

บทที่ 5

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแยกกล่าวเป็นการทบทวนความต้องการใช้น้ำของโครงการ การทบทวนและพัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ การพัฒนาแบบจำลอง ANN สำหรับพยากรณ์น้ำท่า และการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ

5.1 ความต้องการใช้น้ำของโครงการ

ความต้องการใช้น้ำของโครงการด้านต่าง ๆ รวบรวมและสรุปจากรายงานอ้างอิงที่มีการศึกษาไว้รวมถึงตรวจสอบและสำรวจพื้นที่โครงการในภาคสนาม และคำนวณเพิ่มเติมในส่วนของความต้องการใช้น้ำของโครงการเปิดใหม่จำนวน 3 โครงการ ดังตาราง 5-1 มีรายละเอียดดังนี้

(1) ความต้องการใช้น้ำสภาพการใช้น้ำปัจจุบันเป็นความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ประกอบด้วย ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม และการชลประทานในสภาพการใช้น้ำปัจจุบัน คือ โครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าจังหวัดลพบุรี และจังหวัดสระบุรี โครงการคลองเพรียว-เส้าไห้ และโครงการเจ้าพระยาฝั่งตะวันออก (คิดเฉพาะส่วนที่ส่งจากอ่างเก็บน้ำป่าสักและไม่พิจารณาปริมาณน้ำที่ส่งมาจากคลองชัยนาท-ป่าสัก) ซึ่งสรุปได้จากรายงานอ้างอิง

(2) ความต้องการใช้น้ำสภาพการใช้น้ำอนาคตเป็นความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ประกอบด้วย ความต้องการน้ำสภาพการใช้น้ำปัจจุบันร่วมกับโครงการชลประทานของอ่างเก็บน้ำป่าสัก ซึ่งอยู่ระหว่างก่อสร้าง 3 โครงการ ได้แก่ โครงการสูบน้ำพัฒนานิคม โครงการสูบน้ำพัฒนานิคม-แก่งคอย และโครงการสูบน้ำแก่งคอย-บ้านหมอ ซึ่งคำนวณด้วยแบบจำลอง Mwusmo5

จากผลการรวบรวมและผลการคำนวณความต้องการใช้น้ำของโครงการ พบว่า ความต้องการใช้น้ำของโครงการในสภาพการใช้น้ำปัจจุบันมีความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 669.2 ล้าน ลบ.ม. เป็นความต้องการน้ำในฤดูฝน 123.3 ล้าน ลบ.ม. (18.4%) และความต้องการน้ำในฤดูแล้ง 545.9 ล้าน ลบ.ม. (81.6%) โดยความต้องการน้ำส่วนใหญ่เป็นความต้องการน้ำชลประทานในฤดูแล้ง

ความต้องการใช้น้ำของโครงการชลประทานเปิดใหม่ พบว่า มีความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปี 156.6 ล้าน ลบ.ม. เป็นความต้องการน้ำในฤดูฝน 116.5 ล้าน ลบ.ม. (74.4%) และความต้องการน้ำในฤดูแล้ง 40.1 ล้าน ลบ.ม. (25.6%) โดยความต้องการน้ำส่วนใหญ่เป็นความต้องการน้ำในฤดูฝน ดังนั้นความต้องการน้ำสภาพการใช้น้ำอนาคตจากการรวมความต้องการน้ำของโครงการเปิดใหม่กับความต้องการน้ำสภาพการใช้น้ำปัจจุบัน พบว่า ความต้องการน้ำเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 825.8 ล้าน ลบ.ม. เป็นความต้องการน้ำในฤดูฝน 239.9 ล้าน ลบ.ม. (29.0%) และความต้องการน้ำในฤดูแล้ง 586.0 ล้าน ลบ.ม. (71.0%)

ตาราง 5-1 ผลการคำนวณความต้องการใช้น้ำของโครงการ

| ความต้องการน้ำ | ฤดูฝน(ก.ค.-ธ.ค.) | | ฤดูแล้ง(ม.ค.-มิ.ย.) | | รายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.) | สูงสุด (ล้าน ลบ.ม.) | ต่ำสุด (ล้าน ลบ.ม.) |
|--|------------------|------|---------------------|------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| | ล้าน ลบ.ม. | % | ล้าน ลบ.ม. | % | | | |
| 1.ความต้องการน้ำสภาพการใช้น้ำปัจจุบัน (ที่มา : จากรายงานข้างอิง) | | | | | | | |
| การอุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม | 17.3 | 50.4 | 17.1 | 49.6 | 34.4 | 34.4 | 34.4 |
| การชลประทาน | 106.0 | 16.7 | 528.8 | 83.3 | 634.8 | 645.7 | 625.3 |
| รวมสภาพการใช้น้ำปัจจุบัน | 123.3 | 18.4 | 545.9 | 81.6 | 669.2 | - | - |
| 2.ความต้องการน้ำของพื้นที่ชลประทานเปิดใหม่ (ที่มา : จากการคำนวณ) | | | | | | | |
| โครงการสูบน้ำพัฒนานิคม | 25.2 | 71.5 | 10.1 | 28.5 | 35.3 | 46.6 | 28.9 |
| โครงการสูบน้ำพัฒนานิคม-แก่งคอย | 18.3 | 62.9 | 10.8 | 37.1 | 29.1 | 36.5 | 23.7 |
| โครงการสูบน้ำแก่งคอย-บ้านหมอ | 73.0 | 79.2 | 19.2 | 20.8 | 92.2 | 107.9 | 70.8 |
| รวมโครงการเปิดใหม่ | 116.5 | 74.4 | 40.1 | 25.6 | 156.6 | - | - |
| รวมสภาพการใช้น้ำอนาคต (สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน+ โครงการเปิดใหม่) | 239.9 | 29.0 | 586.0 | 71.0 | 825.8 | - | - |

5.2 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์

5.2.1 การสังเคราะห์ข้อมูลใหม่

จากข้อมูลฝนรายเดือนและปริมาณน้ำท่ารายเดือนของอ่างเก็บน้ำป่าสักฯ จำนวน 1 ชุดข้อมูล (ปี พ.ศ.2513-2543 จำนวน 31 ปี) ได้สังเคราะห์ข้อมูลชุดใหม่โดยใช้โปรแกรม HEC-4 จำนวน 30 ชุดข้อมูล (แต่ละชุดข้อมูลมีจำนวน 31 ปี) เพื่อสร้างเหตุการณ์หลาย ๆ เหตุการณ์ ผลการสังเคราะห์ข้อมูลแสดงในรูปของค่าคุณสมบัติทางสถิติในแต่ละชุดข้อมูลและผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางสถิติของข้อมูลจากการสังเคราะห์ (แสดงในภาคผนวก ค) สรุปได้ดังนี้

(1) ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยใช้ ANOVA: Single Factor มาช่วยในการวิเคราะห์ (พิจารณาที่ระดับนัยสำคัญ 0.05) พบว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีค่าไม่แตกต่างจากข้อมูลชุดเดิม คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณฝนรายเดือนให้ค่า F ของข้อมูลมีค่าอยู่นอกช่วงวิกฤต ดังนั้นจึงต้องยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(2) ผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ F-Test มาช่วยในการวิเคราะห์ พบว่า ค่าที่ได้จากการสังเคราะห์ใหม่ให้ค่าความแปรปรวนไม่ต่างไปจากข้อมูลชุดเดิม คือ ค่าความแปรปรวนของข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณฝนรายเดือนให้ค่า F ของข้อมูลมีค่าอยู่นอกช่วงวิกฤต ดังนั้นจึงต้องยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ชุดข้อมูลใหม่ที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นยังคงคุณสมบัติทางสถิติทั้งในรูปของค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลเหมือนชุดข้อมูลเดิมรวมทั้งเมื่อพิจารณาค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลใหม่ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้น (หากข้อมูลใหม่ที่สังเคราะห์ขึ้นมีค่าคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงหรือมีค่าผิดปกติ เช่น สูงหรือต่ำผิดปกติจะตัดข้อมูลชุดนั้นออก) ดังนั้นจึงนำชุดข้อมูลนี้ไปใช้ในการสร้างเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในลำดับต่อไป

5.2.2 การสร้างเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ RC42 และ RC46 ได้นำมาใช้ทบทวนการบริหารอ่างเก็บน้ำเพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาขึ้นใหม่ (เกณฑ์ RCP) โดยการเปรียบเทียบพิจารณาจากการคำนวณความต้องการใช้น้ำ คือ เกณฑ์ RC42 ใช้ข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านชลประทานเดิมศักยภาพของโครงการ (รวมโครงการเปิดใหม่ 3

โครงการ) ส่วนเกณฑ์ RC46 ใช้ข้อมูลความต้องการใช้น้ำในสถานการณ์ปัจจุบัน (ไม่รวมโครงการเปิดใหม่ 3 โครงการ) ดังนั้นการเปรียบเทียบเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำที่พัฒนาขึ้นมาใหม่จึงได้ยึดตามฐานของการคำนวณ ดังนี้

- เกณฑ์ RCP สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน ที่ความเสี่ยง 0.02 (เรียก RCP0.02 (P)) 0.03 (เรียก RCP0.03(P)) 0.04 (เรียก RCP0.04(P)) 0.05 (เรียก RCP0.05(P)) และ 0.10 (เรียก RCP0.10(P)) เปรียบเทียบกับเกณฑ์ RC46

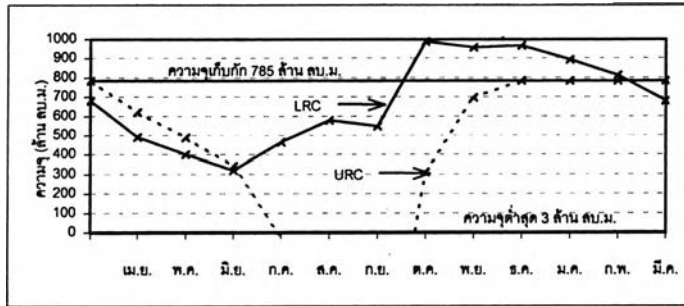
- เกณฑ์ RCP สภาพการใช้น้ำอนาคต ที่ความเสี่ยง 0.02 (เรียก RCP0.02 (F)) 0.03 (เรียก RCP0.03(F)) 0.04 (เรียก RCP0.04(F)) 0.05 (เรียก RCP0.05(F)) และ 0.10 (เรียก RCP0.10(F)) เปรียบเทียบกับเกณฑ์ RC42

ผลการสร้างเกณฑ์ RCP ของข้อมูล 30 ชุดที่สร้างขึ้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของ Upper Rule Curve (URC) และ Lower Rule Curve (LRC) ของสภาพการใช้น้ำปัจจุบันและสภาพการใช้น้ำอนาคตแสดง ดังรูป 5-1 และ 5-2 ตามลำดับ

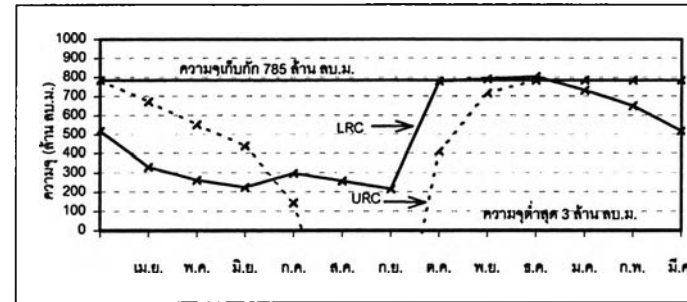
การศึกษา พบว่า ทั้งสภาพการใช้น้ำปัจจุบันและอนาคตเส้น URC และ LRC ที่ได้ตัดกัน แสดงให้เห็นว่าการบริหารอ่างเก็บน้ำมีความขัดแย้งกันในเรื่องการสำรองปริมาณน้ำท่วมเพื่อป้องกันอุทกภัยและการเก็บกักน้ำเพื่อสำรองน้ำไว้ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ในฤดูแล้ง โดยเมื่อพิจารณาเส้น URC พบว่าที่ค่าความเสี่ยงน้อยลง เส้น URC มีค่าต่ำลง คือมีปริมาณสำรองน้ำท่วมมากขึ้น และในทางกลับกันเมื่อพิจารณาเส้น LRC พบว่าที่ค่าความเสี่ยงน้อยลง เส้น LRC มีค่าสูงขึ้น นั่นคือ ต้องสำรองปริมาณน้ำเพื่อใช้ในฤดูแล้งมากขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวการศึกษาจึงกำหนดเส้นกราฟที่ได้ในช่วงที่มีความขัดแย้ง (เส้นกราฟตัดกัน) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นช่วงฤดูฝนเพื่อให้เกิดผลประโยชน์ต่อโครงการมากที่สุด การกำหนดเส้นกราฟใช้เส้น URC และเส้น LRC เป็นแนวทางในการกำหนดโดยเรียกเส้นกราฟที่กำหนดใหม่นี้ว่า URCxxM และ LRCxxM (xx คือค่าความเสี่ยง) โดยมีหลักในการกำหนดดังนี้

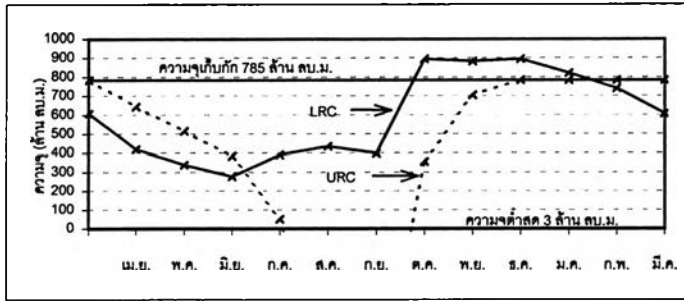
1. ใช้เส้น URC และ LRC เป็นแนวทางในการกำหนดเส้น URCxxM และ LRCxxM เพื่อให้ความจุที่ควบคุมในอ่างเก็บน้ำยังอยู่ในช่วงของเส้น URC และเส้น LRC
2. เส้น URCxxM ไม่เกินความจุเก็บกัก คือ 785 ล้าน ลบ.ม.



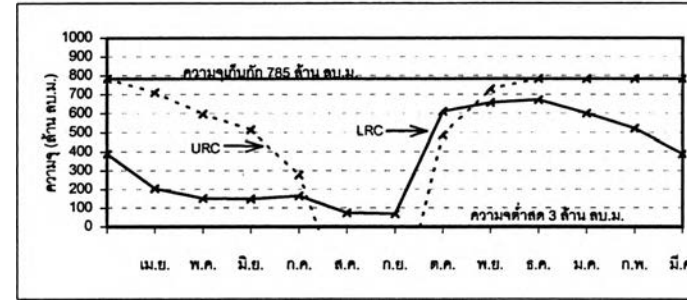
เกณฑ์ RCP0.02(P)



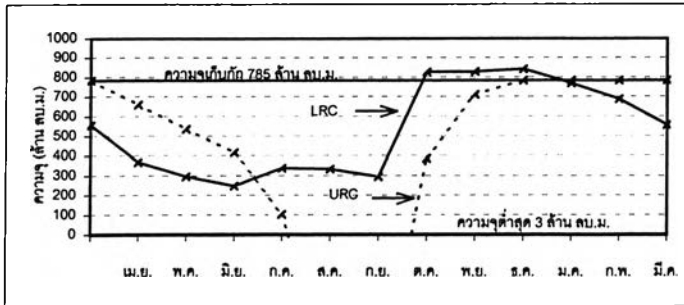
เกณฑ์ RCP0.05(P)



เกณฑ์ RCP0.03(P)

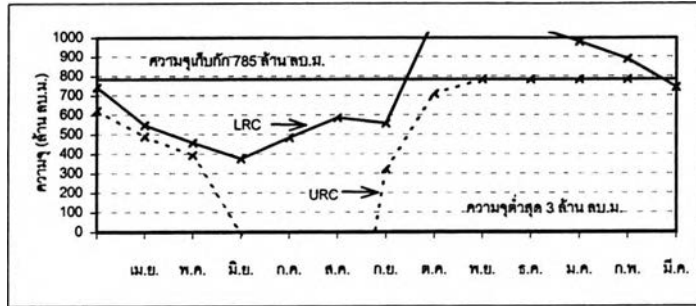


เกณฑ์ RCP0.10(P)

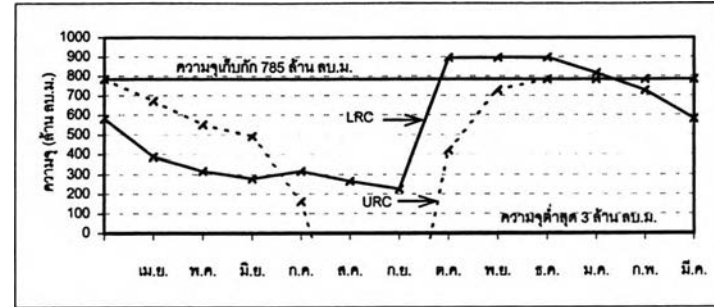


เกณฑ์ RCP0.04(P)

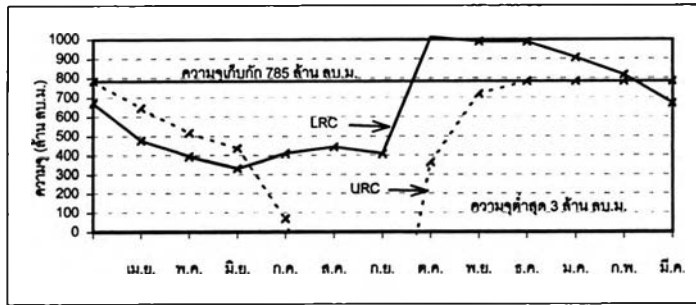
รูป 5-1 เกณฑ์ RCP ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ (ก่อนปรับ) สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน



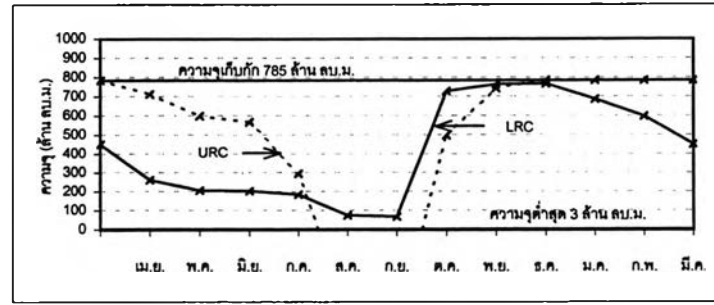
เกณฑ์ RCP0.02(F)



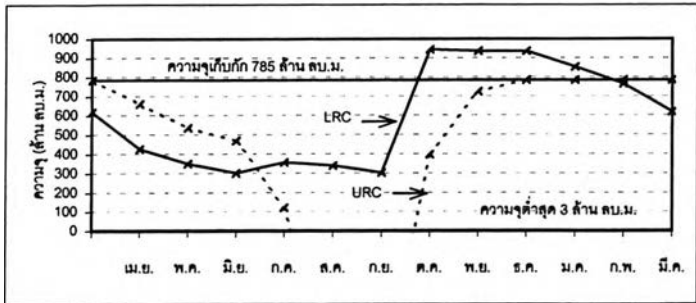
เกณฑ์ RCP0.05(F)



เกณฑ์ RCP0.03(F)



เกณฑ์ RCP0.10(F)



เกณฑ์ RCP0.04(F)

รูป 5-2 เกณฑ์ RCP ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ (ก่อนปรับ) สภาพการใช้น้ำอนาคต

3. เส้น LRCxxM ไม่ต่ำกว่า 69 ล้าน ลบ.ม. เพื่อไม่ให้ความจุในอ่างเก็บน้ำน้อยจนส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

ผลการปรับปรุงเกณฑ์ RCP สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน (P) เรียกว่า เกณฑ์ RCP0.02M(P) RCP0.03M(P) RCP0.04M(P) RCP0.05M(P) และ RCP0.10M(P) แสดงดังรูป 5-3 และสภาพการใช้น้ำอนาคต (F) เรียกว่า เกณฑ์ RCP0.02M(F) RCP0.03M(F) RCP0.04M(F) RCP0.05M(F) และ RCP0.10M(F) แสดงดังรูป 5-4

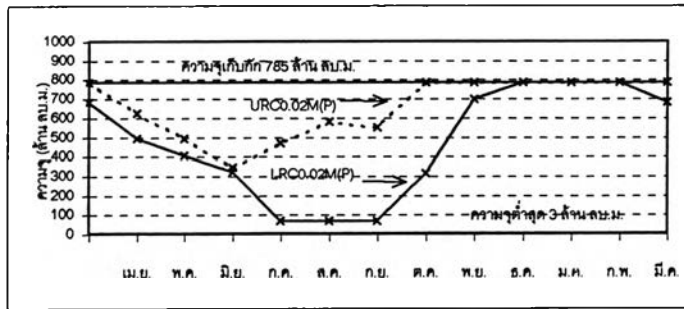
5.2.3 ผลการจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

ผลการจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำโดยการใส่โปรแกรม HEC-3 ในช่วงเวลา 31 ปี ได้เปรียบเทียบเกณฑ์ RCP (ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ) สภาพการใช้น้ำปัจจุบันกับเกณฑ์ RC46 และเกณฑ์ RCP (ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ) สภาพการใช้น้ำอนาคตกับเกณฑ์ RC42 แสดงดังตาราง 5-2 ถึง ตาราง 5-3 และ รูป 5-5 ถึง รูป 5-12 มีรายละเอียดดังนี้

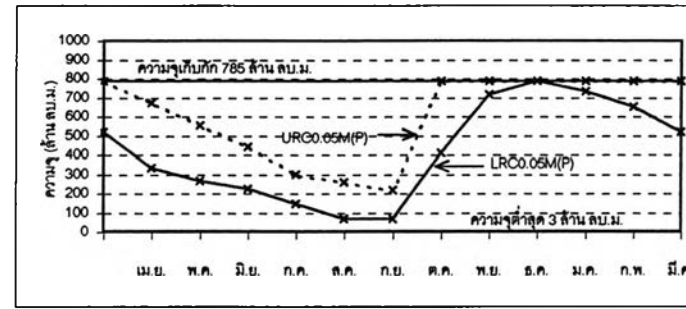
(1) การเปรียบเทียบเกณฑ์ RCP (ที่ค่าความเสี่ยงต่าง ๆ) สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน กับเกณฑ์ RC46 ได้ผลการศึกษาดังนี้

(1.1) *สภาวะการไหลล้นอ่าง* เมื่อพิจารณาความถี่ของการไหลล้นอ่าง (รูป 5-5) พบว่า ความถี่ของการไหลล้นอ่างเกิด 1 ครั้ง (เดือน) เท่ากัน เมื่อพิจารณาผลรวมของการไหลล้นอ่างต่อเหตุการณ์ (รูป 5-6) พบว่า เกณฑ์ RCP0.04M(P) RCP0.05M(P) และ RCP0.10M(P) มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ RC46 (442 ล้าน ลบ.ม.) คือ มีค่า 357 263 และ 119 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ

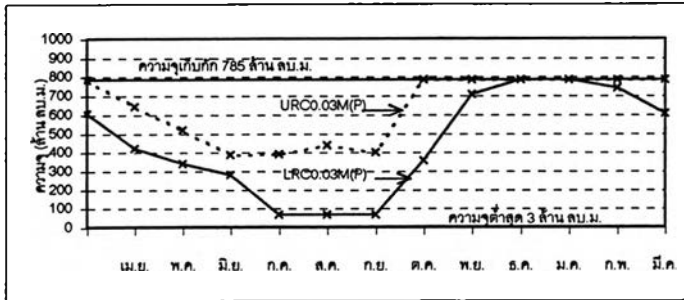
เมื่อพิจารณาค่าความรุนแรงของการไหลล้นอ่างในรูปของการไหลล้นสูงสุด และผลรวมของการไหลล้นอ่างกำลังสอง (ตาราง 5-2) พบว่า เกณฑ์ RCP0.04M(P) RCP0.05M(P) และ RCP0.10M(P) มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ RC46 เช่นเดียวกับผลรวมของการไหลล้นอ่าง ส่วนเกณฑ์ RCP0.02M(P) และ RCP0.03M(P) ทำให้ผลรวมของการไหลล้นอ่าง และความรุนแรงของการไหลล้นอ่างมากกว่าเกณฑ์ RC46



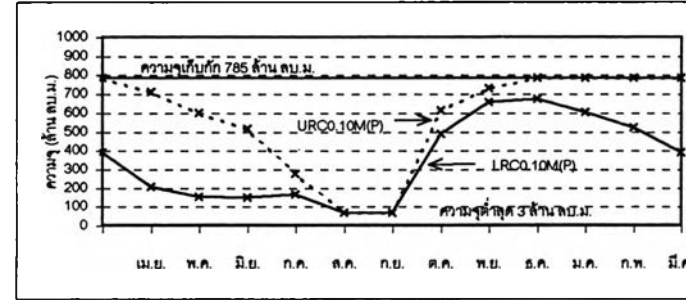
เกณฑ์ RCP0.02M(P)



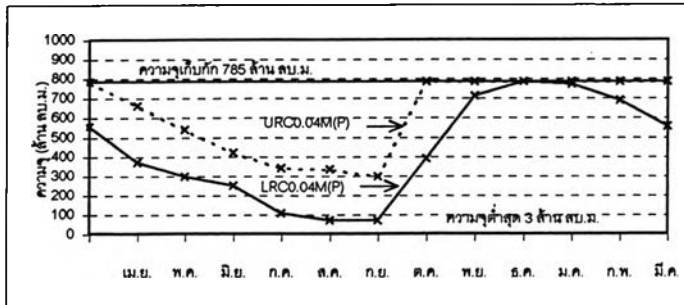
เกณฑ์ RCP0.05M(P)



เกณฑ์ RCP0.03M(P)

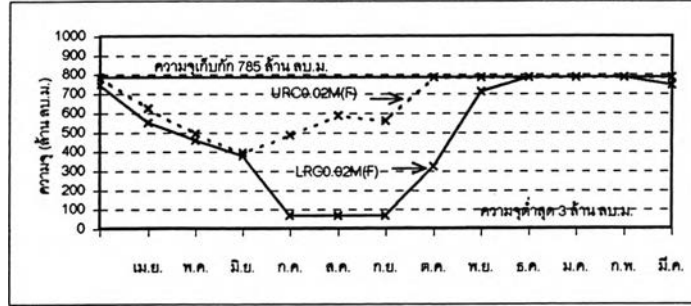


เกณฑ์ RCP0.10M(P)

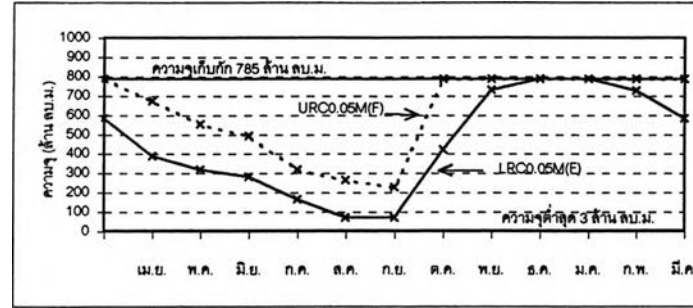


เกณฑ์ RCP0.04M(P)

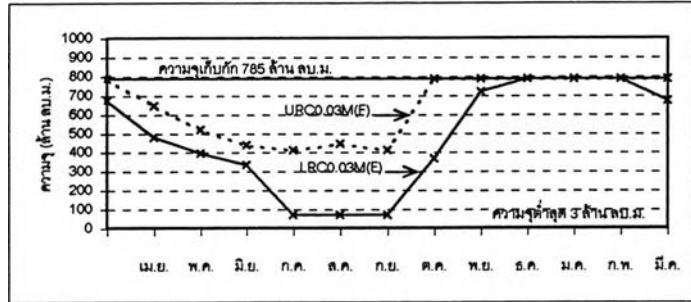
รูป 5-3 เกณฑ์ RCPxxM สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน



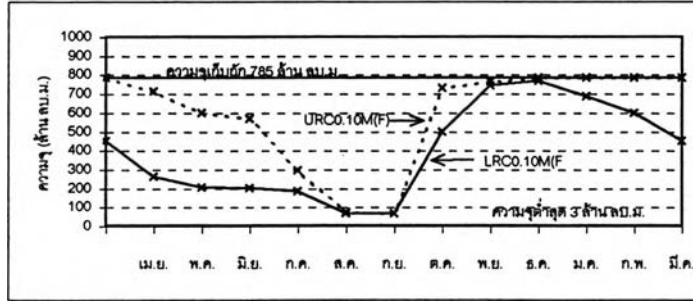
เกณฑ์ RCP0.02M(F)



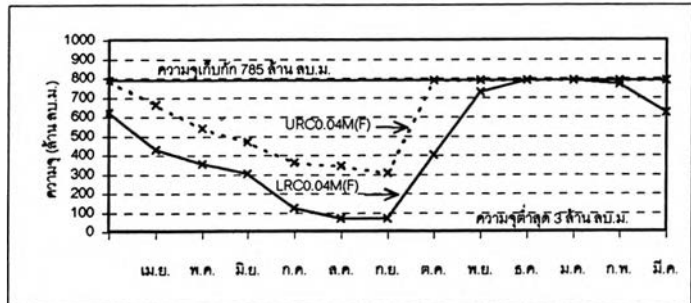
เกณฑ์ RCP0.05M(F)



เกณฑ์ RCP0.03M(F)



เกณฑ์ RCP0.10M(F)



เกณฑ์ RCP0.04M(F)

รูป 5-4 เกณฑ์ RCPxxM สภาพการใช้น้ำอนาคต

ตาราง 5-2 ผลการจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำป่าสักฯ ด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน

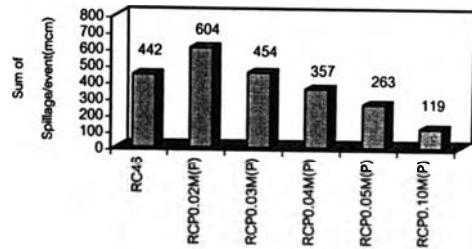
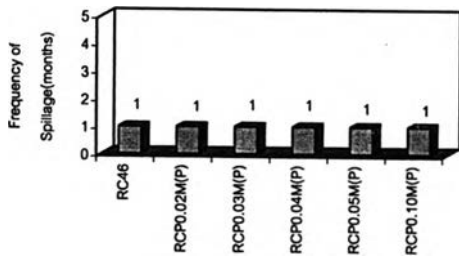
| เกณฑ์การปฏิบัติงาน อ่างเก็บน้ำ | Spill (months) | Shortage (months) | Max. Spill (MCM) | Max. Shortage (MCM) | $\Sigma(\text{Spill})$ (MCM) | $\Sigma(\text{Spill})^2$ (MCM) | $\Sigma(\text{Shortage})$ (MCM) | $\Sigma(\text{Shortage})^2$ (MCM) |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.RC46 | 1 | 5 | 442 | 115 | 442 | 195,331 | 198 | 16,094 |
| 2.RCP0.02M(P) | 1 | 0 | 604 | 0 | 604 | 364,597 | 0 | 0 |
| 3.RCP0.03M(P) | 1 | 1 | 454 | 5 | 454 | 206,495 | 5 | 23 |
| 4.RCP0.04M(P) | 1 | 5 | 357 | 75 | 357 | 127,701 | 163 | 8,488 |
| 5.RCP0.05M(P) | 1 | 6 | 263 | 158 | 263 | 69,362 | 419 | 42,328 |
| 6.RCP0.10M(P) | 1 | 19 | 119 | 180 | 119 | 14,212 | 1092 | 123,147 |

หมายเหตุ ช่วงเวลาที่ใช้ คือ พ.ศ.2513-2543 จำนวน 31 ปี (372 เดือน)

ตาราง 5-3 ผลการจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำป่าสักฯ ด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ สภาพการใช้น้ำอนาคต

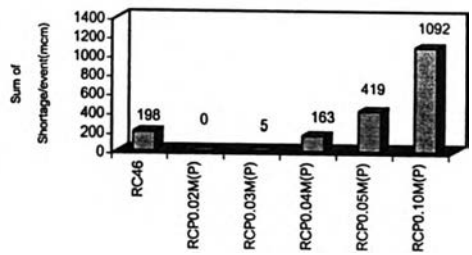
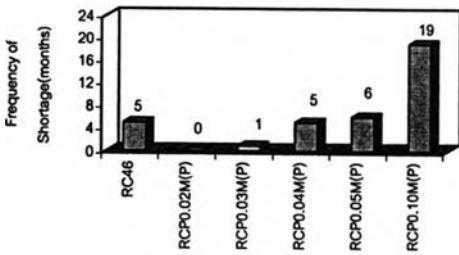
| เกณฑ์การปฏิบัติงาน อ่างเก็บน้ำ | Spill (months) | Shortage (months) | Max. Spill (MCM) | Max. Shortage (MCM) | $\Sigma(\text{Spill})$ (MCM) | $\Sigma(\text{Spill})^2$ (MCM) | $\Sigma(\text{Shortage})$ (MCM) | $\Sigma(\text{Shortage})^2$ (MCM) |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.RC42 | 1 | 6 | 646 | 187 | 646 | 417,597 | 229 | 33,598 |
| 2.RCP0.02M(F) | 1 | 3 | 609 | 21 | 609 | 370,703 | 41 | 855 |
| 3.RCP0.03M(F) | 1 | 6 | 447 | 55 | 447 | 199,807 | 101 | 2,132 |
| 4.RCP0.04M(F) | 1 | 9 | 359 | 135 | 359 | 129,140 | 313 | 20,677 |
| 5.RCP0.05M(F) | 1 | 12 | 265 | 237 | 265 | 70,410 | 629 | 67,312 |
| 6.RCP0.10M(F) | 1 | 28 | 112 | 238 | 112 | 12,498 | 1698 | 167,831 |

หมายเหตุ ช่วงเวลาที่ใช้ คือ พ.ศ.2513-2543 จำนวน 31 ปี (372 เดือน)



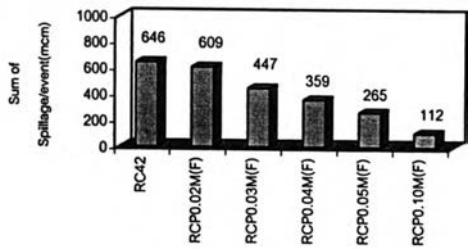
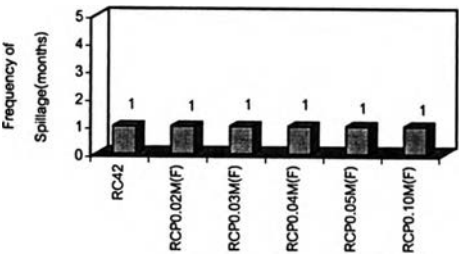
รูป 5-5 ความถี่ของการไหลล้นอ่าง สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน

รูป 5-6 ผลรวมของการไหลล้นอ่าง สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน



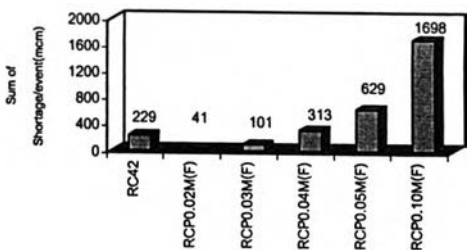
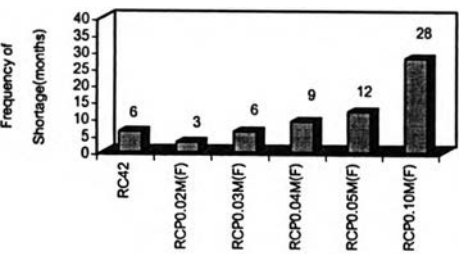
รูป 5-7 ความถี่การขาดคนน้ำ สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน

รูป 5-8 ผลรวมการขาดคนน้ำ สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน



รูป 5-9 ความถี่ของการไหลล้นอ่าง สภาพการใช้น้ำอนาคต

รูป 5-10 ผลรวมของการไหลล้นอ่าง สภาพการใช้น้ำอนาคต



รูป 5-11 ความถี่การขาดคนน้ำ สภาพการใช้น้ำอนาคต

รูป 5-12 ผลรวมการขาดคนน้ำ สภาพการใช้น้ำอนาคต

(1.2) *สภาวะการขาดแคลนน้ำ* เมื่อพิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้ำ (รูป 5-7) พบว่า ความถี่ของการขาดแคลนน้ำเมื่อใช้เกณฑ์ RCP0.04M(P) มีค่าเท่ากับเกณฑ์ RC46 คือ จำนวน 5 ครั้ง(เดือน) ส่วนเกณฑ์ RCP0.02M(P) และ RCP0.03M(P) มีความถี่ของการขาดแคลนน้ำน้อยกว่าเกณฑ์ RC46 (5 ครั้ง) คือ 0 และ 1 ครั้ง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าผลรวมของการขาดแคลนน้ำต่อเหตุการณ์ (รูป 5-8) พบว่า เกณฑ์ RCP0.02M(P) RCP0.03M(P) และ RCP0.04M(P) มีผลรวมของการขาดแคลนน้ำน้อยกว่าเกณฑ์ RC46 (198 ล้าน ลบ.ม.) คือ 0 5 และ 163 ล้าน ลบ.ม.ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำในรูปของการขาดแคลนน้ำสูงสุด และ ผลรวมของการขาดแคลนน้ำกำลังสอง (ตาราง 5-2) พบว่า เกณฑ์ RCP0.02M(P) RCP0.03M(P) และ RCP0.04M(P) มีค่าความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำน้อยกว่าเกณฑ์ RC46 เช่นเดียวกับผลรวมของการขาดแคลนน้ำ ส่วนเกณฑ์ RCP0.05M(P) และ RCP0.10M(P) ทำให้ค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำ ผลรวมของการขาดแคลนน้ำ และความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำมากกว่าเกณฑ์ RC46

(1.3) ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์ RCP (ที่ความเสี่ยงต่าง ๆ) สภาพการใช้น้ำปัจจุบันกับเกณฑ์ RC46 พบว่า เกณฑ์ RCP0.04M(P) ทำให้สภาวะการไหลล้นอ่างและสภาวะการขาดแคลนน้ำมีผลรวมของปริมาณและความรุนแรงน้อยกว่าเกณฑ์ RC46 ดังนั้นจึงเลือกเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบ RCP0.04M(P) ในการศึกษาสภาพการใช้น้ำปัจจุบัน

(2) การเปรียบเทียบเกณฑ์ RCP (ที่ความเสี่ยงต่าง ๆ) สภาพการใช้น้ำอนาคตกับเกณฑ์ RC42 ได้ผลการศึกษาดังนี้

(2.1) *สภาวะการไหลล้นอ่าง* เมื่อพิจารณาความถี่ของการไหลล้นอ่าง (รูป 5-9) พบว่า ความถี่ของการไหลล้นอ่างเกิด 1 ครั้ง (เดือน) เท่ากัน เมื่อพิจารณาผลรวมของการไหลล้นอ่างต่อเหตุการณ์ (รูป 5-10) พบว่า เกณฑ์ RCP0.02M(F) RCP0.03M(F) RCP0.04M(F) RCP0.05M(F) และ RCP0.10M(F) มีค่าผลรวมของการไหลล้นอ่างน้อยกว่าเกณฑ์ RC42 (646 ล้าน ลบ.ม.) คือ 609 447 359 265 และ 112 ล้าน ลบ.ม.ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความรุนแรงของการไหลล้นอ่างในรูปของการไหลล้นสูงสุด และผลรวมของการไหลล้นอ่างกำลังสอง

(ตาราง 5-3) พบว่า เกณฑ์ RCP ทุกค่าความเสี่ยง มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ RC42 เช่นเดียวกับผลรวมของการไหลล้นอ่าง

(2.2) *สภาวะการขาดแคลนน้ำ* เมื่อพิจารณาความถี่ของการขาดแคลนน้ำ (รูป 5-11) พบว่า ความถี่ของการขาดแคลนน้ำเมื่อใช้เกณฑ์ RCP0.03M(F) เท่ากับความถี่ของการขาดแคลนน้ำเมื่อใช้เกณฑ์ RC42 คือ 6 ครั้ง (เดือน) ส่วนเกณฑ์ RCP0.02M(F) มีความถี่ของการขาดแคลนน้ำ 3 ครั้ง ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ RC42 (6 ครั้ง) เมื่อพิจารณาผลรวมของการขาดแคลนน้ำต่อเหตุการณ์ (รูป 5-12) พบว่า เกณฑ์ RCP0.02M(F) และ RCP0.03M(F) มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ RC42 (229 ล้าน ลบ.ม.) คือ 41 และ 101 ล้าน ลบ.ม.ตามลำดับ

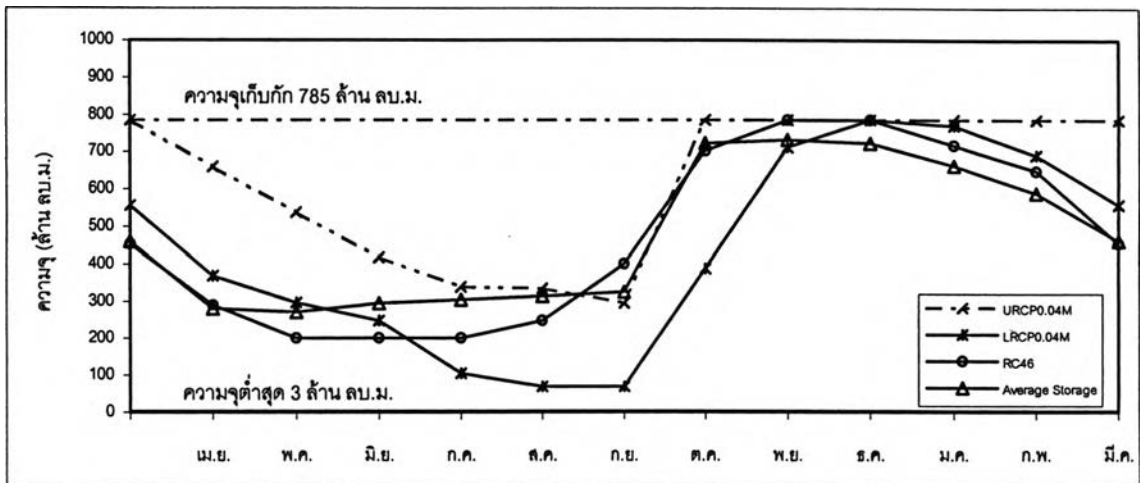
เมื่อพิจารณาค่าความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำในรูปของการขาดแคลนน้ำสูงสุดและผลรวมของการขาดแคลนน้ำกำลังสอง (ตาราง 5-3) พบว่า เกณฑ์ RCP0.02M(F) RCP0.03M(F) และ RCP0.04M(F) มีค่าความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำน้อยกว่าเกณฑ์ RC42 ส่วนเกณฑ์ RCP0.05M(F) และ RCP0.10M(F) มีค่าความถี่ของการขาดแคลนน้ำ ผลรวมของการขาดแคลนน้ำ และความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำมากกว่าเกณฑ์ RC42 สำหรับเกณฑ์ RCP0.04M มีค่าความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำสูงกว่าเกณฑ์ RC42

(2.3) ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์ RCP (ที่ความเสี่ยงต่าง ๆ) สภาพการใช้น้ำอนาคตกับ เกณฑ์ RC42 พบว่า เกณฑ์ RCP0.02M(F) และ RCP0.03M(F) ทำให้สภาวะการไหลล้นอ่างและสภาวะขาดแคลนน้ำมีค่าผลรวมของปริมาณและความรุนแรงน้อยกว่า ดังนั้นจึงเลือกเกณฑ์ RCP0.03M(F) ในการศึกษาสภาพการใช้น้ำอนาคต เนื่องจากเกณฑ์ RCP0.03M(F) ทำให้ปริมาณและความรุนแรงของการไหลล้นลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ RCP0.02M(F) ส่วนปริมาณและความรุนแรงของการขาดแคลนน้ำเมื่อใช้เกณฑ์ RCP0.02M(F) และ RCP0.03M(F) ลดลงกว่าเกณฑ์ RC42 มากทั้งสองเกณฑ์

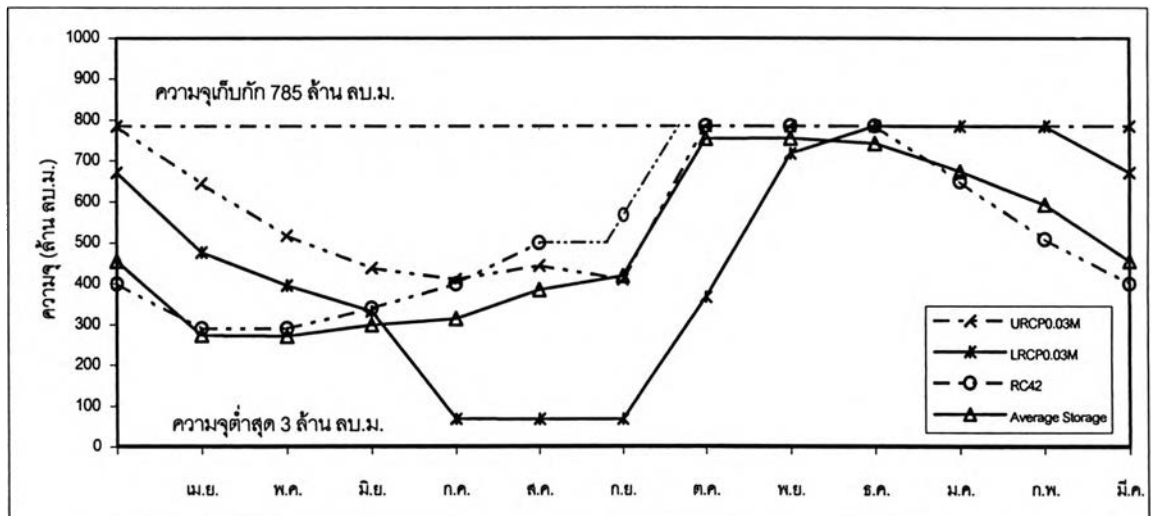
(3) ผลการสร้างเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ

(3.1) *สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน* พบว่า การบริหารอ่างเก็บน้ำโดยใช้ เกณฑ์ RCP0.04M(P) ทำให้ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำในรูปการไหลล้นอ่างและการขาดแคลนน้ำมีค่าน้อยกว่าการใช้เกณฑ์ RC46 และแสดงสถิติปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ยในรอบ 31 ปี เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.04M(P) ดังรูป 5-13

(3.2) สภาพการใช้น้ำอนาคต พบว่า การบริหารอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ RCP0.03M(F) ทำให้ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำในรูปการไหลล้นอ่างและการขาดแคลนน้ำมีค่าน้อยกว่าการใช้เกณฑ์ RC42 และแสดงสถิติปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ยในรอบ 31 ปี เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F) ดังรูป 5-14



รูป 5-13 สถิติปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ยในรอบ 31 ปี เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.04M (P) สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน



รูป 5-14 สถิติปริมาณน้ำเก็บกักเฉลี่ยในรอบ 31 ปี เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M (F) สภาพการใช้น้ำอนาคต

5.3 แบบจำลอง ANN เพื่อพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

การพัฒนาแบบจำลอง ANN เริ่มต้นด้วยการเลือกรูปแบบในการพยากรณ์ ได้แก่ กลุ่มข้อมูลนำเข้าและระยะเวลาในการพยากรณ์ จากนั้นจึงสร้างแบบจำลองโดยแยกแบบจำลองตามฤดูกาล คือ แบบจำลองสำหรับฤดูฝนและแบบจำลองสำหรับฤดูแล้ง โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมและฤดูแล้งเริ่มประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน การศึกษาได้ผลการพัฒนาแบบจำลองดังนี้ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

5.3.1 รูปแบบการพยากรณ์

รูปแบบการพยากรณ์ที่ได้พิจารณา ได้แก่ การพิจารณากลุ่มตัวแปรนำเข้าและระยะเวลาในการพยากรณ์ โดยแยกเป็นการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำและแบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย โดยทำการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 7 14 21 และ 30 วัน

(1) จำนวนข้อมูล จำนวนข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย ปี พ.ศ.2513-2518 2521-2526 และ 2538-2543 จำนวน 18 ปี แบ่งเป็น 3 ชุด คือ

- ข้อมูลเรียนรู้จำนวน 13 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2513-2515 2517-2518 2521-2523 2525-2526 2539-2540 และ 2543

- ข้อมูลทดสอบจำนวน 3 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2516 (น้ำน้อย) 2524 (น้ำปกติ) และ 2538 (น้ำมาก) โดยการเลือกข้อมูลทดสอบใช้วิธีการแจกแจงความถี่ของ Weibull (แสดงในภาคผนวก ง)

- ข้อมูลรับรองผลจำนวน 2 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2541 และ 2542

(2) ข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง ได้แก่ อัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า SM1 SM2 S4B และ SM3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของพื้นที่รับน้ำย่อย R1 R2 R3 และ R4 ตัวแปรออก ได้แก่ ข้อมูลอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่าของวันที่ต้องการพยากรณ์

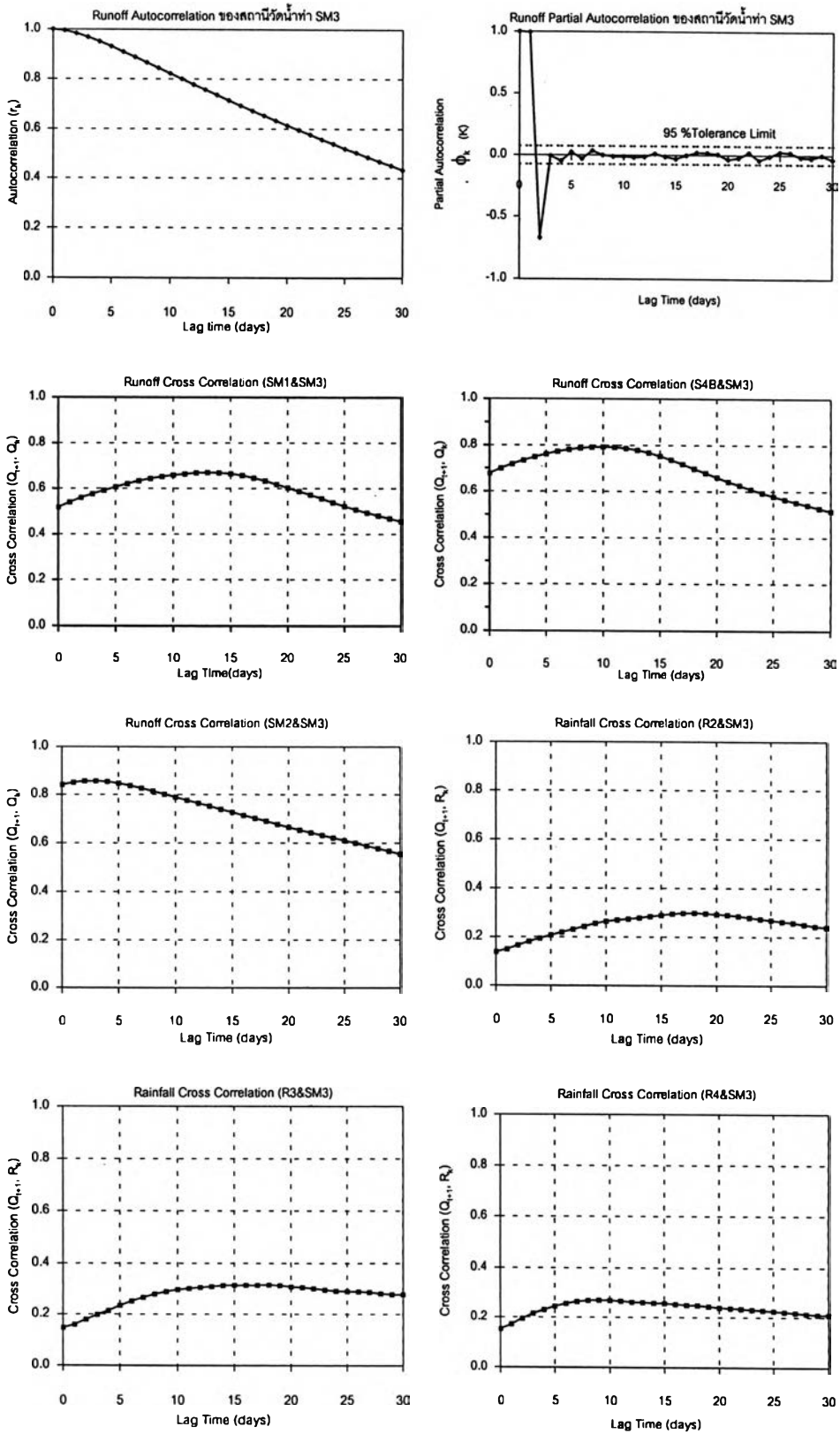
การพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำได้สร้างแบบจำลองเพียงแบบจำลองเดียว โดยข้อมูลนำเข้าใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำท่าตอนบนและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของพื้นที่รับน้ำย่อยตอนบน รวมทั้งเพิ่มข้อมูลผลการพยากรณ์จากแบบจำลองของวันที่ผ่านมาประกอบเป็นตัวแปรนำเข้าพยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 7 14 21 และ 30 วัน

การพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยได้สร้างแบบจำลองจำนวน 4 แบบจำลอง แบ่งเป็นพื้นที่ย่อยตามพื้นที่รับน้ำฝน (รูป 4-9) คือ ลุ่มน้ำย่อย 1 2 3 และ 4 การพยากรณ์เริ่มตั้งแต่ลุ่มน้ำย่อย 1 (สถานีวัดน้ำท่า SM1) ลุ่มน้ำย่อย 2 (สถานีวัดน้ำท่า S4B) ลุ่มน้ำย่อย 3 (สถานีวัดน้ำท่า SM2) และ ลุ่มน้ำย่อย 4 (สถานีวัดน้ำท่า SM3) และหยุดการพยากรณ์สำหรับลุ่มน้ำย่อย 1 2 และ 3 เมื่อเวลาการพยากรณ์เกินค่า T_c (Time of concentration) ของลุ่มน้ำย่อย (รูป ง-1) ส่วนการพยากรณ์อัตราการไหลของลุ่มน้ำย่อย 4 ได้ทำการพยากรณ์จนถึงวันที่ 30 เช่นเดียวกับการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ โดยข้อมูลนำเข้าใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำท่าตอนบนและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของพื้นที่รับน้ำย่อย และได้เพิ่มผลการพยากรณ์จากแบบจำลองของวันที่ผ่านมาและผลการพยากรณ์จากแบบจำลองของสถานีน้ำท่าตอนบนเป็นตัวแปรนำเข้า

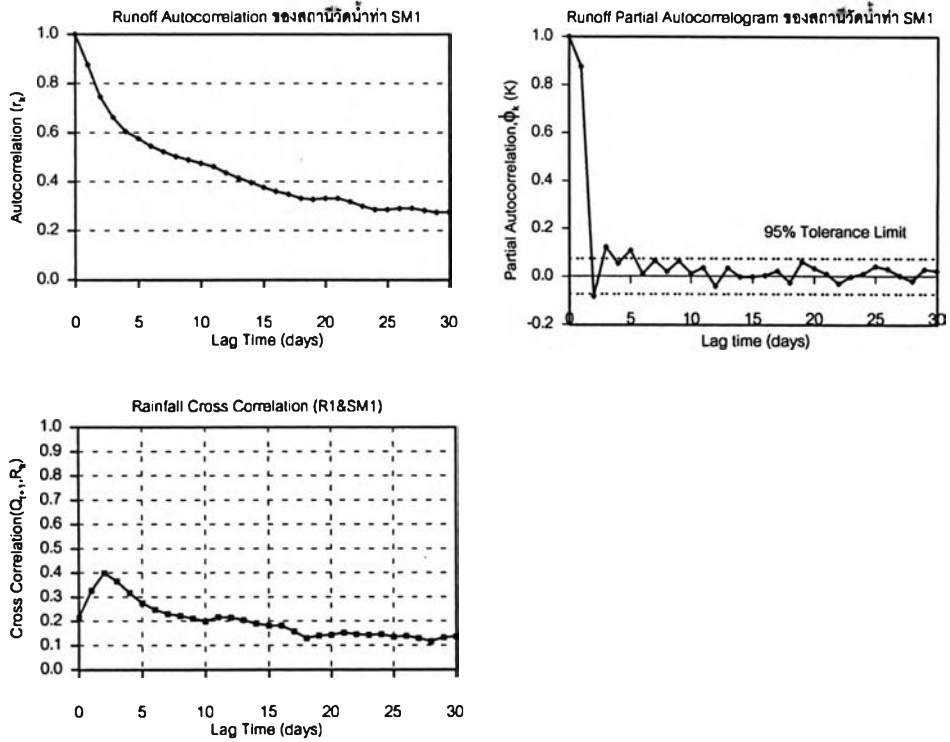
การนำผลจากแบบจำลองมาใช้คัดเลือกจากแบบจำลองที่ให้ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency index, EI) ของข้อมูลเรียนรู้มีค่าที่ดี โดยในการศึกษานี้เลือกแบบจำลองที่ให้ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้สูงกว่า 70% ไปใช้เป็นตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ต่อไป

(3) การคัดเลือกข้อมูลนำเข้า

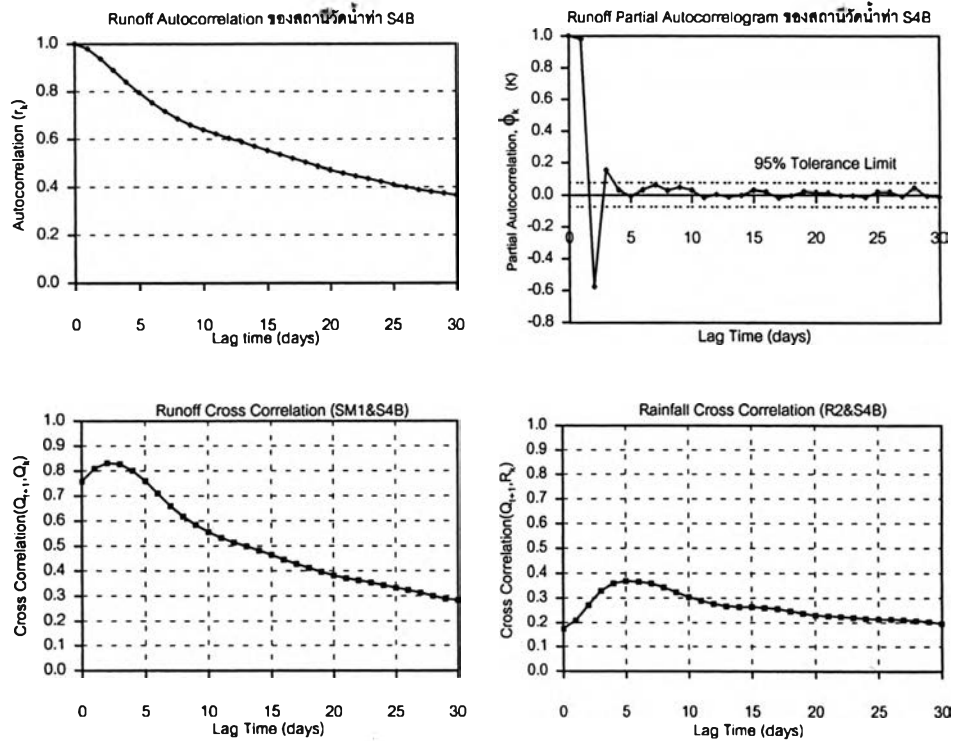
การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองคัดเลือกจากตัวแปรที่คาดว่ามีความสัมพันธ์ต่อการพยากรณ์อัตราการไหลน้ำท่ารายวันของจุดที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน (Q_{t+1}) โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ ได้แก่ กราฟ Autocorrelation กราฟ Partial autocorrelation และ Cross correlation เป็นแนวทางในการคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้าเบื้องต้น แสดงดังรูป 5-15 และ 5-16 และพิจารณาค่า T_c ซึ่งเป็นระยะเวลาที่น้ำฝนจากจุดไกลสุดของลุ่มน้ำเคลื่อนที่มาถึงจุดวัดน้ำท่าเป็นตัวชี้ถึงจำนวนวันที่ฝนมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินมาถึงสถานีวัดน้ำท่าหาได้จากกราฟน้ำฝน-น้ำท่าโดยเริ่มวัดจากเวลาที่ฝนหยุดตกไปถึงจุดเปลี่ยนโค้ง (Point of inflection) บนโค้งการลดลงของกราฟน้ำท่าซึ่งเลือกมาจากเหตุการณ์ในอดีตของแต่ละสถานีและเป็นเหตุการณ์ที่มีลักษณะเป็นพายุฝนลูกเดียว



รูป 5-15 กราฟความสัมพันธ์สำหรับคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ Q_{t+1} ณ สถานี SM3
กรณีการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ

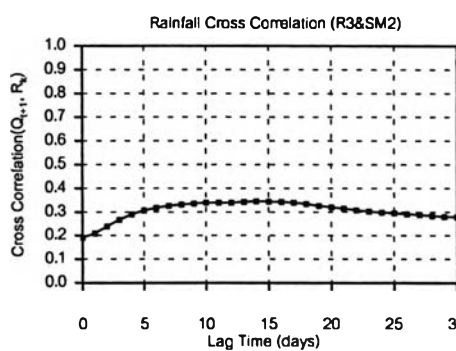
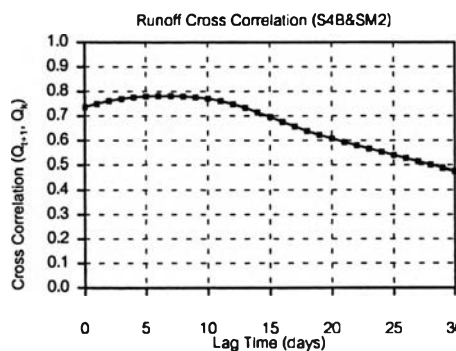
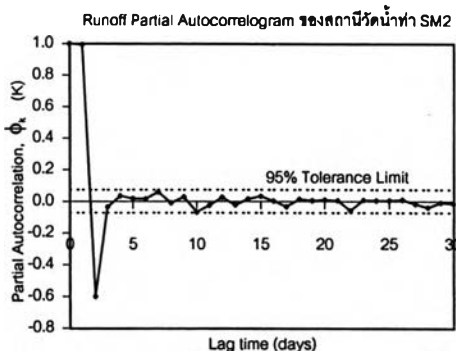
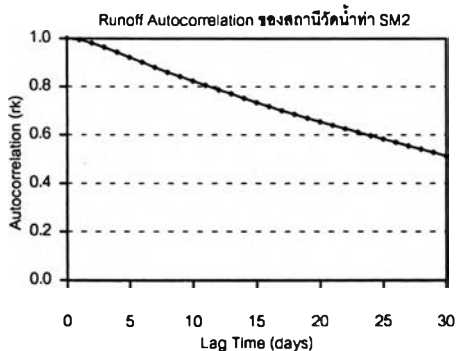


ลุ่มน้ำย่อย 1

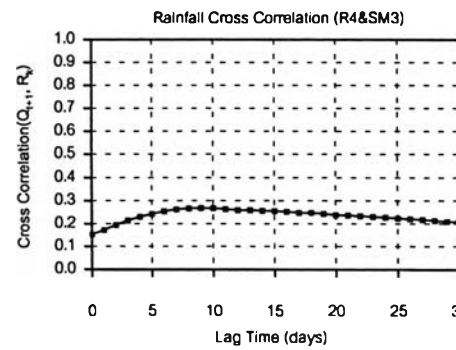
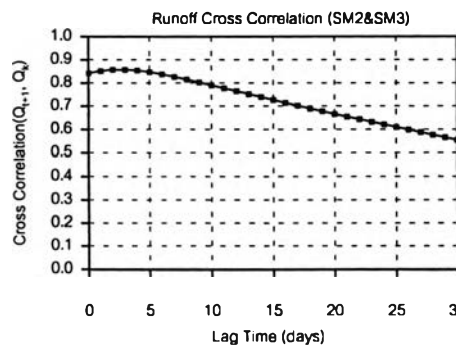
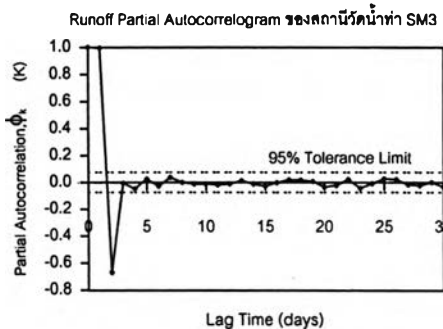
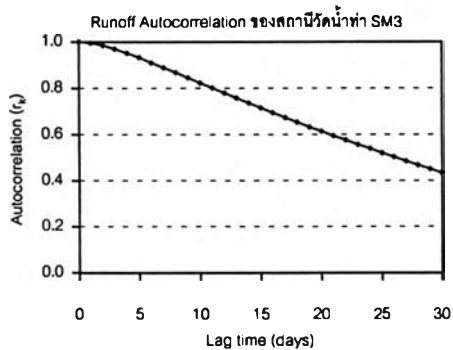


ลุ่มน้ำย่อย 2

รูป 5-16 กราฟความสัมพันธ์สำหรับคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ Q_{t+1} ณ สถานี SM3
กรณีการพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย



ลุ่มน้ำย่อย 3



ลุ่มน้ำย่อย 4

รูป 5-16 กราฟความสัมพันธ์สำหรับคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ Q_{t+1} ณ สถานี SM3 กรณีการพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย (ต่อ)

เกณฑ์การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าเบื้องต้น ประกอบด้วย (ธนพล 2545)

- การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าชนิดเดียวกัน คือ จำนวนวันย้อนหลังของ อัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่าที่พยากรณ์ ใช้กราฟ Autocorrelation และกราฟ Partial autocorrelation ในการคัดเลือก โดยพิจารณาค่าความสัมพันธ์ในกราฟความสัมพันธ์แบบ Autocorrelation และค่าความสัมพันธ์ในกราฟความสัมพันธ์แบบ Partial autocorrelation ที่ค่าความสัมพันธ์มากกว่าขอบเขตความเป็นอิสระของตัวแปร ($\pm 95\%$ Tolerance)

- การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าต่างชนิดกัน ได้แก่ จำนวนวันย้อนหลังของ อัตราการไหลของรายวันของสถานีวัดน้ำท่าตอนบนของพื้นที่รับน้ำ และปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ รายวัน ใช้กราฟ Cross correlation ในการคัดเลือก พบว่าค่าความสัมพันธ์ได้เพิ่มขึ้นในช่วงแรกจน ถึงจุดสูงสุด แล้วลดลงอย่างต่อเนื่องจนเกือบคงที่ในช่วงเวลาที่ย้อนหลังถัดไป โดยใช้จำนวนวันย้อน หลังถึงวันที่มีความสัมพันธ์สูงสุดเป็นข้อมูลนำเข้า ข้อมูลนำเข้าและข้อมูลออกของแบบจำลอง ทั้งสองกรณี สรุปในตาราง 5-4 และ 5-5

(4) ผลการพยากรณ์

(4.1) กรณีพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ ได้พยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 7 14 21 และ 30 วัน ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวันที่สถานี SM3 แบบรวมทั้งลุ่มน้ำแสดงดังตาราง 5-6 พบว่าข้อมูลเรียนรู้ให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.61 98.29 92.06 77.64 58.02 และ 40.82% ตามลำดับ ข้อมูลทดสอบให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.65 93.96 86.27 83.43 70.54 และ 53.13% ตามลำดับ ข้อมูลรับรองผลให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.25 94.28 77.48 48.23 33.31 และ 19.35% ตามลำดับ โดยแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ ในข้อมูลการเรียนรู้สูงกว่า 70% ใช้เป็นตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองในการพยากรณ์วันต่อ ๆ ไป ได้แก่ แบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลล่วงหน้า 1 3 7 และ 14 วัน

(4.2) กรณีพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย ผลการพยากรณ์จากแบบ จำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า SM1 S4B SM2 และ SM3 แบบแบ่งลุ่มน้ำ ย่อย แสดงดังตาราง 5-7 ได้ผลดังนี้

ตาราง 5-4 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวัน ณ สถานี SM3
กรณีพยากรณ์แบบรวมทั้งพื้นที่

| พยากรณ์ล่วงหน้า | | 1 วัน | 3 วัน | 7 วัน | 14 วัน | 21 วัน | 30 วัน |
|-------------------|--------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|
| ข้อมูลนำเข้า | SM1 | - | - | - | - | - | - |
| | S4B | - | $Q_j, Q_{j-1}, \dots, Q_{j-7}$ | $Q_j, Q_{j-1}, \dots, Q_{j-3}$ | - | - | - |
| | SM2 | Q_j, Q_{j-1}, Q_{j-2} | Q_j | - | - | - | - |
| | SM3 | Q_j, Q_{j-1} | - | - | - | - | - |
| | R2 | - | - | - | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-4}$ | - | - |
| | R3 | - | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-15}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-11}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-4}$ | - | - |
| | R4 | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-8}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-6}$ | R_j, R_{j-1}, R_{j-2} | - | - | - |
| | FC SM3 | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+3} | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ Q_{j+14} | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ Q_{j+14} |
| ข้อมูลออก | SM3 | Q_{j+1} | Q_{j+3} | Q_{j+7} | Q_{j+14} | Q_{j+21} | Q_{j+30} |
| โครงสร้างแบบจำลอง | | 14-4-3-1 | 33-9-8-1 | 21-6-5-1 | 13-4-3-1 | 4-4-1 | 4-4-1 |

ตาราง 5-5 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวัน ณ สถานี SM3
กรณีพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย

| พยากรณ์ล่วงหน้า | | 1 วัน | 3 วัน | 7 วัน | 14 วัน | 21 วัน | 30 วัน |
|-------------------|--------------|-----------|--------------------------------|-------------------------|--------------------|--------|--------|
| ลุ่มน้ำย่อย 1 | ข้อมูลนำเข้า | SM1 | $Q_j, Q_{j-1}, \dots, Q_{j-4}$ | | | | |
| | | R1 | R_j, R_{j-1} | | | | |
| ข้อมูลออก | SM1 | Q_{j+1} | | | | | |
| โครงสร้างแบบจำลอง | | 7-4-1 | | | | | |
| ลุ่มน้ำย่อย 2 | ข้อมูลนำเข้า | SM1 | Q_j, Q_{j-1}, Q_{j-2} | Q_j | - | | |
| | | S4B | Q_j, Q_{j-1}, Q_{j-2} | Q_j | - | | |
| | | R2 | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-4}$ | R_j, R_{j-1}, R_{j-2} | | | |
| | | FC SM1 | - | Q_{j+1} | Q_{j+1} | | |
| | | FC S4B | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+3} | | |
| ข้อมูลออก | S4B | Q_{j+1} | Q_{j+3} | Q_{j+7} | | | |
| โครงสร้างแบบจำลอง | | 11-3-3-1 | 7-4-1 | 3-3-1 | | | |

ตาราง 5-5 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวัน ณ สถานี SM3
กรณีพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย (ต่อ)

| พยากรณ์ล่วงหน้า | | 1 วัน | 3 วัน | 7 วัน | 14 วัน | 21 วัน | 30 วัน |
|----------------------|--------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ลุ่มน้ำย่อย 3 | | | | | | | |
| ข้อมูลนำเข้า | S4B | $Q_j, Q_{j-1}, \dots, Q_{j-7}$ | $Q_j, Q_{j-1}, \dots, Q_{j-5}$ | Q_j, Q_{j-1} | - | | |
| | SM2 | Q_j, Q_{j-1} | - | - | - | | |
| | R3 | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-13}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-11}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-7}$ | R_j | | |
| | FC S4B | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+3} | Q_{j+1}, Q_{j+3} | | |
| | FC SM2 | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+3} | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ | | |
| ข้อมูลออก | SM2 | Q_{j+1} | Q_{j+3} | Q_{j+7} | Q_{j+14} | | |
| โครงสร้างแบบจำลอง | | 24-6-6-1 | 20-5-5-1 | 14-4-3-1 | 6-3-1 | | |
| ลุ่มน้ำย่อย 4 | | | | | | | |
| ข้อมูลนำเข้า | SM2 | Q_j, Q_{j-1}, Q_{j-2} | Q_j | - | - | - | - |
| | SM3 | Q_j, Q_{j-1} | - | - | - | - | - |
| | R4 | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-8}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-6}$ | R_j, R_{j-1}, R_{j-2} | - | - | - |
| | FC SM2 | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+3} | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ |
| | FC SM3 | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+3} | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ | $Q_{j+1}, Q_{j+3}, Q_{j+7}$ |
| ข้อมูลออก | SM3 | Q_{j+1} | Q_{j+3} | Q_{j+7} | Q_{j+14} | Q_{j+21} | Q_{j+30} |
| โครงสร้างแบบจำลอง | | 14-4-3-1 | 10-5-1 | 7-4-1 | 6-3-1 | 8-4-1 | 8-4-1 |

หมายเหตุ :



ไม่ได้ทำการพยากรณ์

SM1 สถานีวัดน้ำท่า SM1

S4B สถานีวัดน้ำท่า S4B

SM3 สถานีวัดน้ำท่า SM3

RES อ่างเก็บน้ำ

R2 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2

R3 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 3

R4 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 4

R5 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 5

FC RES ผลการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลอง ANN

Q_j อัตราการไหลวันที่ j

R_j ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่วันที่ j

โครงสร้างแบบจำลอง = $X - Y - Z$

เมื่อ X = จำนวนข้อมูลนำเข้า

Y = จำนวนหน่วยของชั้นซ่อน (1 หรือ 2 ชั้น)

Z = จำนวนข้อมูลออก

ตาราง 5-6 ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวัน แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ

| ลุ่มน้ำย่อย | พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน) | โครงสร้าง | ข้อมูลเรียนรู้ | | ข้อมูลทดสอบ | | ข้อมูลรับรองผล | |
|----------------|------------------------------|-----------|----------------|---------------|-------------|---------------|----------------|---------------|
| | | | EI (%) | RMSE (cms) | EI (%) | RMSE (cms) | EI (%) | RMSE (cms) |
| รวมทั้งพื้นที่ | 1 | 14-4-3-1 | 99.61 | 6.81 | 99.65 | 5.60 | 99.25 | 5.63 |
| | 3 | 33-9-8-1 | 98.29 | 14.32 | 93.96 | 23.08 | 94.28 | 15.51 |
| | 7 | 21-6-5-1 | 92.06 | 30.27 | 86.27 | 34.05 | 77.48 | 30.73 |
| | 14 | 13-4-3-1 | 77.64 | 50.69 | 83.43 | 37.38 | 48.23 | 46.47 |
| | 21 | 4-4-1 | 58.02 | 69.50 | 70.54 | 49.83 | 33.31 | 52.62 |
| | 30 | 4-4-1 | 40.82 | 82.59 | 53.13 | 62.85 | 19.35 | 57.68 |

ตาราง 5-7 ผลการพยากรณ์จากแบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวัน แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย

| ลุ่มน้ำย่อย | พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน) | โครงสร้าง | ข้อมูลเรียนรู้ | | ข้อมูลทดสอบ | | ข้อมูลรับรองผล | |
|---------------|------------------------------|-----------|----------------|---------------|-------------|---------------|----------------|---------------|
| | | | EI (%) | RMSE (cms) | EI (%) | RMSE (cms) | EI (%) | RMSE (cms) |
| ลุ่มน้ำย่อย 1 | 1 | 7-4-1 | 85.29 | 7.95 | 85.84 | 8.12 | 72.93 | 7.57 |
| ลุ่มน้ำย่อย 2 | 1 | 11-3-3-1 | 98.51 | 3.57 | 98.89 | 3.48 | 94.67 | 5.19 |
| | 3 | 7-4-1 | 91.35 | 8.60 | 92.63 | 8.95 | 77.57 | 10.65 |
| | 7 | 3-3-1 | 62.15 | 17.93 | 69.14 | 18.18 | 43.93 | 16.83 |
| ลุ่มน้ำย่อย 3 | 1 | 24-6-6-1 | 99.61 | 4.05 | 99.57 | 3.57 | 98.74 | 7.77 |
| | 3 | 20-5-5-1 | 97.33 | 10.63 | 96.51 | 10.23 | 93.01 | 18.34 |
| | 7 | 14-4-3-1 | 92.21 | 18.13 | 88.55 | 18.51 | 80.18 | 30.87 |
| | 14 | 6-3-1 | 76.64 | 31.32 | 72.04 | 28.96 | 56.83 | 45.58 |
| ลุ่มน้ำย่อย 4 | 1 | 14-4-3-1 | 99.61 | 6.81 | 99.65 | 5.60 | 99.25 | 5.63 |
| | 3 | 10-5-1 | 97.34 | 17.81 | 96.93 | 16.43 | 92.73 | 17.50 |
| | 7 | 7-4-1 | 89.89 | 34.06 | 90.07 | 28.93 | 75.69 | 31.93 |
| | 14 | 6-3-1 | 75.31 | 53.26 | 80.91 | 40.12 | 54.08 | 43.77 |
| | 21 | 8-4-1 | 58.52 | 69.09 | 63.12 | 55.75 | 36.01 | 51.54 |
| | 30 | 8-4-1 | 42.94 | 69.35 | 43.21 | 80.91 | 28.86 | 54.17 |

- กลุ่มน้ำย่อย 1 พยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ($T_c = 1.9$ วัน) พบว่า ข้อมูลเรียนรู้ ข้อมูลทดสอบ และข้อมูลรับรองผลให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 85.29 85.84 และ 72.93% ตามลำดับ แบบจำลองที่ได้มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองในข้อมูลการเรียนรู้สูงกว่า 70% จึงนำผลจากแบบจำลองไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของกลุ่มน้ำย่อย 2

- กลุ่มน้ำย่อย 2 พยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 และ 7 วัน ($T_c = 6.3$ วัน) พบว่า ข้อมูลเรียนรู้ให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 98.51 91.35 และ 62.15% ตามลำดับ ข้อมูลทดสอบให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 98.89 92.63 และ 69.14% ตามลำดับ และข้อมูลรับรองผลให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 94.67 77.57 และ 43.93% ตามลำดับ ผลจากแบบจำลองของกลุ่มน้ำย่อย 2 พยากรณ์ล่วงหน้า 1 และ 3 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้สูงกว่า 70% จึงนำไปใช้เป็นตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองในการพยากรณ์ต่อไป ส่วนแบบจำลองของกลุ่มน้ำย่อย 2 ในการพยากรณ์ 7 วัน มีค่าต่ำกว่า 70% จึงไม่ได้นำไปใช้พยากรณ์ต่อไป

- กลุ่มน้ำย่อย 3 พยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 7 และ 14 วัน ($T_c = 13$ วัน) พบว่า ข้อมูลเรียนรู้ให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.61 97.33 92.21 และ 76.64% ตามลำดับ ข้อมูลทดสอบให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.57 96.51 88.55 และ 72.04% ตามลำดับ และข้อมูลรับรองผลให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 98.74 93.01 80.18 และ 56.83% ตามลำดับ ผลจากแบบจำลองของกลุ่มน้ำย่อย 3 ที่ใช้เป็นตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองในการพยากรณ์ต่อไป ได้แก่ แบบจำลองพยากรณ์อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าล่วงหน้า 1 3 7 และ 14 วัน

- กลุ่มน้ำย่อย 4 พยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 7 14 21 และ 30 วัน ($T_c = 10$ วัน) โดยพยากรณ์เกิน T_c เพื่อนำผลการพยากรณ์ไปเปรียบเทียบกับการพยากรณ์แบบรวมทั้งกลุ่มน้ำ พบว่า ข้อมูลเรียนรู้ให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.61 97.34 89.89 75.31 58.52 และ 42.94% ตามลำดับ ข้อมูลทดสอบให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.65 96.93 90.07 80.91 63.12 และ 43.21% ตามลำดับ และค่ารับรองผลให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.25 92.73 75.69 54.08 36.01 และ 28.86% ตามลำดับ ผลจากแบบจำลองของกลุ่มน้ำย่อย 4 ที่ใช้เป็นตัวแปรนำเข้าของแบบจำลองในการพยากรณ์ต่อไป ได้แก่ แบบจำลองพยากรณ์อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าล่วงหน้า 1 3 7 และ 14 วัน ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้สูงกว่า 70%

(4.3) การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำท่า SM3 ทั้งสองรูปแบบ (แสดงดังรูป 5-17) ได้ผลดังนี้

- ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ข้อมูลเรียนรู้มีค่าประสิทธิภาพในวันที่ 1 3 และ 7 ใกล้เคียงกัน ทั้งสองรูปแบบ โดยแบบรวมทั้งลุ่มน้ำมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.61 98.29 และ 92.06% ซึ่งสูงกว่าแบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยซึ่งมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 99.61 97.34 และ 89.89% และเมื่อพยากรณ์เกิน 7 วัน ค่าประสิทธิภาพมีค่าลดลงมากโดยผลการพยากรณ์ทั้งสองรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกัน

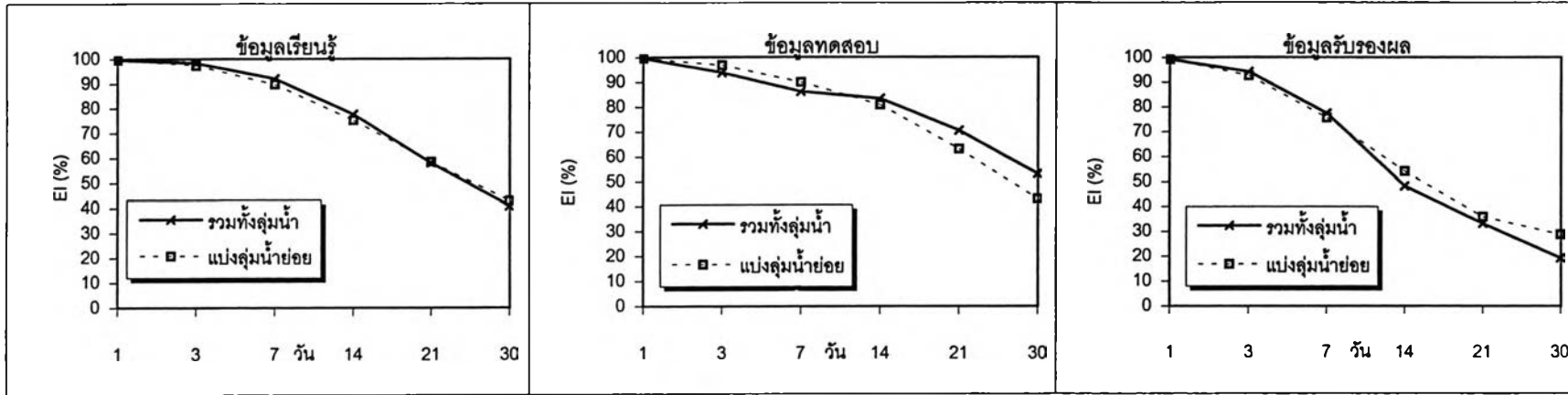
ข้อมูลทดสอบมีค่าประสิทธิภาพของรูปแบบการพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยสูงกว่าแบบรวมทั้งลุ่มน้ำเล็กน้อยในช่วงการพยากรณ์วันที่ 1 ถึง 7 และผลการพยากรณ์ในช่วงวันที่ 1 ถึง 14 มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่า 80% เมื่อพยากรณ์เกิน 14 วัน ค่าประสิทธิภาพมีค่าลดลงมาก

ข้อมูลรับรองผลมีค่าประสิทธิภาพของรูปแบบการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำสูงกว่าแบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยเล็กน้อยในช่วงการพยากรณ์วันที่ 1 ถึง 7 และสูงกว่า 75% เมื่อพยากรณ์เกิน 7 วัน ค่าประสิทธิภาพมีค่าลดลงมาก(ลดลงต่ำกว่า 60%)

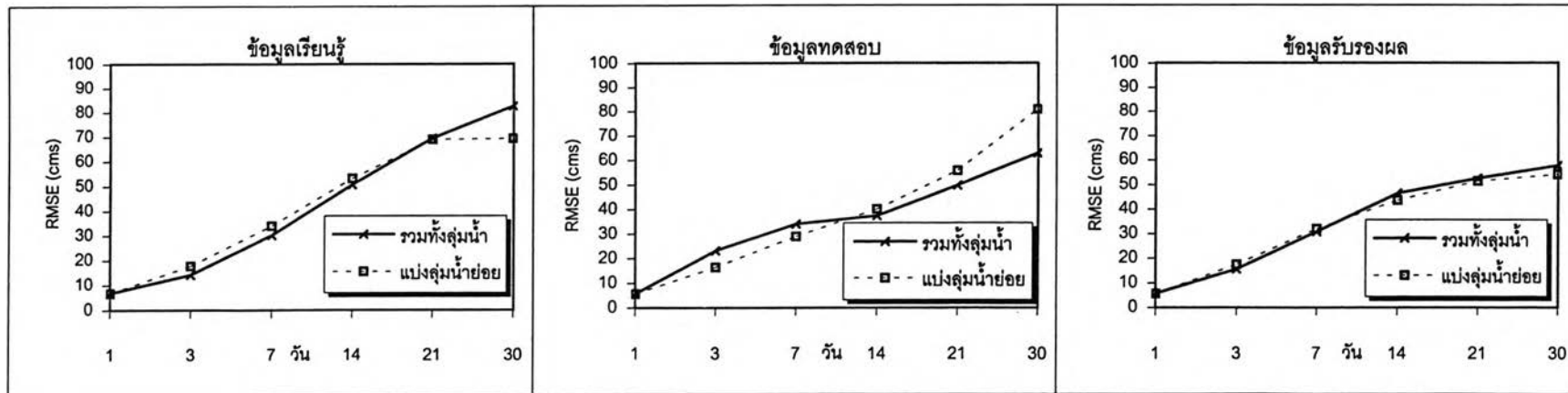
- ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE)

ข้อมูลเรียนรู้มีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) ในการพยากรณ์ช่วงวันที่ 1 ถึง 21 ใกล้เคียงกันทั้งสองรูปแบบโดยการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยเล็กน้อย เมื่อพยากรณ์เกิน 21 วัน การพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบรวมทั้งลุ่มน้ำ

ข้อมูลทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยช่วงวันที่ 1 ถึง 7 ต่ำกว่าแบบรวมทั้งลุ่มน้ำ เมื่อพยากรณ์เกิน 7 วัน การพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย



ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency index, EI)



ค่า RMSE (Root Mean Square Error)

รูป 5-17 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า SM3

ข้อมูลรับรองผลมีค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) ใกล้เคียงกันทั้งสองรูปแบบโดยการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำช่วงวันที่ 1 ถึง 7 มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย เมื่อพยากรณ์เกิน 21 วัน การพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบรวมทั้งลุ่มน้ำ

(4.4) เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ที่ได้ พบว่า รูปแบบของแบบจำลองที่มีความเหมาะสม คือ การพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ และระยะเวลาที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ คือ 1 ถึง 7 วัน เนื่องจากการพยากรณ์ทั้งแบบรวมทั้งลุ่มน้ำและแบบแบ่งลุ่มน้ำย่อยในช่วง 1 ถึง 7 วัน ให้ผลการพยากรณ์ที่ไม่แตกต่างกัน คือ ค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำช่วงเรียนรู้ ทดสอบและรับรองผล มีค่าสูงกว่า 92.06 86.27 และ 77.48% ตามลำดับ และค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย ช่วงเรียนรู้ ทดสอบและรับรองผล มีค่าสูงกว่า 89.89 90.07 และ 75.69% ตามลำดับ จากผลของระยะเวลาที่ได้พบว่า มีความสัมพันธ์กับลักษณะกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำคือ ระยะเวลาการเดินทางของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ(ก่อนเข้าอ่างเก็บน้ำ) อยู่ในช่วง 7-14 วัน โดยค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน มีค่าสูงกว่า 70% เมื่อพยากรณ์เกิน 7 วัน ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองมีอัตราการลดลงมากขึ้นและต่ำกว่า 70% ด้วย ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์ 70% นี้เป็นเกณฑ์คัดเลือกแบบจำลอง ANN ฤดูฝน และฤดูแล้งที่จะพัฒนาต่อไปด้วย โดยถ้าแบบจำลองที่ได้มีค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์สูงกว่า 70% จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

นอกจากนี้การเลือกแบบจำลองพยากรณ์รวมทั้งลุ่มน้ำทำให้ลดจำนวนของแบบจำลองที่ใช้ทำให้สะดวกในการใช้งานและลดความผิดพลาดสะสมจากแบบจำลองย่อยในกรณีของการพยากรณ์แบบแบ่งลุ่มน้ำย่อย ดังนั้นจึงเลือกรูปแบบการพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ และระยะเวลาในการพยากรณ์ 1 ถึง 7 วัน ในการพัฒนาแบบจำลอง ANN สำหรับอ่างเก็บน้ำป่าสักฯ

5.3.2 แบบจำลอง ANN ฤดูฝน

จากผลการพิจารณารูปแบบการพยากรณ์พบว่า รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำป่าสักได้แก่ การพยากรณ์แบบรวมทั้งลุ่มน้ำ และระยะเวลาในการพยากรณ์ 1 ถึง 7 วัน จึงได้พัฒนาแบบจำลอง ANN ฤดูฝน สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงปริมาณฝนมากในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยพิจารณาจากการกระจายฝนรายเดือนและจากสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก คือ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม เพื่อนำผลไปประยุกต์ใช้ในการบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน

(1) จำนวนข้อมูล

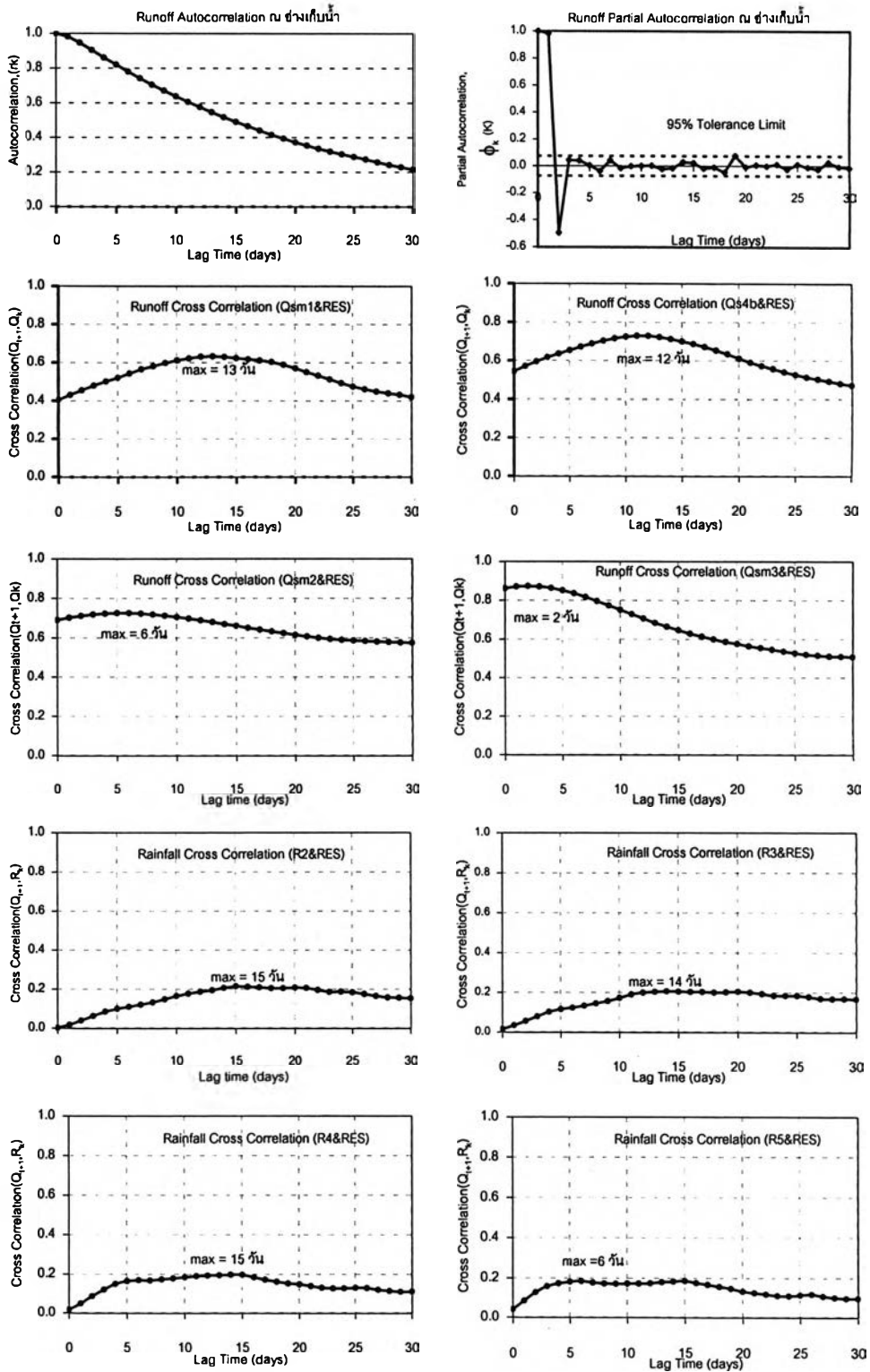
จำนวนข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 18 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ. 2513-2518 2521-2526 และ 2538-2543 แบ่งข้อมูลเป็น 3 ชุด คือ ข้อมูลเรียนรู้จำนวน 13 ปี ได้แก่ ปี 2513-2515 2517-2518 2521-2523 2525-2526 2539-2540 และ 2543 ข้อมูลทดสอบเลือกจากการแจกแจงความถี่แบบ Weibull (เลือกที่ความถี่การเกิดซ้ำ 20 50 และ 80%) จำนวน 3 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2516 (น้ำน้อย) 2524 (น้ำปกติ) และ 2538 (น้ำมาก) และ ข้อมูลรับรองผลจำนวน 2 ปี คือ ปี พ.ศ.2541 และ 2542 (แสดงในภาคผนวก ง)

(2) ข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง ได้แก่ อัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า SM1 SM2 S4B SM3 และอ่างเก็บน้ำ ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของพื้นที่รับน้ำย่อย R2 R3 R4 และ R5 ดังแสดงในรูป 4-9 (ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของพื้นที่รับน้ำย่อย R1 ใช้ข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่า SM1 เป็นตัวแทนปริมาณฝนที่ตก) ตัวแปรออก ได้แก่ ข้อมูลอัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำของวันที่ต้องการพยากรณ์ (วันที่ 1 ถึงวันที่ 7)

(3) การคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้า

การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าใช้วิธีเดียวกับที่กล่าวในการเลือกรูปแบบการพยากรณ์ โดยกราฟความสัมพันธ์ของการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าฤดูฝน แสดงดังรูป 5-18



รูป 5-18 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ Q_{t+1} ณ อ่างเก็บน้ำ ของแบบจำลอง ANN ฤดูฝน

(3.1) การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าชนิดเดียวกัน คือ จำนวนวันย้อนหลังของอัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำ (Qres) ใช้กราฟ Autocorrelation และ Partial autocorrelation เป็นแนวทางในการคัดเลือก โดยเมื่อพิจารณากราฟ Autocorrelation พบว่าค่าความสัมพันธ์กับ Qres ในวันที่ $j+1$ มีค่าสูงในช่วงแรกๆ คือวันย้อนหลังที่ $j-1$ $j-2$ (มีค่าความสัมพันธ์มากกว่า 0.90) สำหรับกราฟ Partial autocorrelation พบว่า มีค่าความสัมพันธ์ที่มากกว่าขอบเขตความเป็นอิสระของตัวแปร ($\pm 95\%$ Tolerance) ในช่วงเวลา j และ $j-1$ แล้วลูเข้าสู่ศูนย์ในช่วงเวลาที่ย้อนหลังถัดมา ดังนั้นอัตราการไหลย้อนหลังที่มีสัมพันธ์ที่ดีต่อ $Qres_{j+1}$ และนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง คือ ค่า $Qres_j$ และ $Qres_{j-1}$

(3.2) การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าต่างชนิดกัน ได้แก่ จำนวนวันย้อนหลังของอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่าตอนบนและปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวัน ใช้กราฟ Cross correlation เป็นแนวทางในการคัดเลือก

- จำนวนวันย้อนหลังของอัตราการไหลของน้ำท่ารายวันของสถานีวัดน้ำท่าตอนบนของพื้นที่รับน้ำ ได้แก่ สถานีวัดน้ำท่า SM1 S4B SM2 และ SM3 จากกราฟ Cross correlation พบว่า สถานีวัดน้ำท่า SM1 S4B SM2 และ SM3 มีจำนวนวันย้อนจากวันที่ $j+1$ ไปถึงวันที่มีค่าความสัมพันธ์สูงสุด เท่ากับ 12 11 5 และ 1 วัน ตามลำดับ และค่าความสัมพันธ์สูงสุด เท่ากับ 0.63 0.72 0.72 และ 0.87 ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ที่ได้หมายถึงน้ำท่าใช้เวลาเดินทางจากสถานีวัดน้ำท่า SM1 S4B SM2 และ SM3 มายังอ่างเก็บน้ำประมาณ 12 11 5 และ 1 วัน ตามลำดับ โดยการเดินทางของน้ำในช่วงพื้นที่ตอนบนใช้เวลาน้อยกว่าพื้นที่ตอนกลางเนื่องจากพื้นที่รับน้ำสั้นกว่าและความชันลำน้ำของพื้นที่ตอนบนมากกว่า

- จำนวนวันย้อนหลังของปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของกลุ่มน้ำย่อย 2 3 4 และ 5 ประกอบด้วย R2 R3 R4 และ R5 จากกราฟ Cross correlation พบว่า R2 R3 R4 และ R5 มีจำนวนวันย้อนจากเวลาที่ $j+1$ ไปถึงวันที่มีค่าความสัมพันธ์สูงสุด เท่ากับ 14 13 14 และ 5 วัน ตามลำดับ และค่าความสัมพันธ์สูงสุด เท่ากับ 0.2 0.2 0.2 และ 0.19 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่า T_c (รูป ง-1) ซึ่งเป็นตัวชี้ถึงจำนวนวันที่ฝนมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินมาถึงสถานีวัดน้ำท่าของแต่ละพื้นที่รับน้ำ พบว่า กลุ่มน้ำย่อย 2 3 4 และ 5 มีค่า T_c เท่ากับ 6.3 13 10 และ 5.5 วัน ตามลำดับ โดยกลุ่มน้ำย่อย 3 และ 4 ใช้เวลาในการเดินทางนานเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบและพื้นที่ที่มีความยาว

จากข้อมูลการเดินทางของน้ำบนผิวดินและการเดินทางของน้ำในลำน้ำสรุปจำนวนวันย้อนหลังของปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวัน R_2 R_3 R_4 และ R_5 ว่าใช้เวลาเดินทางโดยประมาณ 17 18 11 และ 5 วัน จากจุดไกลสุดของพื้นที่มาถึงสถานีวัดน้ำท่าและเดินทางต่อมาจนถึงอ่างเก็บน้ำ ซึ่ง R_5 มีความสอดคล้องกันระหว่างการพิจารณาโดยใช้กราฟ Cross correlation และค่า T_c ของพื้นที่รับน้ำ ส่วน R_2 R_3 และ R_4 จำนวนวันย้อนจากเวลาที่ $j+1$ ไปถึงวันที่มีค่าความสัมพันธ์สูงสุดมีค่าน้อยกว่า T_c ซึ่งอาจเป็นผลจากการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาใช้เวลาไม่เท่ากัน ในการพิจารณาจึงพิจารณาโดยใช้ข้อมูลจากกราฟ Cross correlation เป็นหลัก

(4) การทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาคัดเลือกตัวแปรนำเข้าแล้ว ได้นำตัวแปรที่ผ่านการคัดเลือกเบื้องต้นมาทดสอบเพื่อพิจารณาว่าตัวแปรที่คัดเลือกมีนัยสำคัญเพียงพอต่อการนำไปพยากรณ์อัตราการไหลในวันที่ $t+1$ หรือไม่ ใช้ข้อมูลเรียนรู้จำนวน 2,392 ชุด และข้อมูลทดสอบจำนวน 552 ชุด สำหรับโครงสร้างของแบบจำลองได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.3.5 การทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญแบ่งเป็น 2 ชนิดตัวแปร คือ ตัวแปรอัตราการไหล และตัวแปรฝนเฉลี่ยพื้นที่ (แสดงในภาคผนวก ง)

(4.1) การคัดเลือกตัวแปรอัตราการไหลจากสถานีวัดน้ำท่าแบ่งการทดสอบเป็น 5 ชุดตัวแปร เนื่องจากตัวแปรที่มีปริมาณมาก ได้แก่ อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Q_{res}) อัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำท่า SM_3 (Q_{sm3}) SM_2 (Q_{sm2}) S_4B (Q_{s4b}) และ SM_1 (Q_{sm1}) การทดสอบชุดตัวแปรอัตราการไหล (ตาราง ง-4) ได้พิจารณาผลการเพิ่มตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพของแบบจำลอง สรุปผลได้ดังนี้

- การทดสอบตัวแปร Q_{res} และ Q_{sm3} พบว่า การเพิ่มตัวแปรวันย้อนหลัง $j-1$ ในแบบจำลองที่มีตัวแปรวันย้อนหลัง j ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้น

- การทดสอบตัวแปร Qsm2 พบว่า ทำให้ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลทดสอบมีค่าลดลง ทั้งนี้การสร้างแบบจำลอง ANN ได้นำชุดตัวแปร Qsm2 ไปใช้ในแบบจำลองด้วย หากไม่มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองจึงจะตัดข้อมูลชุดนี้ภายหลัง

- การทดสอบตัวแปร Qs4b และ Qsm1 พบว่า ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้ดีขึ้นในวันย้อนหลังแรกๆ แต่ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลทดสอบมีค่าลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาการเดินทางของน้ำในวันย้อนหลังแรกๆ ไม่น่ามีอิทธิพลกับอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในวันที่ $j+1$ เลยเนื่องจากตำแหน่งสถานีวัดน้ำทำอยู่ห่างกันมาก เมื่อพิจารณาในวันย้อนหลังต่อไป ($j-4$ $j-5$...) พบว่า ข้อมูลเรียนรู้และทดสอบให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีขึ้น

(4.2) การคัดเลือกตัวแปรฝนเฉลี่ยพื้นที่ ทดสอบโดยใช้ตัวแปร Qsm3 เป็นตัวแปรหลัก และเพิ่มตัวแปรฝนเข้าไปทดสอบ การทดสอบชุดตัวแปรฝนเฉลี่ยพื้นที่(ตาราง ง-5) แบ่งการทดสอบเป็น 4 ชุดตัวแปร ได้แก่ ตัวแปร R5 R4 R3 และ R2 สรุปผลได้ดังนี้

- การทดสอบตัวแปร R5 (พื้นที่รับน้ำก่อนเข้าอ่างเก็บน้ำ) พบว่า ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้ดีขึ้นและค่าความคลาดเคลื่อนลดลง ส่วนค่าประสิทธิภาพของข้อมูลทดสอบลดลง แต่ในการสร้างแบบจำลองยังคงใช้ตัวแปร R5 เนื่องจากคำนึงถึงอิทธิพลของฝนที่ตกในพื้นที่บริเวณอ่างเก็บน้ำ

- การทดสอบตัวแปร R4 R3 และ R2 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพของแต่ละตัวแปรเพิ่มขึ้นไม่มากนัก แต่มีบางตัวแปรทำให้ค่าประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงคัดเลือกตัวแปรที่ให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบตัวแปรปริมาณฝน พบว่า ช่วงของตัวแปรฝนที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมีสองช่วงเวลาซึ่งเป็นไปได้ว่าเกิดจากลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำที่บริเวณตอนกลางใกล้ลำน้ำป่าสักเป็นที่ราบ ส่วนบริเวณด้านข้างของพื้นที่เป็นภูเขาทำให้การไหลของน้ำมีช่วงเวลาแตกต่างกัน

(5) ผลของแบบจำลอง ANN ฤดูฝน

การพยากรณ์อัตราการไหลรายวันในฤดูฝน ได้คัดเลือกชุดตัวแปรที่มีผลต่อการพยากรณ์มาใส่ในแบบจำลองแต่ละชุด โดยเริ่มจากข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าเหนืออ่างเก็บน้ำ SM3 และฝนในพื้นที่ R5 จากนั้นได้เพิ่มชุดตัวแปรประกอบด้วย

- ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่า SM2 และฝนในพื้นที่ R4
- ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่า S4B และฝนในพื้นที่ R3
- ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่า SM1 และฝนในพื้นที่ R2

จากนั้นจึงคัดเลือกแบบจำลองที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดทั้งชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ รวมทั้งพิจารณาจากค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพ สรุปตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ($Q_{res, i+1}$) ดังตาราง 5-8

ข้อมูลนำเข้าและผลการพยากรณ์ของแบบจำลอง ANN ฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม) ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน แสดงดังตาราง 5-9 และกราฟเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝนในช่วงเรียนรู้ และช่วงทดสอบแสดงในรูป 5-19 และ 5-20 ตามลำดับ ผลการศึกษาเป็นดังนี้

(5.1) การพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 1 วัน ในฤดูฝน (ตาราง 5-6) พบว่า การเพิ่มชุดตัวแปรของสถานีตอนบนทำให้ค่าประสิทธิภาพในข้อมูลเรียนรู้เพิ่มขึ้นแต่ค่าประสิทธิภาพในข้อมูลทดสอบลดลง และกรณีตัวแปร SM2 ที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองน้อยมากพบว่า ไม่ทำให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพดีขึ้น จึงตัดตัวแปรนี้ออกและตัวแปรที่เหมาะสมในการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 1 วัน ในฤดูฝนมีจำนวน 10 ตัวแปร

ตาราง 5-8 สรุปตัวแปรนำเข้าและออกของแบบจำลอง ANN ฤดูฝน

| พยากรณ์ล่วงหน้า | 1 วัน | 2 วัน | 3 วัน | 4 วัน | 5 วัน | 6 วัน | 7 วัน |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| ข้อมูลนำเข้า | | | | | | | |
| SM1 | - | - | $Q_{j-4}, Q_{j-5}, \dots, Q_{j-10}$ | $Q_{j-3}, Q_{j-4}, \dots, Q_{j-9}$ | $Q_{j-2}, Q_{j-3}, \dots, Q_{j-8}$ | $Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots, Q_{j-7}$ | $Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots, Q_{j-6}$ |
| S4B | - | $Q_{j-3}, Q_{j-4}, \dots, Q_{j-10}$ | $Q_{j-2}, Q_{j-3}, \dots, Q_{j-9}$ | $Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots, Q_{j-8}$ | $Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots, Q_{j-7}$ | $Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots, Q_{j-6}$ | $Q_{j-1}, Q_{j-2}, \dots, Q_{j-5}$ |
| SM3 | Q_j, Q_{j-1} | Q_j | - | - | - | - | - |
| RES | Q_j, Q_{j-1} | Q_j | - | - | - | - | - |
| R2 | - | - | $R_{j-7}, R_{j-8}, \dots, R_{j-12}$ | $R_{j-6}, R_{j-7}, \dots, R_{j-11}$ | $R_{j-5}, R_{j-6}, \dots, R_{j-10}$ | $R_{j-4}, R_{j-5}, \dots, R_{j-9}$ | $R_{j-3}, R_{j-4}, \dots, R_{j-8}$ |
| R3 | - | $R_{j-1}, R_{j-2}, \dots, R_{j-4}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-3}$ | R_j, R_{j-1}, R_{j-2} | R_j, R_{j-1} | R_j | $R_{j-3}, R_{j-4}, \dots, R_{j-7}$ |
| R4 | - | $R_{j-8}, R_{j-9}, \dots, R_{j-12}$ | $R_{j-7}, R_{j-8}, \dots, R_{j-11}$ | $R_{j-6}, R_{j-7}, \dots, R_{j-10}$ | $R_{j-5}, R_{j-6}, \dots, R_{j-9}$ | $R_{j-4}, R_{j-5}, \dots, R_{j-8}$ | $R_{j-4}, R_{j-5}, \dots, R_{j-8}$ |
| R5 | - | $R_{j-1}, R_{j-2}, \dots, R_{j-4}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-3}$ | R_j, R_{j-1}, R_{j-2} | R_j, R_{j-1} | R_j | - |
| R5 | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-5}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-4}$ | $R_j, R_{j-1}, \dots, R_{j-3}$ | R_j, R_{j-1}, R_{j-2} | R_j, R_{j-1} | R_j | - |
| FC RES | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+2} | Q_{j+2}, Q_{j+3} | Q_{j+3}, Q_{j+4} | Q_{j+4}, Q_{j+5} | Q_{j+5}, Q_{j+6} |
| รวม | 10 | 34 | 45 | 42 | 39 | 35 | 31 |
| ข้อมูลออก | | | | | | | |
| RES | Q_{j+1} | Q_{j+2} | Q_{j+3} | Q_{j+4} | Q_{j+5} | Q_{j+6} | Q_{j+7} |
| รวม | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| โครงสร้างแบบจำลอง | | | | | | | |
| | 10-5-1 | 34-9-8-1 | 45-12-11-1 | 42-11-10-1 | 39-10-10-1 | 35-9-9-1 | 31-8-8-1 |

หมายเหตุ

SM1 สถานีวัดน้ำท่า SM1

S4B สถานีวัดน้ำท่า S4B

SM3 สถานีวัดน้ำท่า SM3

RES อ่างเก็บน้ำ

R2 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2

R3 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 3

R4 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 4

R5 ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 5

FC RES ผลการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลอง ANN

 Q_j อัตราการไหลวันที่ j R_j ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่วันที่ j

โครงสร้างแบบจำลอง = X - Y - Z

เมื่อ X = จำนวนข้อมูลนำเข้า

Y = จำนวนหน่วยของชั้นซ่อน (1 หรือ 2 ชั้น)

Z = จำนวนข้อมูลออก

ตาราง 5-9 ผลการพยากรณ์โดยแบบจำลอง ANN ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ในฤดูฝน

| ค่าสถิติ | ค่าเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที) | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ลบ.ม./วินาที) | ค่าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที) | ค่าต่ำสุด (ลบ.ม./วินาที) | จำนวนข้อมูล |
|----------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| ข้อมูลเรียนรู้ | 133.64 | 212.60 | 2919.17 | 0.54 | 2392 |
| ข้อมูลทดสอบ | 131.10 | 179.80 | 1133.98 | 2.19 | 552 |
| ข้อมูลรับรองผล | 105.28 | 112.43 | 512.04 | 0.00 | 368 |

| พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน) | โครงสร้าง แบบจำลอง | ข้อมูลเรียนรู้ | | | | ข้อมูลทดสอบ | | | | ข้อมูลรับรองผล | | | |
|------------------------------|-----------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------------------|-------------|---------------|--------------|--------------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------------------|
| | | EI (%) | RMSE (cms) | MAD (cms) | Max.Absolute Error (cms) | EI (%) | RMSE (cms) | MAD (cms) | Max.Absolute Error (cms) | EI (%) | RMSE (cms) | MAD (cms) | Max.Absolute Error (cms) |
| 1 | 10-5-1 | 98.70 | 24.23 | 10.53 | 380.43 | 99.22 | 15.91 | 7.97 | 182.75 | 90.19 | 35.16 | 22.36 | 154.70 |
| 2 | 34-9-8-1 | 97.97 | 30.23 | 15.57 | 412.29 | 97.07 | 30.73 | 16.11 | 297.29 | 87.74 | 39.28 | 26.15 | 200.38 |
| 3 | 45-12-11-1 | 97.13 | 35.98 | 19.70 | 590.62 | 92.99 | 47.48 | 23.48 | 409.97 | 83.35 | 45.72 | 29.94 | 226.79 |
| 4 | 42-11-10-1 | 96.12 | 41.80 | 24.49 | 485.65 | 88.10 | 61.82 | 29.85 | 662.22 | 80.13 | 49.93 | 33.80 | 220.34 |
| 5 | 39-10-10-1 | 94.55 | 49.50 | 29.25 | 550.01 | 85.57 | 68.07 | 34.88 | 709.57 | 76.73 | 54.06 | 37.38 | 237.58 |
| 6 | 35-9-9-1 | 93.28 | 54.91 | 32.99 | 571.64 | 81.04 | 77.99 | 40.20 | 678.62 | 71.46 | 59.84 | 41.08 | 247.54 |
| 7 | 31-8-8-1 | 91.50 | 61.75 | 36.84 | 567.32 | 70.88 | 96.59 | 46.02 | 1033.56 | 69.61 | 61.70 | 41.97 | 254.68 |

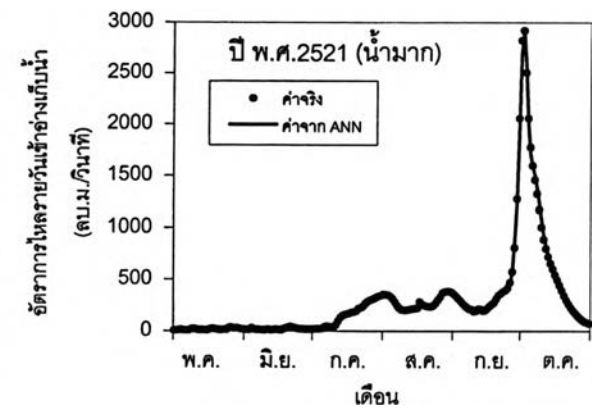
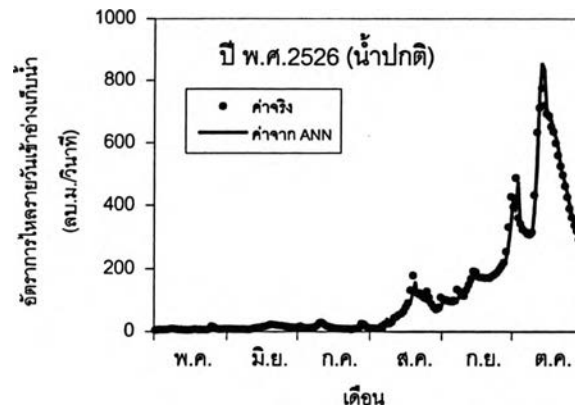
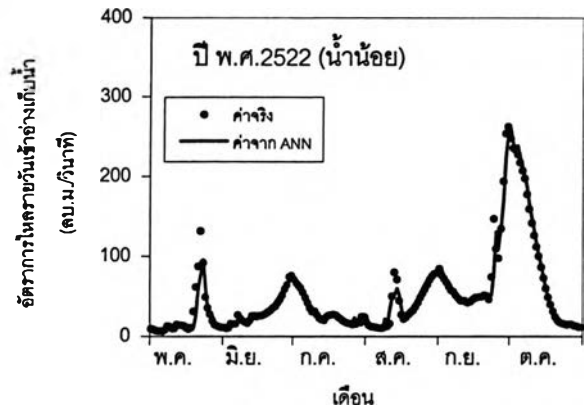
หมายเหตุ

$$EI \text{ คือ } \text{ตรงน้ัวัดประสิทธิภาพ} = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - Q)^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - Q)^2}$$

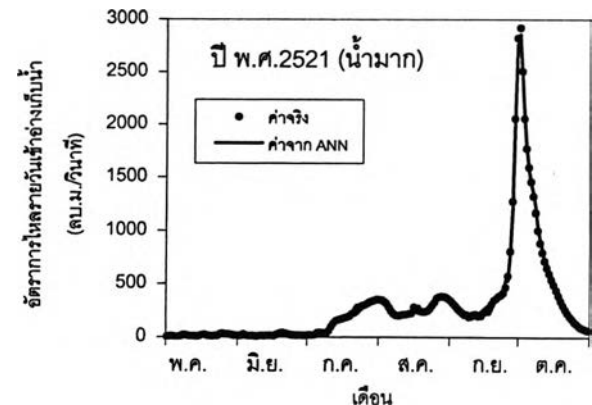
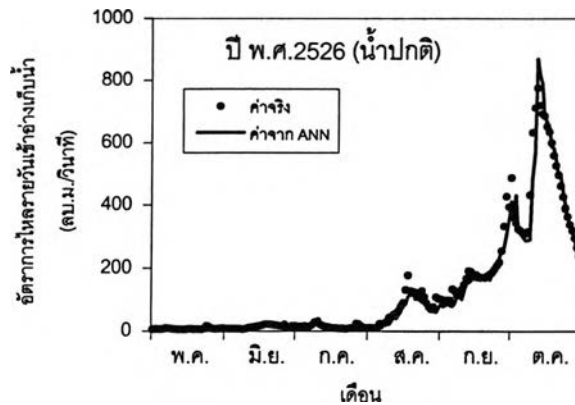
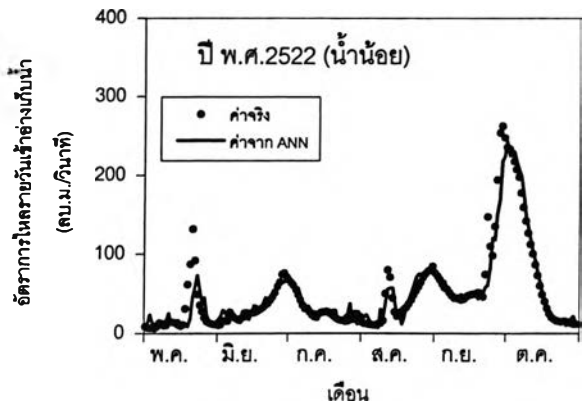
$$MAD \text{ คือ } \text{ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - F_i|$$

$$RMSE \text{ คือ } \text{ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}$$

$$Max.Absolute \text{ Error คือ } \text{Maximum Absolute Error} = \max |Q_i - F_i|$$

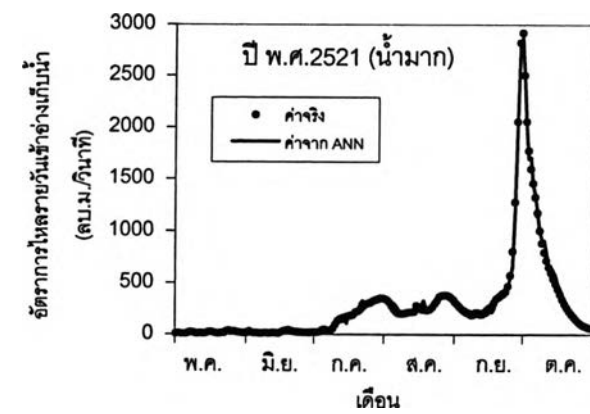
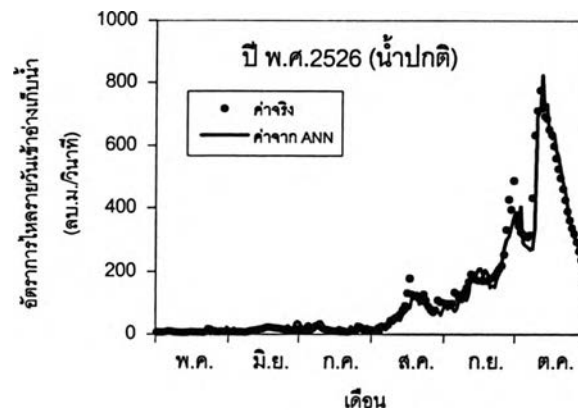
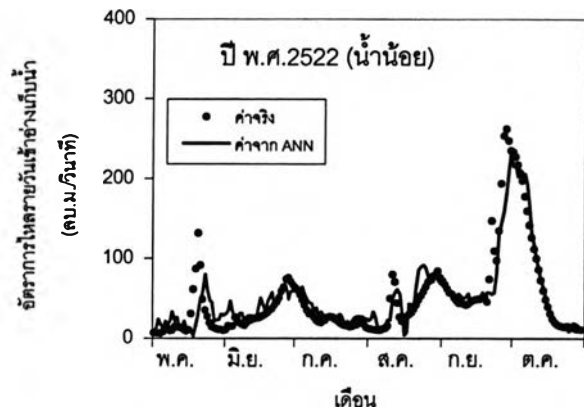


(ก) การพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน

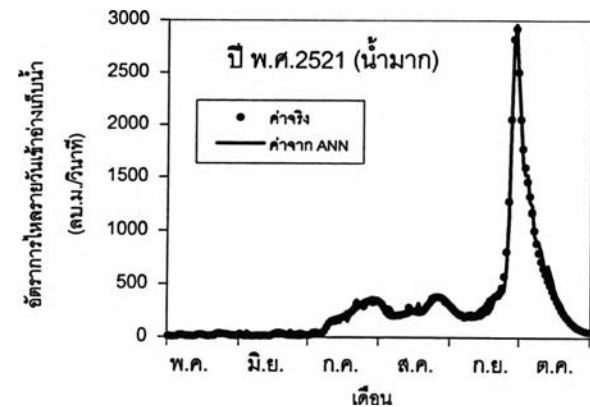
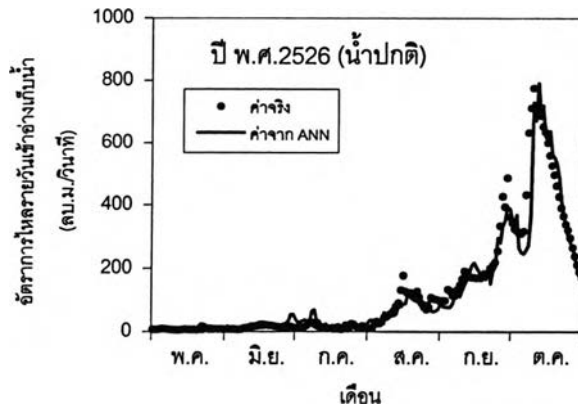
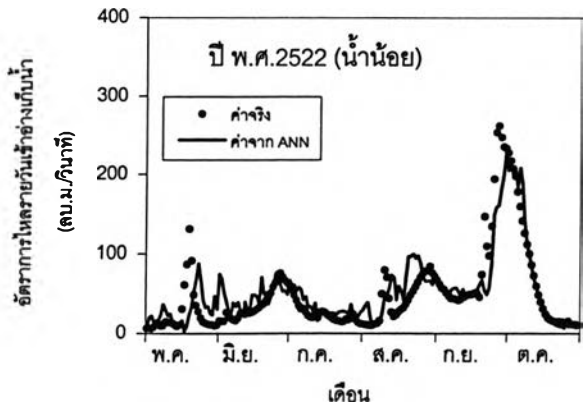


(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน

รูป 5-19 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงเรียนรู้

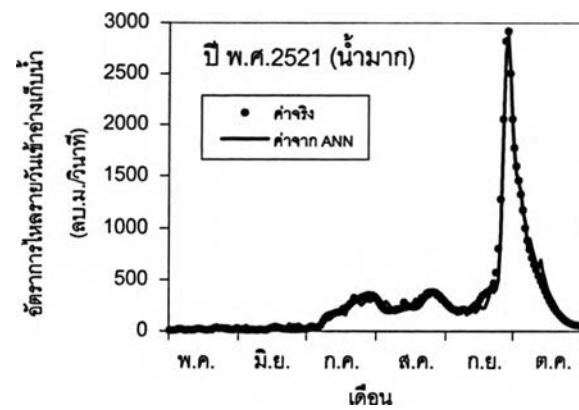
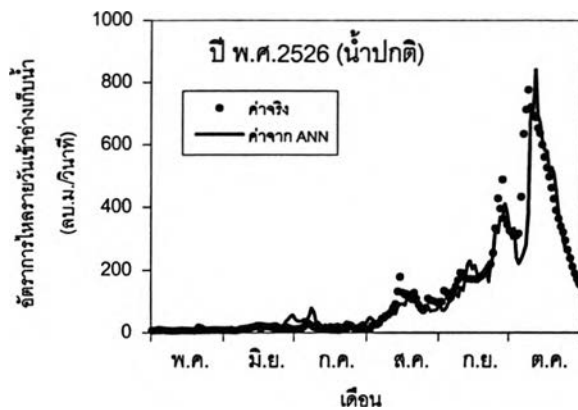
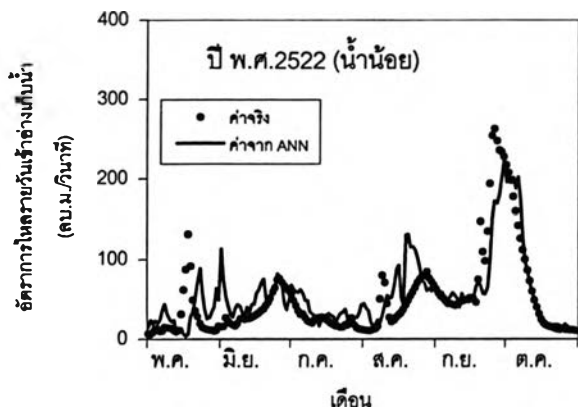


(ค) การพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน

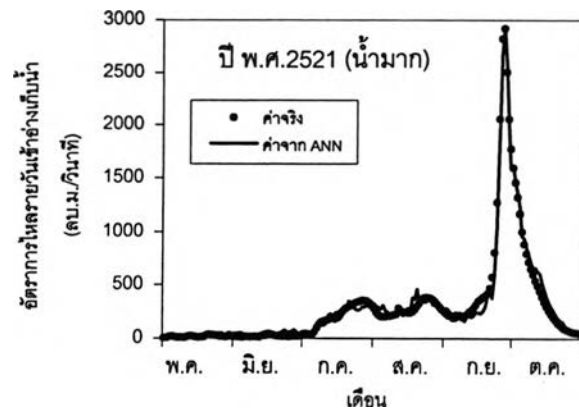
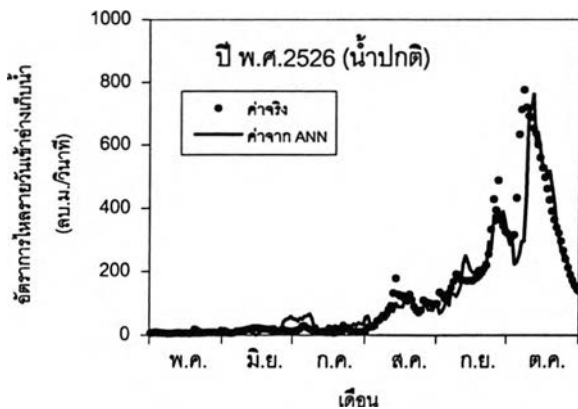
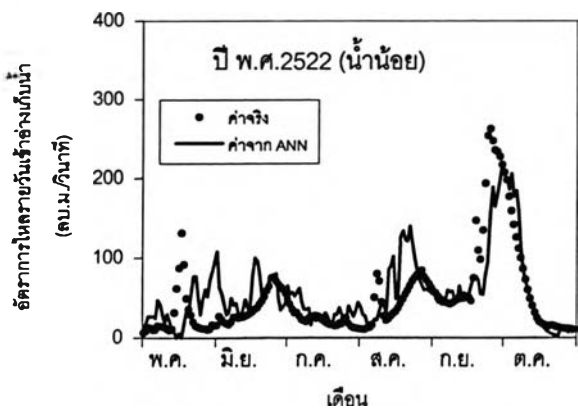


(ง) การพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน

รูป 5-19 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลหลายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงเรียนรู้ (ต่อ)

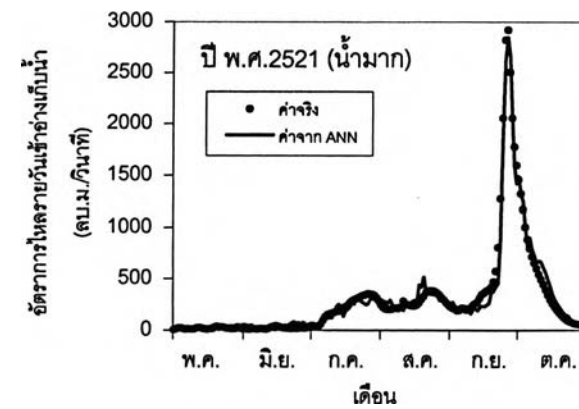
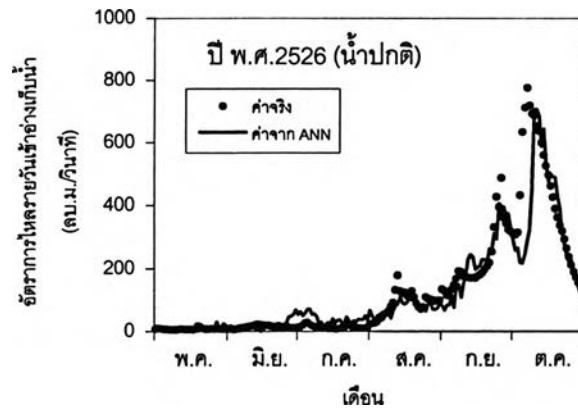
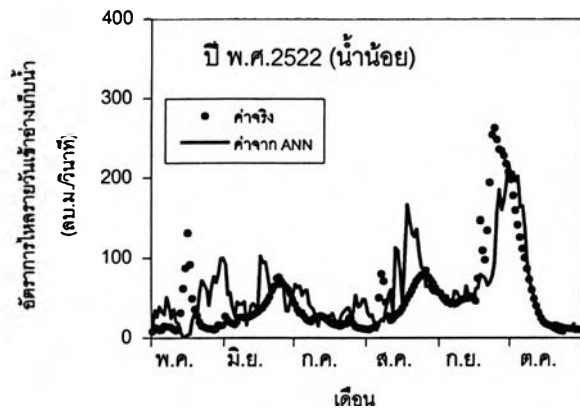


(จ) การพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน



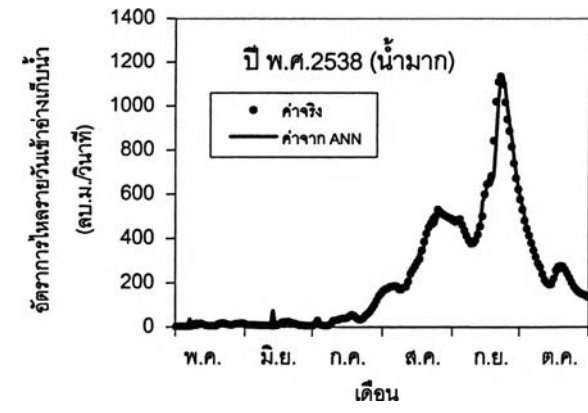
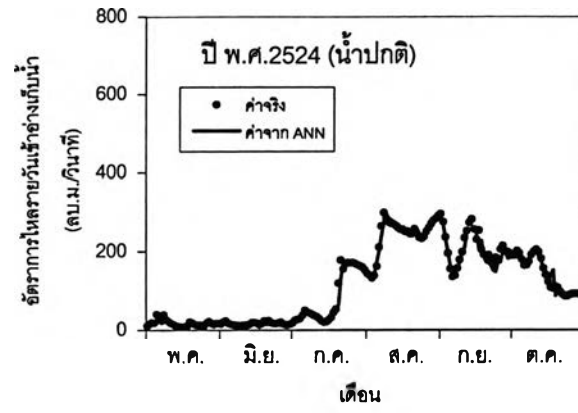
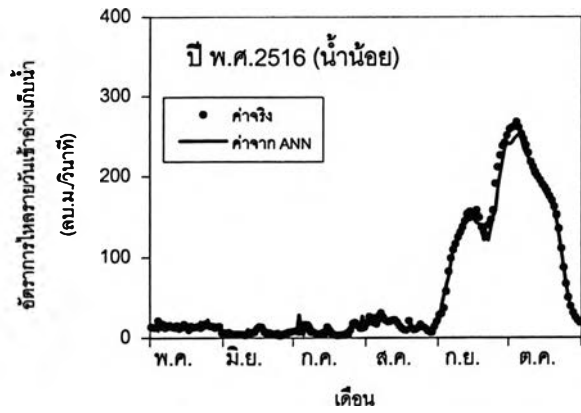
(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน

รูป 5-19 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงเรียนรู้ (ต่อ)

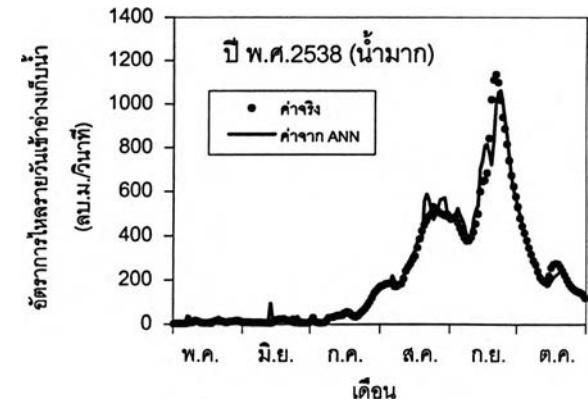
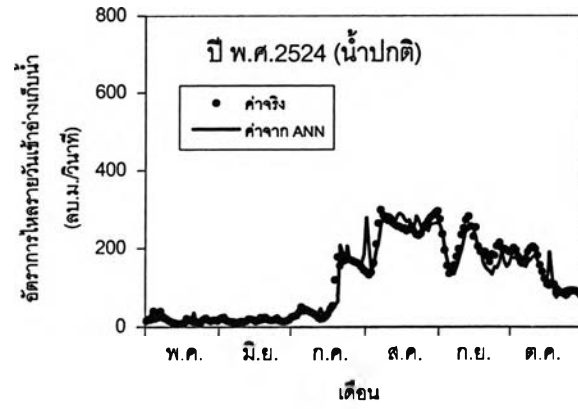
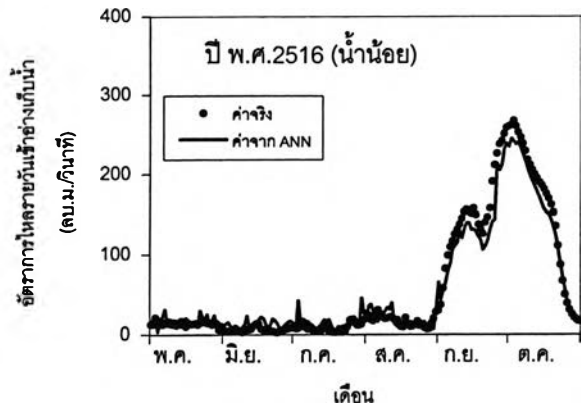


(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน

รูป 5-19 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงเรียนรู้ (ต่อ)

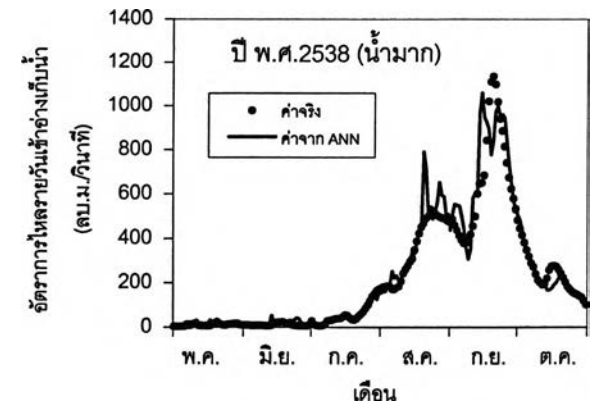
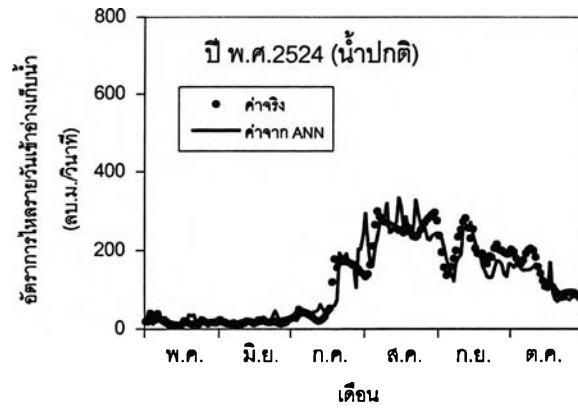
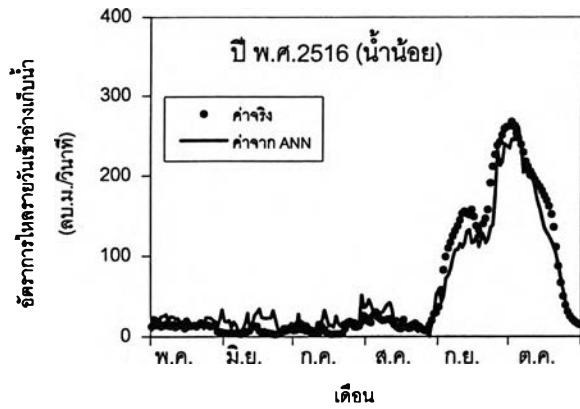


(ก) การพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน

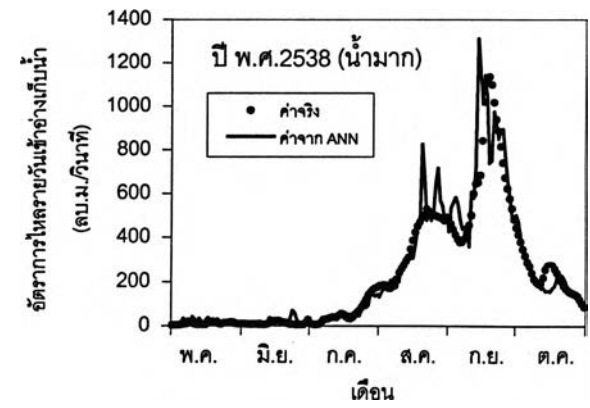
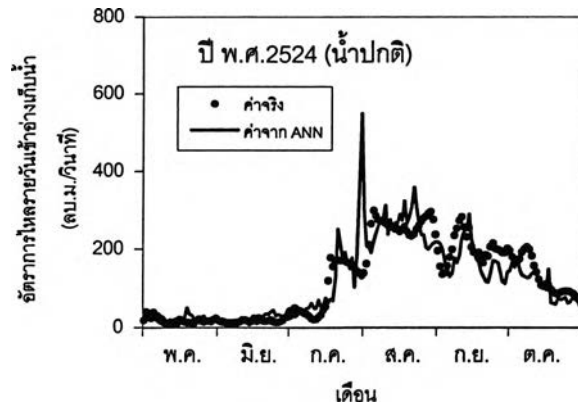
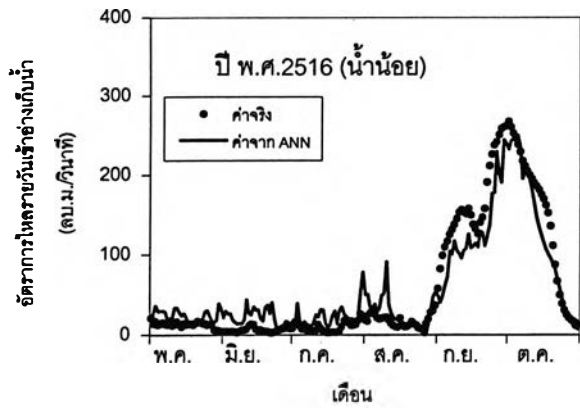


(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน

รูป 5-20 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงทดสอบ

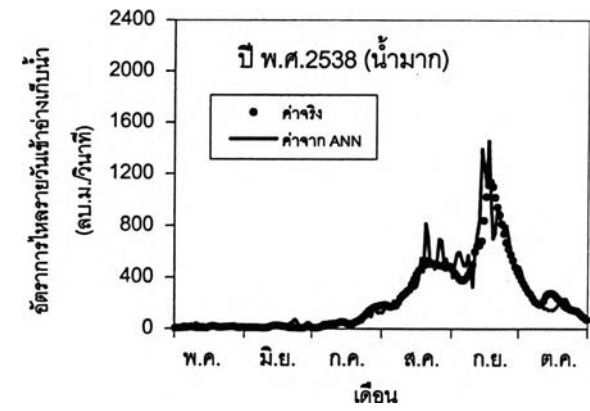
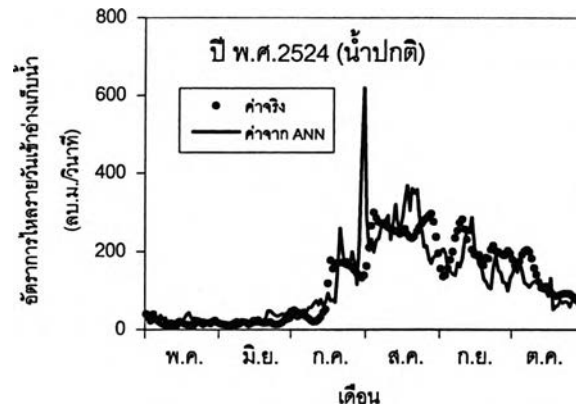
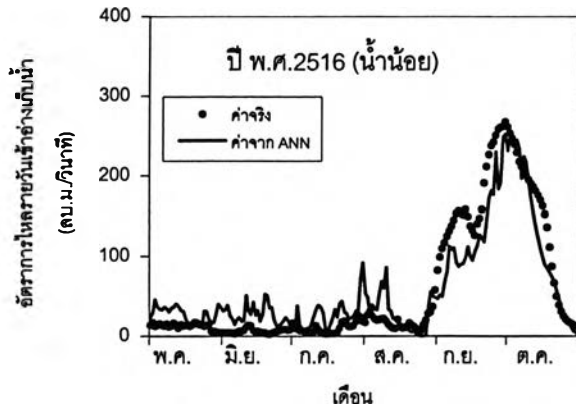


(ค) การพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน

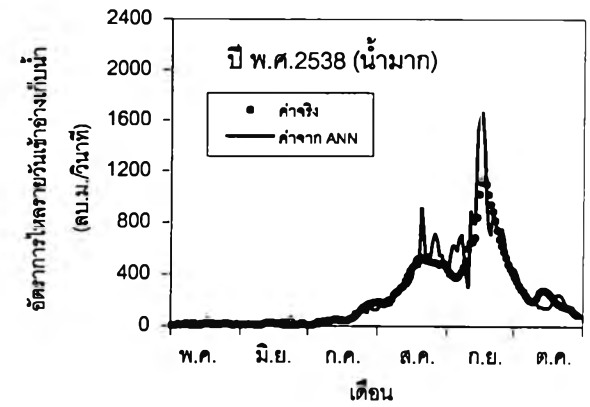
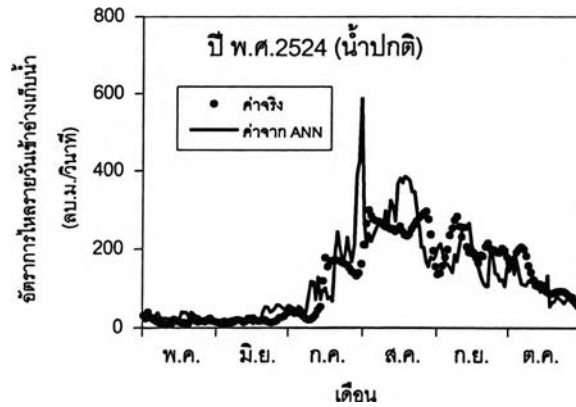
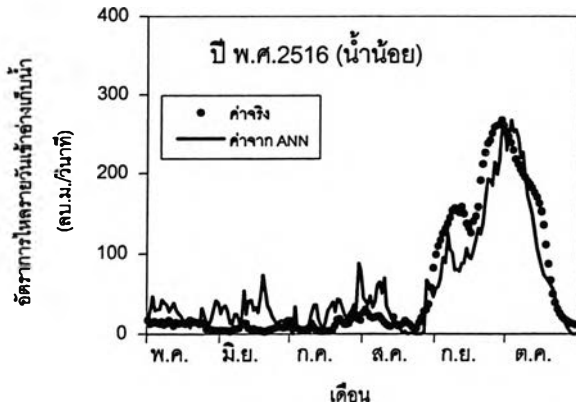


(ง) การพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน

รูป 5-20 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลหลายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงทดสอบ (ต่อ)

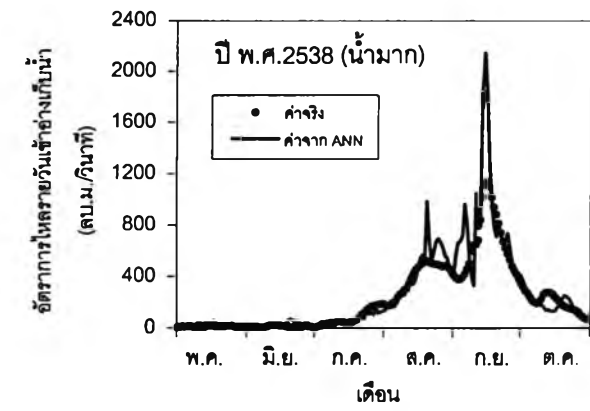
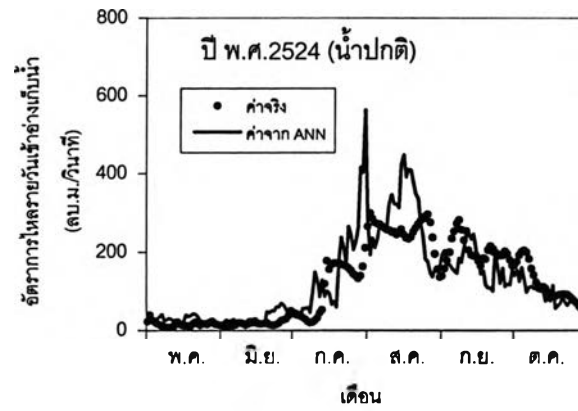
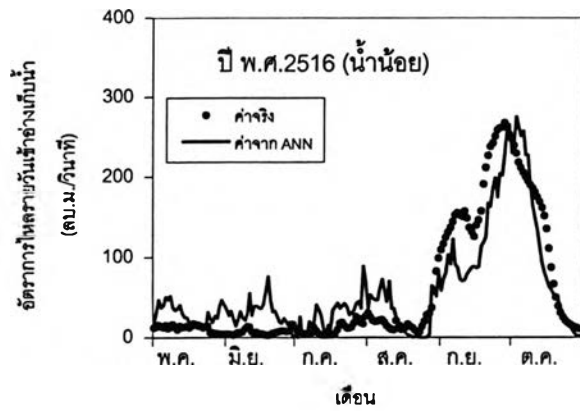


(จ) การพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน



(ฉ) การพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน

รูป 5-20 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงทดสอบ (ต่อ)



(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน

รูป 5-20 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงทดสอบ (ต่อ)

(5.2) การพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 2 วัน ในฤดูฝน (ตาราง ง-7) ได้เพิ่มชุดตัวแปรเช่นเดียวกัน และใช้ผลการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วันเพิ่มเป็นตัวแปรนำเข้า ตัวแปรที่เหมาะสมในการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 2 วัน ในฤดูฝน มีจำนวน 34 ตัวแปร เนื่องจากได้นำข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าและฝนของพื้นที่ตอนบนมาใส่ในแบบจำลองด้วย ทำให้ค่าประสิทธิภาพดีขึ้นทั้งชุดข้อมูลเรียนรู้และทดสอบ

(5.3) การพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 3 ถึง 7 วัน ในฤดูฝน (ตาราง ง-8 ถึง ง-12) พบว่า ตัวแปรที่เหมาะสมในการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 3 ถึง 7 วัน ในฤดูฝน มีจำนวน 45 42 39 35 และ 31 ตัวแปรตามลำดับ โดยนำข้อมูลน้ำท่าและฝนของพื้นที่ตอนบนมาใส่ในแบบจำลองเช่นเดียวกับการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 2 วัน

(5.4) ผลการเรียนรู้พบว่า ค่าประสิทธิภาพ (EI) ของการพยากรณ์ 1 ถึง 7 วัน อยู่ในช่วง 91.50-98.70% RMSE (Root Mean Square Error) มีค่าอยู่ระหว่าง 24.23-61.74 ลบ.ม./วินาที MAD (Mean Absolute Deviation) มีค่าอยู่ระหว่าง 10.53-36.84 ลบ.ม./วินาที และ ค่า Max. Absolute Error มีค่าอยู่ระหว่าง 380.43-567.32 ลบ.ม./วินาที โดยแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีที่สุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้ายาวนานขึ้นค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองมีค่าลดลงและค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพของทั้ง 7 แบบจำลองให้ค่าที่สูงกว่า 90%

(5.5) ผลการทดสอบพบว่า ค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ 1 ถึง 7 วัน อยู่ในช่วง 70.88-99.22% RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 15.91-96.59 ลบ.ม./วินาที MAD มีค่าอยู่ระหว่าง 7.97-46.02 ลบ.ม./วินาที และ ค่า Max. Absolute Error มีค่าอยู่ระหว่าง 182.75-1,033.56 ลบ.ม./วินาที โดยแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีที่สุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้ายาวนานขึ้นค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองมีค่าต่ำลงตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น คือ มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 70%

(6) การรับรองผลของแบบจำลอง ANN ฤดูฝน

แบบจำลองที่คัดเลือกแล้วนำมาทดสอบกับข้อมูลรับรองผลที่เตรียมไว้ได้แก่ ปี พ.ศ.2541 และ 2542 ซึ่งมีค่าอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลเรียนรู้ คือ 0.54-2,919.17 ลบ.ม./วินาที ผลการรับรองผลแสดงดังตาราง 5-9 และกราฟเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงรับรองผลแสดงดังรูป 5-21

ผลการรับรองผล พบว่า ค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วันอยู่ในช่วง 69.61-90.19% RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 35.16-61.70 ลบ.ม./วินาที MAD มีค่าอยู่ระหว่าง 22.36-41.97ลบ.ม./วินาที และค่า Max. Absolute Error มีค่าอยู่ระหว่าง 154.70-254.68 ลบ.ม./วินาที โดยแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีที่สุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้ายาวนานขึ้นค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองมีค่าลดลงตามลำดับ และค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น คือ มีค่าประสิทธิภาพประมาณ 70%

(7) สรุปผลการพัฒนาแบบจำลอง ANN ฤดูฝน

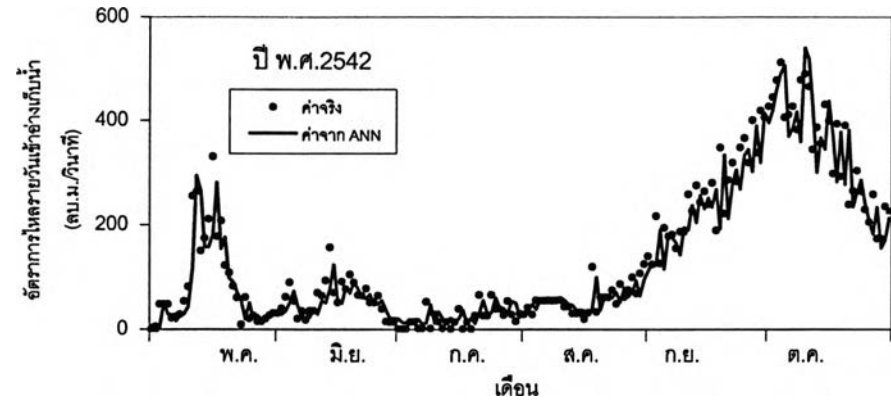
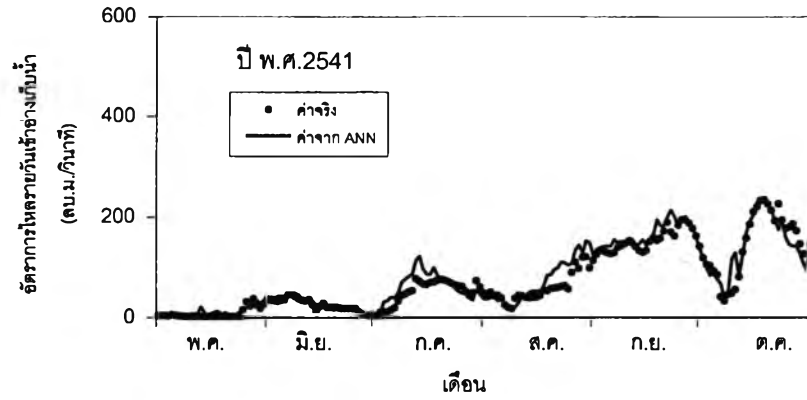
ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ฤดูฝน พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ทั้ง 7 แบบจำลอง ประกอบด้วย อัตราการไหลที่สถานี SM1 S4B SM3 อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (RES) ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย R2 R3 R4 R5 และผลจากแบบจำลอง ANN ในวันก่อนหน้า (FC RES) โดยมีโครงสร้างของแบบจำลองดังนี้

แบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน โครงสร้าง คือ 10 - 5 - 1

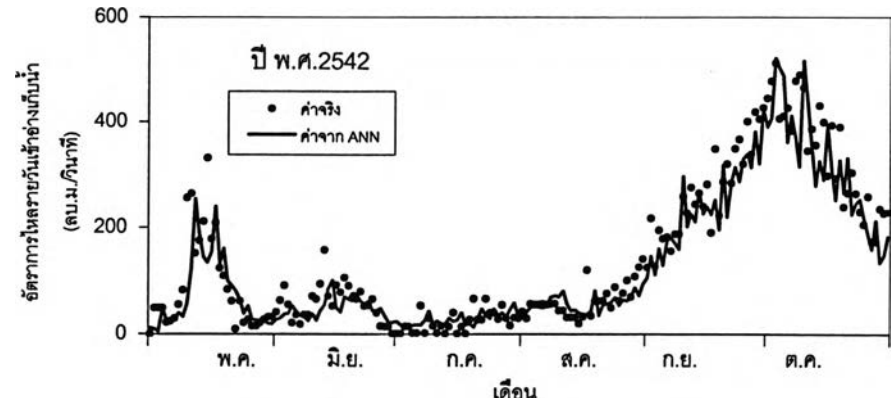
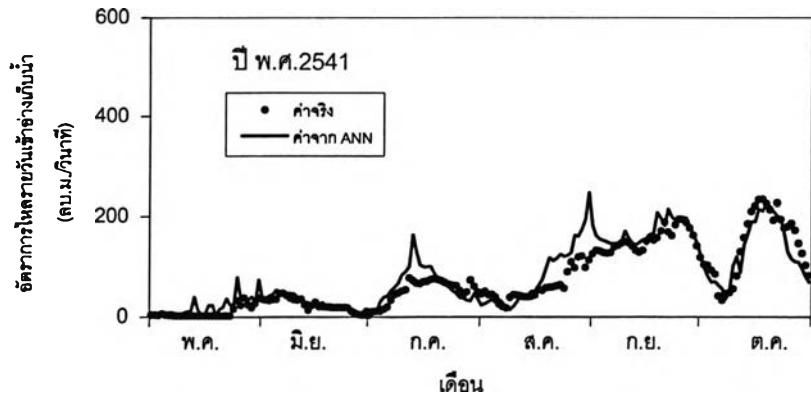
แบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน โครงสร้าง คือ 34 - 9 - 8 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน โครงสร้าง คือ 45 - 12 - 11 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน โครงสร้าง คือ 42 - 11 - 10 - 1

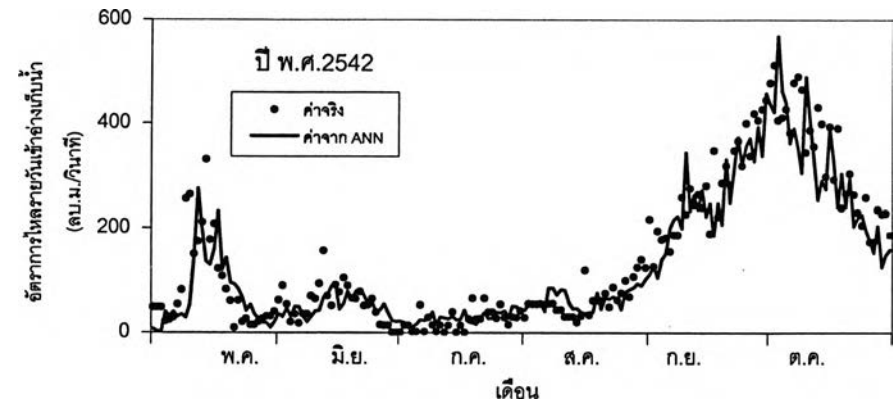
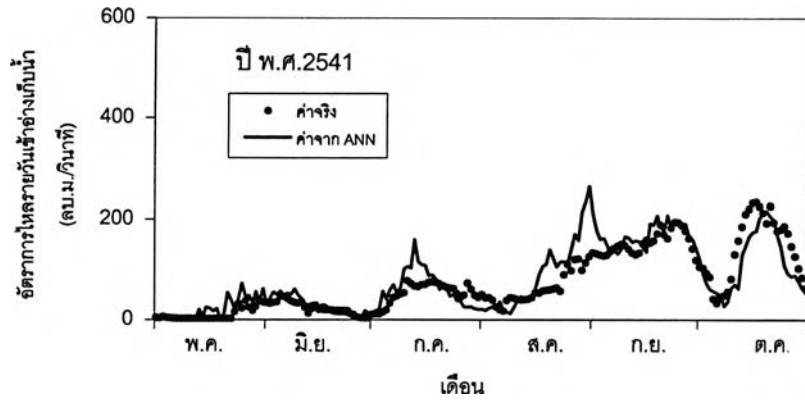


(ก) การพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน

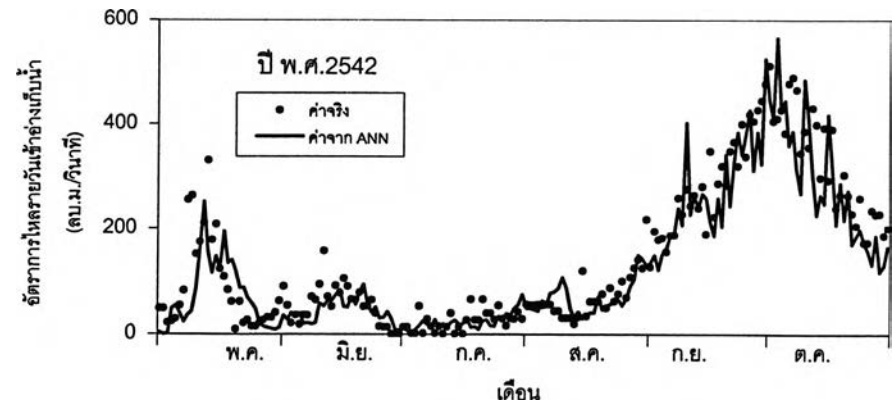
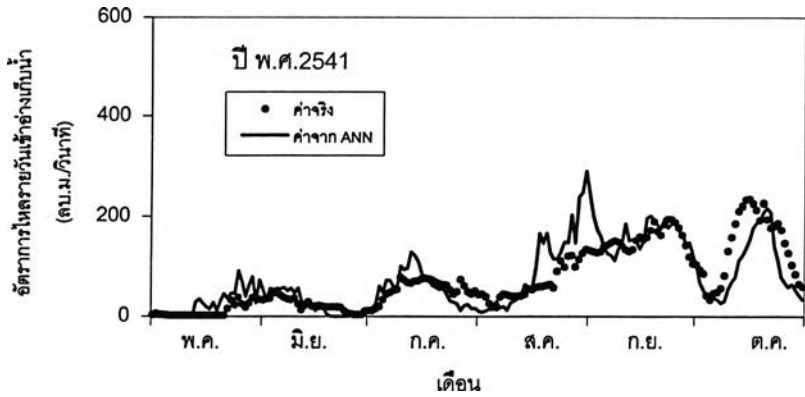


(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน

รูป 5-21 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงรับร่องผล

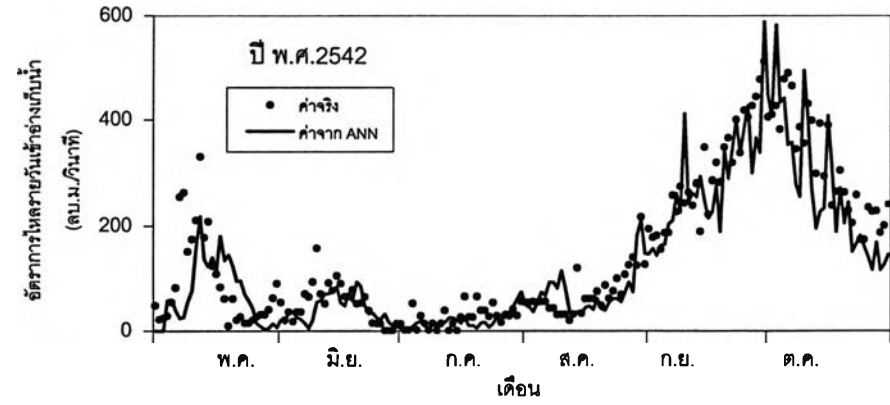
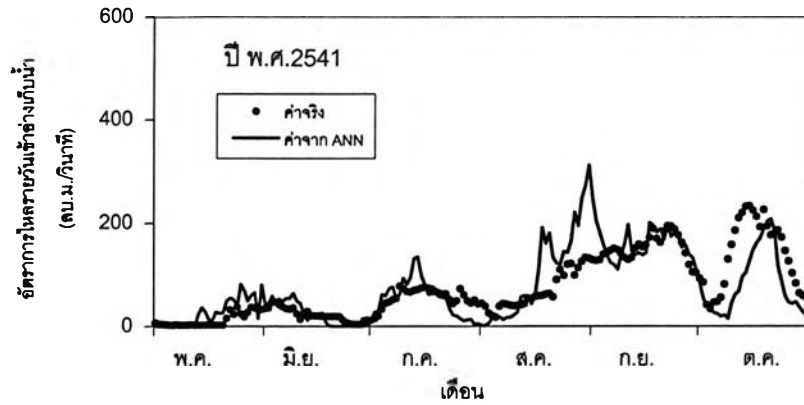


(ค) การพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน

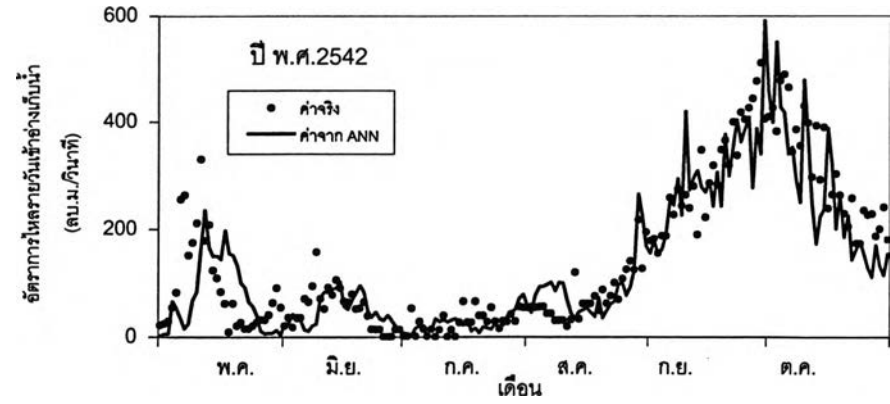
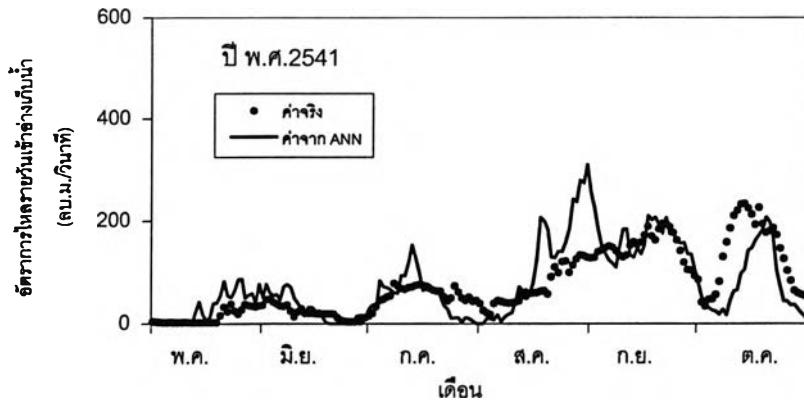


(ง) การพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน

รูป 5-21 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการใช้ปริมาณน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงรับรองผล (ต่อ)

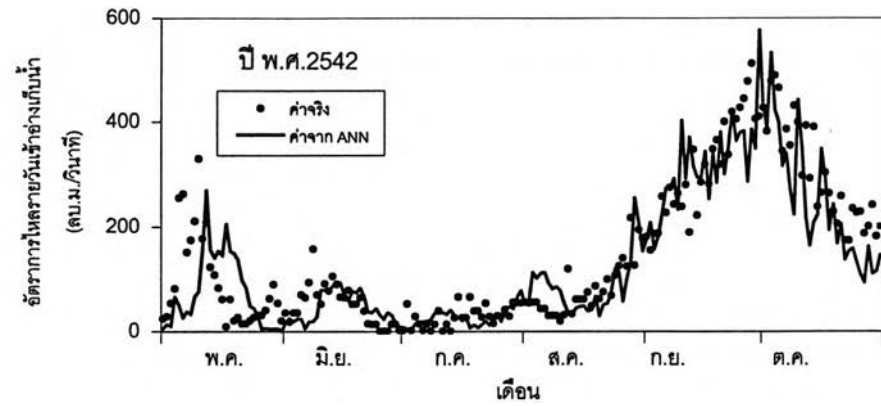
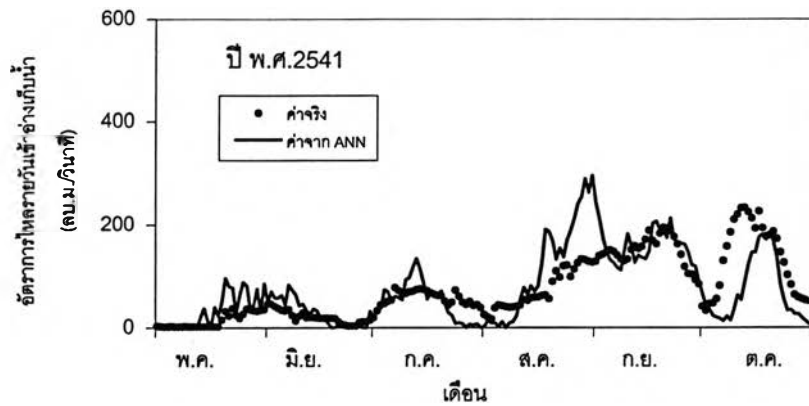


(จ) การพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน



(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน

รูป 5-21 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงรับรองผล (ต่อ)



(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน

รูป 5-21 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูฝน(พ.ค.-ต.ค.) ในช่วงรับรองผล (ต่อ)

แบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน โครงสร้าง คือ 39 - 10 - 10 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน โครงสร้าง คือ 35 - 9 - 9 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน โครงสร้าง คือ 31 - 8 - 8 - 1

ผลการพัฒนาแบบจำลอง ANN ฤดูฝน ทั้ง 7 แบบจำลอง พบว่า ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้มีค่าสูงกว่า 90% ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลทดสอบในวันที่ 1 ถึง 6 มีค่าสูงกว่า 80% ส่วนวันที่ 7 มีค่า 71% ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลรับรองผลวันที่ 1 ถึง 4 มีค่าสูงกว่า 80% ส่วนวันที่ 5 ถึง 7 มีค่า 77 71 และ 70% เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้ ทดสอบ และรับรองผล มีค่าสูงกว่า 70% จึงเลือกแบบจำลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับการบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงวิกฤต ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 5.4

5.3.3 แบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง

แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งเป็นแบบจำลองพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงปริมาณฝนน้อยในพื้นที่ลุ่มน้ำ คือ เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน เพื่อนำผลไปใช้ประยุกต์ใช้ในการบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูแล้ง การพยากรณ์ได้พยากรณ์โดยใช้ข้อมูลแบบรวมทั้งลุ่มน้ำและพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน เช่นเดียวกับแบบจำลอง ANN ฤดูฝน

(1) จำนวนข้อมูล

จำนวนข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 18 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ. 2513-2518 2521-2526 และ 2538-2543 แบ่งข้อมูลเป็น 3 ชุด คือ ข้อมูลเรียนรู้จำนวน 13 ปี ได้แก่ ปี 2513 2515 2516-2517 2521-2524 2526 2538-2540 และ 2543 ข้อมูลทดสอบเลือกจากการแจกแจงความถี่แบบ Weibull (เลือกที่ความถี่การเกิดซ้ำ 20 50 และ 80%) จำนวน 3 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2514 (น้ำน้อย) 2518 (น้ำปกติ) และ 2525 (น้ำมาก) และข้อมูลรับรองผล จำนวน 2 ปี คือ ปี พ.ศ.2541 และ 2542

(2) ข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง ได้แก่ อัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่า SM1 SM2 S4B SM3 และ อ่างเก็บน้ำ (RES) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันในพื้นที่รับน้ำย่อย R2 R3 R4 และ R5 ดังแสดงในรูป 4-9 (ฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของพื้นที่รับน้ำย่อย R1 ใช้ข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่า SM1 เป็นตัวแทนปริมาณฝนที่ตก) ตัวแปรออกได้แก่ ข้อมูลอัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำของวันที่ต้องการพยากรณ์ (วันที่ 1 ถึงวันที่ 7)

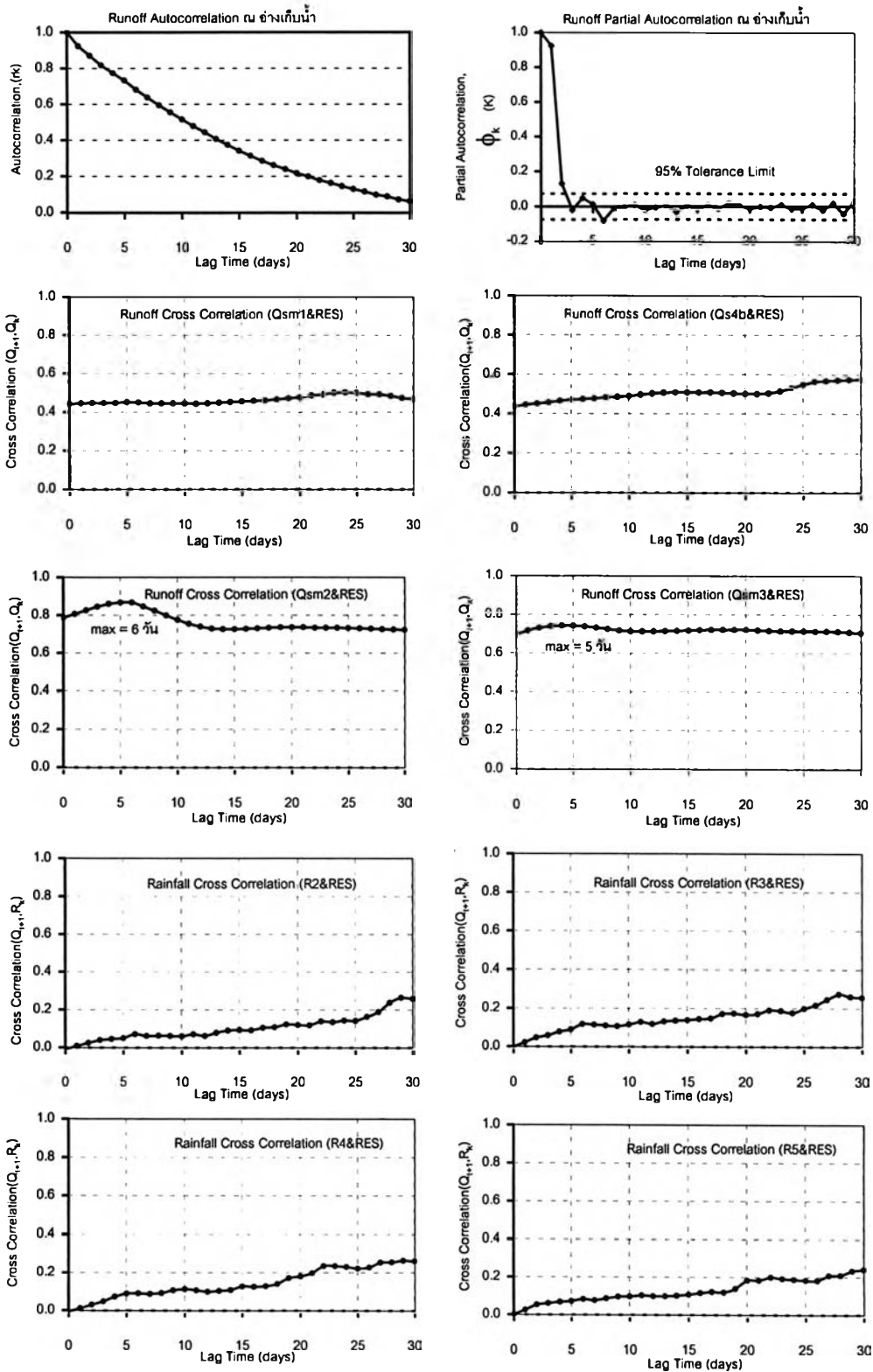
(3) การคัดเลือกชุดตัวแปรนำเข้า

การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าใช้วิธีเดียวกับแบบจำลองฤดูฝน โดยกราฟความสัมพันธ์ของการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในฤดูแล้ง แสดงดังรูป 5-26 สำหรับค่า T_c ไม่ได้นำมาพิจารณาเนื่องจากในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณฝนตกน้อยมากและหากมีฝนตกก็ดูซึมได้เร็วทำให้ผลของปริมาณฝนที่ตกบริเวณตอนบนของกลุ่มน้ำอาจไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ

(3.1) การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าชนิดเดียวกันคือ จำนวนวันย้อนหลังของอัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำ (Q_{res}) ใช้กราฟ Autocorrelation และกราฟ Partial autocorrelation เป็นแนวทางในการคัดเลือกพบว่า ค่าความสัมพันธ์กับอัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำ (Q_{res}) เป็นเช่นเดียวกับในฤดูฝน ดังนั้นอัตราการไหลย้อนหลังที่มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อ Q_{res}_{j+1} และนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง คือ ค่า Q_{res}_j และ Q_{res}_{j-1}

(3.2) การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าต่างชนิดกัน ได้แก่ จำนวนวันย้อนหลังของอัตราการไหลรายวันของสถานีวัดน้ำท่าตอนบน และฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวัน ใช้กราฟ Cross correlation เป็นแนวทางในการคัดเลือก

จำนวนวันย้อนหลังของอัตราการไหลของรายวันของสถานีวัดน้ำท่าตอนบนของพื้นที่รับน้ำ ได้แก่ สถานีวัดน้ำท่า SM1 S4B SM2 และ SM3 จากกราฟ Cross Correlation พบว่า สถานีวัดน้ำท่า SM3 และ SM2 มีจำนวนวันย้อนจากวันที่ $j+1$ ไปถึงวันที่มีความสัมพันธ์สูงสุด เท่ากับ 4 และ 5 วัน ตามลำดับ โดยค่าความสัมพันธ์สูงสุด เท่ากับ 0.74 และ 0.87 เมื่อพิจารณาสถานี S4B และสถานี SM1 พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเกือบคงที่ตลอดช่วงเวลา โดยสถานี S4B มีค่าความสัมพันธ์ไม่เกิน 0.6 และสถานี SM1 มีค่าความสัมพันธ์ไม่เกิน 0.5



รูป 5-22 กราฟความสัมพันธ์สำหรับการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าในการพยากรณ์ Q_{t+1} ณ ช่วงเก็บน้ำ ของแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง

จากความสัมพันธ์ที่ได้ทำให้คาดว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูแล้งเป็นข้อมูลจากสถานีวัดน้ำท่า SM3 และ SM2 ส่วนสถานีวัดน้ำท่า S4B และ SM1 น่าจะมีความสำคัญน้อยกว่า แต่ทั้งนี้ได้นำตัวแปร S4B และ SM1 ไปทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญด้วยและเนื่องจากค่าความสัมพันธ์ที่ได้จากกราฟมีค่าค่อนข้างคงที่จึงได้คัดเลือกตัวแปรที่มีวันย้อนหลังเท่ากับแบบจำลอง ANN ฤดูฝนซึ่งมีจำนวนวันย้อนหลังมากพอสมควร คือ 11 วัน ในการทดสอบ

- จำนวนวันย้อนหลังของปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันของกลุ่มน้ำย่อย 2 3 4 และ 5 ประกอบด้วย R2 R3 R4 และ R5 จากกราฟ Cross correlation พบว่า ค่าความสัมพันธ์ที่ได้มีค่าน้อยมากโดยเฉพาะในช่วงวันย้อนหลังแรกๆ มีค่าความสัมพันธ์ไม่เกิน 0.10 จากค่าความสัมพันธ์รวมทั้งสภาพของกลุ่มน้ำที่มีปริมาณฝนน้อยในฤดูแล้ง ดังนั้นการนำปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่รายวันใส่ในแบบจำลองจึงไม่น่าส่งผลต่อการพยากรณ์อัตราการไหลมากนัก ทั้งนี้ได้นำตัวแปร R5 และ R4 (ใช้ทดสอบแทนพื้นที่ตอนบน คือ R3 และ R2) นำไปทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญด้วย และเนื่องจากค่าความสัมพันธ์จากกราฟมีค่าค่อนข้างน้อยจึงได้คัดเลือกตัวแปรที่มีวันย้อนหลังเท่ากับแบบจำลอง ANN ฤดูฝนไปทดสอบ

(4) การทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาคัดเลือกตัวแปรนำเข้าแล้วได้ทดสอบเช่นเดียวกับแบบจำลอง ANN ฤดูฝน ใช้ข้อมูลเรียนรู้จำนวน 2,346 ชุด และข้อมูลทดสอบจำนวน 545 ชุด สำหรับโครงสร้างแบบจำลองได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 4.3.5 การทดสอบชุดตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญแบ่งเป็น 2 ชนิดตัวแปร คือ ตัวแปรอัตราการไหลและตัวแปรฝนเฉลี่ยพื้นที่

(4.1) การคัดเลือกตัวแปรอัตราการไหลจากสถานีวัดน้ำท่าแบ่งการทดสอบเป็น 5 ชุดตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Qres) อัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำท่า SM3 (Qsm3) SM2 (Qsm2) S4B (Qs4b) และ SM1 (Qsm1) การทดสอบชุดตัวแปรอัตราการไหล (ตาราง ง-13) ได้พิจารณาผลการเพิ่มตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองสรุปผลได้ดังนี้

- การทดสอบตัวแปร Q_{res} พบว่า การเพิ่มตัวแปรวันย้อนหลัง $j-1$ ในแบบจำลองที่มีตัวแปรวันย้อนหลัง j ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้น
- การทดสอบตัวแปร Q_{sm3} ได้ทดสอบตัวแปรวันย้อนหลังที่ j และเพิ่มจำนวนวันย้อนหลังทีละตัวจนถึงวันย้อนหลังที่มีค่าความสัมพันธ์สูงสุดคือ 4 วัน พบว่าค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้นเล็กน้อยทั้งข้อมูลเรียนรู้และทดสอบ และเมื่อทดสอบตัวแปรวันย้อนหลังที่ $j-5$ พบว่า ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้นในข้อมูลเรียนรู้ แต่ในข้อมูลทดสอบทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลง จึงคัดเลือกตัวแปร Q_{j-1} , Q_{j-2} , Q_{j-3} และ Q_{j-4} (Q_j อัตราการไหลวันที่ j) เพื่อใส่ในแบบจำลอง
- การทดสอบตัวแปร Q_{sm2} พบว่า ตัวแปรที่ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งสองชุดข้อมูลดีขึ้นประกอบด้วย Q_{j-3} , Q_{j-4} , Q_{j-5} สำหรับตัวแปร Q_j ทำให้ค่าประสิทธิภาพดีขึ้นเช่นกันแต่เนื่องจากระยะทางของสถานีวัดน้ำท่า SM2 อยู่ห่างจากอ่างเก็บน้ำมากจึงตัดตัวแปร Q_j ออก
- การทดสอบตัวแปร Q_{s4b} พบว่า ตัวแปรที่ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งสองชุดข้อมูลดีขึ้นประกอบด้วย Q_{j-7} , Q_{j-8} , Q_{j-9} , Q_{j-10}
- การทดสอบตัวแปร Q_{sm1} พบว่า ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีขึ้นในข้อมูลเรียนรู้ แต่ในข้อมูลทดสอบทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลงมาก จึงไม่นำข้อมูลของ Q_{sm1} มาใช้

(4.2) การคัดเลือกตัวแปรฝนเฉลี่ยพื้นที่ ทดสอบโดยใช้ตัวแปร Q_{sm3} เป็นตัวแปรหลัก และเพิ่มตัวแปรน้ำฝนเข้าไปทดสอบ การทดสอบชุดตัวแปรฝนเฉลี่ยพื้นที่ (ตารางง-7) ได้ทดสอบตัวแปร R5 และ R4 ผลการทดสอบตัวแปรพบว่า มีนัยสำคัญต่ออัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้อยมาก จึงพิจารณาตัดตัวแปรฝนในพื้นที่ออก ยกเว้นฝนเฉลี่ยพื้นที่ของกลุ่มน้ำย่อย (R5) เนื่องจากเป็นพื้นที่รับน้ำก่อนเข้าอ่างเก็บน้ำ จึงคำนึงถึงกรณีมีฝนตกในช่วงฤดูแล้งไว้ด้วย

(5) ผลของแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง

การพยากรณ์อัตราการไหลรายวันในฤดูแล้ง ได้นำตัวแปรที่คัดเลือกไว้มาใช้ในแบบจำลอง โดยได้เพิ่มชุดตัวแปรที่ละชุดเข้าไปในแบบจำลอง จากนั้นจึงคัดเลือกแบบจำลองที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีทั้งชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบรวมทั้งพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพ สรุปตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ($Q_{res,t+1}$) ดังตาราง 5-10

ข้อมูลนำเข้าและผลการพยากรณ์ของแบบจำลอง ANN ในฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน) ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน แสดงในตาราง 5-11 และกราฟเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้งในช่วงเรียนรู้ และช่วงทดสอบแสดงในรูป 5-23 และ 5-24 ตามลำดับ ผลการศึกษาเป็นดังนี้

(5.1) การพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 1 วัน ในฤดูแล้ง (ตาราง ง-15) พบว่า ตัวแปรประกอบด้วย ตัวแปรอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (RES) อัตราการไหลที่สถานี SM3 และปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อย 5 (R5) ส่วนตัวแปรอัตราการไหลที่สถานี SM2 และอัตราการไหลที่สถานี S4B เมื่อเพิ่มในแบบจำลองไม่ทำให้ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ดังนั้นชุดตัวแปรที่เหมาะสมในการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 1 วัน ในฤดูแล้ง จึงประกอบด้วยตัวแปรอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (RES) อัตราการไหลที่สถานี SM3 และฝนเฉลี่ยพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อย 5 (R5) จำนวน 10 ตัวแปร

(5.2) การพยากรณ์อัตราการไหลรายวันล่วงหน้า 2 ถึง 7 วัน ในฤดูแล้ง (ตาราง ง-16 ถึง ง-21) ได้มีการเพิ่มชุดตัวแปรเช่นเดียวกันและใช้ผลการพยากรณ์ล่วงหน้าจากแบบจำลองในวันก่อนหน้าเพิ่มเป็นตัวแปรนำเข้า ตัวแปรที่เหมาะสมในการพยากรณ์มีจำนวน 8 6 4 3 2 และ 2 ตัวแปรตามลำดับ

ตาราง 5-10 สรุปตัวแปรนำเข้าและออกของแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง

| พยากรณ์ ล่วงหน้า | 1 วัน | 2 วัน | 3 วัน | 4 วัน | 5 วัน | 6 วัน | 7 วัน |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ข้อมูลนำเข้า | | | | | | | |
| SM3 | $Q_j, Q_{j-1}, \dots, Q_{j-4}$ | $Q_j, Q_{j-1}, \dots, Q_{j-3}$ | Q_j, Q_{j-1}, Q_{j-2} | Q_j, Q_{j-1} | Q_j | - | - |
| RES | Q_j, Q_{j-1} | Q_j | - | - | - | - | - |
| R5 | R_j, R_{j-1}, R_{j-2} | R_j, R_{j-1} | R_j | - | - | - | - |
| FC RES | - | Q_{j+1} | Q_{j+1}, Q_{j+2} | Q_{j+2}, Q_{j+3} | Q_{j+3}, Q_{j+4} | Q_{j+4}, Q_{j+5} | Q_{j+5}, Q_{j+6} |
| รวม | 10 | 8 | 6 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| ข้อมูลออก | | | | | | | |
| RES | Q_{j+1} | Q_{j+2} | Q_{j+3} | Q_{j+4} | Q_{j+5} | Q_{j+6} | Q_{j+7} |
| รวม | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| โครงสร้างแบบจำลอง | | | | | | | |
| | 10-5-1 | 8-4-1 | 6-3-1 | 4-2-1 | 3-3-1 | 2-2-1 | 2-2-1 |

หมายเหตุ

| | | | |
|--------|---|-------|------------------------------------|
| SM1 | สถานีวัดน้ำท่า SM1 | S4B | สถานีวัดน้ำท่า S4B |
| SM3 | สถานีวัดน้ำท่า SM3 | RES | อ่างเก็บน้ำ |
| R2 | ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2 | R3 | ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 3 |
| R4 | ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 4 | R5 | ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 5 |
| FC RES | ผลการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลอง ANN | | |
| Q_j | อัตราการไหลวันที่ j | R_j | ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่วันที่ j |

โครงสร้างแบบจำลอง = X - Y - Z

เมื่อ X = จำนวนข้อมูลนำเข้า

Y = จำนวนหน่วยของชั้นซ่อน (1 หรือ 2 ชั้น)

Z = จำนวนข้อมูลออก

ตาราง 5-11 ผลการพยากรณ์จากแบบจำลอง ANN ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ฤดูแล้ง

| ค่าสถิติ | ค่าเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที) | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ลบ.ม./วินาที) | ค่าสูงสุด (ลบ.ม./วินาที) | ค่าต่ำสุด (ลบ.ม./วินาที) | จำนวนข้อมูล |
|----------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| ข้อมูลเรียนรู้ | 17.15 | 28.07 | 272.25 | 0.00 | 2346.00 |
| ข้อมูลทดสอบ | 15.57 | 19.67 | 163.90 | 0.99 | 545.00 |
| ข้อมูลรับรองผล | 14.53 | 39.35 | 241.20 | 0.00 | 363.00 |

| พยากรณ์ ล่วงหน้า (วัน) | โครงสร้าง แบบจำลอง | ข้อมูลเรียนรู้ | | | | ข้อมูลทดสอบ | | | | ข้อมูลรับรองผล | | | |
|------------------------------|-----------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------------------|-------------|---------------|--------------|--------------------------------|----------------|---------------|--------------|--------------------------------|
| | | EI (%) | RMSE (cms) | MAD (cms) | Max.Absolute Error (cms) | EI (%) | RMSE (cms) | MAD (cms) | Max.Absolute Error (cms) | EI (%) | RMSE (cms) | MAD (cms) | Max.Absolute Error (cms) |
| 1 | 10-5-1 | 95.84 | 5.72 | 2.26 | 76.97 | 99.06 | 1.91 | 1.13 | 15.47 | 92.77 | 10.57 | 5.62 | 51.49 |
| 2 | 8-4-1 | 95.22 | 5.95 | 2.46 | 76.11 | 98.58 | 2.17 | 1.33 | 13.51 | 92.66 | 10.16 | 5.78 | 52.82 |
| 3 | 6-3-1 | 93.60 | 6.70 | 2.89 | 114.76 | 97.72 | 2.54 | 1.62 | 17.09 | 91.40 | 10.64 | 6.37 | 64.60 |
| 4 | 4-2-1 | 91.45 | 7.60 | 3.00 | 168.38 | 97.13 | 2.65 | 1.63 | 19.47 | 89.35 | 11.39 | 6.53 | 63.25 |
| 5 | 3-3-1 | 88.23 | 8.75 | 3.35 | 191.47 | 96.08 | 2.87 | 1.75 | 24.96 | 89.10 | 10.81 | 7.24 | 52.86 |
| 6 | 2-2-1 | 84.98 | 9.63 | 3.69 | 200.12 | 95.02 | 3.02 | 1.87 | 25.15 | 85.91 | 11.83 | 7.37 | 72.18 |
| 7 | 2-2-1 | 82.06 | 10.17 | 3.94 | 205.13 | 94.30 | 3.03 | 1.92 | 24.51 | 81.16 | 12.95 | 8.04 | 57.67 |

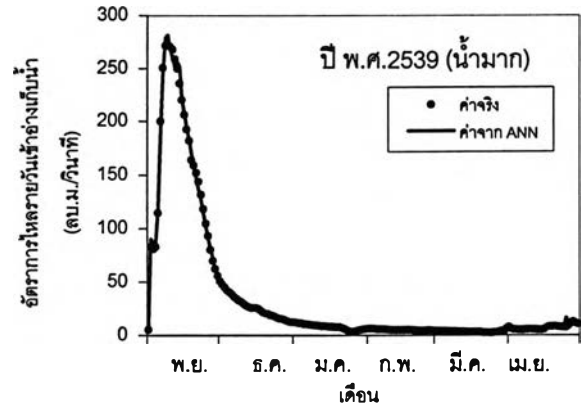
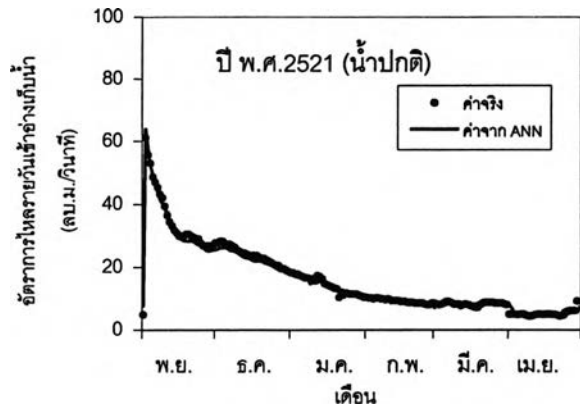
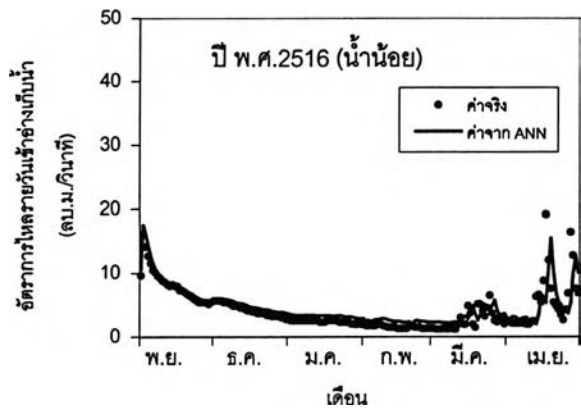
หมายเหตุ

$$EI \text{ คือ ดรรชนีวัดประสิทธิภาพ} = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - Q)^2 - \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2}$$

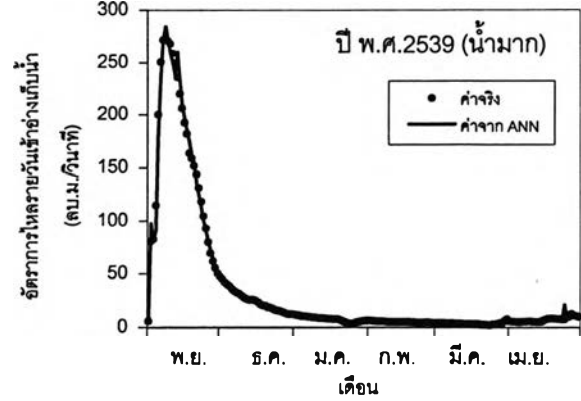
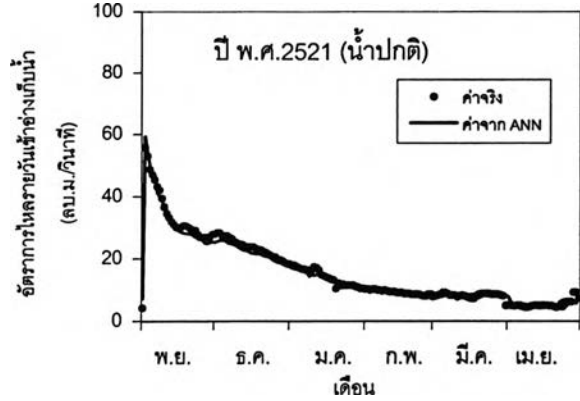
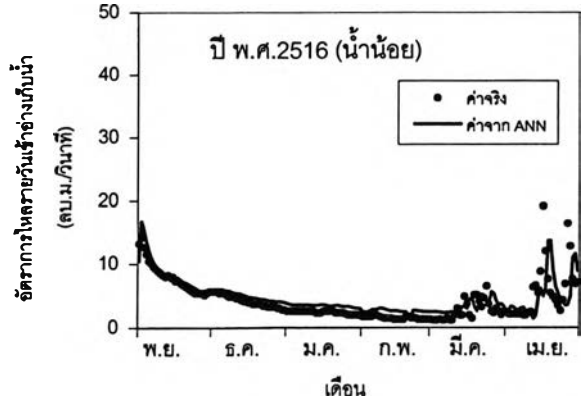
$$RMSE \text{ คือ ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2}$$

$$MAD \text{ คือ ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - F_i|$$

$$\text{Max.Absolute Error คือ Maximum Absolute Error} = \max |Q_i - F_i|$$

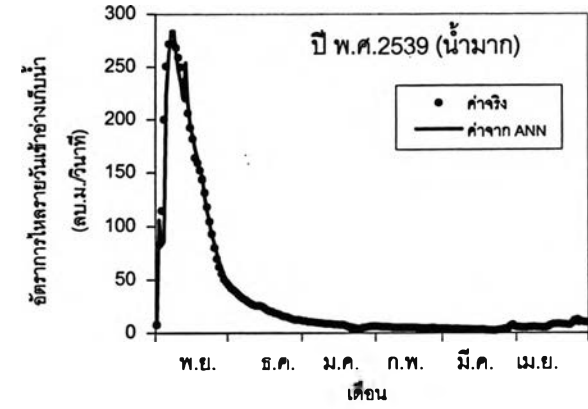
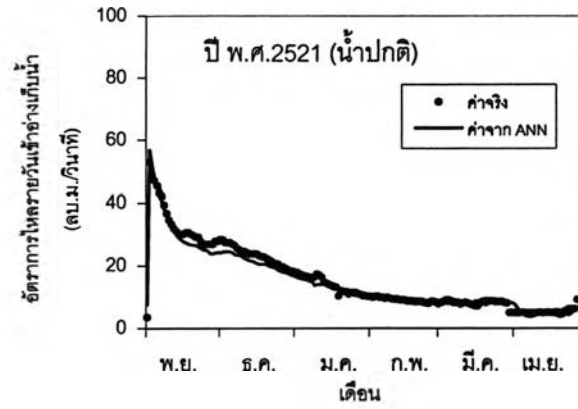
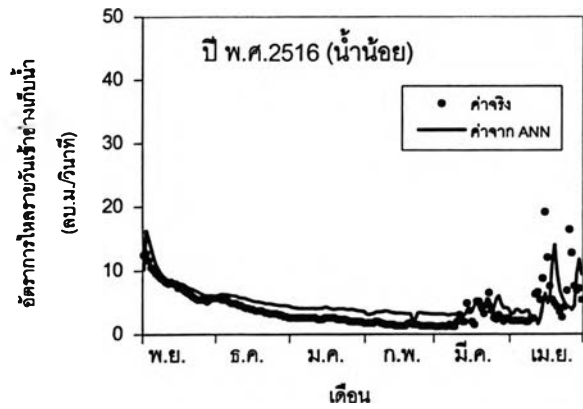


(ก) การพยากรณ์ล่องหน้า 1 วัน

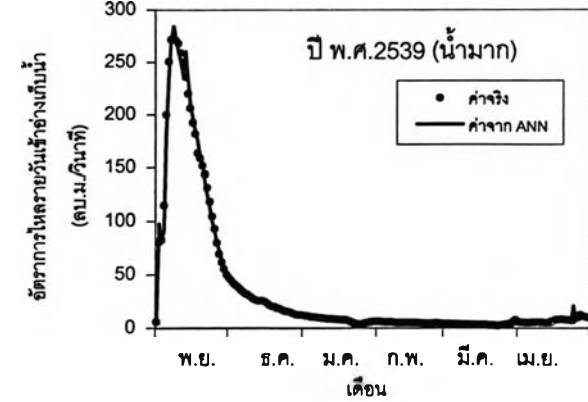
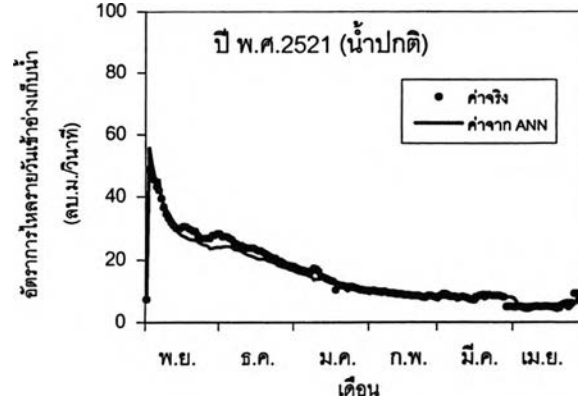
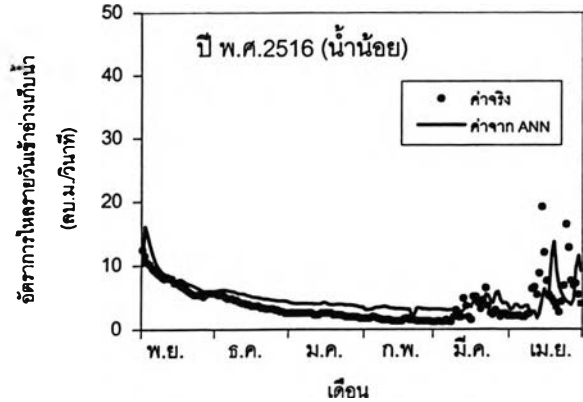


(ข) การพยากรณ์ล่องหน้า 2 วัน

รูป 5-23 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการใช้ทรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงเรียนรู้

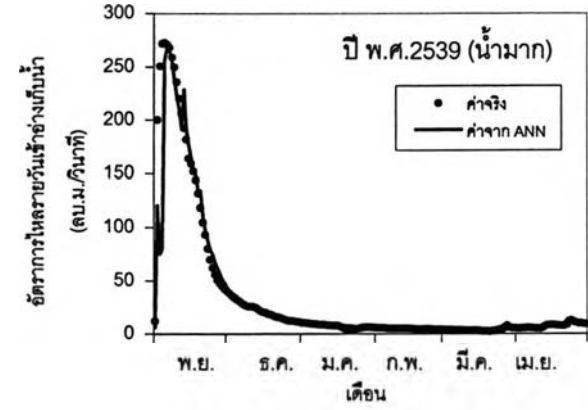
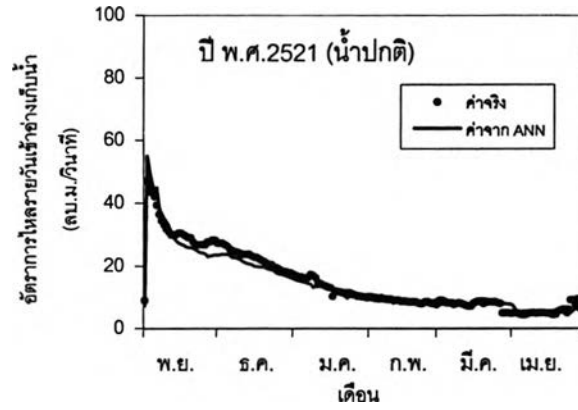
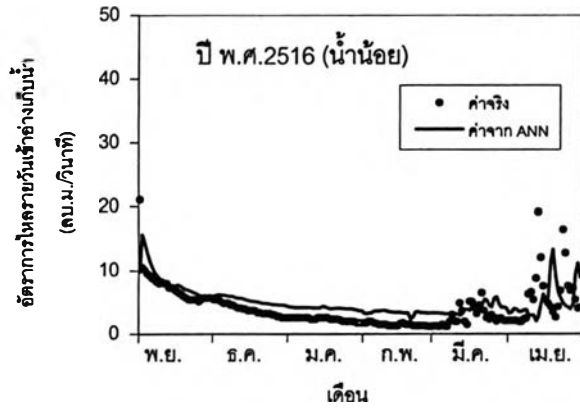


(ค) การพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน

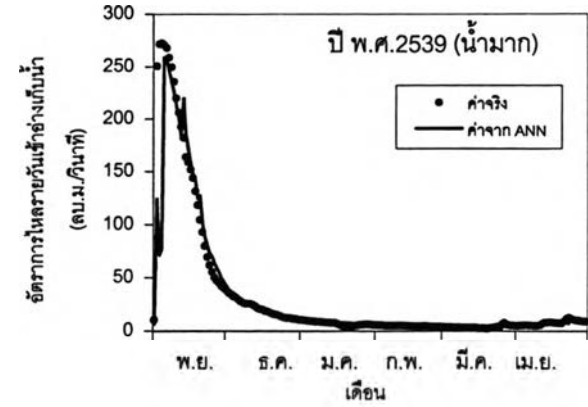
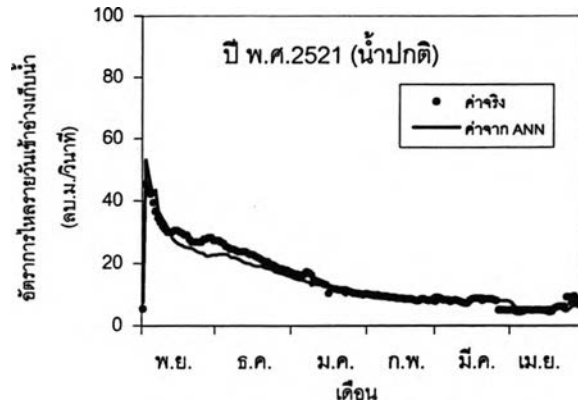
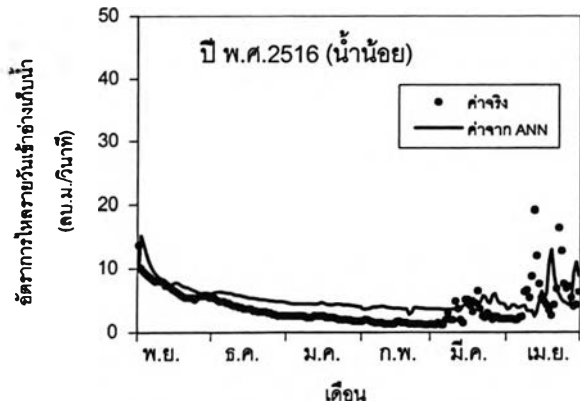


(ง) การพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน

รูป 5-23 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงเรียนรู้ (ต่อ)

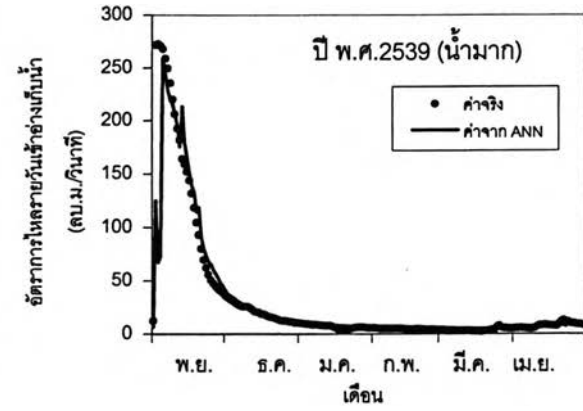
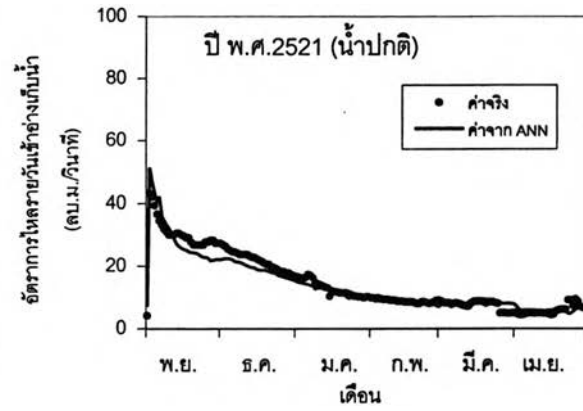
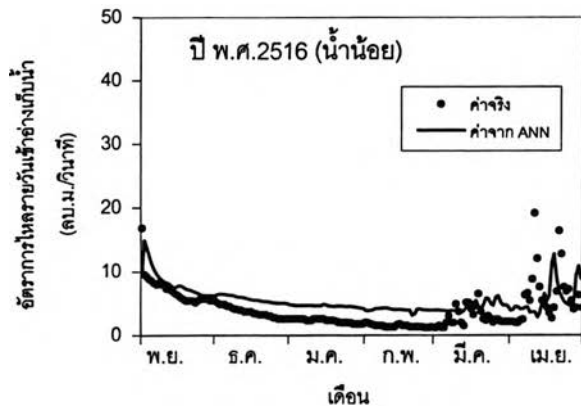


(จ) การพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน



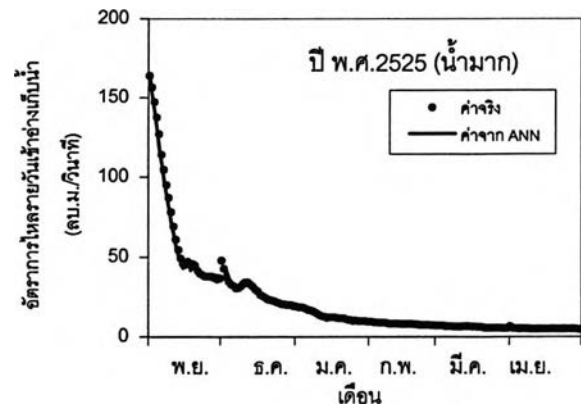
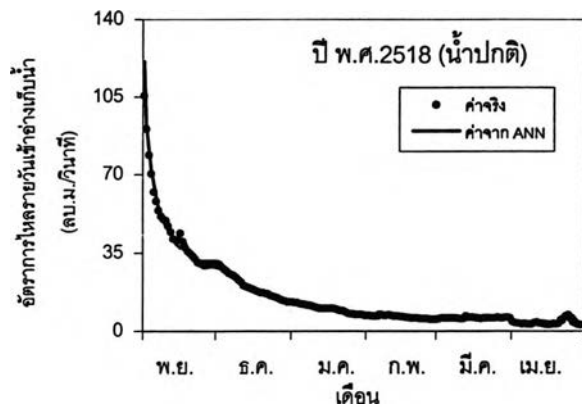
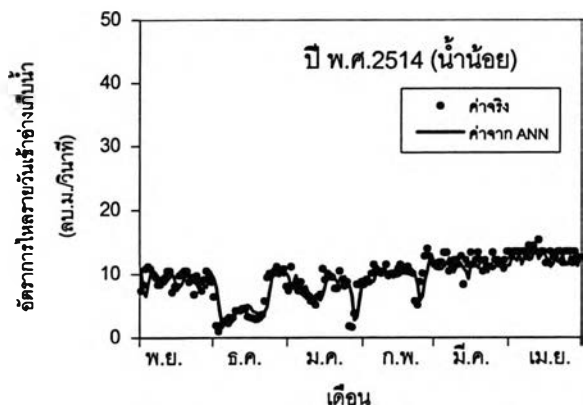
(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน

รูป 5-23 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงเรียนรู้ (ต่อ)

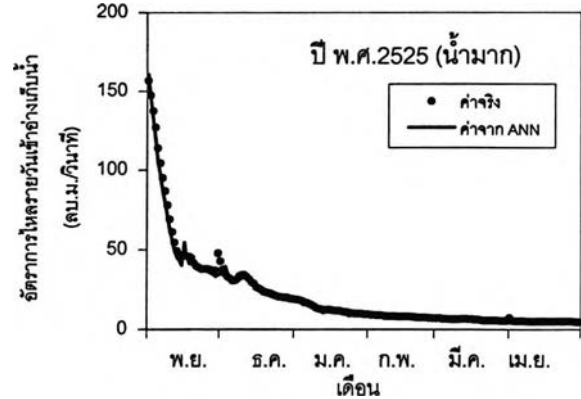
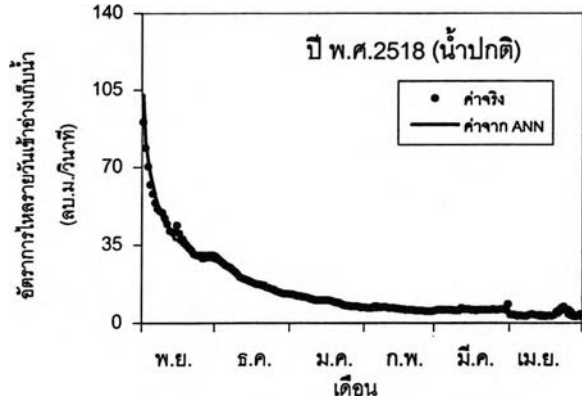
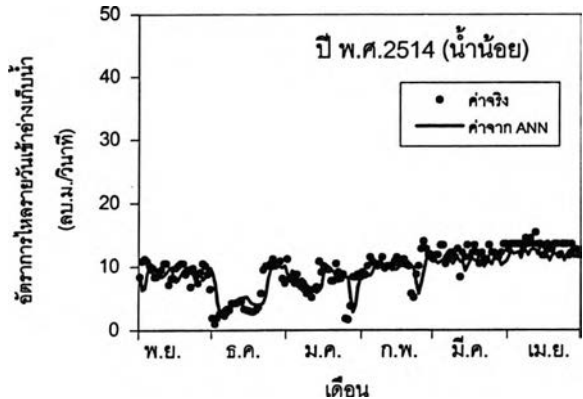


(ช) การพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน

รูป 5-23 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงเรียนรู้ (ต่อ)

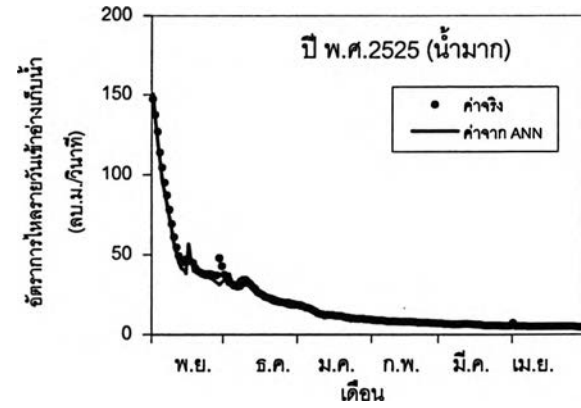
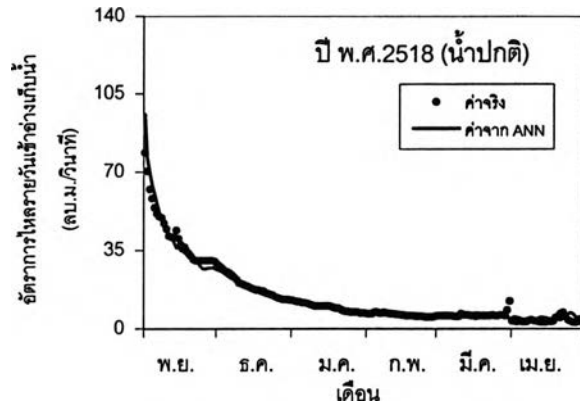
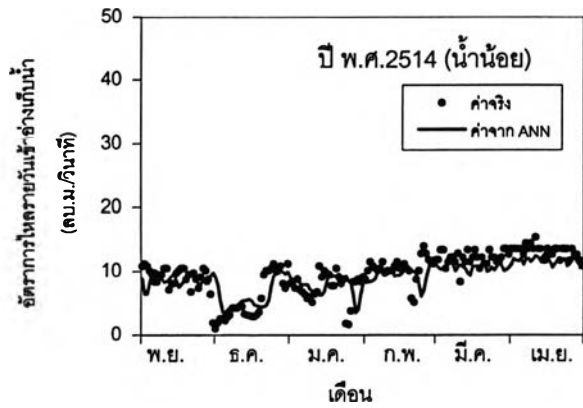


(ก) การพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน

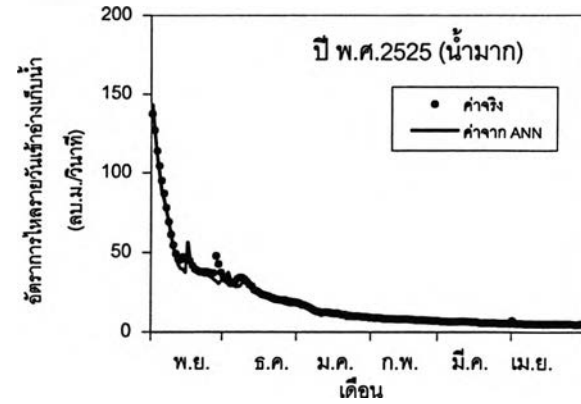
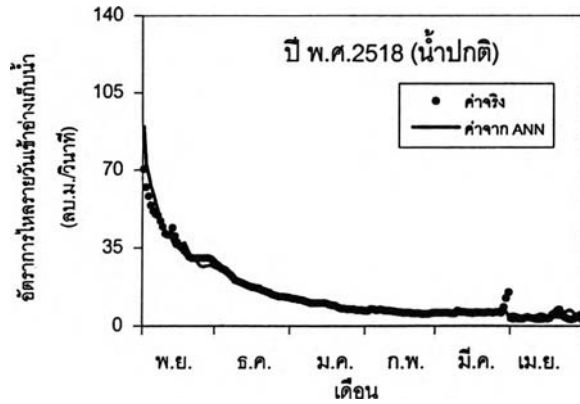
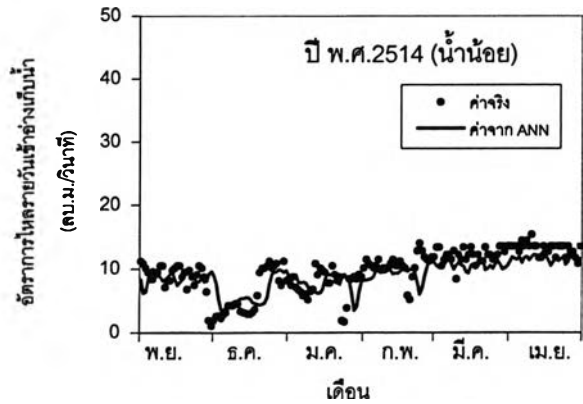


(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน

รูป 5-24 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงทดสอบ

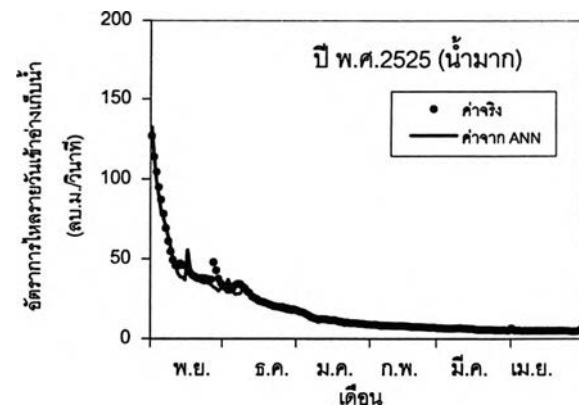
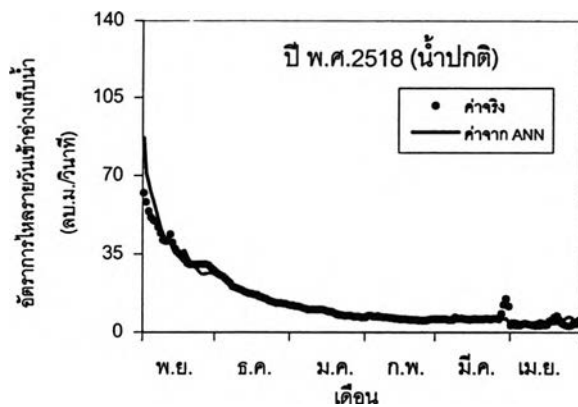
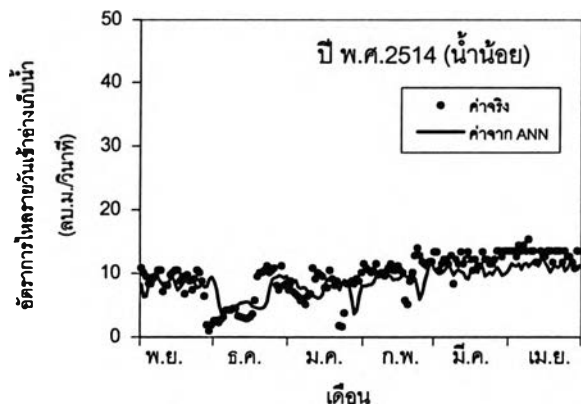


(ค) การพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน

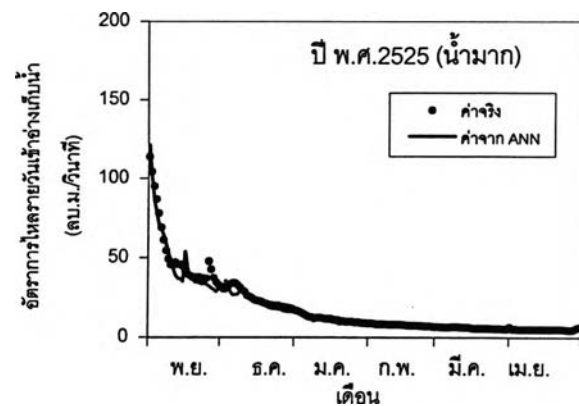
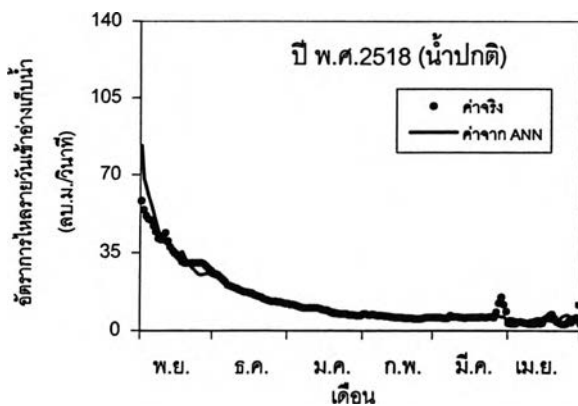
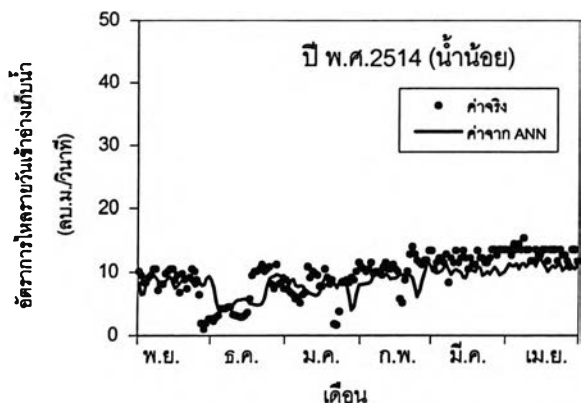


(ง) การพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน

รูป 5-24 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงทดสอบ (ต่อ)

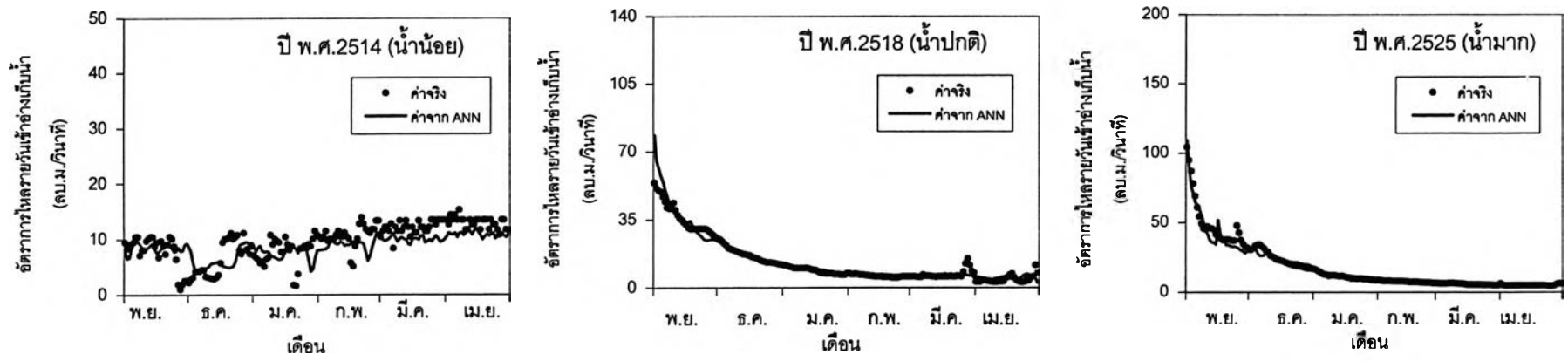


(จ) การพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน



(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน

รูป 5-24 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงทดสอบ (ต่อ)



(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน

รูป 5-24 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงทดสอบ (ต่อ)

(5.3) ผลการเรียนรู้พบว่า ค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ 1 ถึง 7 วันอยู่ในช่วง 82.06-95.84% RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 5.72-10.17 ลบ.ม./วินาที MAD มีค่าอยู่ระหว่าง 2.26-3.94 ลบ.ม./วินาที และ ค่า Max. Absolute Error มีค่าอยู่ระหว่าง 76.97-205.13 ลบ.ม./วินาที โดยแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีที่สุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้ายาวนานขึ้นค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองลดต่ำลง และค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพของทั้ง 7 แบบจำลองให้ค่าสูงกว่า 80 %

(5.4) ผลการทดสอบพบว่า ค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ 1 ถึง 7 วันอยู่ในช่วง 94.30-99.06% RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 1.91-3.03 ลบ.ม./วินาที MAD มีค่าอยู่ระหว่าง 1.13-1.92 ลบ.ม./วินาที และ ค่า Max. Absolute Error มีค่าอยู่ระหว่าง 15.47-24.51 ลบ.ม./วินาที โดยแบบจำลอง ANN ล่วงหน้า 1 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองดีที่สุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้ายาวนานขึ้นค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองลดต่ำลง และค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น โดยค่าประสิทธิภาพของทั้ง 7 แบบจำลอง ให้ค่าสูงกว่า 90 %

เมื่อพิจารณารูปภาพเปรียบเทียบการพยากรณ์โดยแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงในฤดูแล้งพบว่า ข้อมูลเรียนรู้มีความคลาดเคลื่อนของผลการพยากรณ์มากในช่วงปีสุดท้าย (พ.ศ.2543) สาเหตุเนื่องมาจากข้อมูลอัตราการไหล ปี 2543 (หน้าแล้ง) เป็นข้อมูลอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจริง (คำนวณสมการสมดุลน้ำของโครงการ) ทำให้ข้อมูลบางช่วงคงที่บางช่วงเป็นศูนย์ จึงมีความแตกต่างจากข้อมูลปีอื่นๆ ซึ่งได้จากการสังเคราะห์ข้อมูลของสถานีวัดน้ำท่าใกล้เคียงซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลแม้มีปริมาณน้ำน้อย สำหรับข้อมูลทดสอบสามารถใช้ได้ดีทั้งในข้อมูลปีแล้งน้อย แล้งปกติ และแล้งมาก

(6) การรับรองผลของแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง

แบบจำลองที่คัดเลือกแล้วได้นำมาทดสอบกับข้อมูลรับรองผลที่เตรียมไว้ได้แก่ปี พ.ศ.2541 และ 2542 มีค่าอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของข้อมูลเรียนรู้ คือ 0.00-272.25 ลบ.ม./วินาที ผลการรับรองผลแสดงดังตาราง 5-11 และกราฟเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงรับรองผลแสดงดังรูป 5-25

ผลการรับรองผลพบว่า ค่าประสิทธิภาพของการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วันอยู่ในช่วง 81.16-92.77% RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 10.57-12.95 ลบ.ม./วินาที MAD มีค่าอยู่ระหว่าง 5.62-8.04 ลบ.ม./วินาที และ ค่า Max. Absolute Error มีค่าอยู่ระหว่าง 51.49-57.67 ลบ.ม./วินาที โดยแบบจำลอง ANN ล่วงหน้า 1 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีที่สุดและมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้ายาวนานขึ้นค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองลดลง และมีค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น โดยแบบจำลองทั้ง 7 วัน ให้ค่าประสิทธิภาพสูงกว่า 80% เมื่อพิจารณากราฟเปรียบเทียบการพยากรณ์โดยแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงในฤดูแล้ง พบว่า ข้อมูลรับรองผลในปี พ.ศ.2542 เกิดเหตุการณ์เดียวกับข้อมูลเรียนรู้ในช่วงปีสุดท้าย (พ.ศ.2543) โดยเกิดจากสาเหตุเดียวกันดังได้กล่าวไว้แล้ว

(7) สรุปผลการพัฒนาแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง

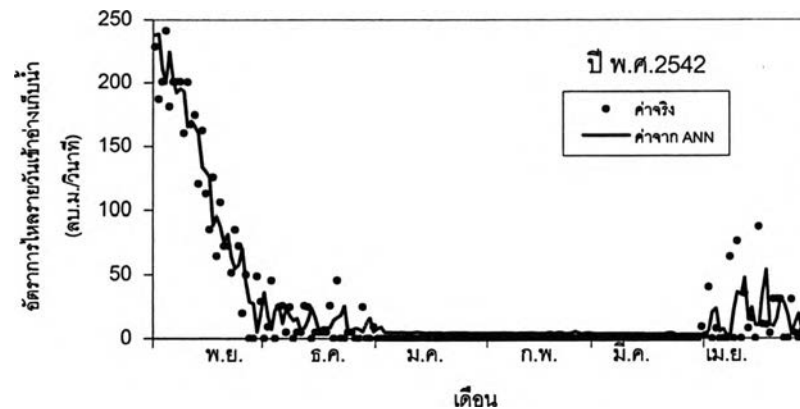
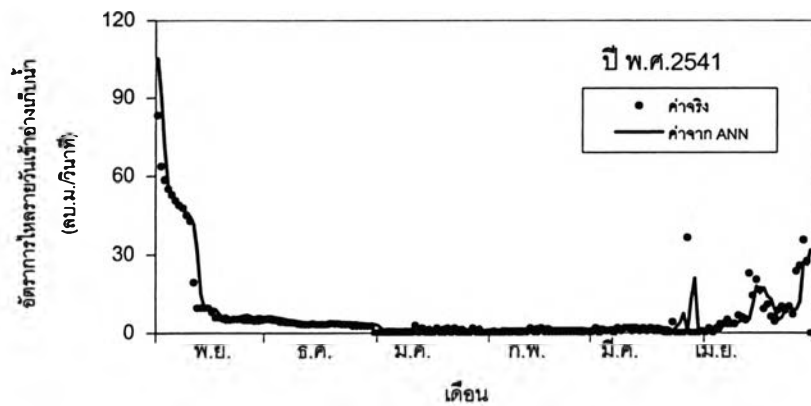
ตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน ทั้ง 7 แบบจำลองประกอบด้วย อัตราการไหลที่สถานี SM3 อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (RES) ปริมาณฝนเฉลี่ยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย R5 และผลจากแบบจำลอง ANN ในวันก่อนหน้า (FC RES) โดยมีโครงสร้างของแบบจำลองดังนี้

แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน โครงสร้าง คือ 10 - 5 - 1

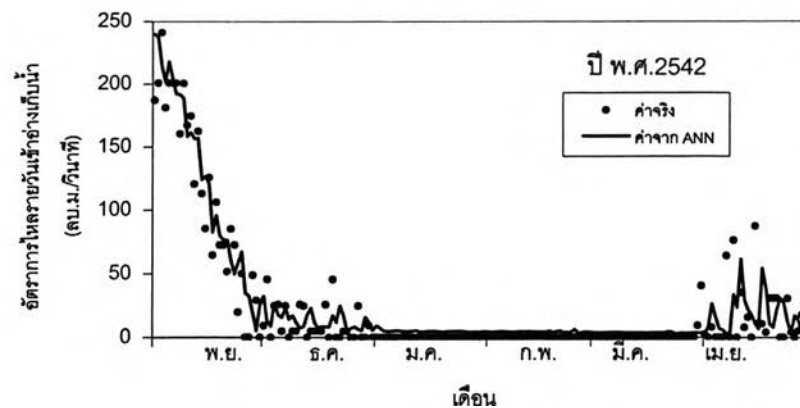
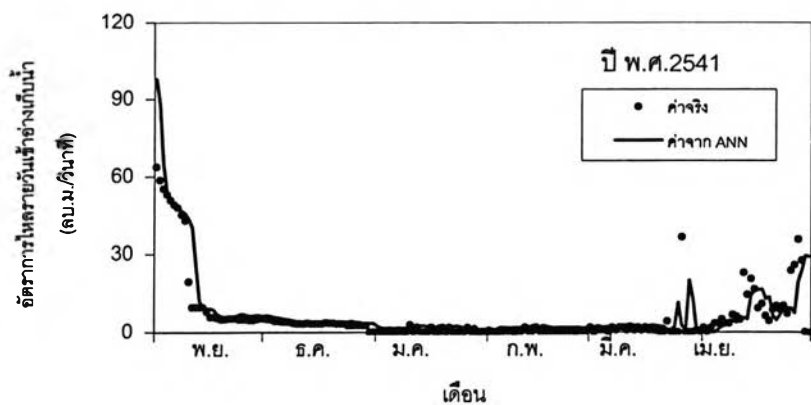
แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน โครงสร้าง คือ 8 - 4 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน โครงสร้าง คือ 6 - 3 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน โครงสร้าง คือ 4 - 2 - 1

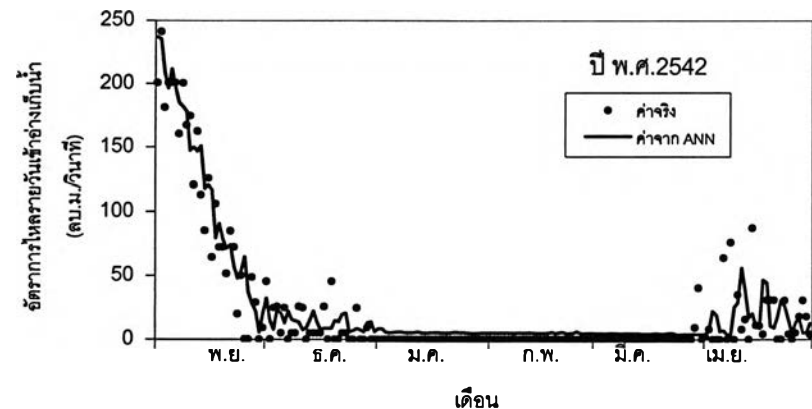
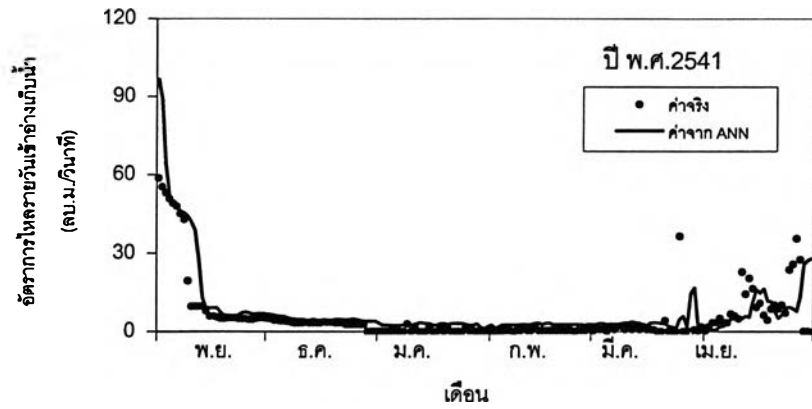


(ก) การพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน

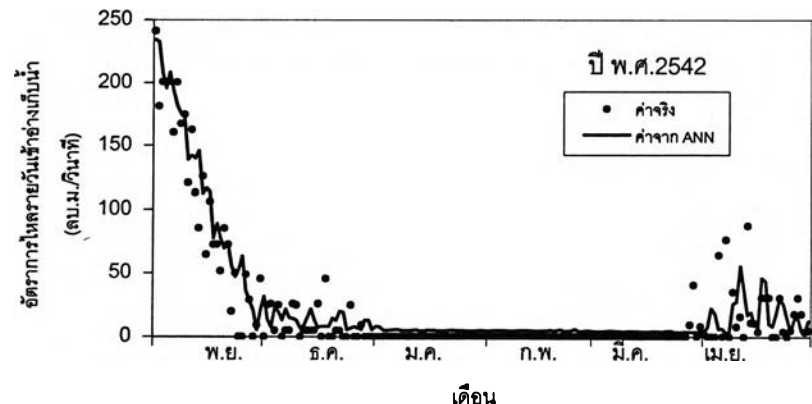
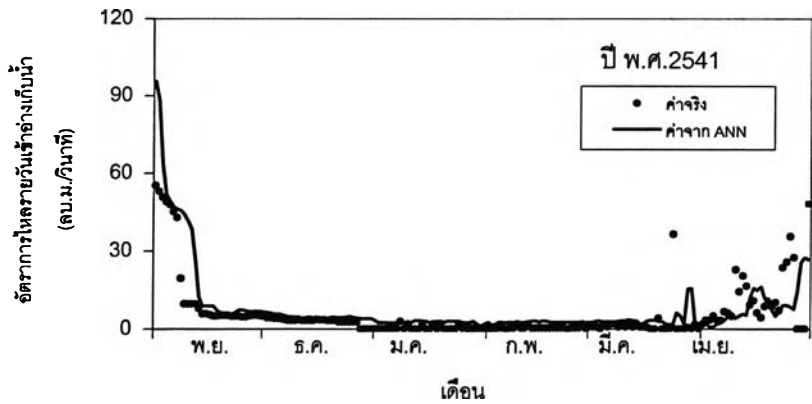


(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 2 วัน

รูป 5-25 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงรับรองผล

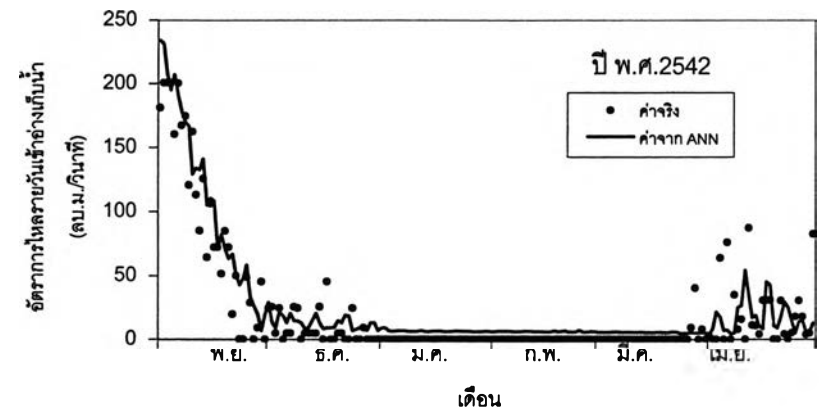
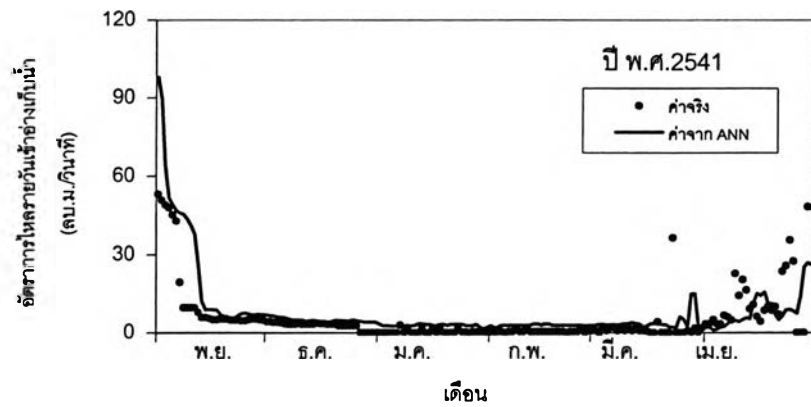


(ค) การพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน

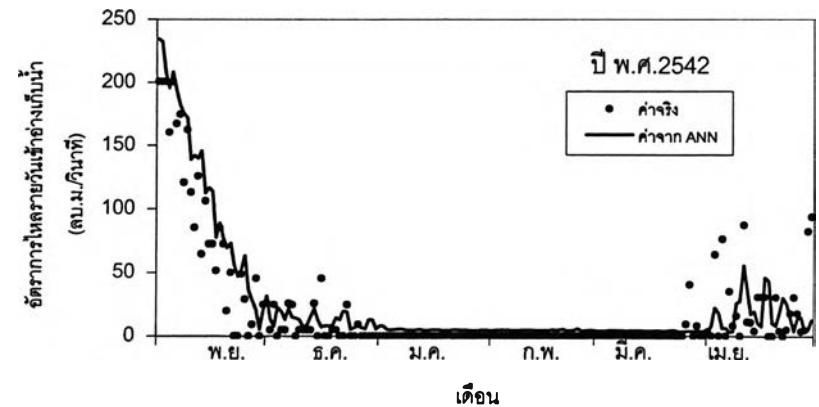
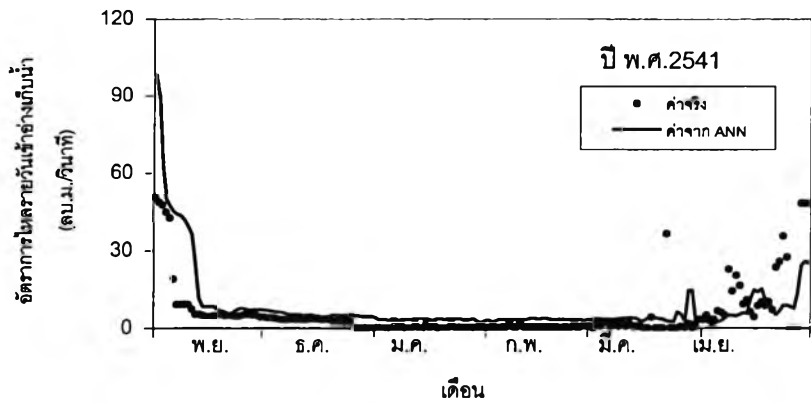


(ง) การพยากรณ์ล่วงหน้า 4 วัน

รูป 5-25 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงรับรองผล (ต่อ)

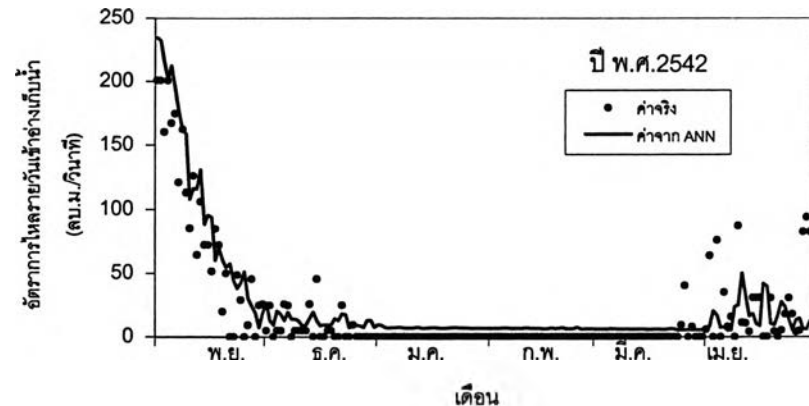
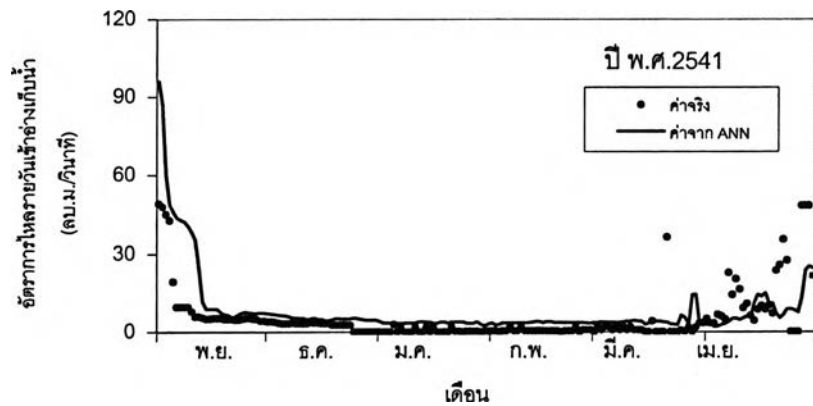


(จ) การพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน



(ข) การพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน

รูป 5-25 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงรับรองผล (ต่อ)



(ช) การพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน

รูป 5-25 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์อัตราการไหลรายวันเข้าอ่างเก็บน้ำระหว่างแบบจำลอง ANN กับข้อมูลจริงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) ในช่วงรับรองผล (ต่อ)

แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 5 วัน โครงสร้าง คือ 3 - 3 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 6 วัน โครงสร้าง คือ 2 - 2 - 1

แบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน โครงสร้าง คือ 2 - 2 - 1

ผลการพัฒนาแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง ทั้ง 7 แบบจำลอง พบว่า ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลที่ได้ในข้อมูลเรียนรู้มีค่าสูงกว่า 80% ค่าประสิทธิภาพของข้อมูลทดสอบ มีค่าสูงกว่า 90% และค่าประสิทธิภาพของข้อมูลรับรองผลมีค่าสูงกว่า 80% ซึ่งค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน เนื่องจากความแปรปรวนของข้อมูลมีน้อยกว่าฤดูฝน แต่อาจมีปัญหาบ้างในกรณีที่อัตราการไหลมีค่าต่ำมาก ๆ เช่นเท่ากับศูนย์ และเมื่อค่าประสิทธิภาพของข้อมูลเรียนรู้ ทดสอบ และรับรองผล มีค่าสูงกว่า 80% จึงเลือกแบบจำลองทั้ง 7 แบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับการบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงวิกฤต ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 5.4

5.3.4 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าสะสมจากแบบจำลอง ANN กับปริมาณน้ำท่าสะสมจริง

จากผลการพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำได้คำนวณปริมาณน้ำท่าสะสมที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแบบจำลอง ANN เทียบกับปริมาณน้ำท่าจริงสะสมในช่วงเวลาที่พยากรณ์

ผลการคำนวณจากแบบจำลอง ANN ฤดูฝน (แสดงในตารางที่ 5-12) สรุปได้ดังนี้

(1) ข้อมูลเรียนรู้จำนวน 13 ปี พบว่า ความแตกต่างระหว่างผลจากแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน กับค่าจริงมีค่าน้อยมาก คือไม่ถึง 1% โดยผลรวมของปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน มีค่าเท่ากับ 28,114 และ 28,117 ล้าน ลบ.ม.

(2) ข้อมูลทดสอบจำนวน 3 ปี พบว่า ความแตกต่างระหว่างผลจากแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน กับค่าจริงมีค่าอยู่ระหว่าง -0.3 ถึง 10.4% โดยผลรวมของปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน มีค่าเท่ากับ 6,315 และ 6,970 ล้าน ลบ.ม.

(3) ข้อมูลรับรองผลจำนวน 2 ปี พบว่า ความแตกต่างระหว่างผลจากแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน กับค่าจริงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง -7.4% โดยผลรวมของปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ANN ฤดูฝนพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน มีค่าเท่ากับ 3,470 และ 3,301 ล้าน ลบ.ม.

ผลการคำนวณจากแบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง (แสดงในตาราง 5-13) สรุปได้ดังนี้

(1) ข้อมูลเรียนรู้จำนวน 13 ปี พบว่า ความแตกต่างระหว่างผลจากแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน กับค่าจริงมีค่าไม่ถึง 1% โดยผลรวมของปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน มีค่าเท่ากับ 3,007 และ 3,021 ล้าน ลบ.ม.

(2) ข้อมูลทดสอบจำนวน 3 ปี พบว่า ความแตกต่างระหว่างผลจากแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน กับค่าจริงมีค่าอยู่ระหว่าง -1.9 ถึง -2.7% โดยผลรวมของปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน มีค่าเท่ากับ 631 และ 614 ล้าน ลบ.ม.

(3) ข้อมูลรับรองผลจำนวน 2 ปี พบว่า ความแตกต่างของผลจากแบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน กับค่าจริงมีค่าอยู่ระหว่าง 16.3 ถึง 48.9% โดยผลรวมของปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ANN ฤดูแล้งพยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน มีค่าเท่ากับ 336 และ 501 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งสาเหตุที่เกิดความแตกต่างมากดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า

- ข้อมูลอัตราการไหล ปี พ.ศ.2542 (ฤดูแล้ง) เป็นข้อมูลอัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจริง (ได้จากการคำนวณสมการสมดุลน้ำของโครงการ) ทำให้อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในฤดูแล้งส่วนใหญ่มีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ข้อมูลที่นำมาเรียนรู้และทดสอบได้มาจากการสังเคราะห์จากสถานีวัดน้ำท่าใกล้เคียงซึ่งแม้ปริมาณน้ำมีค่าน้อยมากก็ยังสามารถบันทึกได้

- แบบจำลองคณิตศาสตร์ไม่สามารถให้ค่าออกมาเป็นศูนย์ได้ ซึ่งแบบจำลองให้ค่าออกมาเป็นตัวเลขที่มากกว่าศูนย์ทำให้ค่าปริมาณน้ำท่าจากการคำนวณสูงกว่าค่าจริงดังกล่าว

ตาราง 5-12 ปริมาณน้ำท่าสะสมจากการคำนวณโดยแบบจำลอง ANN เทียบกับปริมาณน้ำท่าจริงสะสม ในฤดูฝน

| พายุกรณ์ ล่วงหน้า(วัน) | ปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลเรียนรู้(ข้อมูล 13 ปี) | | | ปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลทดสอบ(ข้อมูล 3 ปี) | | | ปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลรับรองผล(ข้อมูล 2 ปี) | | |
|---------------------------|---|---------------------------|-----------|---|---------------------------|-----------|--|---------------------------|-----------|
| | ข้อมูลจริง (ล้าน ลบ.ม.) | ผลจาก ANN (ล้าน ลบ.ม.) | ผลต่าง(%) | ข้อมูลจริง (ล้าน ลบ.ม.) | ผลจาก ANN (ล้าน ลบ.ม.) | ผลต่าง(%) | ข้อมูลจริง (ล้าน ลบ.ม.) | ผลจาก ANN (ล้าน ลบ.ม.) | ผลต่าง(%) |
| 1 | 27,619.25 | 27,614.76 | 0.0 | 6,252.75 | 6,230.90 | -0.3 | 3,347.48 | 3,362.03 | 0.4 |
| 2 | 27,720.28 | 27,715.45 | 0.0 | 6,268.55 | 6,300.27 | 0.5 | 3,374.06 | 3,318.24 | -1.7 |
| 3 | 27,813.42 | 27,845.26 | 0.1 | 6,281.95 | 6,447.38 | 2.6 | 3,395.39 | 3,330.60 | -1.9 |
| 4 | 27,887.70 | 27,912.01 | 0.1 | 6,292.83 | 6,469.38 | 2.8 | 3,413.31 | 3,238.18 | -5.1 |
| 5 | 27,959.56 | 27,989.81 | 0.1 | 6,301.14 | 6,532.94 | 3.7 | 3,434.49 | 3,181.97 | -7.4 |
| 6 | 28,036.58 | 28,099.66 | 0.2 | 6,307.64 | 6,799.55 | 7.8 | 3,450.04 | 3,347.66 | -3.0 |
| 7 | 28,114.09 | 28,116.88 | 0.0 | 6,315.49 | 6,969.67 | 10.4 | 3,469.55 | 3,301.22 | -4.9 |

ตาราง 5-13 ผลรวมของปริมาณน้ำท่าสะสมจากการคำนวณโดยแบบจำลอง ANN เทียบกับปริมาณน้ำท่าจริงสะสม ในฤดูแล้ง

| พายุกรณ์ ล่วงหน้า(วัน) | ปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลเรียนรู้(ข้อมูล 13 ปี) | | | ปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลทดสอบ(ข้อมูล 3 ปี) | | | ปริมาณน้ำท่าสะสมของข้อมูลรับรองผล(ข้อมูล 2 ปี) | | |
|---------------------------|---|---------------------------|-----------|---|---------------------------|-----------|--|---------------------------|-----------|
| | ข้อมูลจริง (ล้าน ลบ.ม.) | ผลจาก ANN (ล้าน ลบ.ม.) | ผลต่าง(%) | ข้อมูลจริง (ล้าน ลบ.ม.) | ผลจาก ANN (ล้าน ลบ.ม.) | ผลต่าง(%) | ข้อมูลจริง (ล้าน ลบ.ม.) | ผลจาก ANN (ล้าน ลบ.ม.) | ผลต่าง(%) |
| 1 | 3,459.67 | 3,464.53 | 0.1 | 733.22 | 718.97 | -1.9 | 455.79 | 530.27 | 16.3 |
| 2 | 3,361.71 | 3,365.41 | 0.1 | 711.74 | 694.41 | -2.4 | 432.50 | 520.38 | 20.3 |
| 3 | 3,276.00 | 3,290.31 | 0.4 | 692.19 | 673.54 | -2.7 | 410.98 | 517.93 | 26.0 |
| 4 | 3,209.01 | 3,219.90 | 0.3 | 674.91 | 659.24 | -2.3 | 393.49 | 504.65 | 28.3 |
| 5 | 3,146.26 | 3,157.13 | 0.3 | 658.81 | 642.66 | -2.5 | 372.06 | 509.32 | 36.9 |
| 6 | 3,078.17 | 3,091.63 | 0.4 | 644.40 | 627.51 | -2.6 | 356.22 | 506.83 | 42.3 |
| 7 | 3,007.11 | 3,020.86 | 0.5 | 631.02 | 614.24 | -2.7 | 336.20 | 500.68 | 48.9 |

5.4 การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ

การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำได้นำผลการพัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำกับแบบจำลอง ANN สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันมาใช้ร่วมกัน ผลการพัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำและผลการพัฒนาแบบจำลอง ANN สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันเป็นดังนี้

การพัฒนาเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ แยกเป็น 2 กรณี ได้แก่

- สภาพการใช้น้ำปัจจุบันใช้เกณฑ์ RCP0.04M(P) ที่พัฒนาขึ้น และเกณฑ์ RC46
- สภาพการใช้น้ำอนาคตใช้เกณฑ์ RCP0.03M(F) ที่พัฒนาขึ้น และเกณฑ์ RC42

การพัฒนาแบบจำลอง ANN สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำรายวันประกอบด้วย

- แบบจำลอง ANN ฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม)
- แบบจำลอง ANN ฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน)

การศึกษาได้คัดเลือกเหตุการณ์วิกฤตโดยแบบจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำรายวันด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา 18 ปี คือ ปี พ.ศ.2513-2518 2521-2526 และ 2538-2543 จากนั้นจึงประยุกต์แบบจำลอง ANN สำหรับพยากรณ์อัตราการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำกับการบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาดังกล่าว

5.4.1 ผลการคัดเลือกเหตุการณ์วิกฤตด้วยแบบจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำรายวัน

(1) สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ RC46 และ RCP0.04M(P) ได้ผลดังนี้

(1.1) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC46 เกิดสภาวะการไหลล้นอ่าง จำนวน 1 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2521 และเกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำ 1 ปี คือ ปี พ.ศ.2523

(1.2) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.04M(P) เกิดสภาวะการไหลล้นอ่าง จำนวน 1 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2521 และเกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำ 1 ปี คือ ปี พ.ศ.2523

(2) สภาพการใช้น้ำอนาคต เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ RC42 และ RCP0.03M(F) แสดงดังตาราง 5-15 ได้ผลดังนี้

(2.1) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC42 เกิดสภาวะการไหลล้นอ่าง จำนวน 2 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2521 และ 2538

(2.2) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F) เกิดสภาวะการไหลล้นอ่าง จำนวน 1 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ.2521 และเกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำ 3 ปี คือ ปี พ.ศ.2515 2517 และ 2523

ตาราง 5-14 ผลการจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำป่าสักขรายวัน สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน

| เกณฑ์การปฏิบัติงาน | ปี (พ.ศ.) | Spill (days) | Shortage (days) | Max. Spill (mcm) | Max. Shortage (mcm) | $\Sigma(\text{Spill})$ (mcm) | $\Sigma(\text{Spill})^2$ (mcm) | $\Sigma(\text{Shortage})$ (mcm) | $\Sigma(\text{Shortage})^2$ (mcm) |
|--------------------|-----------|--------------|-----------------|------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| RC46 | 2521 | 13 | 0 | 196.0 | 0.0 | 941.0 | 1,294,645 | 0.0 | 0 |
| | 2523 | 0 | 35 | 0.0 | 5.3 | 0.0 | 0 | 62.7 | 1,520 |
| RCP0.04M(P) | 2521 | 13 | 0 | 163.8 | 0.0 | 848.6 | 974,220 | 0.0 | 0 |
| | 2523* | 0 | 42 | 0.0 | 6.1 | 0.0 | 0 | 102.8 | 4,289 |

ตาราง 5-15 ผลการจำลองการบริหารอ่างเก็บน้ำป่าสักขรายวัน สภาพการใช้น้ำอนาคต

| เกณฑ์การปฏิบัติงาน | ปี (พ.ศ.) | Spill (days) | Shortage (days) | Max. Spill (mcm) | Max. Shortage (mcm) | $\Sigma(\text{Spill})$ (mcm) | $\Sigma(\text{Spill})^2$ (mcm) | $\Sigma(\text{Shortage})$ (mcm) | $\Sigma(\text{Shortage})^2$ (mcm) |
|--------------------|-----------|--------------|-----------------|------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| RC42 | 2521 | 14 | 0 | 199.7 | 0.0 | 1,106.3 | 1,614,010 | 0.00 | 0 |
| | 2538 | 5 | 0 | 17.8 | 0.0 | 39.9 | 5,743 | 0.00 | 0 |
| RCP0.03M(F) | 2515* | 0 | 29 | 0.0 | 1.5 | 0.0 | 0 | 21.4 | 205 |
| | 2517* | 0 | 18 | 0.0 | 2.1 | 0.0 | 0 | 23.3 | 446 |
| | 2521 | 14 | 0 | 199.7 | 0.0 | 963.6 | 1,315,700 | 0.0 | 0 |
| | 2523* | 0 | 38 | 0.0 | 6.3 | 0.0 | 0 | 79.9 | 2,735 |

หมายเหตุ * ผลการบริหารของเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีค่าการขาดน้ำสูงกว่าเกณฑ์เดิมเนื่องจากปีที่ใช้จำลองการบริหารอ่างฯ ตรงกับช่วงปีที่ผลการบริหารของเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นรายเดือน(หัวข้อ 5.2.3) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์เดิมเช่นเดียวกัน

5.4.2 ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ

การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำเพื่อปรับปรุงการบริหารอ่างเก็บน้ำให้ดียิ่งขึ้นโดยเฉพาะปีที่เกิดเหตุการณ์วิกฤต คือ สภาวะการไหลล้นอ่าง และสภาวะขาดแคลนน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

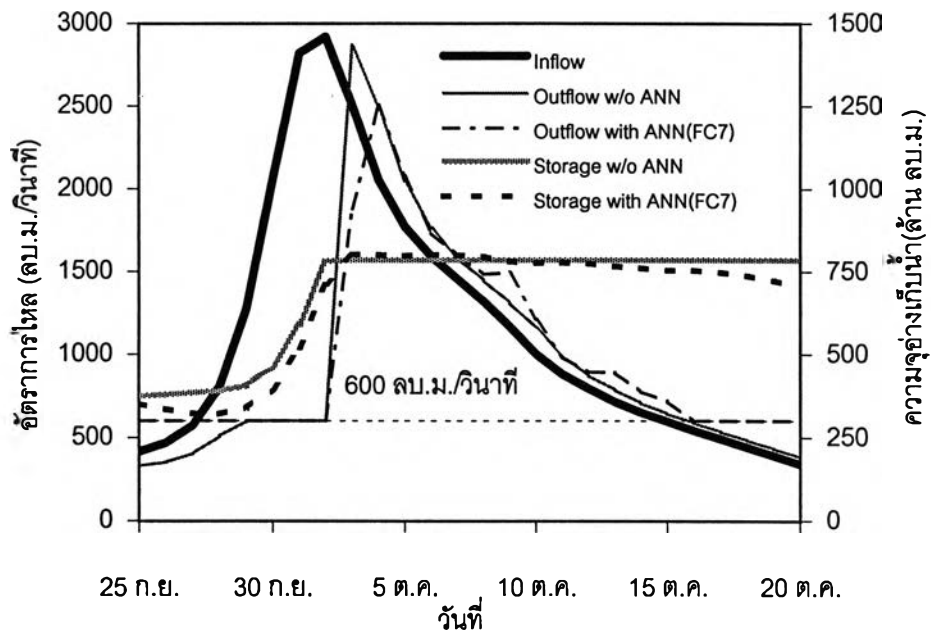
- สภาวะการไหลล้นอ่าง คือ สภาวะที่อัตราการไหลที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำมีค่าสูงกว่า 600 ลบ.ม./วินาที และควบคุมความจุอ่างเก็บน้ำไม่เกิน 785 ล้าน ลบ.ม. โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ถึง 7 วัน กับการบริหารอ่างเก็บน้ำเมื่อผลรวมสะสมของอัตราการไหลจากการพยากรณ์ในวันปัจจุบันถึงวันที่พยากรณ์มีค่าเท่ากับ 600 1,200 1,800 2,400 3,000 3,600 และ 4,200 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ โดยค่าอัตราการไหลเริ่มต้นที่ใช้เป็นเกณฑ์ คือ 600 ลบ.ม./วินาที เป็นค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ไม่ทำให้ด้านท้ายน้ำเกิดน้ำท่วม

- สภาวะขาดแคลนน้ำ คือ สภาวะที่ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำไม่เพียงพอกับการใช้น้ำด้านต่าง ๆ ทั้งนี้ได้ควบคุมความจุไม่ให้ต่ำกว่าความจุต่ำสุด (3 ล้าน ลบ.ม.) โดยเริ่มประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 7 วัน เมื่อความจุของอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าความจุที่ระดับสันอาคารระบายน้ำล้นคือ 69 ล้าน ลบ.ม. เนื่องจากหากความจุต่ำกว่าระดับนี้จะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำภายในอ่างเก็บน้ำ

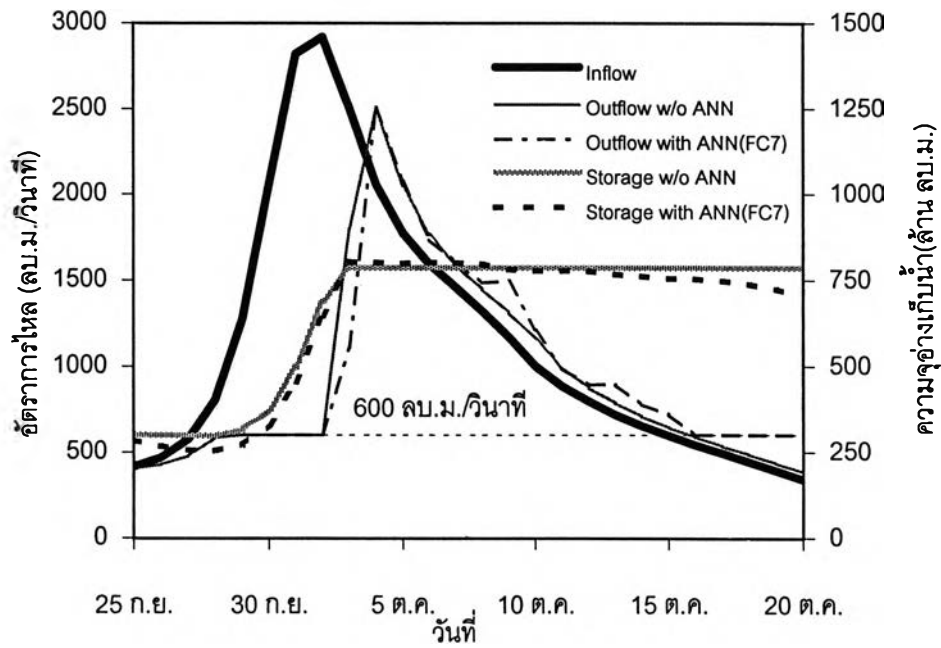
การประยุกต์แบ่งเป็นสภาพการใช้น้ำปัจจุบันและสภาพการใช้น้ำอนาคต ดังนี้

(1) สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน บริหารอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ RC46 และ RCP0.04M(P) (แสดงผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN 1 ถึง 7 วัน ในภาคผนวก จ)

(1.1) *สภาวะการไหลล้นอ่าง* การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ ในสภาวะการไหลล้นอ่าง (สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน) เกิดขึ้น 2 เหตุการณ์ ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆของสภาพการใช้น้ำปัจจุบันในปี พ.ศ.2521 ดังแสดงในรูป 5-26 ได้ผลการศึกษาดังนี้



(ก) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC46



(ข) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.04M(P)

รูป 5-26 ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ

สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน ในปี พ.ศ.2521

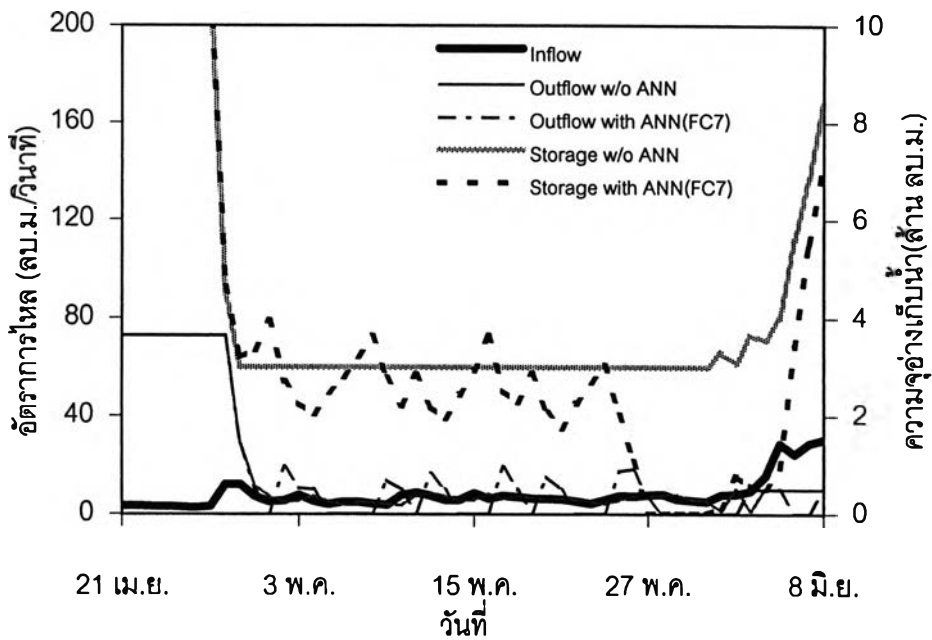
- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC46 ปี พ.ศ.2521 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การล้นเท่ากับ 13 วัน ผลรวมปริมาณการล้นเท่ากับ 941.0 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการล้นในรูปการไหลล้นสูงสุด และผลรวมการไหลล้นกำลังสอง เท่ากับ 196.0 ล้าน ลบ.ม. และ 1,294,645 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-26 (ก) พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าลดลง 3.9% และความรุนแรงของการล้นมีค่าลดลงเช่นกัน ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำสูงกว่าความจุเก็บกัก (785 ล้าน ลบ.ม.) เทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN เท่ากับ 9.2% ของปริมาณน้ำล้นกรณีไม่ใช้ ANN

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.04M(P) ปี พ.ศ.2521 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การล้นเท่ากับ 13 วัน ผลรวมปริมาณการล้นเท่ากับ 848.6 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการล้นในรูปการไหลล้นสูงสุด และผลรวมการไหลล้นกำลังสอง เท่ากับ 163.8 ล้าน ลบ.ม. และ 974,220 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-26 (ข) พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าลดลง 1.3% และความรุนแรงของการล้นมีค่าลดลงเช่นกัน ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำสูงกว่าความจุเก็บกัก (785 ล้าน ลบ.ม.) เทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN เท่ากับ 10.3% ของปริมาณน้ำล้นกรณีไม่ใช้ ANN

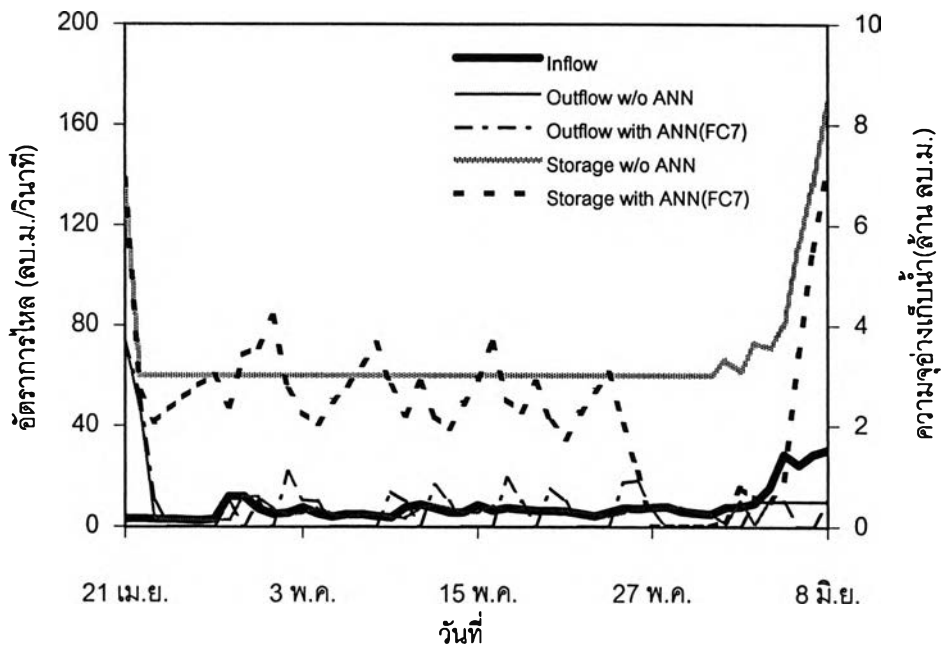
(1.2) สภาวะการขาดแคลนน้ำ การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ ในสภาวะการขาดแคลนน้ำ (สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน) เกิดขึ้น 2 เหตุการณ์ ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆของสภาพการใช้น้ำปัจจุบัน ในปี พ.ศ.2523 ดังแสดงในรูป 5-27 ได้ผลการศึกษาดังนี้

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วย
 เกณฑ์ RC46 ปี พ.ศ.2523 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การขาดน้ำ
 เท่ากับ 35 วัน ผลรวมการขาดน้ำเท่ากับ 62.7 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการขาด
 น้ำในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง เท่ากับ 5.3 และ 1,520 ล้าน ลบ.ม.
 เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-27 (ก) พบว่า
 ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของ
 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าเพิ่มขึ้น 3.5% และความรุนแรงของการล้นในรูป
 การขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง มีค่าสูงขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการ
 ประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดเทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง
 ANN ที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าความจุต่ำสุด (3 ล้าน ลบ.ม.) โดยเทียบกับผลรวมของการ
 ขาดน้ำเมื่อไม่ใช้ ANN เท่ากับ 41.3%

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วย
 เกณฑ์ RCP0.04M(P) ปี พ.ศ.2523 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การ
 ขาดน้ำเท่ากับ 42 วัน ผลรวมการขาดน้ำเท่ากับ 102.8 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรง
 ของการขาดน้ำในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง เท่ากับ 6.1 และ 4,289
 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-27 (ข)
 พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูป
 ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าเพิ่มขึ้น 2.1% และความรุนแรงของการล้น
 ในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง มีค่าสูงขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่อง
 จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดเทียบกับการไม่ใช้
 แบบจำลอง ANN ที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าความจุต่ำสุด (3 ล้าน ลบ.ม.) โดยเทียบกับผล
 รวมของการขาดน้ำเมื่อไม่ใช้ ANN เท่ากับ 42.8%



(ก) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC46



(ข) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.04M(P)

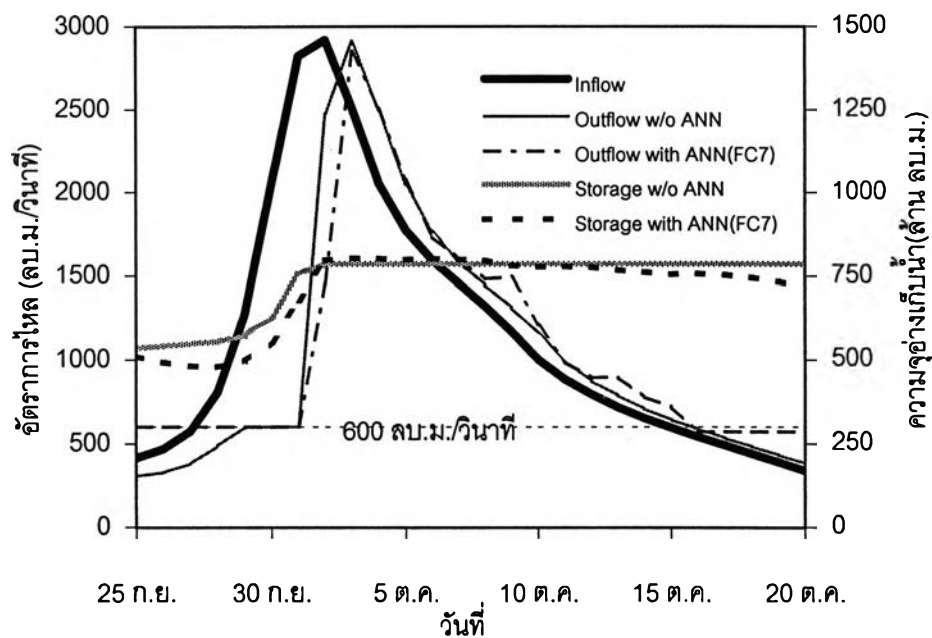
รูป 5-27 ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ
สภาพการใช้น้ำปัจจุบัน ในปี พ.ศ.2523

(2) สภาพการใช้น้ำอนาคต บริหารอ่างเก็บน้ำโดยใช้เกณฑ์ RC42 และ RCP0.03M(F) (แสดงผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN 1 ถึง 7 วัน ในภาคผนวก จ)

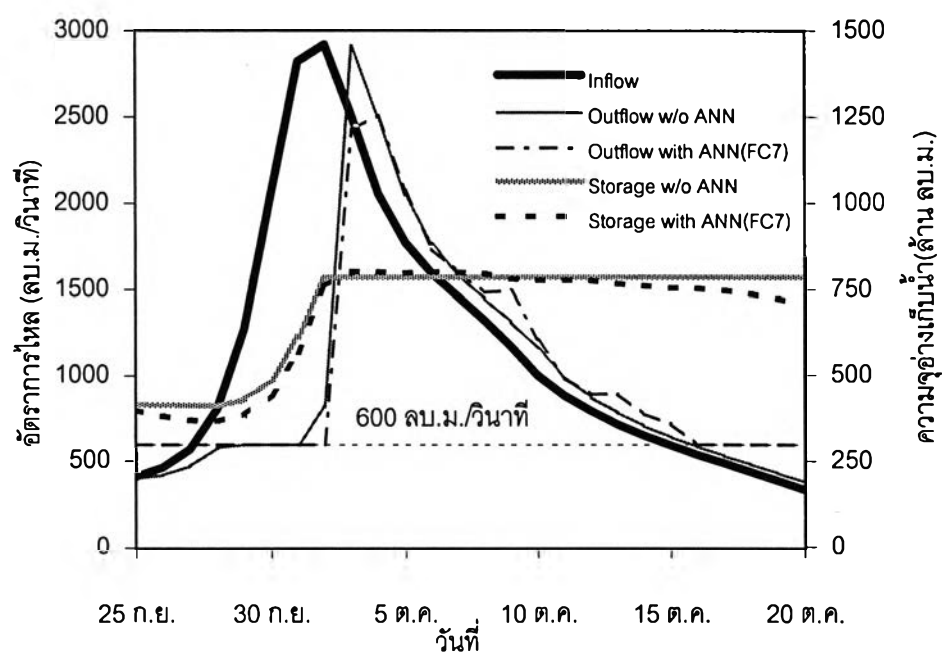
(2.1) *สภาวะการไหลล้นอ่าง* การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ ในสภาวะการไหลล้นอ่าง (สภาพการใช้น้ำอนาคต) เกิดขึ้น 3 เหตุการณ์ ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆของสภาพการใช้น้ำอนาคต ในปี พ.ศ.2521 และ 2538 แสดงในรูป 5-28 และ 5-29 ตามลำดับ ได้ผลการศึกษาดังนี้

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC42 ปี พ.ศ.2521 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การล้นเท่ากับ 14 วัน ผลรวมปริมาณการล้นเท่ากับ 1,106.3 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการล้นในรูปการไหลล้นสูงสุด และผลรวมการไหลล้นกำลังสอง เท่ากับ 199.7 และ 1,614,010 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-28 (ก) พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าลดลง 4.0% และความรุนแรงของการล้นมีค่าลดลงค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำสูงกว่าความจุเก็บกัก (785 ล้าน ลบ.ม.) เทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN เท่ากับ 8.9% ของปริมาณน้ำล้นกรณีไม่ใช้ ANN

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F) ปี พ.ศ.2521 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การล้นเท่ากับ 14 วัน ผลรวมปริมาณการล้นเท่ากับ 963.6 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการล้นในรูปการไหลล้นสูงสุด และผลรวมการไหลล้นกำลังสอง เท่ากับ 199.7 และ 1,315,700 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-28 (ข) พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าลดลง 1.3% และความรุนแรงของการล้นมีค่าลดลงค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำสูงกว่าความจุเก็บกัก (785 ล้าน ลบ.ม.) เทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN เท่ากับ 9.0%

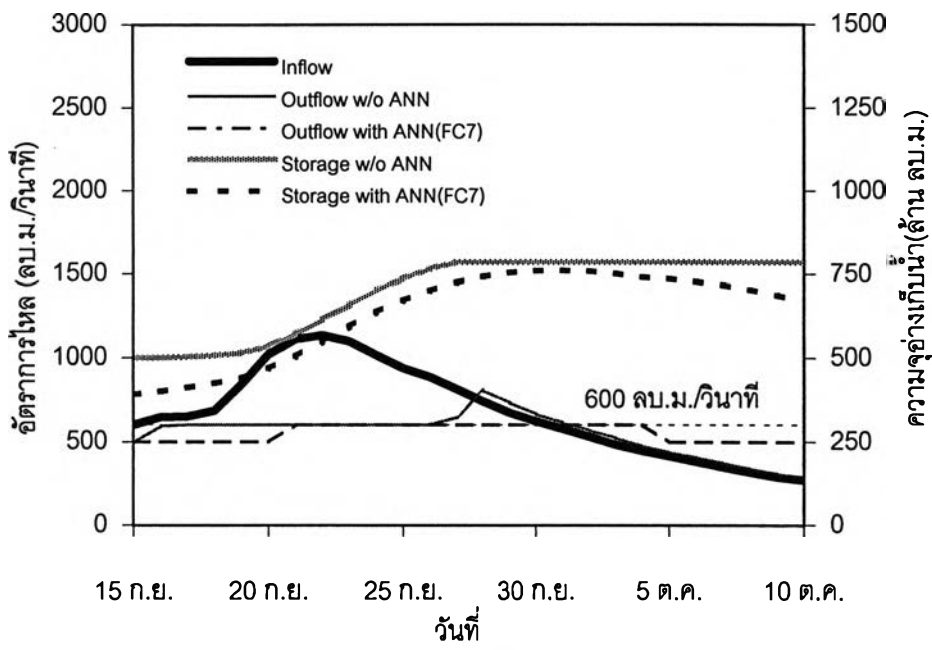


(ก) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC42



(ข) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F)

รูป 5- 28 ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ
สภาพการใช้น้ำอนาคต ในปี พ.ศ.2521



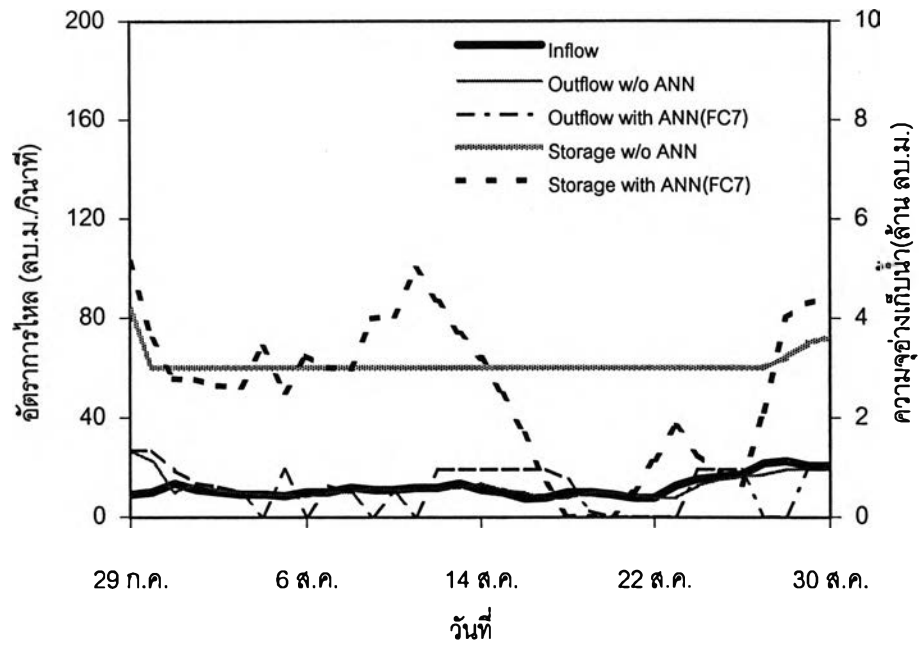
(ก) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC42

รูป 5-29 ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ
สภาพการใช้น้ำอนาคต ในปี พ.ศ.2538

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RC42 ปี พ.ศ.2538 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การล้นเท่ากับ 5 วัน ผลรวมปริมาณการล้นเท่ากับ 39.9 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการล้นในรูปการไหลล้นสูงสุด และผลรวมการไหลล้นกำลังสอง เท่ากับ 17.8 และ 5,743 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-29 พบว่า ไม่เกิดการล้นรวมทั้งไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN

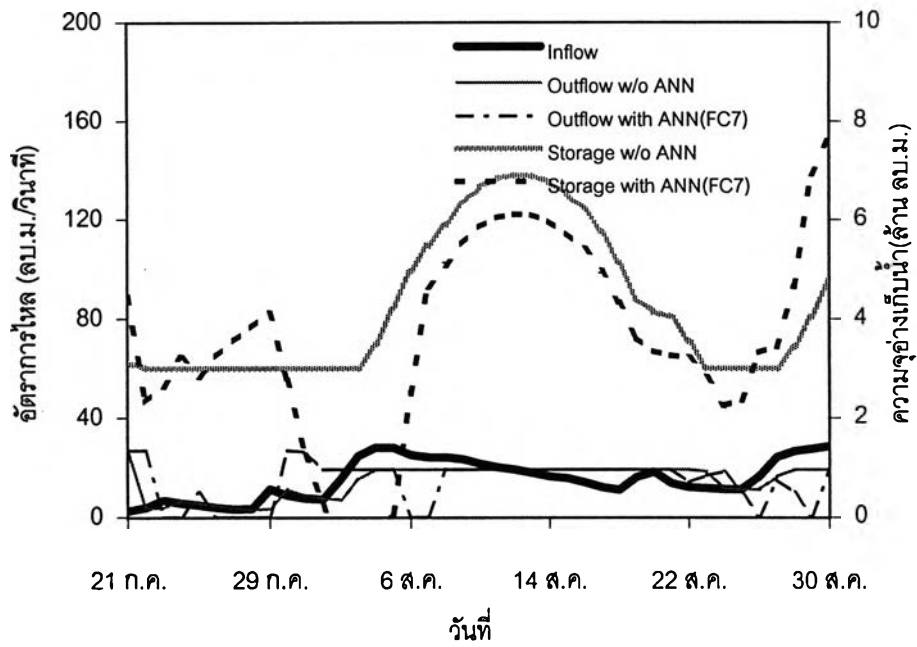
(2.2) สภาวะการขาดแคลนน้ำ การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ ในสภาวะการขาดแคลนน้ำ (สภาพการใช้น้ำอนาคต) เกิดขึ้น 3 เหตุการณ์ ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆของสภาพการใช้น้ำอนาคต ในปี พ.ศ.2515 2517 และ 2523 แสดงในรูป 5-30 ถึง 5-32 ได้ผลการศึกษาดังนี้

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F) ปี พ.ศ.2515 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การขาดน้ำเท่ากับ 29 วัน ผลรวมการขาดน้ำเท่ากับ 21.4 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการขาดน้ำในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง เท่ากับ 1.5 และ 205 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-30 (ก) พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าเพิ่มขึ้น 7.3% และความรุนแรงของการล้นในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง มีค่าสูงขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดเทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN ที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าความจุต่ำสุด (3 ล้าน ลบ.ม.) โดยเทียบกับผลรวมของการขาดน้ำเมื่อไม่ใช้ ANN เท่ากับ 128.3%



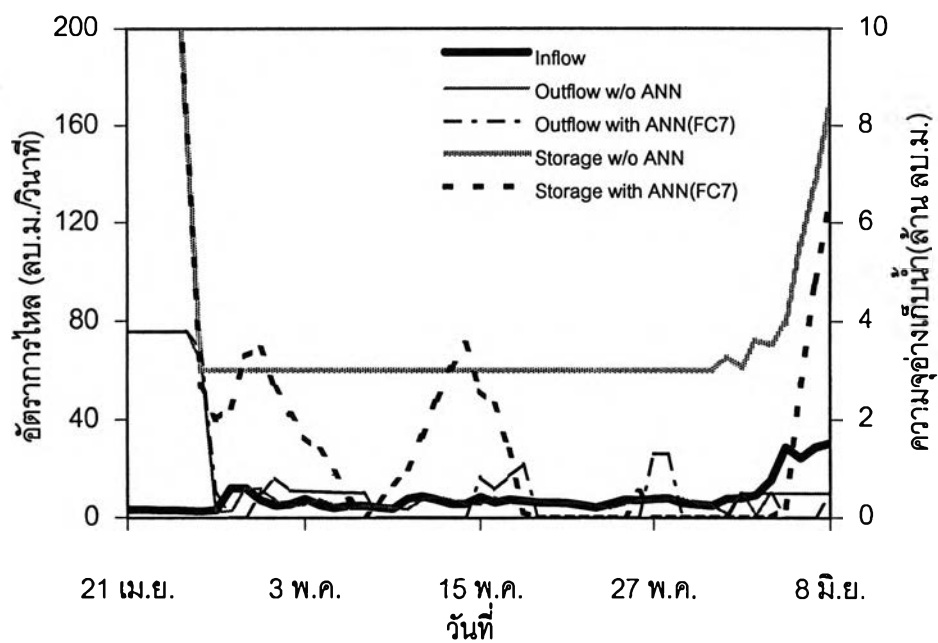
(ก) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F)

รูป 5-30 ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ
สภาพการใช้น้ำอนาคต ในปี พ.ศ.2515



(ก) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F)

รูป 5-31 ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ
สภาพการใช้น้ำอนาคต ในปี พ.ศ.2517



(ก) การบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCP0.03M(F)

รูป 5-32 ผลการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำแบบต่างๆ
สภาพการใช้น้ำอนาคต ในปี พ.ศ.2523

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCPO.03M(F) ปี พ.ศ.2517 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การขาดน้ำเท่ากับ 18 วัน ผลรวมการขาดน้ำเท่ากับ 23.3 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการขาดน้ำในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง เท่ากับ 2.1 และ 446 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-31 (ก) พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าเพิ่มขึ้น 6.3% และความรุนแรงของการล้นในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง มีค่าสูงขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดเทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN ที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าความจุต่ำสุด (3 ล้าน ลบ.ม.) โดยเทียบกับผลรวมของการขาดน้ำเมื่อไม่ใช้ ANN เท่ากับ 97.0%

- ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำด้วยเกณฑ์ RCPO.03M(F) ปี พ.ศ.2523 พบว่า เมื่อบริหารอ่างเก็บน้ำโดยไม่ใช้ ANN มีความถี่การขาดน้ำเท่ากับ 38 วัน ผลรวมการขาดน้ำเท่ากับ 79.9 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ และความรุนแรงของการขาดน้ำในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง เท่ากับ 6.3 และ 2,735 ล้าน ลบ.ม. เมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) แสดงดังรูป 5-32 (ก) พบว่า ความถี่การไหลล้นอ่างมีค่าใกล้เคียงกับไม่ใช้ ANN ค่าผลรวมของการล้นซึ่งอธิบายในรูปของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าเพิ่มขึ้น 4.6% และความรุนแรงของการล้นในรูปการขาดน้ำสูงสุด และผลรวมการขาดน้ำกำลังสอง มีค่าสูงขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดเทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN ที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าความจุต่ำสุด (3 ล้าน ลบ.ม.) โดยเทียบกับผลรวมของการขาดน้ำเมื่อไม่ใช้ ANN เท่ากับ 121.5%

(3) ผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำ จากผลการประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำในเหตุการณ์วิกฤติทั้งสภาพการใช้น้ำปัจจุบันและสภาพการใช้น้ำอนาคตให้ผลการประยุกต์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถสรุปผลในรูปสภาวะการไหลล้นอ่างและสภาวะการขาดแคลนน้ำได้ดังนี้

(3.1) การประยุกต์แบบจำลอง ANN กับการบริหารอ่างเก็บน้ำสภาพการใช้น้ำปัจจุบันและสภาพการใช้น้ำอนาคต ในสภาวะการไหลล้นอ่าง พบว่า กรณีปริมาณน้ำหลากสูงมากคือ ปี พ.ศ.2521 มีปริมาณการล้นอยู่ในช่วง 848.6 –1,106.3 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ เมื่อใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) พบว่า ความถี่ของการล้นมีค่าใกล้เคียงกับการไม่ใช้ ANN ผลรวมของการล้นในรูปของความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าลดลง 1.3-4.0% รวมทั้งสามารถลดความรุนแรงของการล้นและปริมาณน้ำล้นสูงสุดได้ สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้ต้นโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำสูงกว่าความจุเก็บกัก (785 ล้าน ลบ.ม.) เทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN อยู่ในช่วงระหว่าง 8.9-10.3% ของปริมาณน้ำล้นกรณีไม่ใช้ ANN

กรณีปริมาณน้ำหลากปานกลางคือ ปี พ.ศ.2538 มีปริมาณการล้นเท่ากับ 39.9 ล้าน ลบ.ม./เหตุการณ์ เมื่อใช้แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) พบว่า ทำให้ไม่เกิดการล้น รวมทั้งไม่เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN

(3.2) การประยุกต์แบบจำลอง ANN พยากรณ์ล่วงหน้า 7 วัน (FC7) กับการบริหารอ่างเก็บน้ำสภาพการใช้น้ำปัจจุบันและสภาพการใช้น้ำอนาคต ในสภาวะการขาดแคลนน้ำ พบว่า ความถี่การขาดน้ำมีค่าใกล้เคียงกับการไม่ใช้ ANN ผลรวมของการขาดน้ำในรูปของความแตกต่างเทียบกับไม่ใช้ ANN มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 2.1-7.3% และความรุนแรงของการขาดน้ำในรูปการขาดน้ำสูงสุดและผลรวมการขาดน้ำกำลังสองมีค่าเพิ่มขึ้นรวมทั้งมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ANN ภายใต้ต้นนโยบายการปล่อยน้ำที่กำหนดเทียบกับการไม่ใช้แบบจำลอง ANN ที่ทำให้ความจุอ่างเก็บน้ำต่ำกว่าความจุต่ำสุด (3 ล้าน ลบ.ม.) โดยเทียบกับผลรวมของการขาดน้ำเมื่อไม่ใช้ ANN อยู่ระหว่าง 41.3-128.3% กล่าวได้ว่าปริมาณน้ำทำในฤดูแล้งมีน้อยมากรวมทั้งปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีปริมาณจำกัดทำให้การประยุกต์แบบจำลอง ANN ในพยากรณ์น้ำทำในสภาวะขาดน้ำไม่ทำให้การบริหารอ่างเก็บน้ำในช่วงนี้น้อยเปลี่ยนแปลง