73	0.998	
5	14.5	$Q = 7.59(H-14.5)^{2.552}$	99.62	61,589	15.69	21.05	74	0.998	
6	14.6	$Q = 8.71(H-14.6)^{2.500}$	99.62	61,812	15.72	21.09	73	0.998	
7	14.7	$Q = 9.98(H-14.7)^{2.447}$	99.63	60,805	15.68	20.92	74	0.998	
8	14.8	$Q = 11.43(H-14.8)^{2.393}$	99.63	59,805	15.65	20.74	76	0.998	** เล็ก **
9	14.9	$Q = 13.09(H-14.9)^{2.340}$	99.63	60,140	15.71	20.80	75	0.998	
10	15.0	$Q = 14.96(H-15.0)^{2.287}$	99.63	60,528	15.74	20.87	75	0.998	
11	15.1	$Q = 17.10(H-15.1)^{2.233}$	99.62	61,243	15.82	20.99	76	0.998	
12	15.2	$Q = 19.50(H-15.2)^{2.180}$	99.62	62,438	15.96	21.19	76	0.998	
13	15.3	$Q = 22.25(H-15.3)^{2.216}$	99.52	78,778	17.43	23.81	92	0.998	
14	15.4	$Q = 25.34(H-15.4)^{2.072}$	99.59	66,387	16.42	21.85	77	0.998	
15	15.5	$Q = 28.84(H-15.5)^{2.018}$	99.58	69,177	16.76	22.31	77	0.998	
16	16.0	$Q = 53.70(H-16.0)^{1.742}$	99.30	113,826	20.05	28.62	105	0.997	

หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
การเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2534

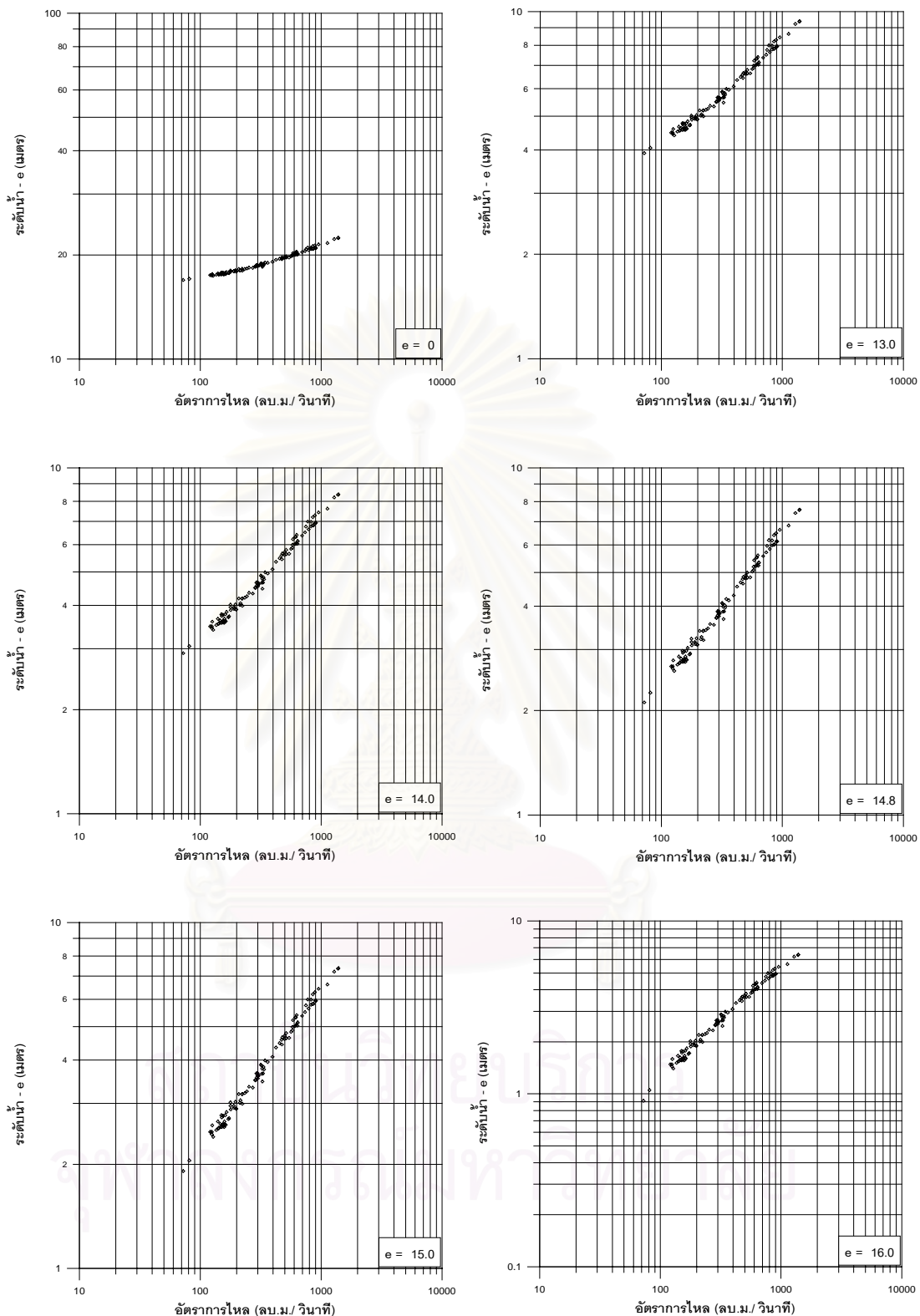


รูปที่ ๑-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ปี พ.ศ. 2534

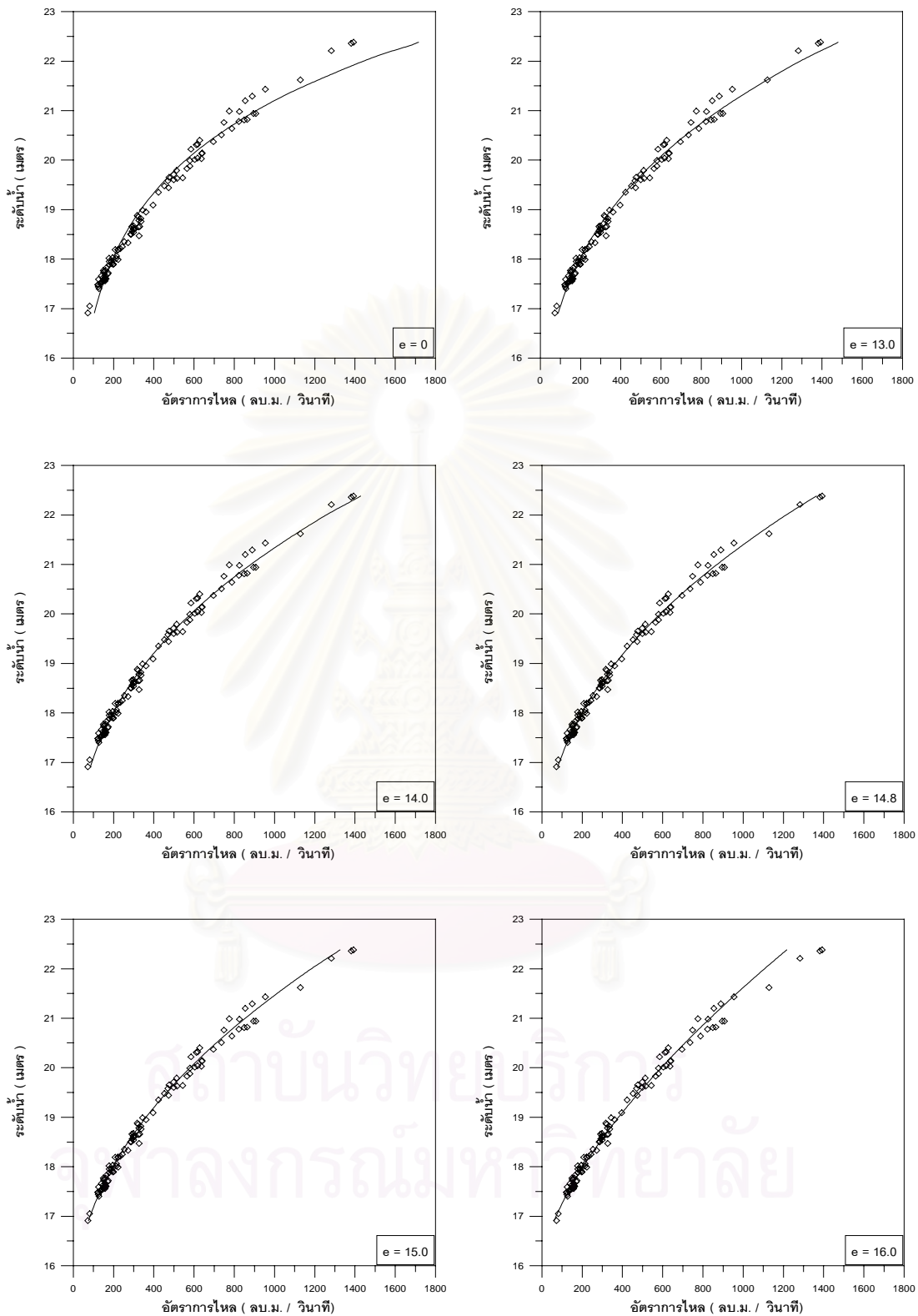
ตารางที่ ๑ -2 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ระยะเวลา 1 ปี พ.ศ. 2535

No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 6.01 \times 10^{-11} (H)^{9.968}$	94.74	482,599	37.45	67.47	323	0.986	
2	13.0	$Q = 1.12(H-13.0)^{3.210}$	98.65	126,165	23.30	34.50	112	0.995	
3	13.5	$Q = 2.36 (H - 13.5)^{2.942}$	98.83	109,453	22.09	32.13	107	0.995	
4	14.0	$Q = 4.87 (H-14.0)^{2.672}$	98.97	94,497	21.16	29.86	104	0.995	
5	14.5	$Q = 9.82 (H - 14.5)^{2.398}$	99.12	80,495	19.91	27.56	95	0.996	
6	14.7	$Q = 12.94(H - 14.7)^{2.288}$	99.16	77,953	19.49	27.12	94	0.996	
7	14.8	$Q = 14.83(H - 14.8)^{2.232}$	99.17	77,297	19.51	27.00	92	0.996	** เล็ก **
8	14.9	$Q = 16.98 (H - 14.9)^{2.176}$	99.17	77,386	19.51	27.02	90	0.996	
9	15.0	$Q = 19.41 (H - 15.0)^{2.120}$	99.10	83,774	20.81	28.11	76	0.996	
10	15.5	$Q = 37.41(H-15.5)^{1.836}$	98.95	96,116	20.94	30.11	102	0.995	
11	16.0	$Q = 70.33 (H - 16.0)^{1.538}$	98.26	159,396	23.80	38.78	176	0.993	

หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)



รูปที่ ๑-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
การเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2535



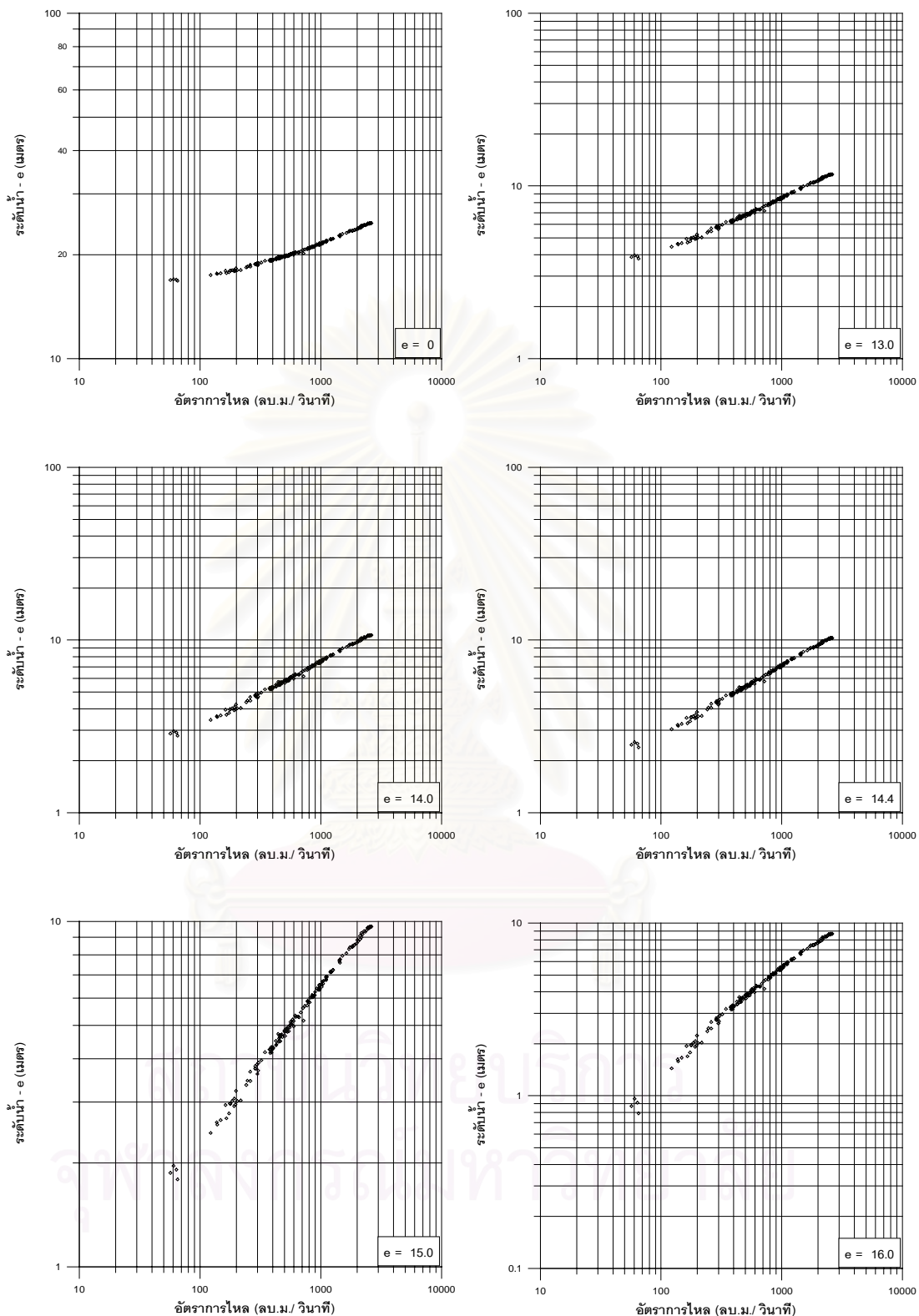
รูปที่ ๑-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ปี พ.ศ. 2535

ตารางที่ ๑ -3 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ระยะเวลา 1 ปี พ.ศ. 2537

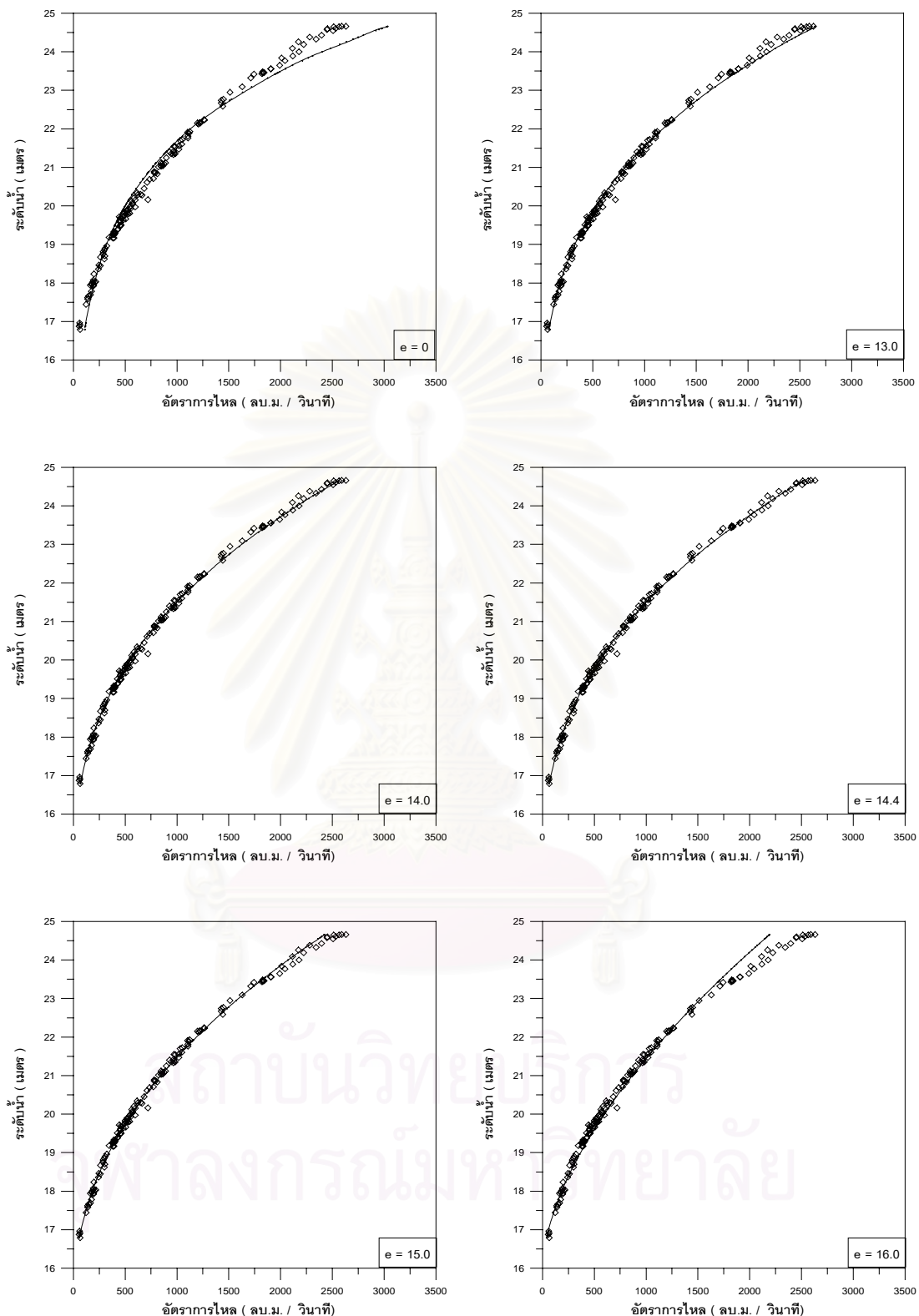
No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q=3.1 \times 10^{-9} H^{8.614}$	95.29	3,487,463	91.58	150.49	519	0.994	
2	13.0	$Q=1.18(H-13.0)^{3.142}$	99.49	378,033	33.39	49.55	203	0.999	
3	13.5	$Q=2.29(H-13.5)^{2.918}$	99.65	259,995	27.79	41.09	175	0.999	
4	14.0	$Q=4.41(H-14.0)^{2.690}$	99.76	176,336	23.29	33.84	141	0.999	** เล็ก **
5	14.1	$Q=5.01(H-14.1)^{2.644}$	99.79	158,813	22.49	32.11	132	0.999	
6	14.2	$Q=5.71(H-14.2)^{2.600}$	99.76	174,699	23.48	33.68	136	0.999	
7	14.3	$Q=6.50(H-14.3)^{2.552}$	99.79	157,090	22.64	31.94	127	0.999	
8	14.4	$Q=7.38(H-14.4)^{2.505}$	99.79	151,923	22.38	31.41	127	0.999	
9	14.5	$Q=8.39(H-14.5)^{2.458}$	99.79	156,706	22.61	31.90	127	0.999	
10	14.6	$Q = 9.54 (H-14.6)^{2.410}$	99.77	168,767	23.11	33.10	144	0.999	
11	14.7	$Q = 10.85 (H-14.7)^{2.363}$	99.75	186,910	24.12	34.84	158	0.999	
12	14.8	$Q = 12.32 (H-14.8)^{2.314}$	99.71	214,412	25.28	37.31	174	0.999	
13	14.9	$Q = 14.00 (H-14.9)^{2.266}$	99.67	243,013	26.56	39.72	187	0.999	
14	15.0	$Q = 15.88 (H-15.0)^{2.217}$	99.60	296,080	28.32	43.85	207	0.999	
15	15.5	$Q = 30.06 (H-15.5)^{1.964}$	99.02	726,932	41.24	68.70	302	0.997	
16	16.0	$Q = 57.54 (H-16.0)^{1.686}$	97.44	1,894,191	65.02	110.91	440	0.995	

หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
การเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2537



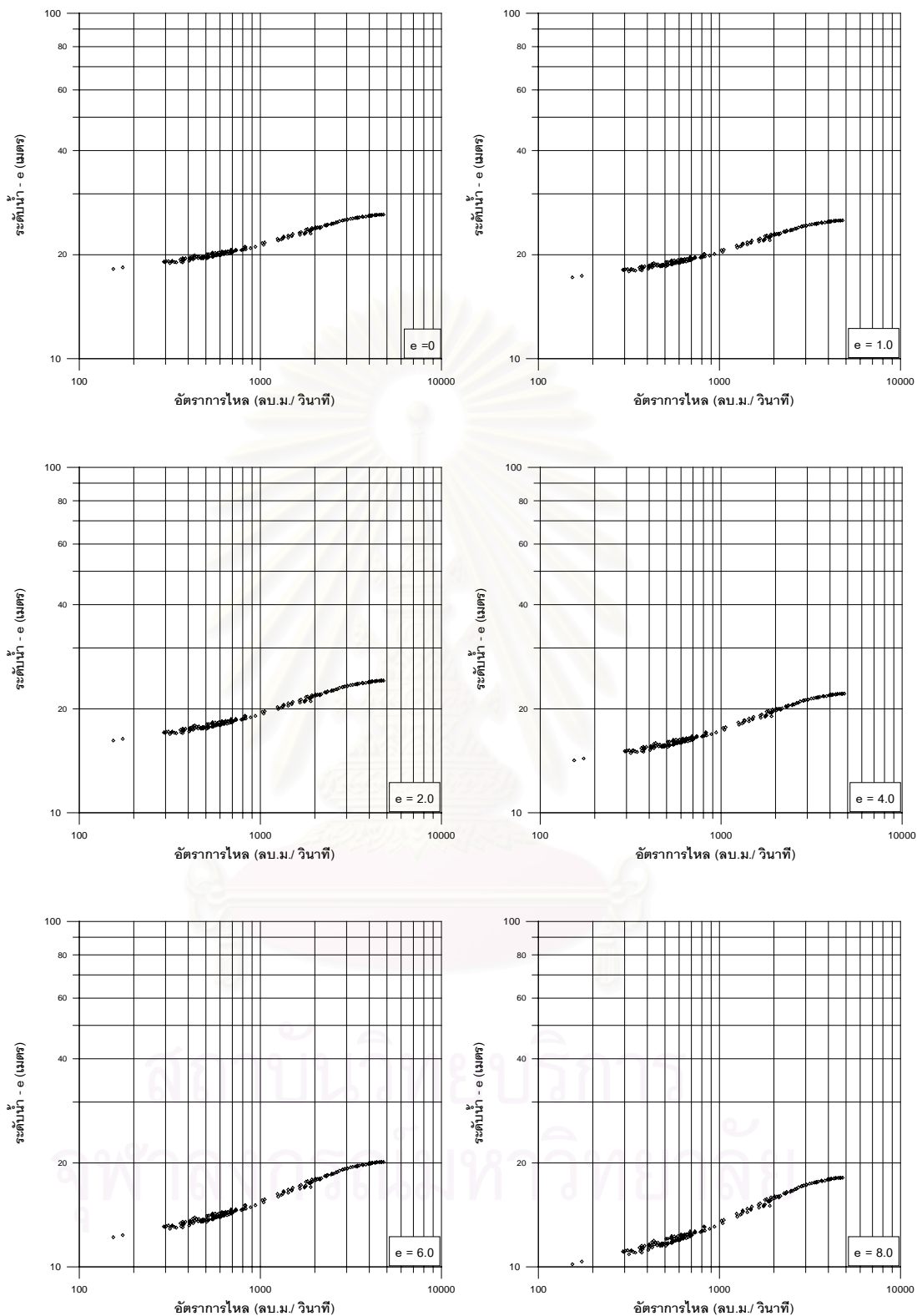
รูปที่ ๑-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ปี พ.ศ. 2537

ตารางที่ ๑ -4 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้

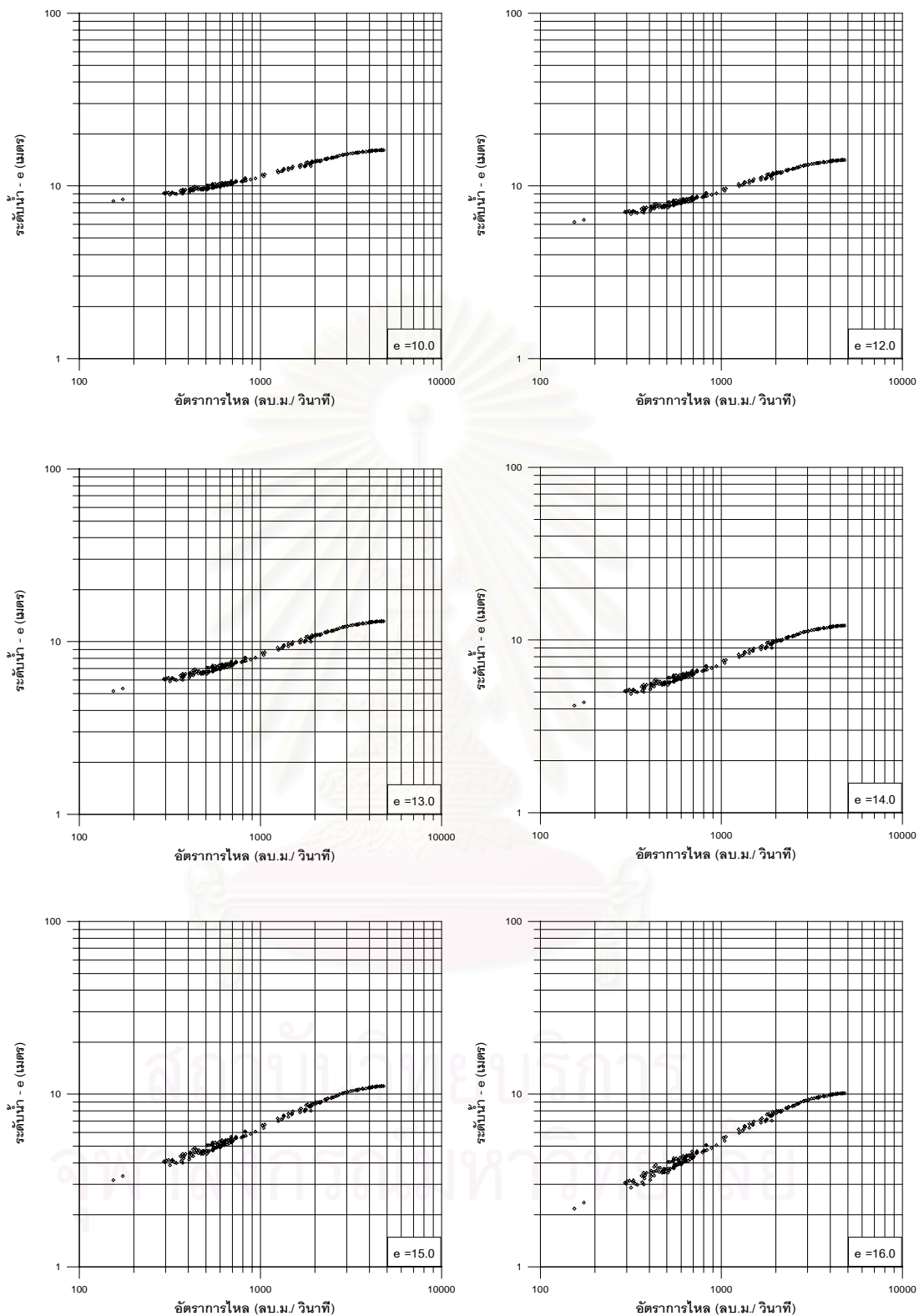
ระยะเวลา 1 ปี พ.ศ. 2538

No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 4.26 \times 10^{-8} (H)^{7.766}$	98.95	2,996,026	92.49	130.84	509	0.995	
2	0.1	$Q = 4.91 \times 10^{-8} (H - 0.1)^{7.731}$	98.95	2,990,172	92.39	130.72	513	0.995	** เล็ก **
3	0.2	$Q = 5.67 \times 10^{-8} (H - 0.2)^{7.696}$	98.95	2,992,653	92.40	130.77	514	0.995	
4	0.3	$Q = 6.55 \times 10^{-8} (H - 0.3)^{7.661}$	98.95	2,995,185	92.42	130.83	515	0.995	
5	0.4	$Q = 7.55 \times 10^{-8} (H - 0.4)^{7.626}$	98.95	2,997,767	92.43	130.88	516	0.995	
6	0.5	$Q = 8.71 \times 10^{-8} (H - 0.5)^{7.591}$	98.95	3,000,403	92.44	130.94	517	0.995	
7	1.0	$Q = 1.78 \times 10^{-7} (H - 1.0)^{7.591}$	98.94	3,030,690	92.77	131.60	515	0.995	
8	2.0	$Q = 7.30 \times 10^{-7} (H - 2.0)^{7.066}$	98.93	3,046,290	92.67	131.94	533	0.995	
9	4.0	$Q = 1.17 \times 10^{-5} (H - 4.0)^{6.365}$	98.90	3,129,533	92.91	133.73	563	0.995	
10	6.0	$Q = 1.75 \times 10^{-4} (H - 6.0)^{5.662}$	98.85	3,273,404	94.17	136.77	601	0.994	
11	8.0	$Q = 2 \times 10^{-3} (H - 8.0)^{4.958}$	91.83	23,307,974	253.17	364.95	1348	0.994	
12	9.0	$Q = 9 \times 10^{-3} (H - 9.0)^{4.604}$	98.52	4,233,496	105.08	155.54	511	0.994	
13	10.0	$Q = 0.03 (H - 10.0)^{4.250}$	98.53	4,193,534	99.11	154.80	749	0.993	
14	10.5	$Q = 0.06 (H - 10.5)^{4.071}$	98.10	5,420,714	118.47	176.00	468	0.993	
15	11.0	$Q = 0.11 (H - 11.0)^{3.893}$	98.20	5,129,627	114.88	171.21	510	0.993	
16	11.5	$Q = 0.19 (H - 11.5)^{3.714}$	98.40	4,574,101	101.89	161.67	777	0.993	
17	12.0	$Q = 0.35 (H - 12.0)^{3.534}$	98.40	4,561,581	103.52	161.45	757	0.992	
18	12.5	$Q = 0.63 (H - 12.5)^{3.354}$	98.28	4,907,376	104.64	167.46	796	0.992	
19	13.0	$Q = 1.14 (H - 13.0)^{3.173}$	98.22	5,064,891	106.78	170.12	796	0.992	
20	13.5	$Q = 2.03 (H - 13.5)^{2.991}$	98.11	5,394,243	108.88	175.57	819	0.991	
21	14.0	$Q = 3.59 (H - 14.0)^{2.810}$	98.01	5,684,778	111.92	180.23	828	0.991	
22	14.5	$Q = 6.29 (H - 14.5)^{2.623}$	97.76	6,404,641	114.51	191.31	892	0.990	
23	15.0	$Q = 10.94 (H - 15.0)^{2.438}$	97.56	6,967,324	118.75	199.53	921	0.989	
24	15.5	$Q = 18.87 (H - 15.5)^{2.249}$	97.24	7,865,527	123.95	212.00	973	0.988	
25	16.0	$Q = 32.30 (H - 16.0)^{2.057}$	96.84	9,017,452	130.80	227.00	1,031	0.987	

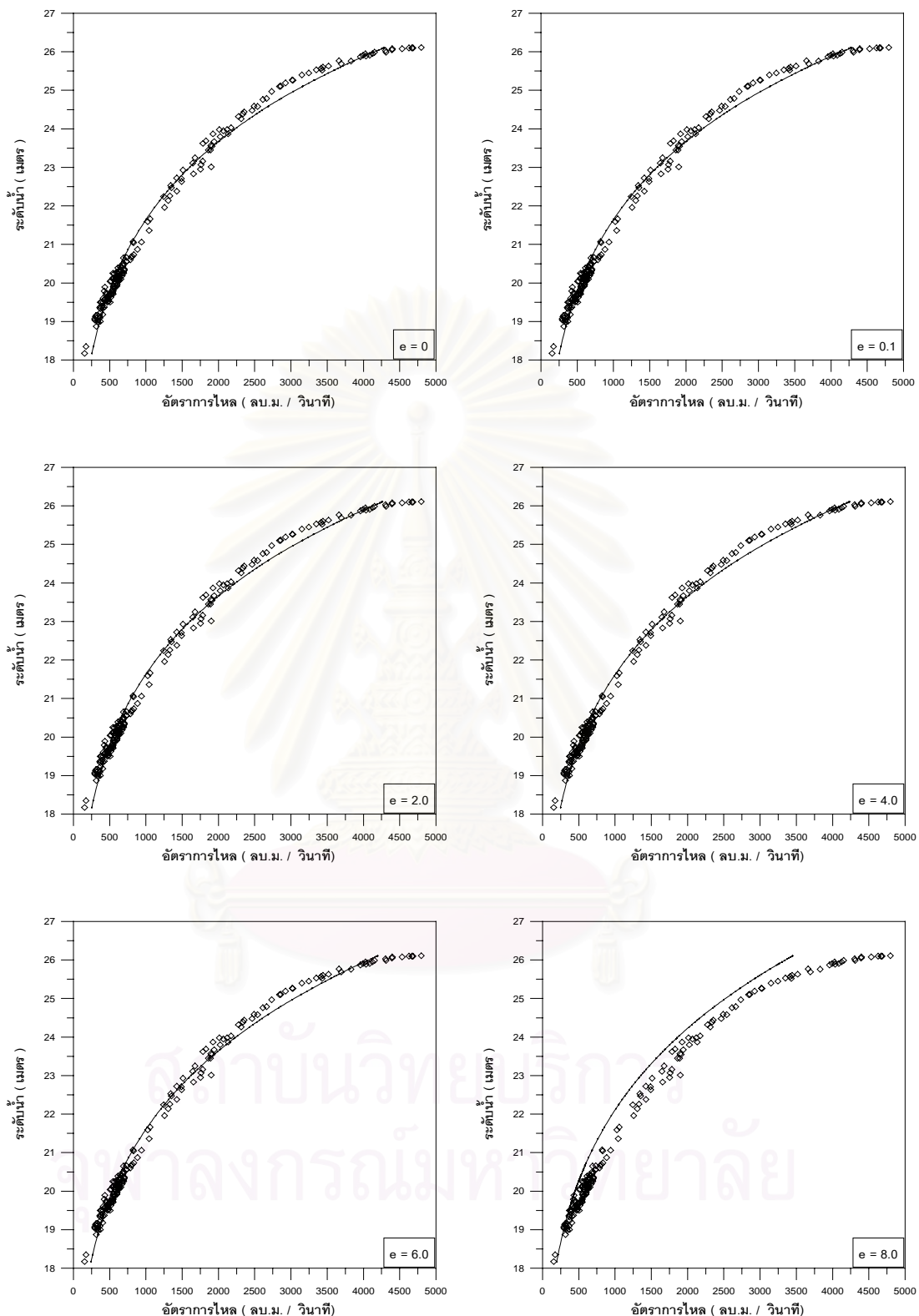
หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)



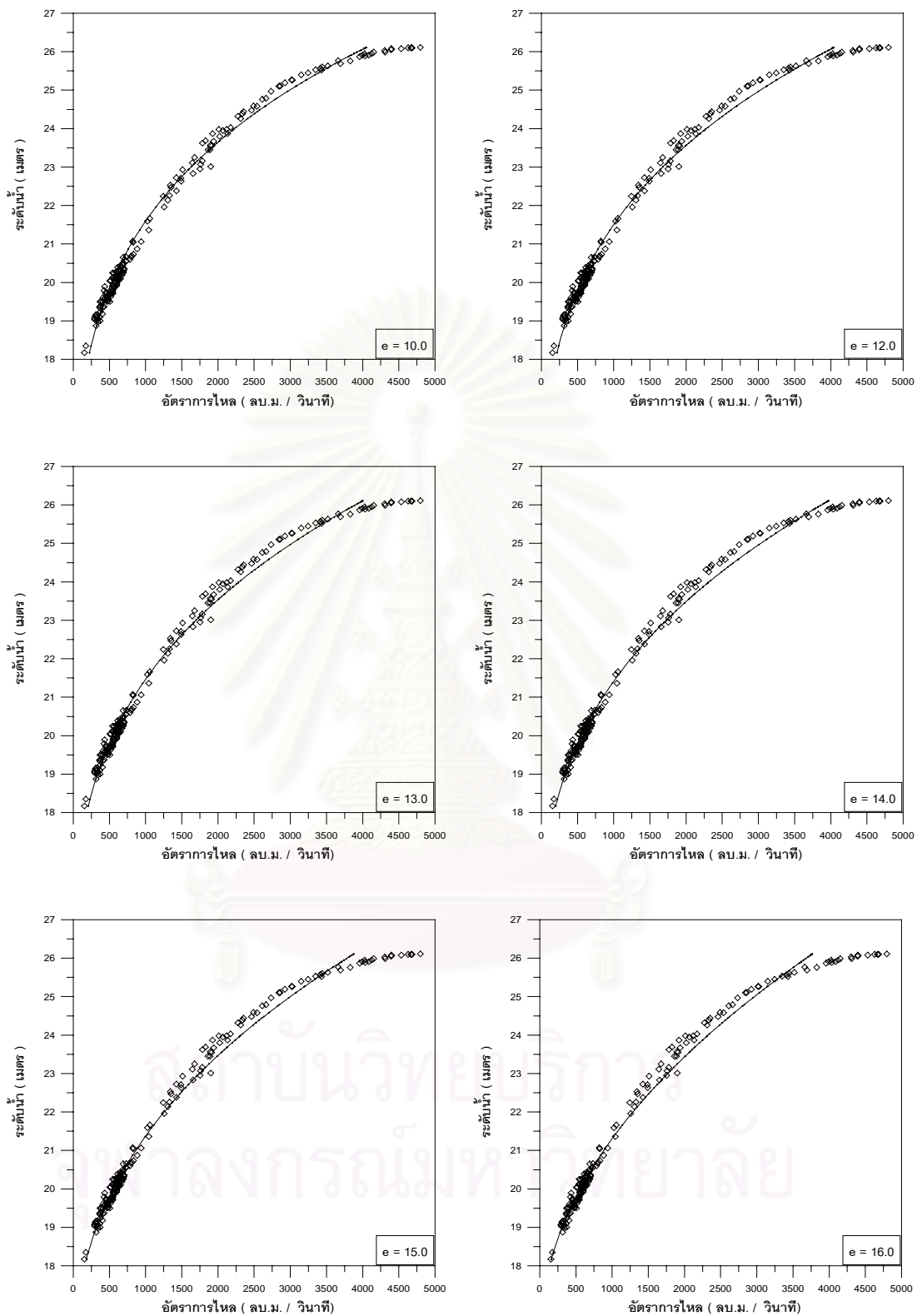
รูปที่ ๑-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
การเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2538



รูปที่ ๑-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
การเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2538(ต่อ)



รูปที่ ๑-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ปี พ.ศ. 2538



รูปที่ ๑-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ปี พ.ศ. 2538 (ต่อ)

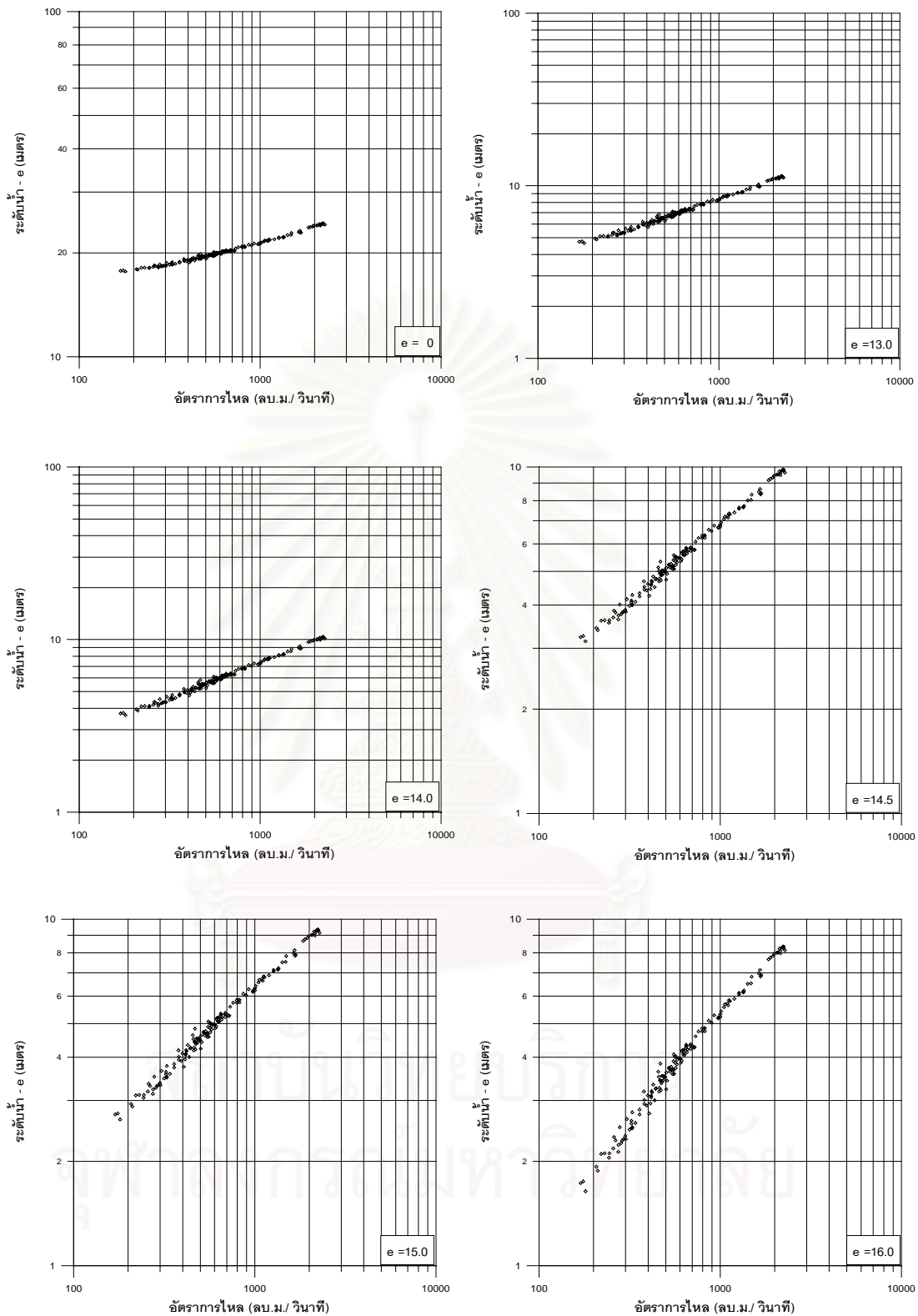
ตารางที่ ๑ -5 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้

ระยะเวลา 1 ปี พ.ศ. 2542

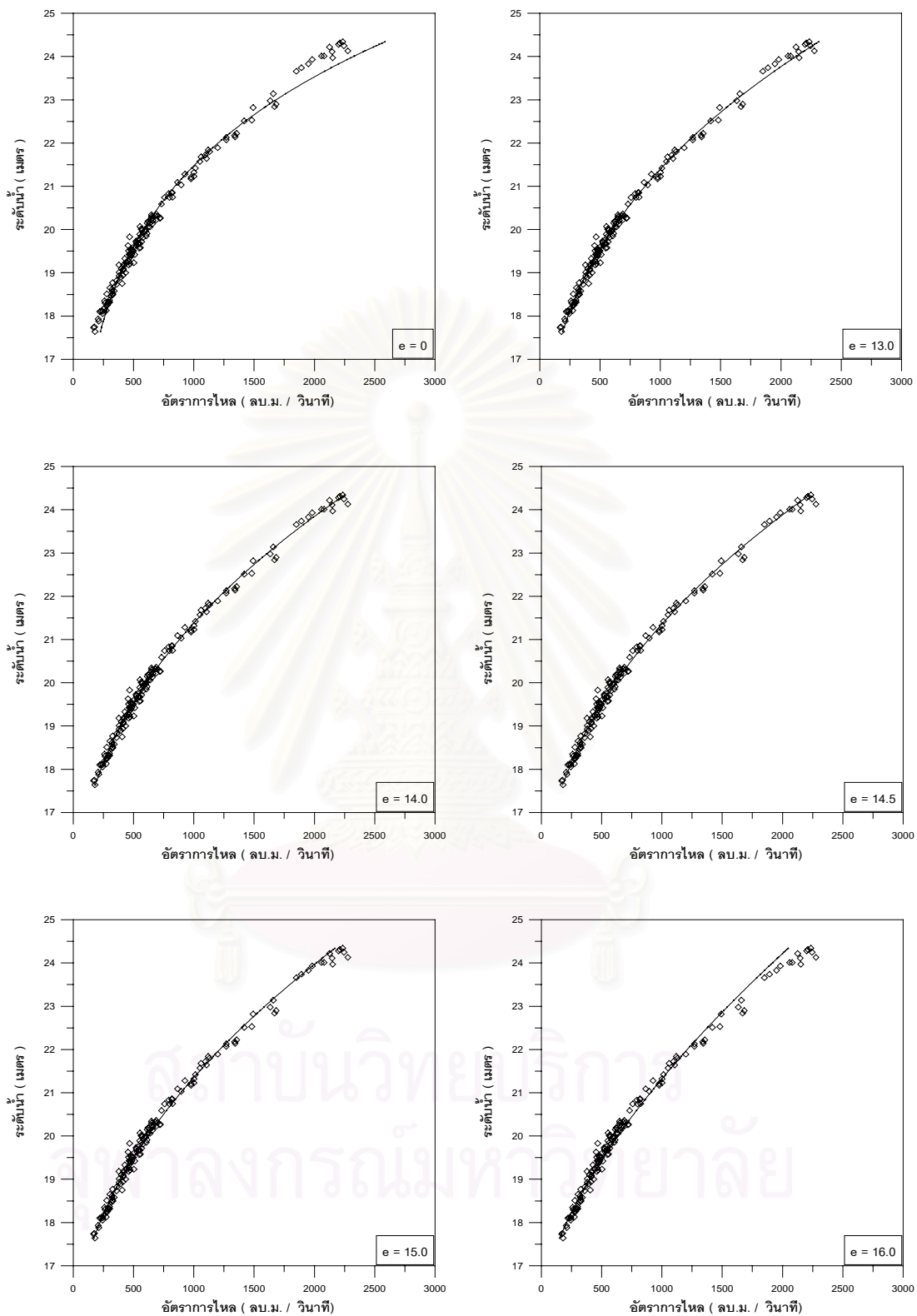
No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 7.94 \times 10^{-8} (H)^{7.583}$	97.19	1,252,837	50.57	91.09	363	0.993	
2	13.0	$Q = 2.64 (H - 13.0)^{2.790}$	99.50	223,868	28.70	38.50	119	0.998	
3	13.5	$Q = 4.67 (H - 13.5)^{2.599}$	99.55	200,732	27.59	36.46	116	0.998	
4	13.6	$Q = 5.22 (H - 13.6)^{2.560}$	99.56	195,353	27.20	35.97	122	0.998	
5	13.7	$Q = 5.85 (H - 13.7)^{2.522}$	99.56	196,054	27.33	36.03	116	0.998	
6	13.8	$Q = 6.55 (H - 13.8)^{2.483}$	99.57	192,281	26.96	35.68	119	0.998	
7	13.9	$Q = 7.31 (H - 13.9)^{2.444}$	99.54	203,774	26.56	36.74	149	0.998	
8	14.0	$Q = 8.17 (H - 14.0)^{2.405}$	99.57	191,674	26.53	35.63	136	0.998	** เล็ก **
9	14.1	$Q = 9.14 (H - 14.1)^{2.366}$	99.57	192,100	26.52	35.67	139	0.998	
10	14.2	$Q = 10.23 (H - 14.2)^{2.327}$	99.57	192,696	26.60	35.72	141	0.998	
11	14.3	$Q = 11.37 (H - 14.3)^{2.288}$	99.55	200,734	26.54	36.46	156	0.998	
12	14.4	$Q = 12.71 (H - 14.4)^{2.249}$	99.55	201,921	26.70	36.57	157	0.998	
13	14.5	$Q = 14.20 (H - 14.5)^{2.210}$	99.54	204,312	26.93	36.78	159	0.998	
14	15.0	$Q = 24.32 (H - 15.0)^{2.010}$	99.38	275,347	29.91	42.70	205	0.998	
15	15.5	$Q = 41.29 (H - 15.5)^{1.810}$	99.17	371,443	34.70	49.60	236	0.997	
16	16.0	$Q = 69.32 (H - 16.0)^{1.596}$	98.43	699,753	44.83	68.07	312	0.996	

หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑-๙ ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
การเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2542

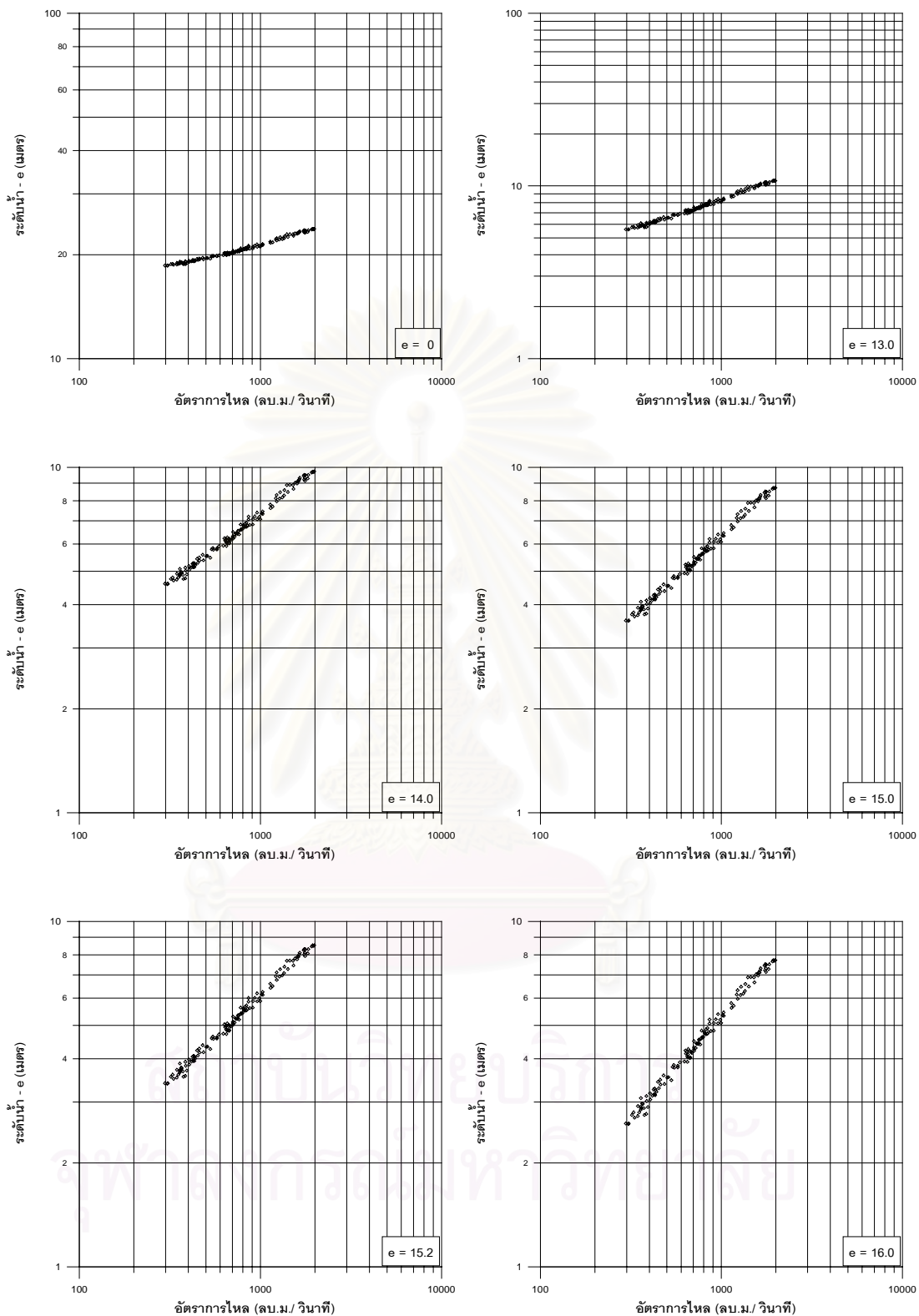


รูปที่ ๑-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ปี พ.ศ. 2542

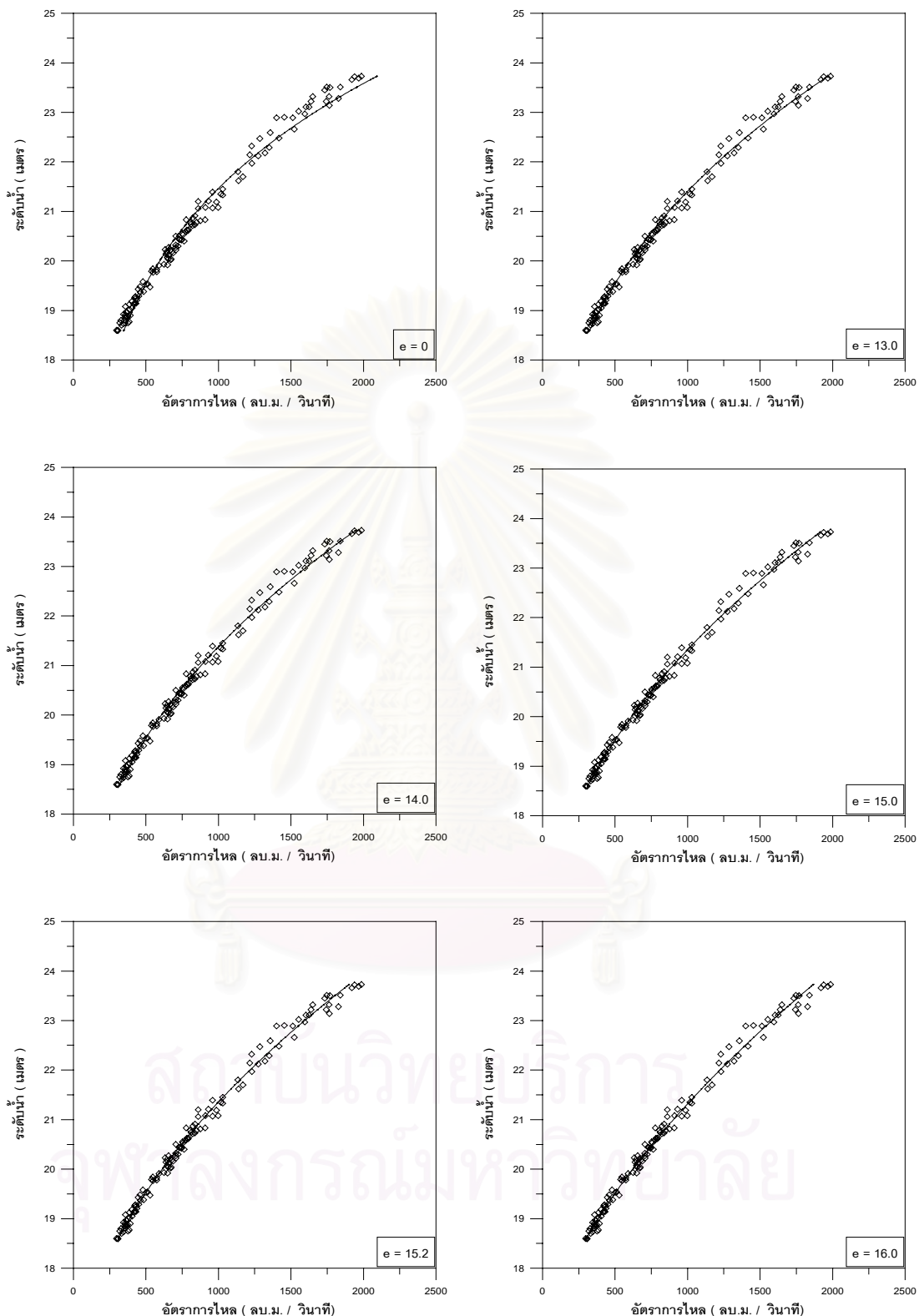
ตารางที่ ๑ -6 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ระยะเวลา 1 ปี พ.ศ. 2543

No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 1.58 \times 10^{-7} (H)^{7.360}$	97.92	594,591	50.39	67.37	208	0.993	
2	13.0	$Q = 2.75(H - 13.0)^{2.770}$	99.04	274,664	34.44	45.79	170	0.996	
3	13.5	$Q = 4.74(H - 13.5)^{2.591}$	99.08	262,258	33.35	44.74	169	0.996	
4	14.0	$Q = 8.09(H - 14.0)^{2.410}$	99.13	246,977	32.31	43.42	165	0.996	
5	14.5	$Q = 13.68(H - 14.5)^{2.227}$	99.18	234,141	31.61	42.28	160	0.996	
6	15.0	$Q = 22.86(H - 15.0)^{2.044}$	99.20	228,132	30.85	41.73	158	0.996	
7	15.1	$Q = 25.30(H - 15.1)^{2.007}$	99.20	227,491	30.75	41.67	157	0.996	
8	15.2	$Q = 27.93(H - 15.2)^{1.969}$	99.20	226,922	30.98	41.62	150	0.996	** เล็ก **
9	15.3	$Q = 30.90(H - 15.3)^{1.932}$	99.20	226,987	30.79	41.63	150	0.996	
10	15.4	$Q = 34.12(H - 15.4)^{1.895}$	99.20	227,878	30.73	41.71	148	0.996	
11	15.5	$Q = 37.67(H - 15.5)^{1.858}$	99.20	229,063	30.67	41.82	148	0.996	
12	16.0	$Q = 61.38(H - 16.0)^{1.670}$	99.14	245,854	30.93	43.32	140	0.996	

หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)



รูปที่ จ-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
การเรียนรู้ ปี พ.ศ. 2543



รูปที่ ๑-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ปี พ.ศ. 2543

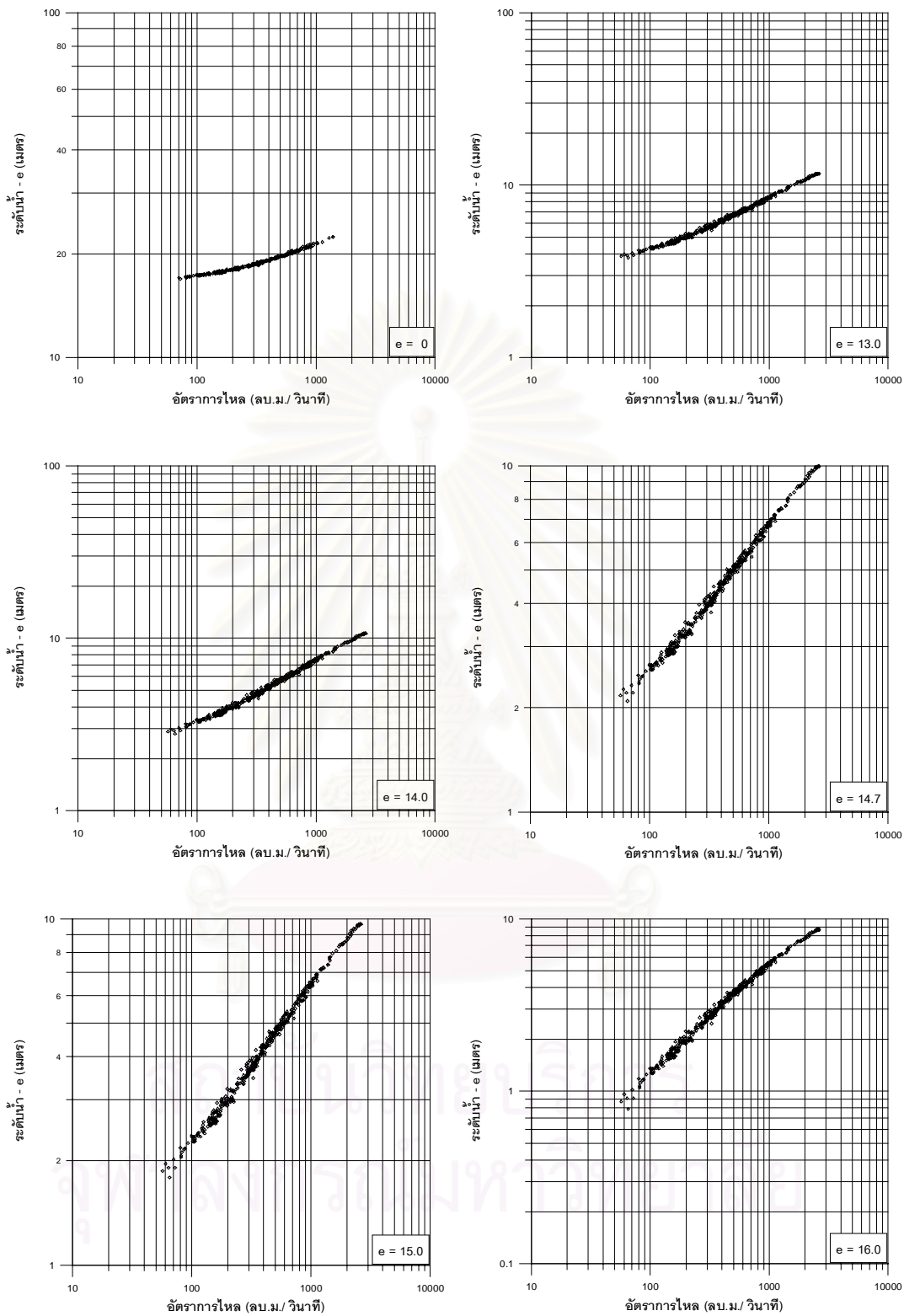
ตารางที่ ๑ -7 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้

ระยะเวลา 3 ปี พ.ศ. 2535 - 37

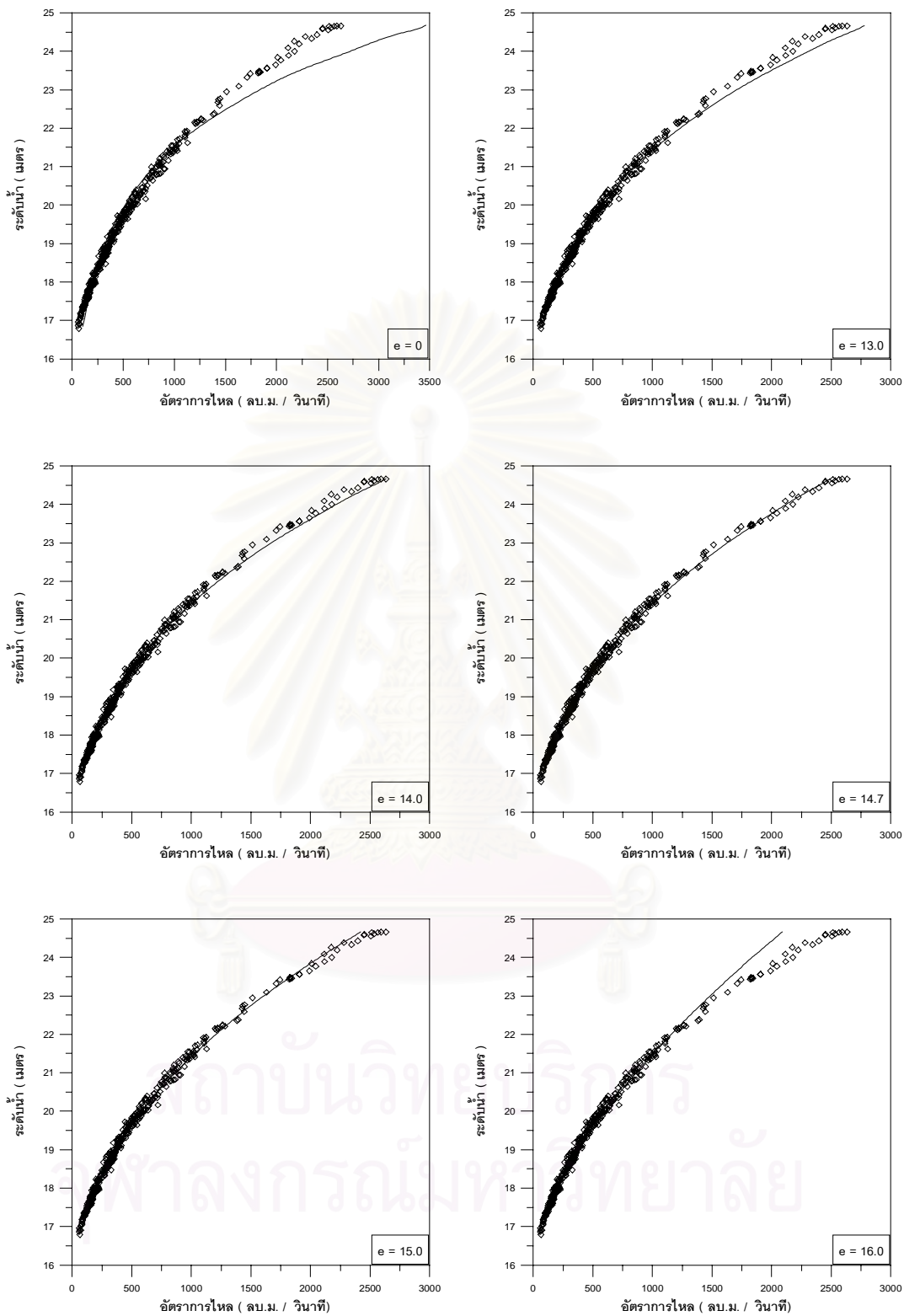
No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 7.66 \times 10^{-10} H^{9.091}$	88.87	13,029,935	80.07	180.04	932	0.987	
2	13.0	$Q = 1.20 (H-13.0)^{3.154}$	98.71	1,506,688	36.37	61.22	314	0.998	
3	13.5	$Q = 2.41 (H-13.5)^{2.913}$	99.08	1,072,471	32.38	51.65	268	0.998	
4	14.0	$Q = 4.76 (H-14.0)^{2.668}$	99.47	620,952	27.01	39.30	202	0.999	
5	14.1	$Q = 5.46 (H-14.1)^{2.618}$	99.52	557,754	26.00	37.25	189	0.999	
6	14.2	$Q = 6.24 (H-14.2)^{2.57}$	99.59	483,311	24.67	34.67	171	0.999	
7	14.3	$Q = 7.14 (H-14.3)^{2.518}$	99.63	436,562	23.72	32.95	156	0.999	
8	14.4	$Q = 8.16 (H-14.4)^{2.468}$	99.66	402,594	23.17	31.65	141	0.999	
9	14.5	$Q = 9.31 (H-14.5)^{2.418}$	99.68	379,231	22.71	30.71	126	0.999	
10	14.6	$Q = 10.64 (H-14.6)^{2.367}$	99.69	367,428	22.41	30.23	119	0.999	
11	14.7	$Q = 12.13 (H-14.7)^{2.316}$	99.69	367,320	22.20	30.23	143	0.998	** เล็ก **
12	14.8	$Q = 13.85 (H-14.8)^{2.264}$	99.67	388,667	22.35	31.09	168	0.998	
13	14.9	$Q = 15.78 (H-14.9)^{2.213}$	99.64	426,626	22.69	32.58	189	0.998	
14	15.0	$Q = 17.99 (H-15.0)^{2.161}$	99.59	484,933	23.29	34.73	213	0.998	
15	15.5	$Q = 34.36 (H-15.5)^{1.893}$	98.93	1,249,791	29.30	55.76	357	0.997	
16	16.0	$Q = 65.01 (H-16.0)^{1.607}$	97.10	3,397,025	41.74	91.93	544	0.993	

หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
 การเรียนรู้ ระยะเวลา 3 ปี ระหว่างพ.ศ. 2535-37



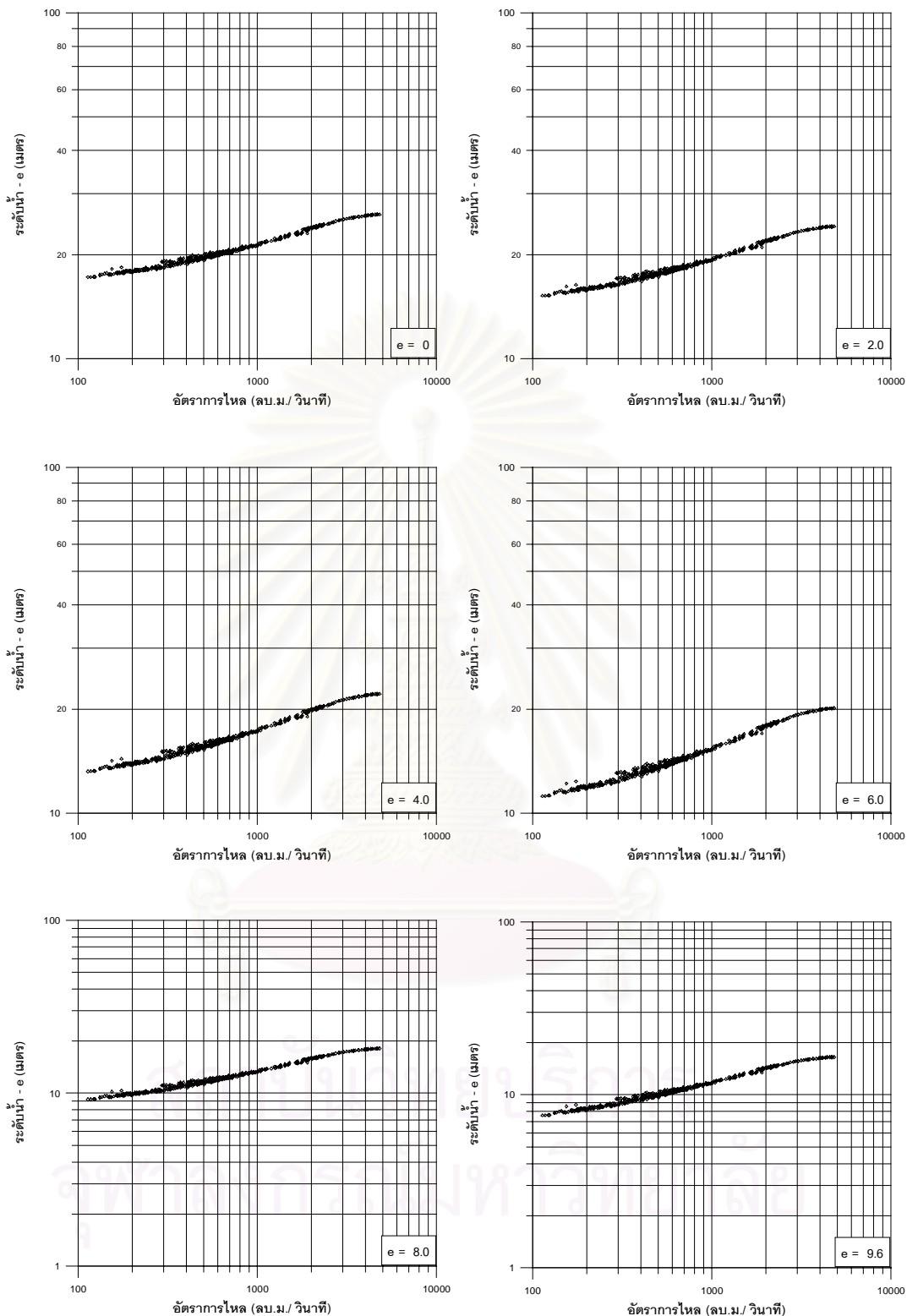
รูปที่ ๑-14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ - อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ระยะเวลา 3 ปีระหว่างพ.ศ. 2535-37

ตารางที่ ๑ -8 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้

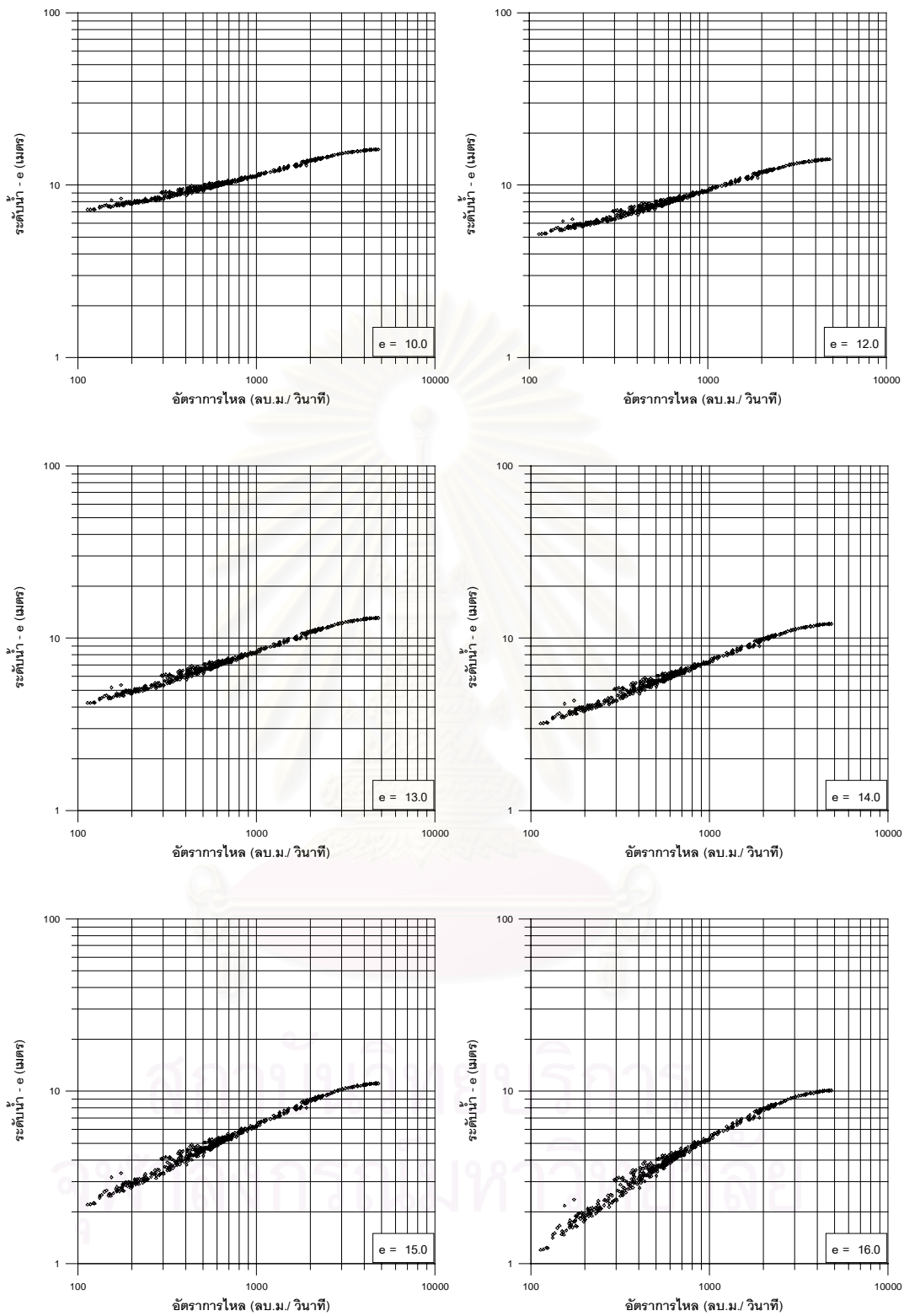
ระยะเวลา 3 ปี พ.ศ. 2538 และ 2541 - 42

No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 2.1 \times 10^{-8} (H)^{8.000}$	98.24	7,491,975	83.46	129.17	505	0.995	
2	2	$Q = 4.36 \times 10^{-7} (H-2)^{7.247}$	98.27	7,370,680	81.32	128.12	499	0.995	
3	4	$Q = 8.40 \times 10^{-6} (H-4)^{6.490}$	98.41	6,765,573	77.71	122.75	470	0.995	
4	6	$Q = 1.50 \times 10^{-4} (H-6)^{5.730}$	98.51	6,350,054	74.12	118.92	449	0.995	
5	8	$Q = 2.443 \times 10^{-3} (H-8)^{4.964}$	98.72	5,462,932	69.24	110.30	510	0.994	
6	9.0	$Q = 9.55 \times 10^{-3} (H-9)^{4.579}$	98.73	5,421,577	67.44	109.89	561	0.994	
7	9.5	$Q = 0.019 (H-9.5)^{4.385}$	98.58	6,060,002	68.00	116.18	531	0.994	
8	9.6	$Q = 0.021 (H-9.6)^{4.347}$	98.79	5,146,971	67.16	107.07	670	0.994	** เล็ก **
9	9.7	$Q = 0.024 (H-9.7)^{4.308}$	98.78	5,171,334	67.05	107.32	678	0.994	
10	9.8	$Q = 0.028 (H-9.8)^{4.270}$	98.68	5,634,310	66.51	112.02	587	0.994	
11	9.9	$Q = 0.032 (H-9.9)^{4.230}$	98.69	5,554,929	66.22	111.23	605	0.994	
12	10.0	$Q = 0.036 (H-10.0)^{4.191}$	98.76	5,271,893	66.24	108.36	675	0.994	
13	10.1	$Q = 0.041 (H-10.1)^{4.152}$	98.73	5,383,634	65.89	109.50	652	0.994	
14	10.2	$Q = 0.047 (H-10.2)^{4.113}$	98.72	5,424,047	65.77	109.91	655	0.994	
15	10.3	$Q = 0.054 (H-10.3)^{4.074}$	98.72	5,458,960	65.67	110.26	659	0.994	
16	10.4	$Q = 0.062 (H-10.4)^{4.035}$	98.68	5,634,725	65.83	112.02	639	0.994	
17	10.5	$Q = 0.07 (H-10.5)^{3.996}$	98.71	5,472,200	65.45	110.40	687	0.994	
18	11.0	$Q = 0.13 (H-11.0)^{3.800}$	98.67	5,673,760	64.98	112.41	740	0.993	
19	11.5	$Q = 0.26 (H-11.5)^{3.603}$	98.59	5,986,056	64.55	115.46	776	0.993	
20	12.0	$Q = 0.48 (H-12.0)^{3.405}$	98.49	6,428,592	64.16	119.66	826	0.993	
21	12.5	$Q = 0.91 (H-12.5)^{3.204}$	98.33	7,103,100	64.21	125.78	890	0.992	
22	13.0	$Q = 1.69 (H-13.0)^{3.002}$	98.08	8,158,352	64.80	134.80	970	0.991	
23	13.5	$Q = 3.13 (H-13.5)^{2.798}$	97.80	9,361,109	66.03	144.39	1,036	0.990	
24	14.0	$Q = 5.73 (H-14.0)^{2.590}$	97.31	11,454,365	67.93	159.72	1,138	0.989	
25	14.5	$Q = 10.42 (H-14.5)^{2.379}$	96.67	14,160,890	71.42	177.59	1,241	0.988	
26	15.0	$Q = 18.84 (H-15.0)^{2.287}$	95.68	18,354,641	78.32	202.19	1,371	0.986	
27	16.0	$Q = 60.49 (H-16.0)^{1.698}$	91.89	34,513,006	108.19	277.25	1,724	0.978	

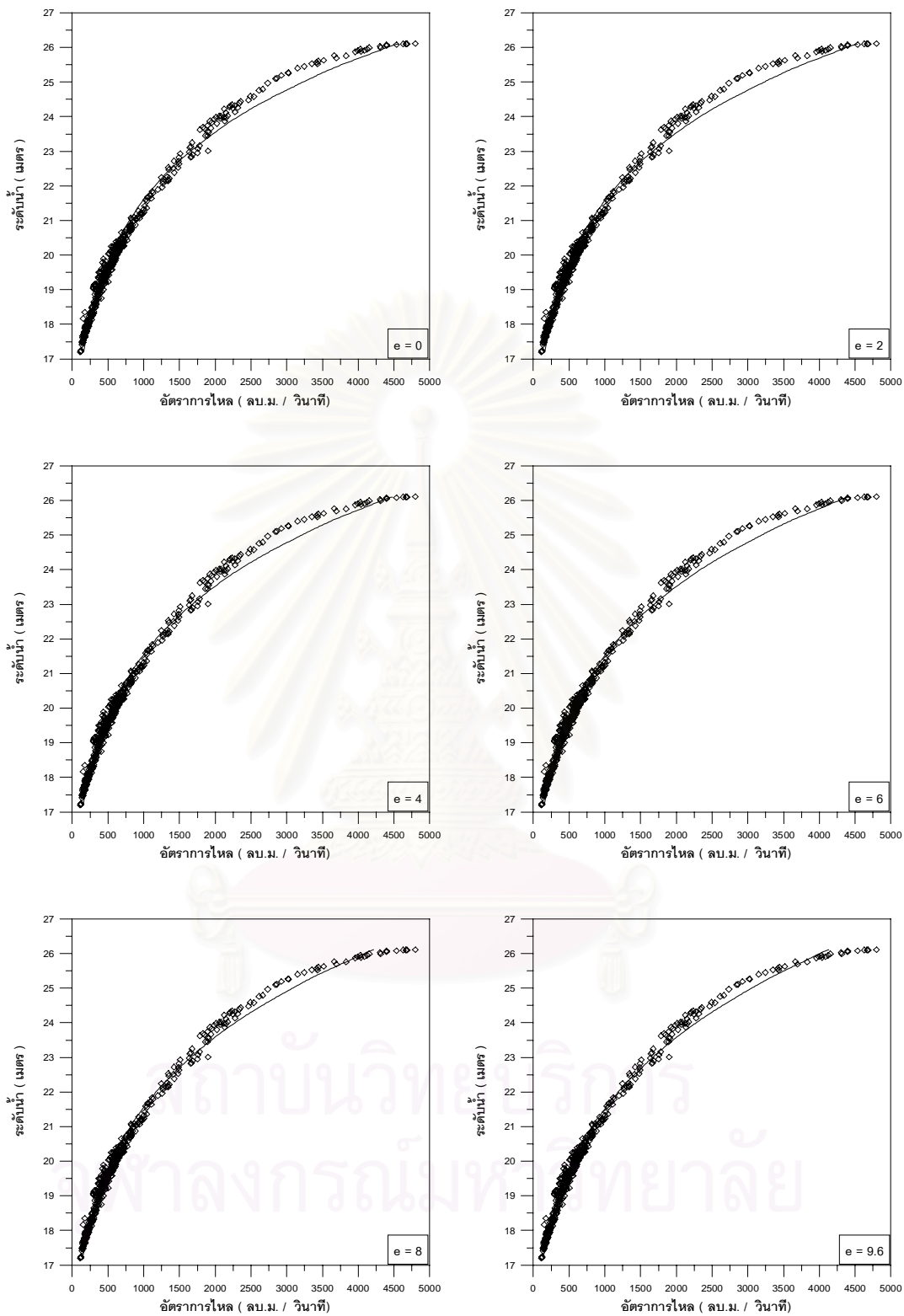
หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)



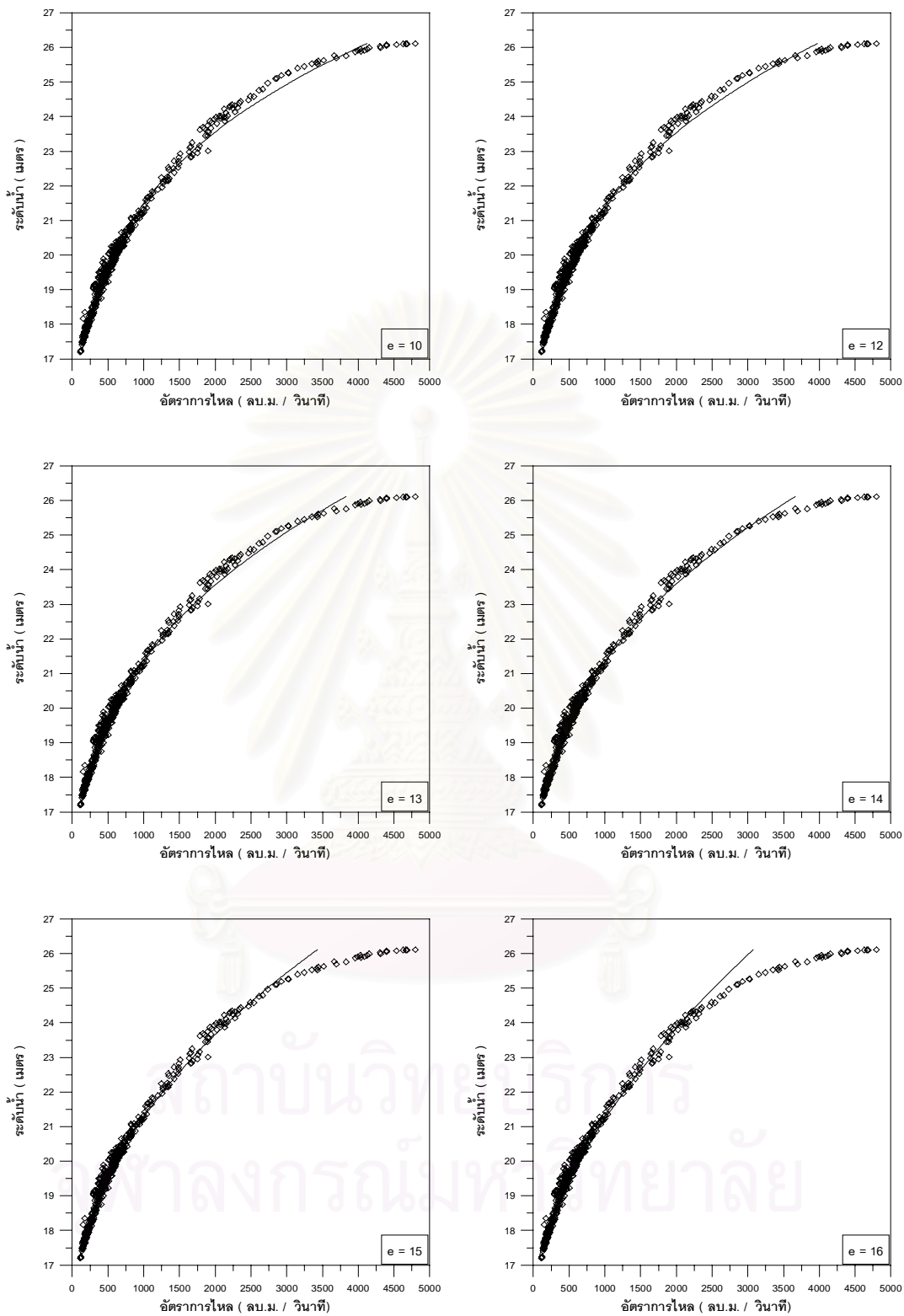
รูปที่ จ-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล การเรียนรู้อยู่ระยะเวลา 3 ปี พ.ศ. 2538 และ พ.ศ.2541-42



รูปที่ จ-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล การเรียนรู้ ระยะเวลา 3 ปี พ.ศ. 2538 และ พ.ศ.2541-42 (ต่อ)



รูปที่ ๑-16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
 ระยะเวลา 3 ปี พ.ศ. 2538 และ พ.ศ. 2541-42



รูปที่ ๑-16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ- อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
ระยะเวลา 3 ปี พ.ศ. 2538 และ พ.ศ. 2541-42(ต่อ)

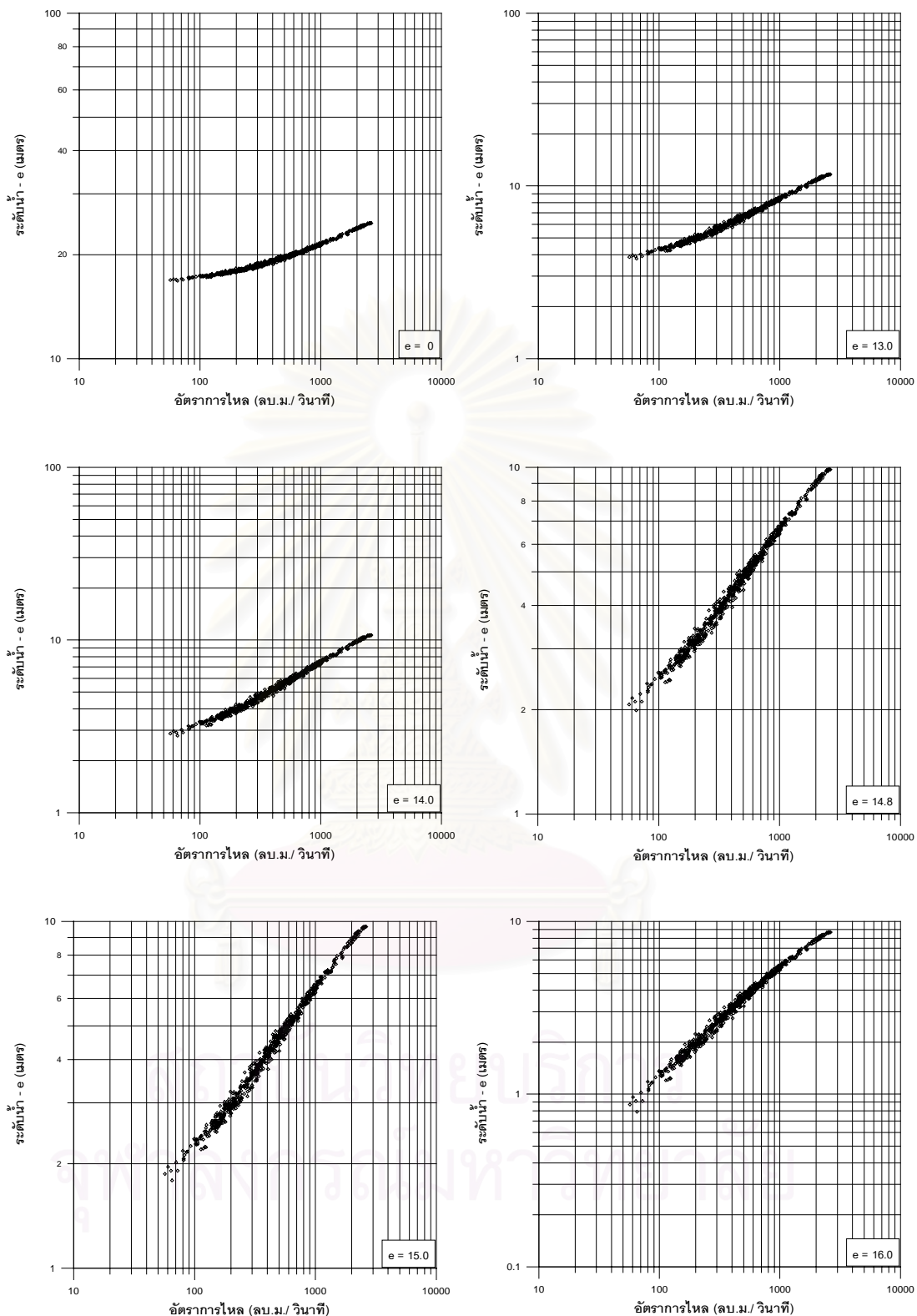
ตารางที่ จ-9 ผลการทดสอบหาค่าระดับที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้

ระยะเวลา 5 ปี พ.ศ. 2535-37 และ พ.ศ.2541-42

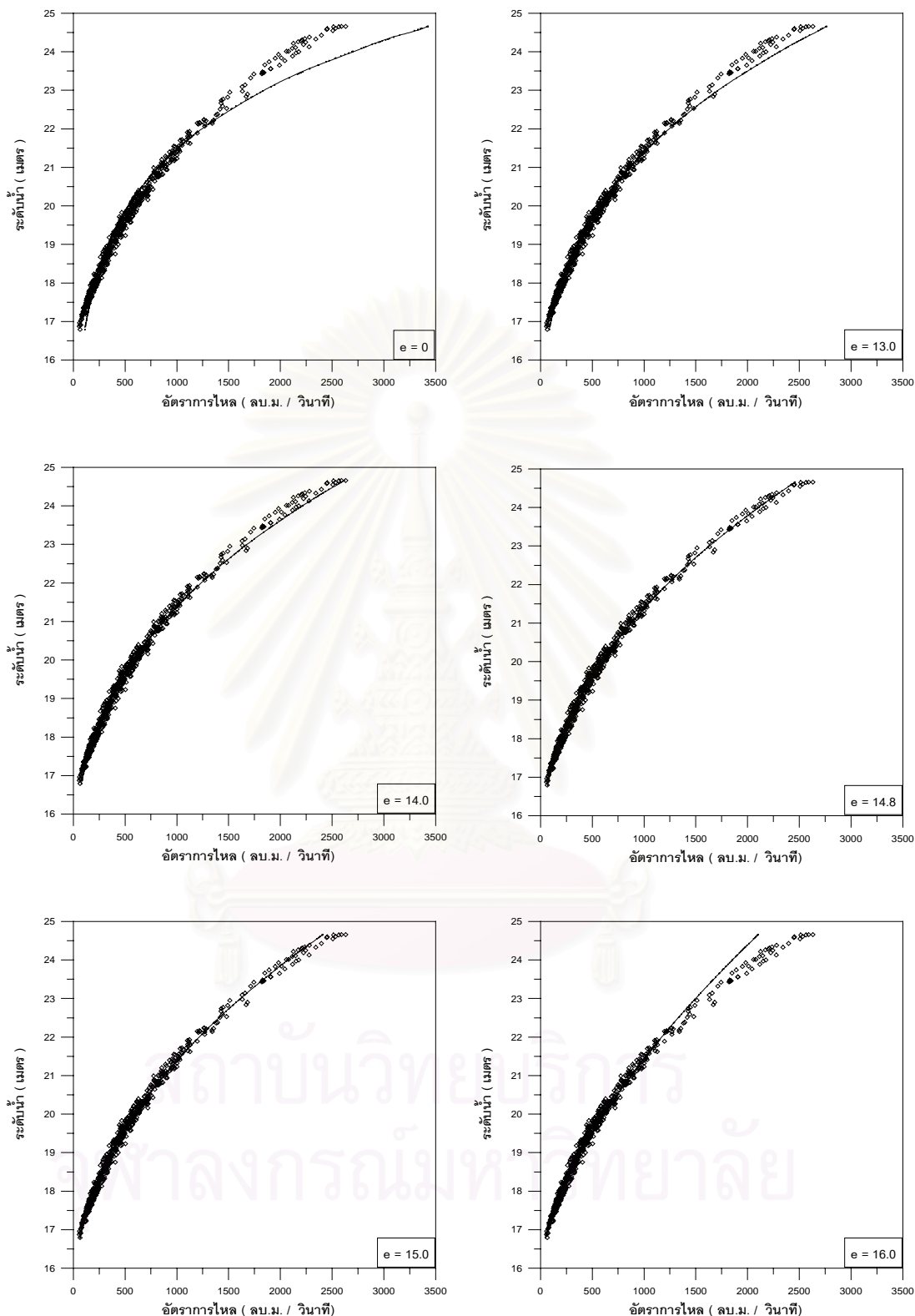
No.	e	สมการของ rating curve	ค่าประสิทธิภาพทางสถิติ						หมายเหตุ
			EI(%)	SSE (m ³ /s) ²	MAE (m ³ /s)	RMSE (m ³ /s)	Max Abs Error (m ³ /s)	r	
1	0	$Q = 1.4 \times 10^{-9} (H)^{8.90}$	89.10	19,450,659	77.10	169.63	901	0.986	
2	13.0	$Q = 1.39 (H - 13.0)^{3.092}$	98.48	2,716,015	37.44	63.39	327	0.997	
3	13.5	$Q = 2.74 (H - 13.5)^{2.857}$	98.90	1,965,177	33.66	53.92	279	0.997	
4	14.0	$Q = 5.33 (H - 14.0)^{2.618}$	99.30	1,250,110	29.06	43.00	216	0.998	** เลือก **
5	14.5	$Q = 10.26 (H - 14.5)^{2.375}$	99.53	844,461	25.56	35.34	149	0.998	
6	14.6	$Q = 11.67 (H - 14.6)^{2.326}$	99.55	802,285	25.15	34.45	134	0.998	
7	14.7	$Q = 13.27 (H - 14.7)^{2.276}$	99.57	770,193	24.74	33.75	149	0.998	
8	14.8	$Q = 15.07 (H - 14.8)^{2.226}$	99.57	767,534	24.56	33.70	174	0.998	
9	14.9	$Q = 17.14 (H - 14.9)^{2.176}$	99.55	795,605	24.55	34.31	193	0.998	
10	15.0	$Q = 19.45 (H - 15.0)^{2.125}$	99.52	857,049	24.74	35.61	221	0.998	
11	15.1	$Q = 22.08 (H - 15.1)^{2.074}$	99.47	950,529	25.22	37.50	246	0.998	
12	15.2	$Q = 25.06 (H - 15.2)^{2.023}$	99.40	1,069,635	25.96	39.78	270	0.997	
13	15.3	$Q = 28.38 (H - 15.3)^{1.971}$	99.29	1,267,165	27.01	43.30	301	0.997	
14	15.4	$Q = 32.14 (H - 15.4)^{1.919}$	99.16	1,499,553	28.28	47.10	330	0.997	
15	15.5	$Q = 36.48 (H - 15.5)^{1.866}$	99.02	1,755,816	29.72	50.96	357	0.996	
16	16.0	$Q = 67.61 (H - 16.0)^{1.592}$	97.53	4,407,249	40.46	80.74	530	0.993	

หมายเหตุ : สมการที่เลือกพิจารณาจากค่าผลรวมของความผิดพลาดกำลังสอง (SSE)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๑-17 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าระดับน้ำ - e กับ อัตราการไหล ของช่วงข้อมูล
 การเรียนรู้ ระยะเวลา 5 ปี พ.ศ. 2535-37 และ พ.ศ.254-42

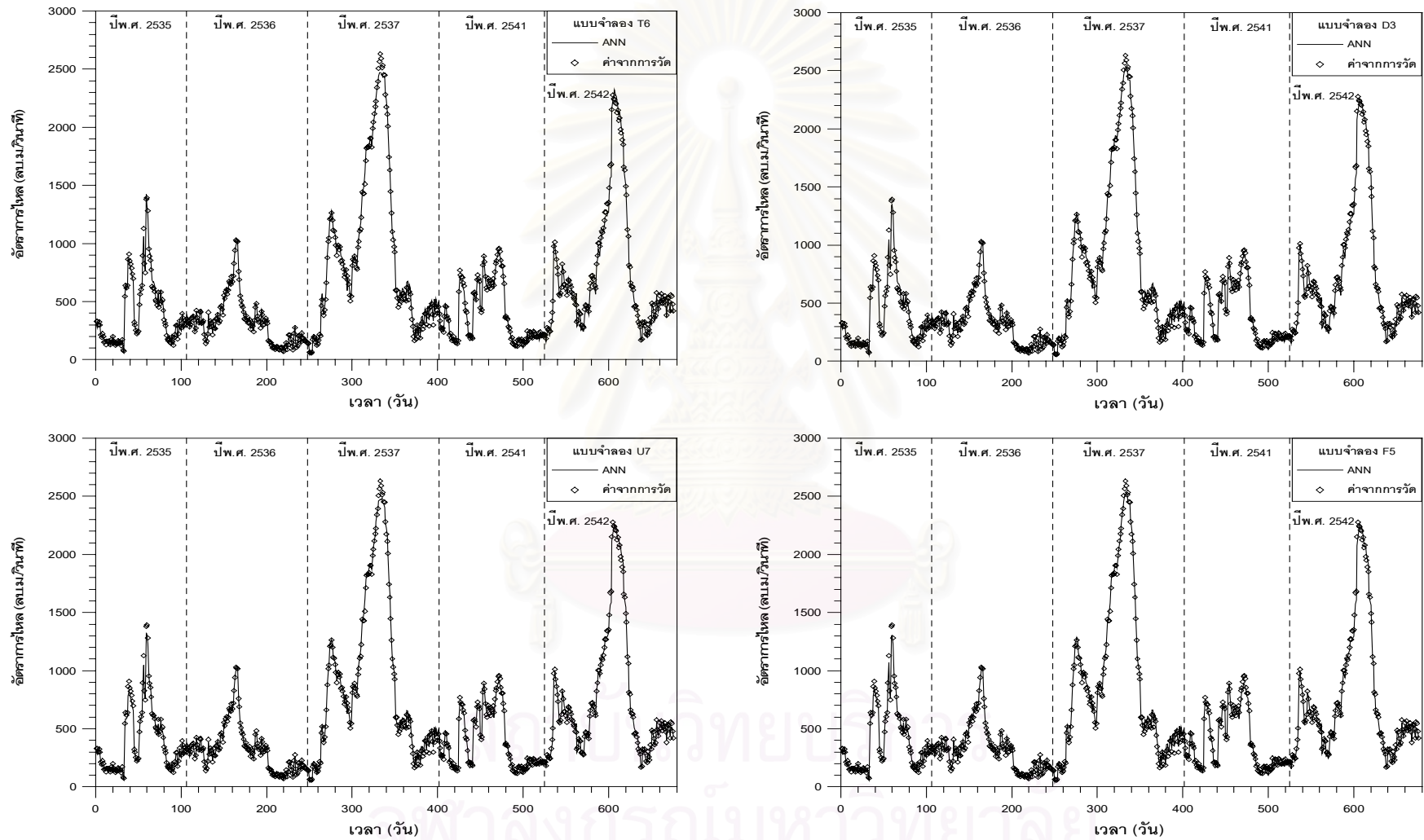


รูปที่ ๑-18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับน้ำ - อัตราการไหล ของช่วงข้อมูลการเรียนรู้
 ระยะเวลา 5 ปี พ.ศ. 2535-37 และ พ.ศ. 2541-42

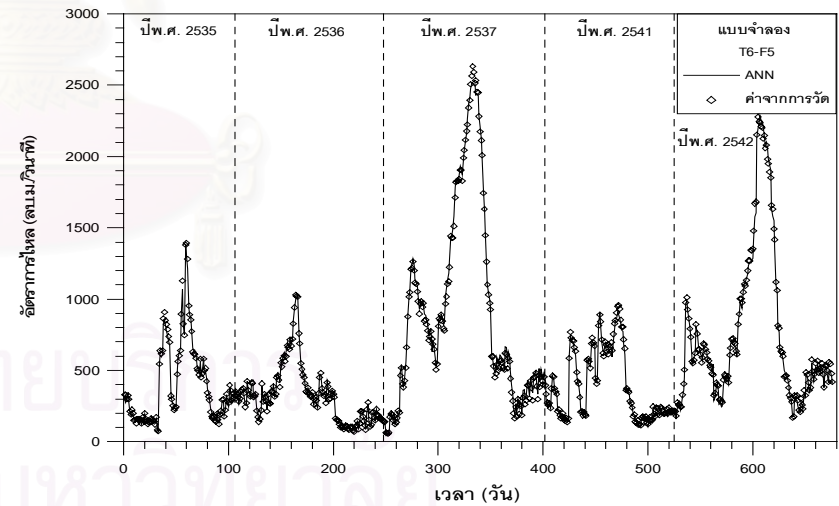
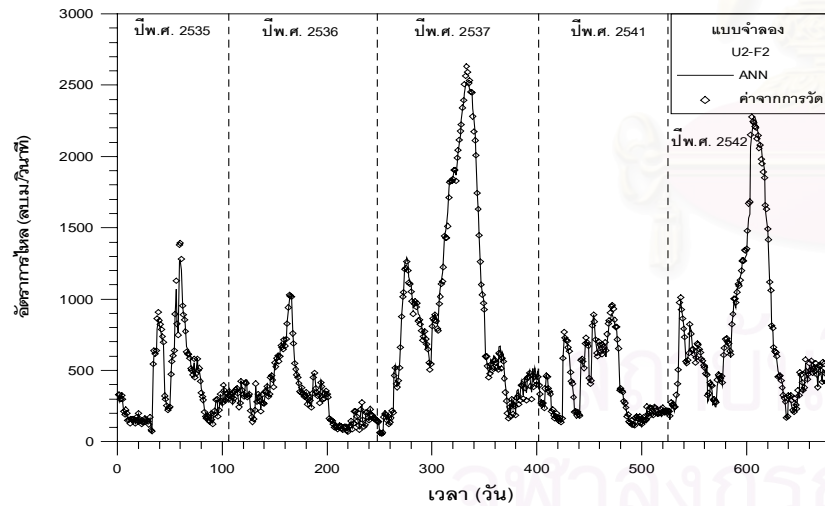
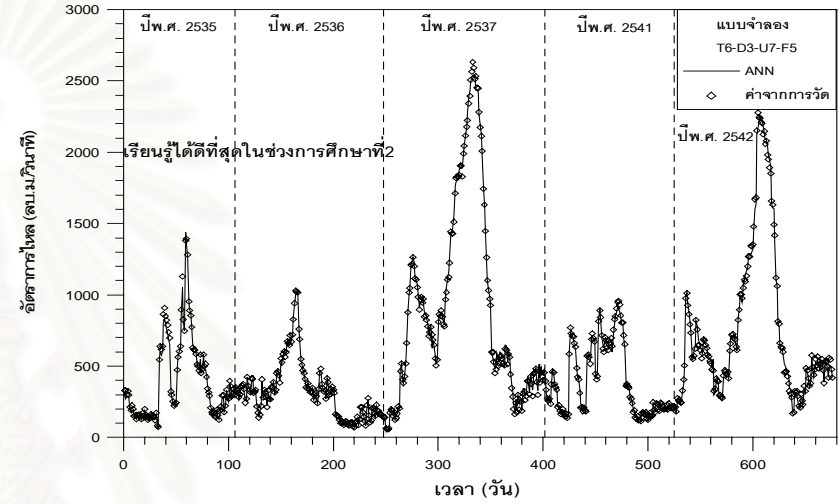
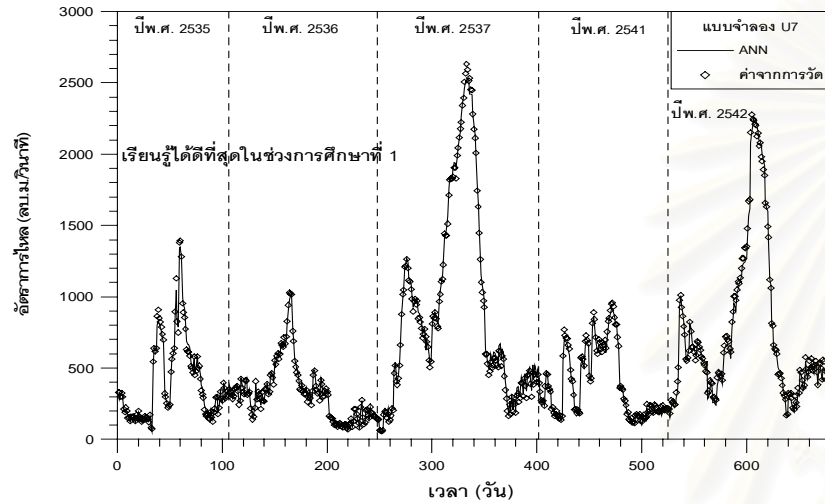


ภาคผนวก จ
กราฟน้ำท่าที่ได้จากผลการศึกษา

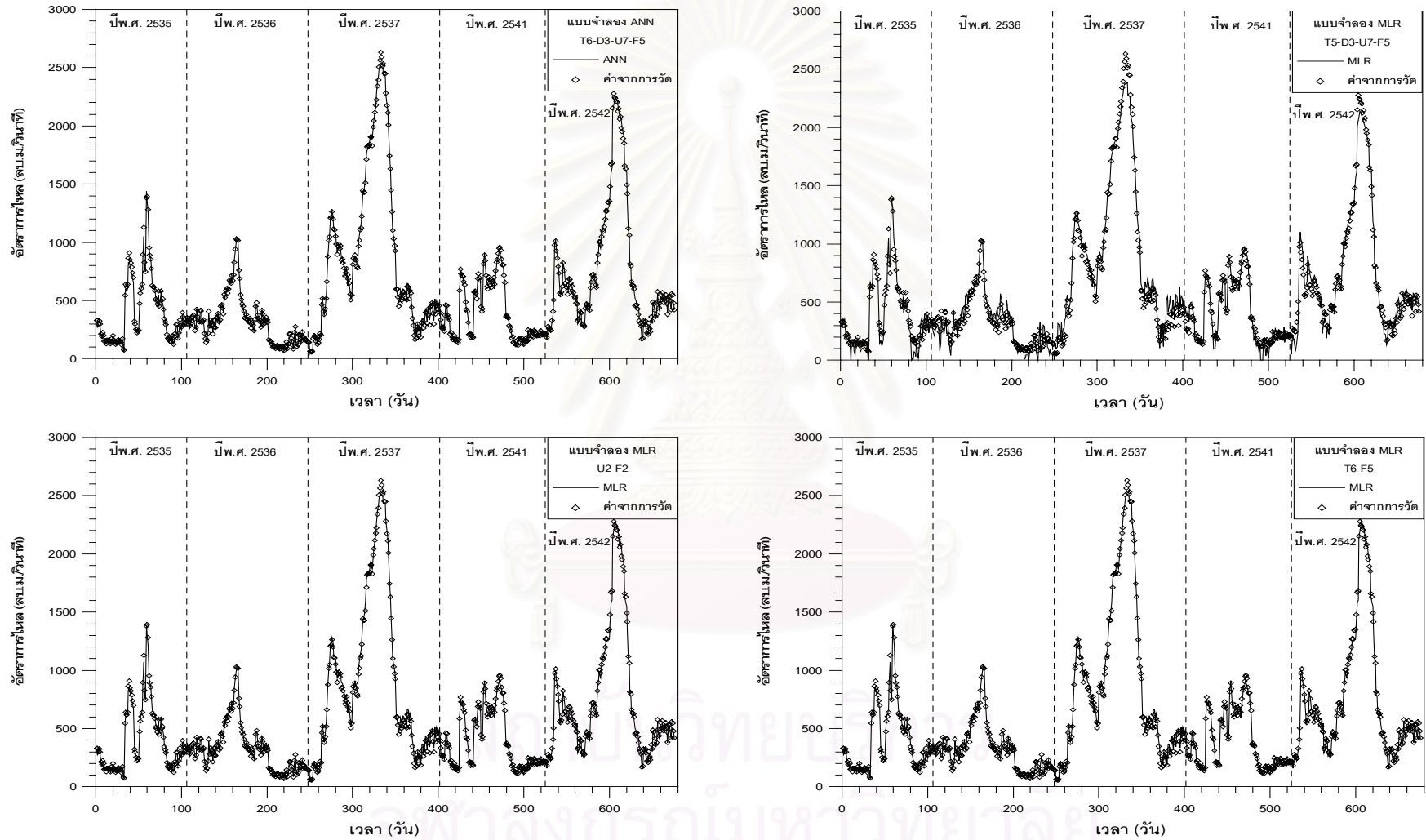
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



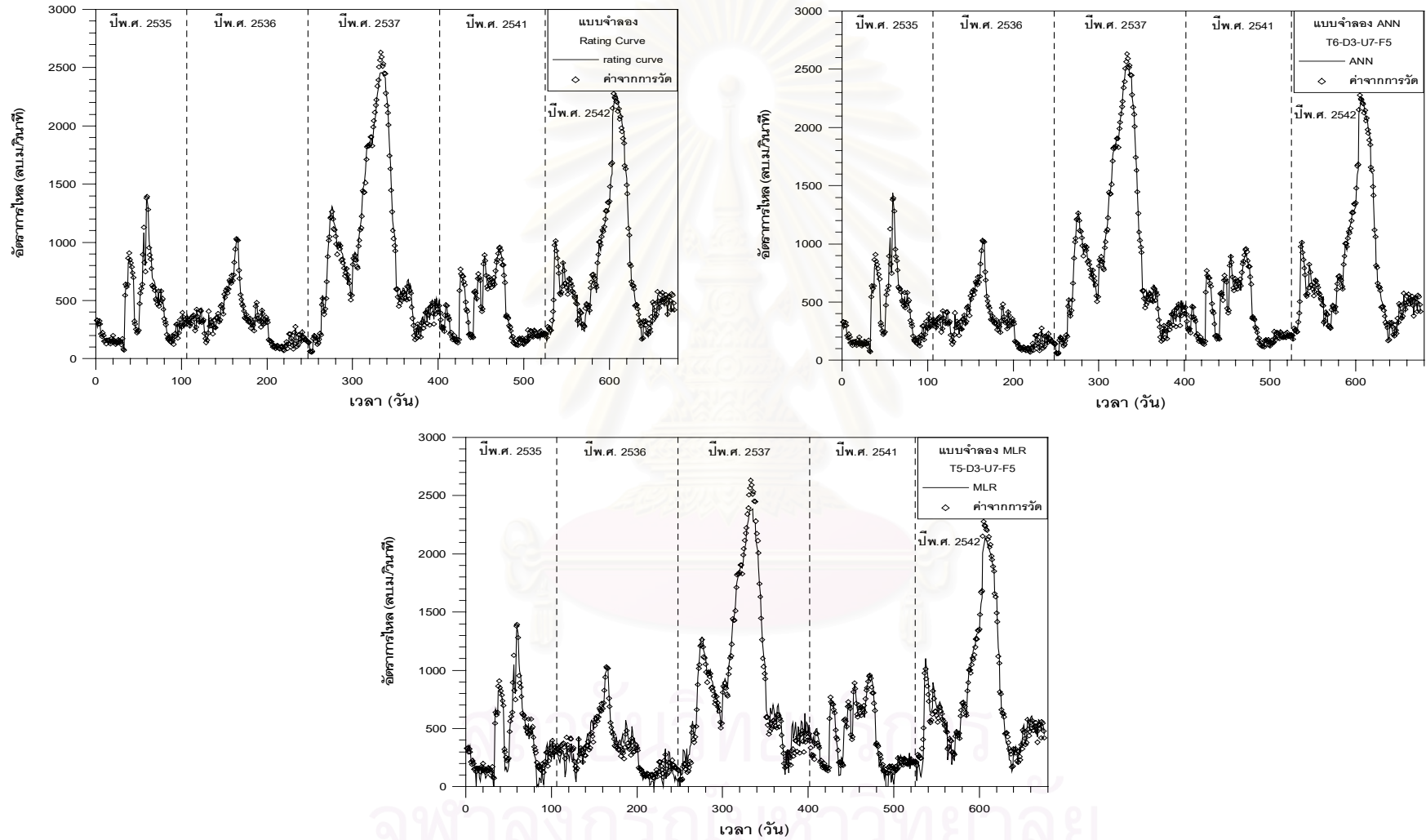
รูปที่ ๑-1 ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN : T6 D3 U7 และ F5 ที่ช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535-37 และ พ.ศ. 2541- 42)



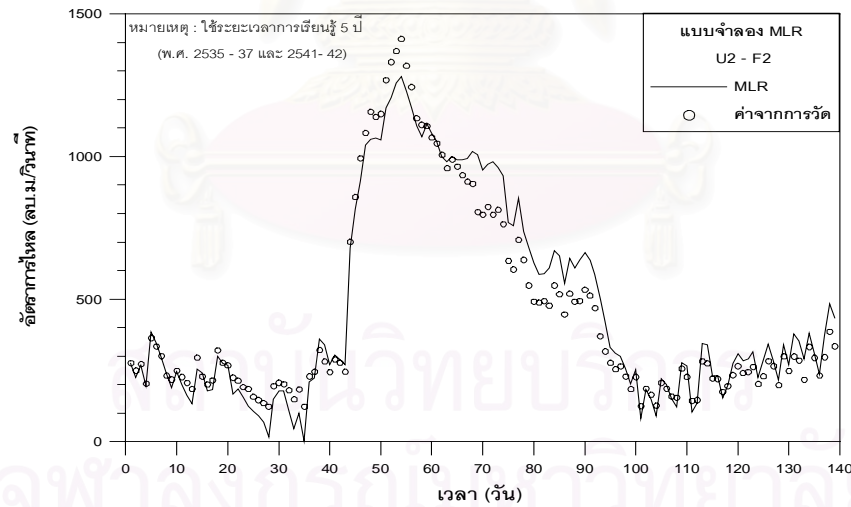
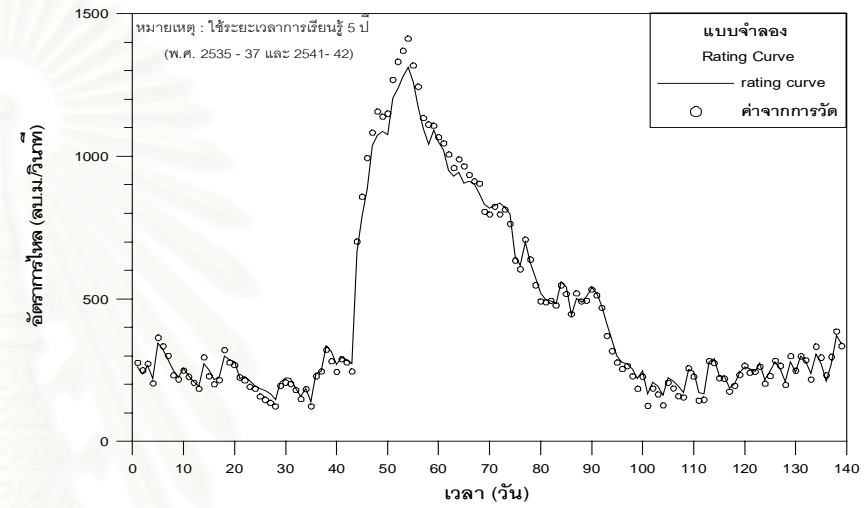
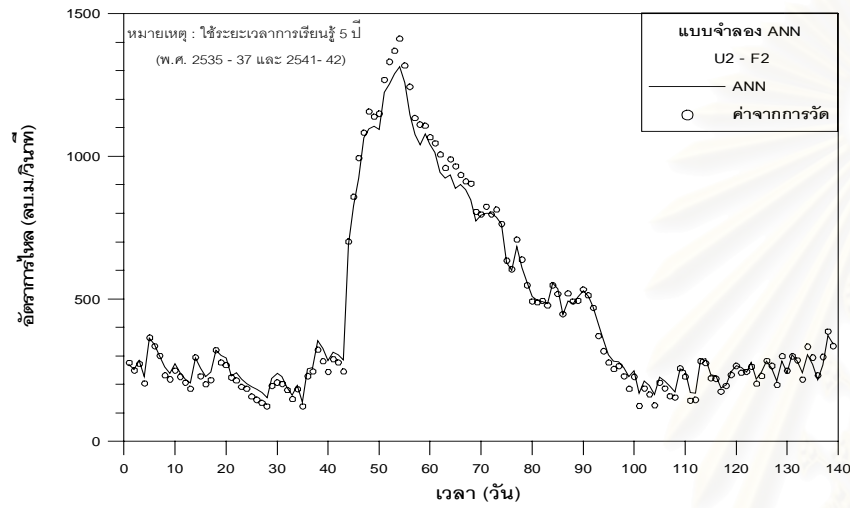
รูปที่ ๑-2 ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN : ในการศึกษาช่วงที่ 2 ที่ช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535-37 และ พ.ศ. 2541- 42)



รูปที่ ๓-3 ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง MLR ที่ช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42)

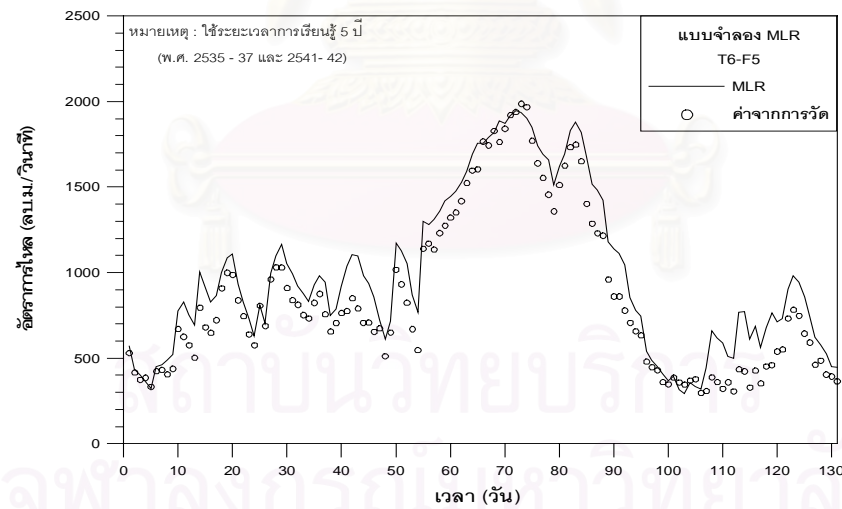
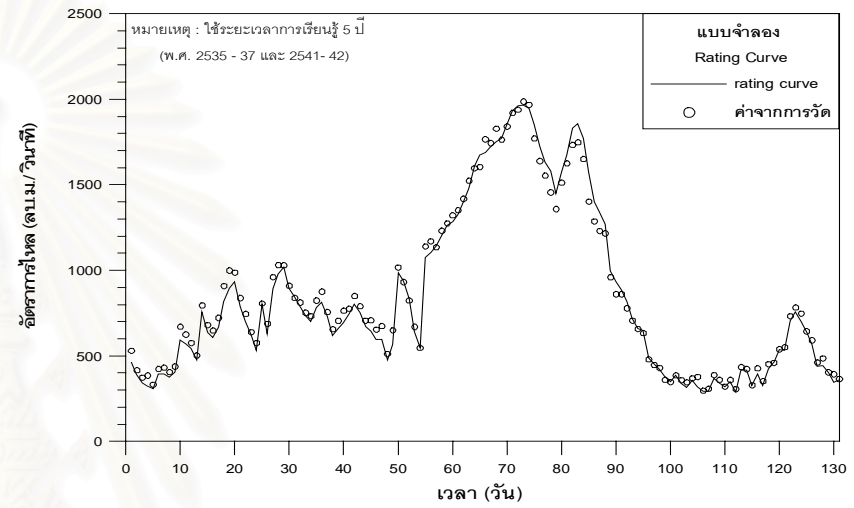
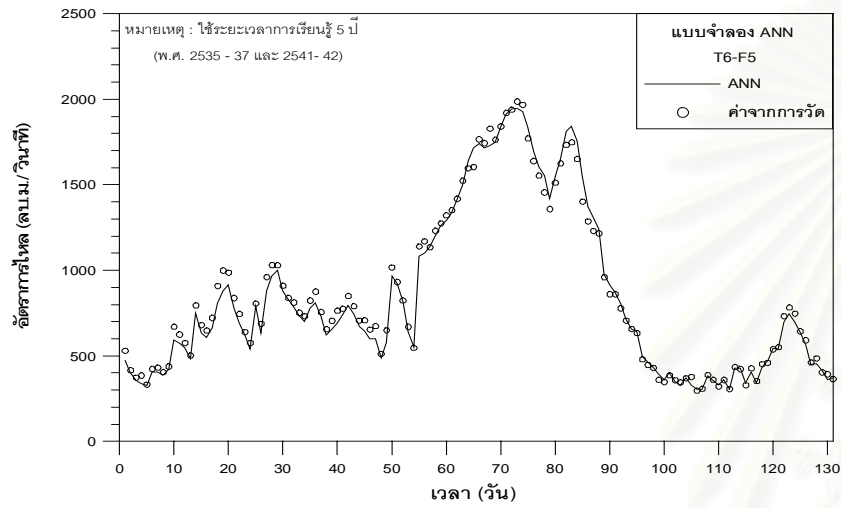


รูปที่ ๔-4 ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ที่ช่วงของการเรียนรู้ระยะเวลา 5 ปี (พ.ศ. 2535 - 37 และ พ.ศ. 2541 - 42)



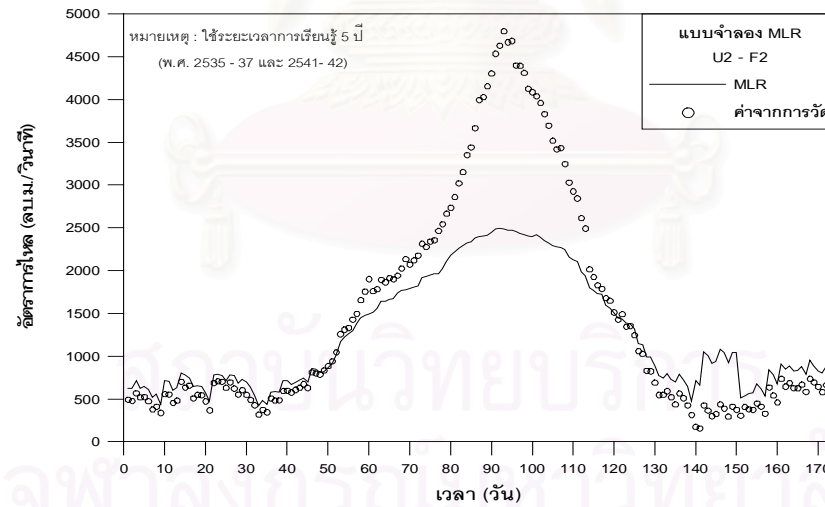
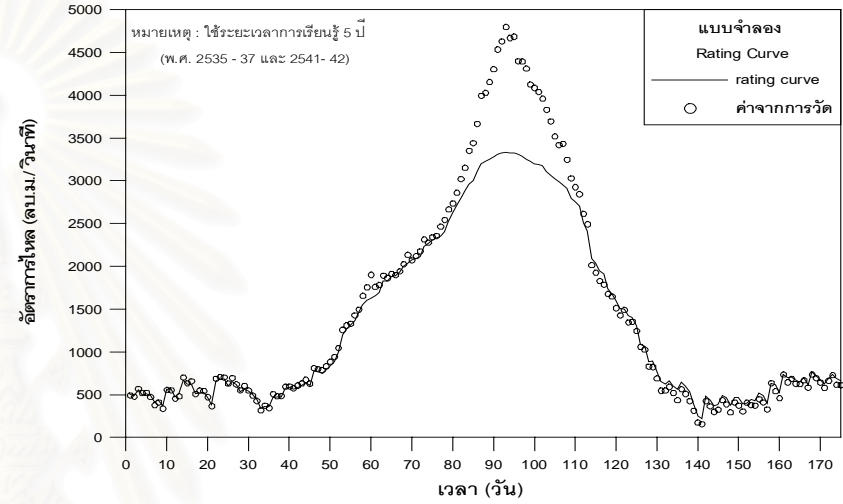
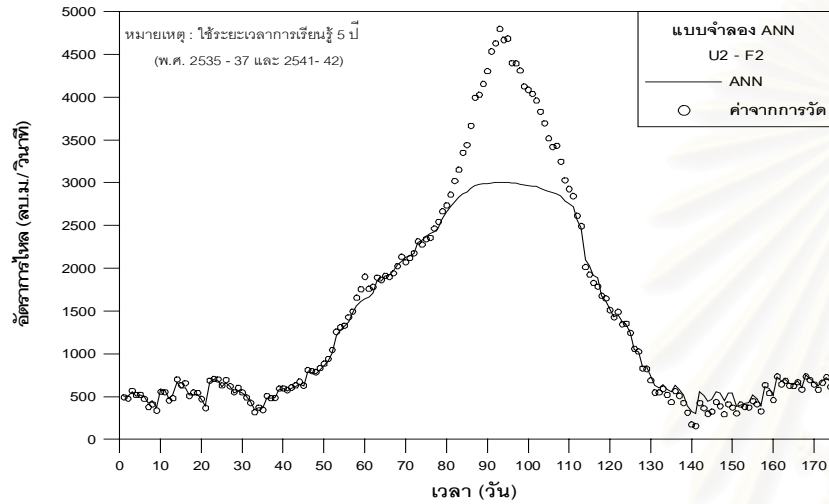
หมายเหตุ : สมการของแบบจำลอง MLR ให้ค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง

รูปที่ ๕-5 ผลการทดสอบของแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ที่ปีทดสอบน้ำน้อย พ.ศ. 2534 (139 วันทดสอบ)



หมายเหตุ : สมการของแบบจำลอง MLR
ให้ค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง

รูปที่ ๖-6 ผลการทดสอบของแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ที่ ปิทดสบน้ำเจ็ลย พ.ศ. 2543 (131 วันทดสอบ)



หมายเหตุ : สมการของแบบจำลอง MLR
ให้ค่าที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง

รูปที่ ๗-7 ผลการทดสอบของแบบจำลอง ANN MLR และ rating curve ที่ปีทดสอบน้ำมาก พ.ศ. 2538 (175 วันทดสอบ)



ภาคผนวก ช
การวัดค่าของอัตราการใช้ สถานี C.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

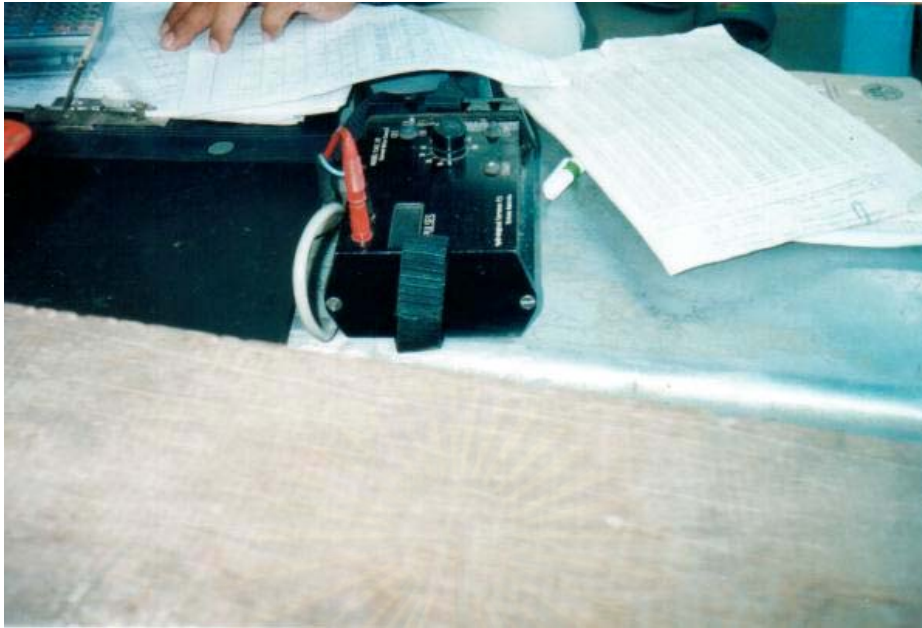
การวัดค่าของอัตราการไหลที่สถานี C.2

ในการสำรวจปริมาณน้ำที่สถานี C.2 ของกรมชลประทานนั้นอยู่ในความรับผิดชอบของศูนย์อุทกวิทยาที่ 5 จังหวัด ชัยนาท โดยการสำรวจปริมาณน้ำของสถานีนี้จะใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 4 คน ด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วย คนขับเรือ คนให้สัญญาณในการกำหนดตำแหน่งหยุดเรือซึ่งจะอยู่บนฝั่ง คนควบคุมการหย่อนอุปกรณ์การวัด และ หัวหน้างานสำรวจซึ่งจะเป็นผู้ทำการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำและควบคุมการปฏิบัติงาน

การวัดเริ่มต้นจากการบันทึกค่าระดับน้ำ จากนั้นแล่นเรือออกไปตามทุกระยะประมาณ 20 เมตร โดยจะมีผู้ปฏิบัติงานที่อยู่บนฝั่ง ให้อุปกรณ์สำรวจคอยกำหนดระยะหยุดของเรือ ซึ่งใช้ธงสีเป็นสัญญาณ เมื่อเรือแล่นได้ระยะที่ต้องการแล้ว คนขับเรือจะดับเครื่องยนต์และทอดสมอลง จากนั้นจะใช้ อุปกรณ์วัดความเร็วของน้ำ ที่เรียกว่า current meter หย่อนลงไปเพื่อวัดความเร็วของกระแสน้ำ ระยะที่หย่อนจะขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ หากระดับน้ำมีค่าต่ำกว่า 2.5 เมตร การวัดจะหย่อน 3 จุด ที่ระยะ 0.2, 0.6 และ 0.8 เมตร ของความลึก แต่ถ้าหากตำแหน่งที่วัดมีระดับน้ำเกินกว่า 2.5 เมตร การวัดจะหย่อนเป็น 6 จุดด้วยกัน คือ ที่ระยะ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 เท่าจากความลึกของผิวน้ำ และวัดที่จุดใกล้ผิวน้ำ และท้องน้ำมากที่สุดเท่าที่ทำได้ โดยการวัดจะดำเนินไปจนกว่าจะถึงอีกฝั่งหนึ่งเป็นอันสิ้นสุด



รูปที่ ข-1 การหย่อน current meter ลงไปเพื่อวัดความเร็วของกระแสน้ำ



รูปที่ ช-2 ความเร็วของน้ำที่ได้จาก current meter จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการไหล



รูปที่ ช-3 คนขับเรือพยายามคอยควบคุมเรือให้อยู่นิ่งระหว่างทำการวัด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเลอพงศ์ อ่ำสุริยา เกิดวันที่ 16 สิงหาคม ปีพ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วศ.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย