หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

ในบทที่ผ่านมาได้อธิบายถึงลักษณะและการปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและแบบจำลองคณิตศาสตร์มาทำการประยุกต์ใช้ในบทนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวน 18 ปีที่มีอยู่ เมื่อแบ่งไปใช้ในช่วงปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์แล้วจะเหลือข้อมูลจำนวน 8 ปีได้แก่ปี 1988,1977,1976,1982,1970,1983, 1984 และ ปี 1986 โดยเรียงลำดับตามปีที่มีค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดมีค่ามากและลดลงตามลำดับ ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับกำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial Parameter) ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ กำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ในบทที่ 4 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในบทนี้จะนำมาซึ่งการเปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้งาน ระหว่างการใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากค่าวัดจริงกับข้อมูลปริมาณฝนจากการคำนวณล่วงหน้าเป็นข้อมูล Input สำหรับแบบจำลอง รวมถึงเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันในกรณีที่ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Non-Linear Storage Function Model (NLSFM) กับลักษณะที่ใช้ Kalman Filter Technique ผนวกกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ NLSFM

5.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์มีหลายขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นตอนการพิจารณาเลือกข้อมูล, การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์ จนถึงขั้นตอนการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่เตรียมไว้และพิจารณาประเมินผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถอธิบายในรายละเอียดเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1) เลือกช่วงของข้อมูลต่อเนื่องรายวันสำหรับข้อมูลแต่ละปี โดยเลือกข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำรายวันจำนวน 31 วัน ในช่วงเวลาก่อน 15 วันถึงหลัง 15 วันที่เกิดปริมาณน้ำท่ารายวันสูงสุดในแต่ละปี และเลือกข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันของพื้นที่ในช่วงเวลาเดียวกันจากข้อมูลจำนวน 8 ปีที่กล่าวมาแล้ว

2) คำนวณปริมาณฝนส่วนเกินรายวันเฉลี่ยทั้งพื้นที่ (Areal Daily Excess Rainfall) และค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (Daily Average Direct Runoff) จากข้อมูลปริมาณฝนรายวันของพื้นที่ (Areal Daily Rainfall) และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำตามลำดับ รายละเอียดวิธีการคำนวณอธิบายไว้ในหัวข้อ 2.1.1 ถึง 2.1.3 เพื่อเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งสำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์

3) เตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยอาศัยโปรแกรมเตรียมข้อมูล จากหัวข้อ 3.3.1 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามที่ได้พิจารณาความเหมาะสมแล้วจากบทที่ 4, ค่าปริมาณฝนส่วนเกินรายวันเฉลี่ยทั้งพื้นที่ และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันจากหัวข้อที่ผ่านมาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับโปรแกรมเตรียมข้อมูลเพื่อเตรียมไฟล์ข้อมูล (Data File)ให้พร้อมใช้งานกับแบบจำลองคณิตศาสตร์

4) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์กับไฟล์ข้อมูล (Data File) ในลักษณะต่างๆที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไปและพิจารณาผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน โดยพิจารณาจากค่า RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน, ความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด (Error Peak Discharge) และความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด

5) สรุปเปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์กับไฟล์ข้อมูลในลักษณะต่างๆ

5.2 ลักษณะการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่จะนำมาใช้ศึกษาในครั้งนี้มี 2 แบบจำลอง คือ Non-Linear Storage Function Model (NLSFM) และ Kalman Filter Model (NLSFM ผนวกกับ Kalman Filter Technique) แบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้ง 2 แบบนี้จะนำมาประยุกต์กับไฟล์ข้อมูลใน 2 ลักษณะคือไฟล์ข้อมูล (Data File) ซึ่งข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินรายวันเฉลี่ยทั้งพื้นที่ได้จากข้อมูลการวัดจริงและไฟล์ข้อมูล (Data File) ซึ่งข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันทั้งพื้นที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average รายละเอียดการคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันทั้งพื้นที่ล่วงหน้าแบบต่างๆแสดงในภาคผนวก จ.และรูป 5.1 ดังนั้นการศึกษาเปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์กับไฟล์ข้อมูลในลักษณะต่างๆจึงแบ่งได้ 4 ลักษณะดังนี้

1) ประยุกต์ใช้ Non-Linear Storage Function Model (NLSFM) โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันทั้งพื้นที่จากข้อมูลการวัดจริง

2) ประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model (NLSFM ผนวกกับ Kalman Filter Technique) โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันทั้งพื้นที่จากข้อมูลการวัดจริง

3) ประยุกต์ใช้ NLSFM โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันทั้งพื้นที่จากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆ

4) ประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันทั้งพื้นที่จากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆ

ลักษณะต่างๆในการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่กล่าวมานี้ ก็เพื่อพิจารณาผลของการใช้ Kalman Filter Technique ผนวกกับ NLSFM เปรียบเทียบกับผลจากการใช้ NLSFM เพียงอย่างเดียวเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ในแบบต่างๆ ซึ่งจะเป็นการศึกษาถึงความได้เปรียบของแต่ละแบบจำลอง โดยพิจารณาถึงความถูกต้องแม่นยำและความสะดวกเมื่อถึงคราวนำไปใช้งาน

5.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันของพื้นที่จากข้อมูลวัดฝนจริง

การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในหัวข้อนี้ เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ชนิด NLSFM และ Kalman Filter Model เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันของพื้นที่จากข้อมูลการวัดจริงเพื่อพิจารณาถึงความสามารถในการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้ง 2 ชนิด โดยพิจารณาจากค่า RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน, ความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด (Error Peak Discharge) และความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเป็นค่าที่ใช้พิจารณาเปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้ง 2 แบบ

5.3.1 การประยุกต์ใช้ NLSFM

ผลการประยุกต์ใช้ NLSFM กับไฟล์ข้อมูล (Data File) ที่เตรียมมาจากการใช้ข้อมูล

ปริมาณน้ำฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลการวัดจริง สามารถแสดงในลักษณะชลภาพ (Hydrograph) ดังแสดงในรูป 5.2 ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสรุปเป็นตาราง แสดงในตาราง 5.1 จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าค่า RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันมีค่าอยู่ในช่วง 0.3736 mm ถึง 5.0837 mm โดยที่ข้อมูลปี 1988 ซึ่งเป็นปีที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดมีค่ามากที่สุดพบว่าได้ค่า RMSE จากการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.0837 mm และแนวโน้มมีค่าลดลงตามค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดในแต่ละปี เมื่อพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดพบว่าค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง -26.98% ถึง 87.64% ซึ่งเป็นช่วงความผิดพลาดที่ค่อนข้างกว้าง และส่วนมากผลการคำนวณผิดพลาดไปในทิศทางเกินค่าจริง (Over Estimate)โดยเฉพาะปี 1970 และ1984 ค่าความผิดพลาดมีสูงถึง 87.64% และ 60.00% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดพบว่า เกือบทุกปีคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดได้ก่อนเกิดเหตุการณ์จริง โดยค่าความผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 8 วันและสามารถคำนวณวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดได้ตรงกับเหตุการณ์จริงจำนวน 2 ปี คือในปี 1977 และ1970 สาเหตุที่ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเกิดขึ้นก่อนเหตุการณ์จริงเนื่องจากวันที่มีปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันสูงสุงเกิดขึ้นก่อนวันที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดสาเหตุจากพื้นที่ลุ่มน้ำของเขื่อนอุบลรัตน์มีขนาดใหญ่คือประมาณ 12,000 ตร.กม. ทำให้น้ำต้องใช้เวลาเดินทางหลายวันจากพื้นที่ลุ่มน้ำถึงอ่างเก็บน้ำ ซึ่ง NLSFM นี้จะคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันมีค่ามากในวันที่มีข้อมูลฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันมีค่ามากด้วย แสดงให้เห็นข้อจำกัดในการนำ NLSFM ประยุกต์ใช้กับข้อมูลของพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 <u>การประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model</u>

ผลการประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model กับไฟล์ข้อมูล (Data File) ที่เตรียมมาจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลการวัดจริง แสดงผลในลักษณะชลภาพ (Hydrograph) ดังแสดงในรูป 5.3 และผลการคำนวณสรุปเป็นตาราง แสดงในตาราง 5.2 จากผลการคำนวณแสดงค่า RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันมีค่าอยู่ในช่วง 0.5754 mm ถึง 2.5806 mm เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด (Error Peak Discharge) พบว่ามีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง -31.56% ถึง 34.99%

โดยที่ส่วนมากมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า ±25% ยกเว้นปี 1970 และ 1983 ซึ่งมีค่าความผิดพลาดการคำนวณเท่ากับ 34.99% และ -31.56% ตามลำดับ ส่วนความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด พบว่าผลการคำนวณเกือบทั้งหมดจะให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเกิดขึ้นหลังเหตุการณ์จริงมีค่าเท่ากับ 1 วันยกเว้นผลการคำนวณจำนวน 2 ปีคือปี 1977 และ 1984 ที่ให้ผลการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเกิดขึ้นพร้อมกับเหตุการณ์จริง เมื่อพิจารณาโดยรวมผลของการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1 วันเป็นผลเนื่องมาจาก Kalman Filter Technique ทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ (Update Parameter) ของสมการหลักในแบบจำลองคณิตศาสตร์ทุกครั้งที่แบบจำลองคณิตศาสตร์ได้รับค่าข้อมูลจากการวัดปริมาณน้ำท่าจริง ฉะนั้นจึงสามารถลดความผิดพลาดของผลการคำนวณจากแบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำใหญ่ๆได้

5.3.3 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลการวัดฝนจริง

ผลการประยุกต์ใช้ NLSFM และ Kalman Filter Model โดยใช้ไฟล์ข้อมูล (Data File) ที่ใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลการวัดจริง ดังแสดงในตาราง 5.3 พบว่าค่าเฉลี่ยของ RMSE จากผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันเมื่อใช้ Kalman Filter Model มีค่าเท่ากับ 1.4644 mm ต่ำกว่าผลจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.2563 mm และช่วงความแตกต่างของค่า RMSE เมื่อใช้ Kalman Filter Model มีค่าระหว่าง 0.15754 mm ถึง 2.5806 mm น้อยกว่าผลจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.3736 mm ถึง 5.0837 mm ตามลำดับ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถของ Kalman Filter Technique ที่ลดความผิดพลาดการคำนวณลงได้เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นชุดเดียวกันประยุกต์ใช้กับข้อมูลในแต่ละปีที่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดพบว่าการใช้ Kalman Filter Model สามารถให้ผลการคำนวณที่มีความผิดพลาดโดยเฉลี่ยน้อยกว่าผลจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.70% และ 29.05% ตามลำดับ อีกทั้งค่าความผิดพลาดมีช่วงความผิดพลาดที่ต่ำกว่าคืออยู่ระหว่าง -31.56% ถึง 34.99% เมื่อเทียบกับผลความผิดพลาดจาก NLSFM ที่มีค่าอยู่ระหว่าง -26.98% ถึง 87.64% และเมื่อพิจารณาทางด้านความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดพบว่า Kalman Filter Technique

สามารถลดค่าความผิดพลาดลงอย่างเห็นได้ชัด จากความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0 ถึง 8 วันเมื่อใช้ NLSFM และจะลดลงเหลือค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1 วันเมื่อใช้ Kalman Filter Model ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบอย่างยิ่งในการใช้ Kalman Filter Technique ผนวกกับ NLSFM ประยุกต์ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ และเมื่อนำค่าเฉลี่ย RMSE จากผลการคำนวณของแบบจำลองทั้งสองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติเพื่อยืนยันว่าค่าเฉลี่ย RMSE จากผลการคำนวณจากแบบจำลองทั้งสองนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าค่าเฉลี่ย RMSE จากผลการคำนวณโดยใช้ Kalman Filter Model ไม่ได้มีค่าต่ำกว่าหรือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย RMSE ที่ได้จากผลการคำนวณโดยใช้ NLSFM รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าทางสถิติแบบ Student t-Test ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค. จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า Kalman Filter Technique เมื่อนำไปผนวกกับ NLSFM ไม่ได้ทำให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องหรือดีขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญแต่ก็มีแนวโน้มว่าให้ผลการคำนวณที่ดีกว่าผลการคำนวณจาก NLSFM

อนึ่งเมื่อพิจารณาฝนจากการวัดจริงประยุกต์เข้ากับ NLSFM และ Kalman Filter Model เช่นปี 1988 พบว่าค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดทั้งจาก NLSFM และ Kalman Filter Model ไม่สอดคล้องกับสภาพข้อมูลวัดจริงในสนามทั้งนี้เนื่องมาจากบริเวณที่มีปริมาณฝนรายวันสูงอยู่ไกลจากจุดที่วัดปริมาณน้ำท่า ดังแสดงในภาคผนวก ง. ปริมาณฝนรายวันสูงสุดอยู่ในวันที่ 12 ตุลาคม และวันที่ 17 ตุลาคม แต่ปริมาณน้ำท่าสูงสุดอยู่ในวันที่ 20 ตุลาคม ดังนั้นการใช้สมมุติฐานว่าฝนตกเฉลี่ยเท่ากันหมดทั้งพื้นที่สำหรับแบบจำลองอาจจะไม่ถูกต้องนักควรมีการพิจารณาปรับข้อมูลฝนหรือหาพารามิเตอร์อื่นๆเพิ่มเข้าไปในแบบจำลองหรือไม่ควรพิจารณาเหตุการณ์เช่นนี้ในการศึกษาเพื่อให้ผลการคำนวณจากแบบจำลองทั้ง 2 วิธี แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าได้ดีขึ้น

สรุปได้ว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ Kalman Filter Model นี้ สามารถให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันได้ดีกว่าการใช้ NLSFM ทั้งในด้าน RMSE จากการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน, ด้านความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด และลดความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการเกิดปริมาณน้ำท่ารายวันสูงสุดได้อย่างมาก เมื่อใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่

5.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้า

การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลวัดจริงในหัวข้อที่ผ่านมานั้น ก็เพื่อทดสอบผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ทั้ง 2 แบบ โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจริงๆในอดีต แต่ในสภาพเหตุการณ์จริงเมื่อนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำนั้น ค่าปริมาณน้ำฝนในวันพรุ่งนี้และในวันถัดๆไปไม่อาจทราบค่าล่วงหน้าได้ ก่อให้เกิดปัญหาในการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้งานในสภาพจริง วิธีการคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันล่วงหน้าที่จะนำมาใช้ทดสอบการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ จะใช้วิธีการคำนวณแบบที่เรียกว่า 1-2-3-และ4-Day Average (ดูภาคผนวก จ.) การคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันล่วงหน้าแบบต่างๆเหล่านี้ ไม่ใช่เป็นการพยายามคำนวณข้อมูลปริมาณฝนให้ใกล้เคียงกับค่าจริงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หากแต่เป็นวิธีการหนึ่งเพื่อกำหนดข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันล่วงหน้าเพื่อเป็นข้อมูลให้แบบจำลองคณิตศาสตร์ทำการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันในวันต่อๆไป ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบการประยุกต์ใช้ NLSFM และ Kalman Fiter Model เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆเพื่อวิเคราะห์ถึงความถูกต้องและแม่นยำของผลจากการคำนวณโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

5.4.1 การประยุกต์ใช้ NLSFM

ผลการประยุกต์ใช้ NLSFM เมื่อใช้ไฟล์ข้อมูล (Data File) ที่เตรียมมาจากข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average สามารถแสดงผลในลักษณะชลภาพ (Hydrograph)ได้ ดังแสดงในรูป 5.4 ถึง รูป 5.11 และผลการคำนวณสามารถสรุปแสดงในตาราง 5.4 พบว่าค่าเฉลี่ย RMSE จากการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันมีค่าลดลงเมื่อใช้ไฟล์ข้อมูล (Data File) ที่ได้จากข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.6141 mm ถึง 2.0147 mm เมื่อพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดพบว่า ค่าผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดสำหรับข้อมูลในแต่ละปีมีค่าลดลง

เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average ตามลำดับ เนื่องจากค่าปริมาณฝนส่วนเกินสูงสุดเฉลี่ยรายวันที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้ามีค่าลดลงตามลำดับเมื่อใช้วิธีการคำนวณแบบเฉลี่ยมากวันขึ้น จึงทำให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดในแต่ละปีโดยใช้ NLSFM มีค่าลดลงตามลำดับ ผลการคำนวณความผิดพลาดในแต่ละปีเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบเฉลี่ยมากวันขึ้น ทำให้ผลความผิดพลาดมีแนวโน้มในลักษณะเปลี่ยนจากคำนวณผิดพลาดเกินค่าจริง(Over Estimate) ไปสู่ผลการคำนวณผิดพลาดต่ำกว่าค่าจริง (Under Estimate) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ลักษณะการคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินรายวันล่วงหน้าแบบต่างๆจะเหมาะสมกับข้อมูลในแต่ละปีไม่มีลักษณะเฉพาะที่แสดงถึงแนวโน้นที่ดีอย่างชัดเจน แต่ถ้าหากพิจารณาโดยทางปฏิบัติแล้วในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของสมการหลักในแบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นค่าชุดเดียวกันตลอดการประยุกต์ใช้กับข้อมูลปีต่างๆ จะได้ผลเฉลี่ยค่าความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 23.53% ถึง 28.97% จากผลความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆ ในลักษณะฝนเฉลี่ยมากวันขึ้น พบว่าค่าความผิดพลาดมีแนวโน้มในลักษณะผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเกิดขึ้นก่อนเหตุการณ์จริงเปลี่ยนไปสู่การคำนวณผิดพลาดในลักษณะผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเกิดขึ้นหลังเหตุการณ์จริง ผลการคำนวณผิดพลาดคำนวณได้อยู่ในช่วงก่อน 7 วัน จนถึง 1 วันหลังเกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุดจากข้อมูลการวัดของเหตุการณ์จริง

5.4.2 การประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model

ผลการประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model โดยใช้ไฟล์ข้อมูล (Data File) ที่เตรียมจากข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average แสดงผลในลักษณะชลภาพ (Hydrograph)ได้ ดังแสดงในรูป 5.12 ถึงรูป 5.19 และผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน สรุปได้ดังตาราง 5.5 จากการประยุกต์ใช้พบว่าค่าเฉลี่ยของ RMSE จากการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันมีแนวโน้มลดลงในช่วง 1.4397 mm ถึง 1.2314 mm เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบมากวันขึ้น เมื่อพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดไม่มีแนวโน้มหรือลักษณะความสัมพันธ์ใดๆกับลักษณะการใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆ

ซึ่งค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆมีค่าอยู่ในช่วง 15.86% ถึง 21.31% สาเหตุที่ความผิดพลาดของการคำนวณไม่มีความสัมพันธ์กับลักษณะข้อมูลจากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆเนื่องจาก Kalman Filter Model เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่อาศัย Kalman Filter Technique ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของสมการหลักในแบบจำลองคณิตศาสตร์ทุกครั้งที่แบบจำลองคณิตศาสตร์ได้รับข้อมูลการวัดปริมาณน้ำท่า จึงทำให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด ไม่มีแนวโน้มสอดคล้องไปตามค่าปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆ และเมื่อพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดในแต่ละปีพบว่าให้ค่าความผิดพลาดไม่แตกต่างกันเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆ ยกเว้นปี 1977 เพียงปีเดียว เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดโดยรวมแล้วมีค่าอยู่ในช่วงคำนวณได้ก่อน 1 วันจนถึงหลัง 1 วันของการเกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากเหตุการณ์จริง แสดงถึงความสามารถของ Kalman Filter Technique ที่สามารถลดอิทธิพลของความแตกต่างของข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าในลักษณะต่างๆกันได้

5.4.3 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้า

การประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้ง 2 แบบกับข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average ก็เพื่อทดสอบความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันจากที่กล่าวไว้ในตอนต้นของบทที่ 5 การทดสอบโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดเดียวกันกับข้อมูลในปีต่างๆก็เพื่อพิจารณาความยืดหยุ่นและความเหมาะสมระหว่างการใช้ NLSFM กับ Kalman Filter Model เมื่อใช้ข้อมูลที่มีความแตกต่างกันในแต่ละปี ฉะนั้นการพิจารณาจึงมองในลักษณะภาพรวมของการคำนวณจากลักษณะข้อมูลต่างๆกันจากทุกๆปี จึงเน้นพิจารณาค่าเฉลี่ย RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน, ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด และความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบเดียวกันดังนี้

1) ผลการคำนวณเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-Day Average แสดงในตาราง 5.6 จากผลการประยุกต์พบว่าผลการคำนวณปริมาณ

น้ำท่าเฉลี่ยรายวันโดยใช้ Kalman Filter Model ให้ค่าเฉลี่ย RMSE ต่ำกว่าผลการคำนวณจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเฉลี่ย RMSE จากการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 1.4397 mm และ 2.0147 mm ตามลำดับ อีกทั้งค่าความผิดพลาดจากการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการใช้ Kalman Filter Model ให้ผลความผิดพลาดอยู่ในช่วงน้อยกว่าผลจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -11.23% ถึง 76.56% และ -27.08% ถึง 87.64% และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดการคำนวณเท่ากับ 18.88% และ 28.97% ตามลำดับและเมื่อพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด พบว่า Kalman Filter Technique สามารถลดความผิดพลาดได้มากนั่นคือผลการคำนวณผิดพลาดในช่วงระหว่างผลคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดได้ก่อน 1 วันถึงหลัง 1 วันแต่เมื่อใช้ NLSFM พบว่าให้ผลการคำนวณผิดพลาดในช่วงที่กว้างกว่าคือคำนวณได้ก่อนเกิดเหตุการณ์จริง 7 วันจนถึงคำนวณได้หลังเหตุการณ์จริง 1 วัน

2) ผลการคำนวณเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 2-Day Average แสดงในตาราง 5.7 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์พบว่าค่าเฉลี่ย RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันโดยใช้ Kalman Filter Model ให้ค่าน้อยกว่าผลการคำนวณจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.4189 mm และ 1.9099 mm ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากผลการประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model พบว่าให้ค่าช่วงของความผิดพลาด -11.46% ถึง 87.31% และ -31.55% ถึง 80.57% เมื่อพิจารณาจากผลการใช้ NLSFM ตามลำดับ ซึ่งถึงแม้ว่าผลจากการใช้ Kalman Filter Model จะมีโอกาสผิดพลาดทาง Over Estimate มากกว่าผลของการใช้ NLSFM คือ 87.31% และ 80.57% แต่โอกาสผิดพลาดทาง Under Estimate ต่ำกว่าผลจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ -11.46% และ -31.55% ตามลำดับ ซึ่งพิจารณาโดยรวมแล้ว Kalman Filter Model จะให้ช่วงค่าของความผิดพลาดต่ำกว่าผลการคำนวณจากการใช้ NLSFM และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการใช้ Kalman Filter Model มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.31% และ 25.54% ตามลำดับ ความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการใช้ Kalman Filter Model พบว่ามีช่วงความผิดพลาดน้อยกว่าผลการคำนวณจากการใช้ NLSFM โดยที่มีช่วงความผิดพลาดก่อน 1 วันจนถึงคำนวณได้ช้ากว่าเหตุการณ์จริง 1 วันและผลจากการใช้ NLSFM จะได้ผลคำนวณผิดพลาดในลักษณะก่อนเหตุการณ์จริง 6 วันจนถึงคำนวณได้ช้า

กว่าเหตุการณ์จริง 2 วันตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงจุดเด่นของ Kalman Filter Technique ที่สามารถลดค่าความผิดพลาดของผลการคำนวณเวลาการเกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด

3) ผลการคำนวณเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 3-Day Average แสดงในตาราง 5.8 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์พบว่าค่าเฉลี่ย RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันจากการประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model ให้ค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย RMSE จากการประยุกต์ใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.3061 mm และ 1.7412 mm ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการใช้ Kalmam Filter Model พบว่าให้ช่วงของความผิดพลาดน้อยกว่าคือมีค่า -21.91% ถึง 63.56% ส่วนผลที่ได้จากการใช้ NLSFM มีโอกาสผิดพลาดอยู่ในช่วงที่มากกว่าคือมีค่าเท่ากับ -35.01% ถึง 66.29% และหากพิจารณาค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดพบว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจากการใช้ Kalman Filter Model มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าผลจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.70% และ 23.76% ตามลำดับ ส่วนค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการใช้ Kalman Filter Model พบว่ามีช่วงความผิดพลาดในลักษณะคำนวณได้ก่อนเหตุการณ์จริง 1 วันจนถึงคำนวณได้ช้ากว่าเหตุการณ์จริง 1 วันซึ่งเป็นช่วงความผิดพลาดที่ต่ำกว่าผลจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีความผิดพลาดในลักษณะคำนวณได้ก่อนเหตุการณ์จริง 6 วันจนถึงคำนวณได้ช้ากว่าเหตุการณ์จริง 2 วัน

4) ผลการคำนวณเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 4-Day Average แสดงในตาราง 5.9 จากผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์พบว่าค่าเฉลี่ย RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันจากผลการใช้ Kalman Filter Model ให้ค่าเฉลี่ยของ RMSE น้อยกว่าค่าเฉลี่ย RMSE จากการประยุกต์ใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.2314 mm และ 1.6141 mm ตามลำดับ การพิจารณาความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด พบว่าช่วงความผิดพลาดจากผลการใช้ Kalman Filter Model มีช่วงความผิดพลาดต่ำกว่าคือมีค่าในอยู่ในช่วง -20.03% ถึง 46.22% ซึ่งค่าความผิดพลาดผลคำนวณจากการใช้ NLSFM มีช่วงผิดพลาดที่กว้างกว่าคือมีค่าอยู่ในช่วง -40.34% ถึง 51.20% และหากพิจารณาค่าความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดการคำนวณจากการใช้ Kalman Filter Model มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยกว่าการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.86% และ 23.53% ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาค่าความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด จากการใช้ Kalman

Filter Model มีค่าความผิดพลาดในช่วงคำนวณได้ก่อนเหตุการณ์จริง 1 วันจนถึงคำนวณได้ช้ากว่าเหตุการณ์จริง 1 วันซึ่งเป็นช่วงความผิดพลาดที่น้อยกว่าความผิดพลาดจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงคำนวณได้ก่อนเหตุการณ์จริง 5 วันจนถึงคำนวณได้ช้ากว่าเหตุการณ์จริง 3 วัน

จากผลการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Kalman Filter Model และ NLSFM กับข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average สรุปได้ว่าเมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบเดียวกัน ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันจาก Kalman Filter Model ให้ผลการคำนวณที่ถูกต้องแม่นยำกว่าผลจากการใช้ NLSFM ทั้งในด้านค่าเฉลี่ย RMSE ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่ต่ำกว่า, ความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดมีช่วงความผิดพลาดที่น้อยกว่าและค่าเฉลี่ยความผิดพลาดมีค่าน้อยกว่าผลจากการใช้ NLSFM จากการที่ใช้วิธีคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินแบบต่างๆ ก็เนื่องจากเป็นความจำเป็นที่แบบจำลองต้องการข้อมูลเพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันล่วงหน้าซึ่งเป็นประโยชน์ในการดำเนินการอ่างเก็บน้ำ แต่จากวิธีการคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average มีผลโดยตรงกับผลการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการใช้ NLSFM ซึ่งมีแนวโน้มผลการคำนวณได้ช้าลงตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 5.4 ซึ่ง Kalman Filter Technique สามารถลดค่าความผิดพลาดลงได้ ดังแสดงในตาราง 5.5 เนื่องจาก Kalman Filter Technique สามารถใช้ค่าความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันในปัจจุบัน นำไปปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ของสมการหลักในแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันในครั้งถัดไปที่ดีขึ้น ฉะนั้นการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันล่วงหน้าจากการใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการดำเนินการอ่างเก็บน้ำนั้นเห็นได้ว่า Kalman Filter Model สามารถให้ค่าความถูกต้องของผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันได้ดีกว่า NLSFM เมื่อพิจารณาโดยรวม(ไม่ได้พิจารณาเทียบปีต่อปี)โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดเดียวกันจากการปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์และเมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ RMSE จากผลการคำนวณระหว่างการใช้ NLSFM เปรียบเทียบกับผลการคำนวณเมื่อใช้ Kalman Filter Model พบว่าค่าเฉลี่ยของ RMSE จากผลการคำนวณเมื่อใช้ Kalman Filter Model จะให้ค่าต่ำกว่าเสมอ โดยเปรียบเทียบในลักษณะการใช้ข้อมูลปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากการคำนวณล่วงหน้าแบบเดียวกัน รายละเอียดสรุปการเปรียบเทียบแสดงในตาราง 5.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย RMSE จากผลการคำนวณของทั้งสองแบบจำลองโดยใช้วิธีวิเคราะห์

แบบ Student t-Test เพื่อวิเคราะห์ยืนยันว่าค่าเฉลี่ย RMSE ที่ได้จากผลการคำนวณจากแบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ย RMSE ที่ได้จากผลการคำนวณจากแบบจำลองทั้งสอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้ข้อมูลในลักษณะเดียวกันซึ่งนั่นหมายถึง Kalman Filter Technique ที่ใช้ผนวกเข้าไปในแบบจำลองคณิตศาสตร์ NLSFM นั้นไม่ได้ทำให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องขึ้นหรือดีขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มในทางที่ดีกว่าผลการคำนวณเมื่อใช้ NLSFM อย่างเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.1 ผลการประยุกต์ใช้ NLSFM โดยใช้ข้อมูลฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลจริง

YEAR	n	RMSE	Qp	Qp*	Error Qp	Tp
1988	0.030	5.0837	14.42	12.73	13.27	-8
1977	0.030	2.0555	11.67	11.47	1.74	0
1976	0.030	3.0430	10.78	10.11	6.73	-3
1982	0.030	1.5250	5.06	6.94	-26.98	-1
1970	0.030	2.4310	11.69	6.23	87.64	0
1983	0.030	1.7765	6.09	5.10	19.64	-2
1984	0.030	1.7623	6.56	4.11	60.00	-2
1986	0.030	0.3736	1.63	1.96	-16.41	-1

ตาราง 5.2 ผลการประยุกต์ใช้ Kalman Filter Model โดยใช้ข้อมูลฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันจากข้อมูลจริง

YEAR	n	RMSE	Qp	Qp*	Error Qp	Tp
1988	0.030	2.2994	12.40	12.73	-2.59	+1
1977	0.030	1.4720	9.92	11.47	-13.51	0
1976	0.030	2.5806	11.28	10.11	11.57	+1
1982	0.030	1.6620	6.79	6.94	-2.16	+1
1970	0.030	1.1676	8.41	6.23	34.99	+1
1983	0.030	1.0080	3.49	5.10	-31.56	+1
1984	0.030	0.9507	3.18	4.11	-22.62	0
1986	0.030	0.5754	2.09	1.96	6.63	+1

ตาราง 5.3 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์กับข้อมูลฝนจริงจากการวัด

YEAR	RMSE		ERROR Qp(%)		Tp	
	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN
1988	5.0837	2.2994	13.27	-2.59	-8	+1
1977	2.0555	1.4720	1.74	-13.51	0	0
1976	3.0430	2.5806	6.73	11.57	-3	+1
1982	1.5250	1.6620	-26.98	-2.16	-1	+1
1970	2.4310	1.1676	87.64	34.99	0	+1
1983	1.7765	1.0080	19.64	-31.56	-2	+1
1984	1.7623	0.9507	60.00	-22.62	-2	0
1986	0.3736	0.5754	-16.41	6.63	-1	+1
AVERAGE	2.2563	1.4644	29.05	15.70		

RMSE =Root Mean Square Error ของการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (mm)

Qp =ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากการคำนวณ (mm/day)

Qp* =ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุดจากข้อมูลวัดจริง (mm/day)

Error Qp =ความผิดพลาดการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด (%)

Tp =ความผิดพลาดการคำนวณเวลาที่เกิดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันสูงสุด (day)

โดยที่ + หมายถึงคำนวณได้ช้ากว่าเหตุการณ์จริง , - หมายถึงคำนวณได้ก่อนเหตุการณ์จริง

ตาราง 5.4 ผลการประยุกต์ NLSFM โดยใช้ข้อมูลฝนจากการคำนวณล่วงหน้า

		YEAR								
		1988	1977	1976	1982	1970	1983	1984	1986	AVERAGE
RMSE	A1	4.6657	2.2662	2.6734	1.1741	2.0808	1.4540	1.5158	0.2877	2.0147
	A2	4.3764	2.3571	2.4351	1.2430	1.8971	1.3110	1.3855	0.2740	1.9099
	A3	3.9528	2.3659	2.1064	1.0941	1.6655	1.1929	1.2668	0.2854	1.7412
	A4	3.4506	2.3766	1.8571	1.1566	1.4606	1.1009	1.1971	0.3136	1.6141
Error Qp	A1	13.35	1.74	6.62	-27.08	87.64	19.41	59.61	-16.32	28.97
	A2	7.46	-6.80	-0.09	-31.55	80.57	11.17	49.39	-17.34	25.54
	A3	3.53	-16.82	-3.06	-35.01	66.29	7.05	37.95	-20.40	23.76
	A4	-4.16	-31.03	-11.67	-40.34	51.20	0.00	27.98	-21.93	23.53
Tp	A1	-7	+1	-2	0	+1	-1	-1	0	
	A2	-6	+1	-2	0	+2	0	0	0	
	A3	-6	+2	-1	+1	+2	0	0	+1	
	A4	-5	+3	0	+2	+3	0	0	+1	

ตาราง 5.5 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model โดยใช้ข้อมูลฝนจากการคำนวณล่วงหน้า

		YEAR								
		1988	1977	1976	1982	1970	1983	1984	1986	AVERAGE
RMSE	A1	2.2623	1.9602	2.1593	1.4981	1.3300	0.9013	0.8343	0.5721	1.4397
	A2	2.0248	1.9914	2.1566	1.4665	1.4540	0.8907	0.8156	0.5517	1.4189
	A3	1.8080	1.6965	1.9778	1.4298	1.2945	0.8845	0.8088	0.5494	1.3061
	A4	1.6200	1.6040	1.7940	1.4630	1.1567	0.9038	0.7697	0.5406	1.2314
Error Qp	A1	-0.15	31.64	-5.24	-11.23	76.56	14.90	7.78	3.57	18.88
	A2	-11.46	14.47	-4.54	-3.02	87.31	12.35	29.19	8.16	21.31
	A3	-21.91	-3.22	-7.61	5.47	63.56	8.23	28.95	10.71	18.70
	A4	-20.03	-9.67	-6.23	4.61	46.22	5.29	22.62	12.24	15.86
Tp	A1	+1	0	+1	+1	+1	-1	0	+1	
	A2	+1	+1	+1	+1	+1	-1	0	+1	
	A3	+1	+1	+1	+1	+1	-1	0	+1	
	A4	+1	0	+1	+1	+1	-1	0	+1	

หมายเหตุ

A1 = ข้อมูลฝนจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-Day Average

A2 = ข้อมูลฝนจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 2-Day Average

A3 = ข้อมูลฝนจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 3-Day Average

A4 = ข้อมูลฝนจากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 4-Day Average

ตาราง 5.6 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลฝน
จากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 1-Day Average

YEAR	RMSE		ERROR Qp (%)		Tp	
	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN
1988	4.6657	2.2623	13.35	-0.15	-7	+1
1977	2.2662	1.9602	1.74	31.64	+1	0
1976	2.6734	2.1593	6.62	-5.24	-2	+1
1982	1.1741	1.4981	-27.08	-11.23	0	+1
1970	2.0808	1.3300	87.64	76.56	+1	+1
1983	1.4540	0.9013	19.41	14.90	-1	-1
1984	1.5158	0.8343	59.61	7.78	-1	0
1986	0.2877	0.5721	-16.32	3.57	0	+1
AVERAGE	2.0147	1.4397	28.97	18.88		

ตาราง 5.7 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลฝน
จากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 2-Day Average

YEAR	RMSE		ERROR Qp (%)		Tp	
	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN
1988	4.3764	2.0248	7.46	-11.46	-6	+1
1977	2.3571	1.9914	-6.80	14.47	+1	+1
1976	2.4351	2.1566	-0.09	-4.54	-2	+1
1982	1.2430	1.4665	-31.55	-3.02	0	+1
1970	1.8971	1.4540	80.57	87.31	+2	+1
1983	1.3110	0.8907	11.17	12.35	0	-1
1984	1.3855	0.8156	49.39	29.19	0	0
1986	0.2740	0.5517	-17.34	8.16	0	+1
AVERAGE	1.9099	1.4189	25.54	21.31		

ตาราง 5.8 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลฝน
จากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 3-Day Average

YEAR	RMSE		ERROR Qp (%)		Tp	
	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN
1988	3.9528	1.8080	3.53	-21.91	-6	+1
1977	2.3659	1.6965	-16.82	-3.22	+2	+1
1976	2.1064	1.9778	-3.06	-7.61	-1	+1
1982	1.0941	1.4298	-35.01	5.47	+1	+1
1970	1.6655	1.2945	66.29	63.56	+2	+1
1983	1.1929	0.8845	7.05	8.23	0	-1
1984	1.2668	0.8088	37.95	28.95	0	0
1986	0.2854	0.5494	-20.40	10.71	+1	+1
AVERAGE	1.7412	1.3061	23.76	18.70		

ตาราง 5.9 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลฝน
จากการคำนวณล่วงหน้าแบบ 4-Day Average

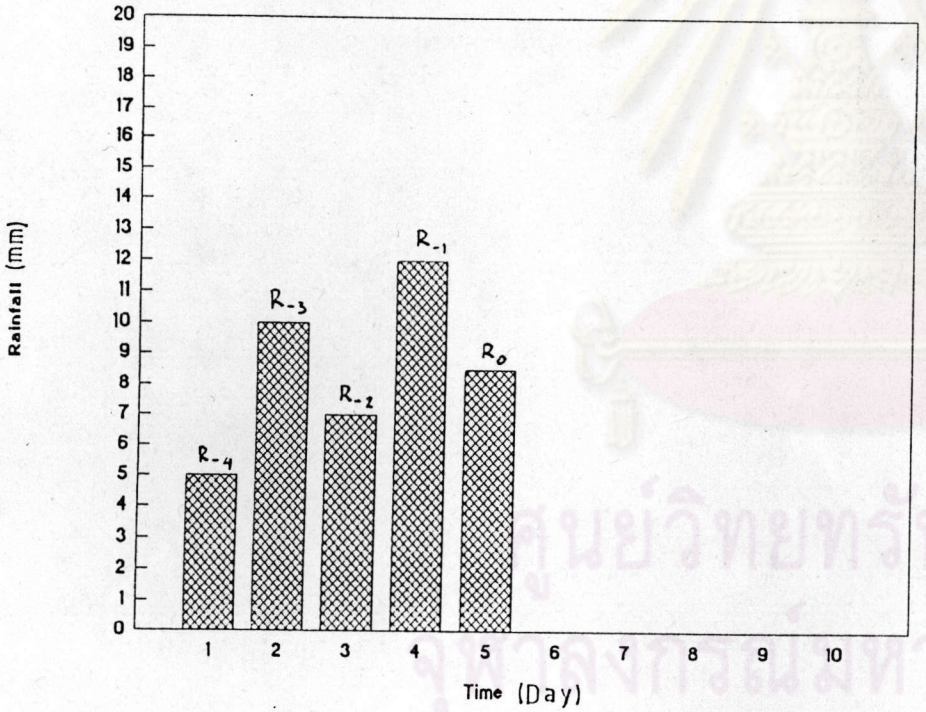
YEAR	RMSE		ERROR Qp (%)		Tp	
	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN
1988	3.4506	1.6200	-4.16	-20.03	-5	+1
1977	2.3766	1.6040	-31.03	-9.67	+3	0
1976	1.8571	1.7940	-11.67	-6.23	0	+1
1982	1.1566	1.4630	-40.34	4.61	+2	+1
1970	1.4606	1.1567	51.20	46.22	+3	+1
1983	1.1009	0.9038	0.00	5.29	0	-1
1984	1.1971	0.7697	27.98	22.62	0	0
1986	0.3136	0.5406	-21.93	12.24	+1	+1
AVERAGE	1.6141	1.2314	23.53	15.86		

ตาราง 5.10 สรุปผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เมื่อใช้ข้อมูลฝน
จากการคำนวณล่วงหน้าแบบต่างๆ

	1-Day		2-Day		3-Day		4-Day	
	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN
$\overline{RMSE}$	2.0147	1.4397	1.9099	1.4189	1.7412	1.3061	1.6141	1.2314
S_{n-1}	1.2973	0.6425	1.2138	0.6138	1.1009	0.5166	0.9542	0.4572
S^2_{n-1}	1.6831	0.4128	1.4734	0.3767	1.2120	0.2669	0.9106	0.2090
T	1.1233		1.0210		1.0119		1.0229	
$T_{95\%}$	2.2217		2.2185		2.2300		2.2266	
Conclusion	NS		NS		NS		NS	

หมายเหตุ NS หมายถึง Not Significantly Difference เมื่อค่า $T < T_{95\%}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



$$R_0 = [\sum_{i=1}^{N} R_{-i}]/N$$

โดยที่ R_0 = ปริมาณฝนจากการคำนวณล่วงหน้า (mm/day)

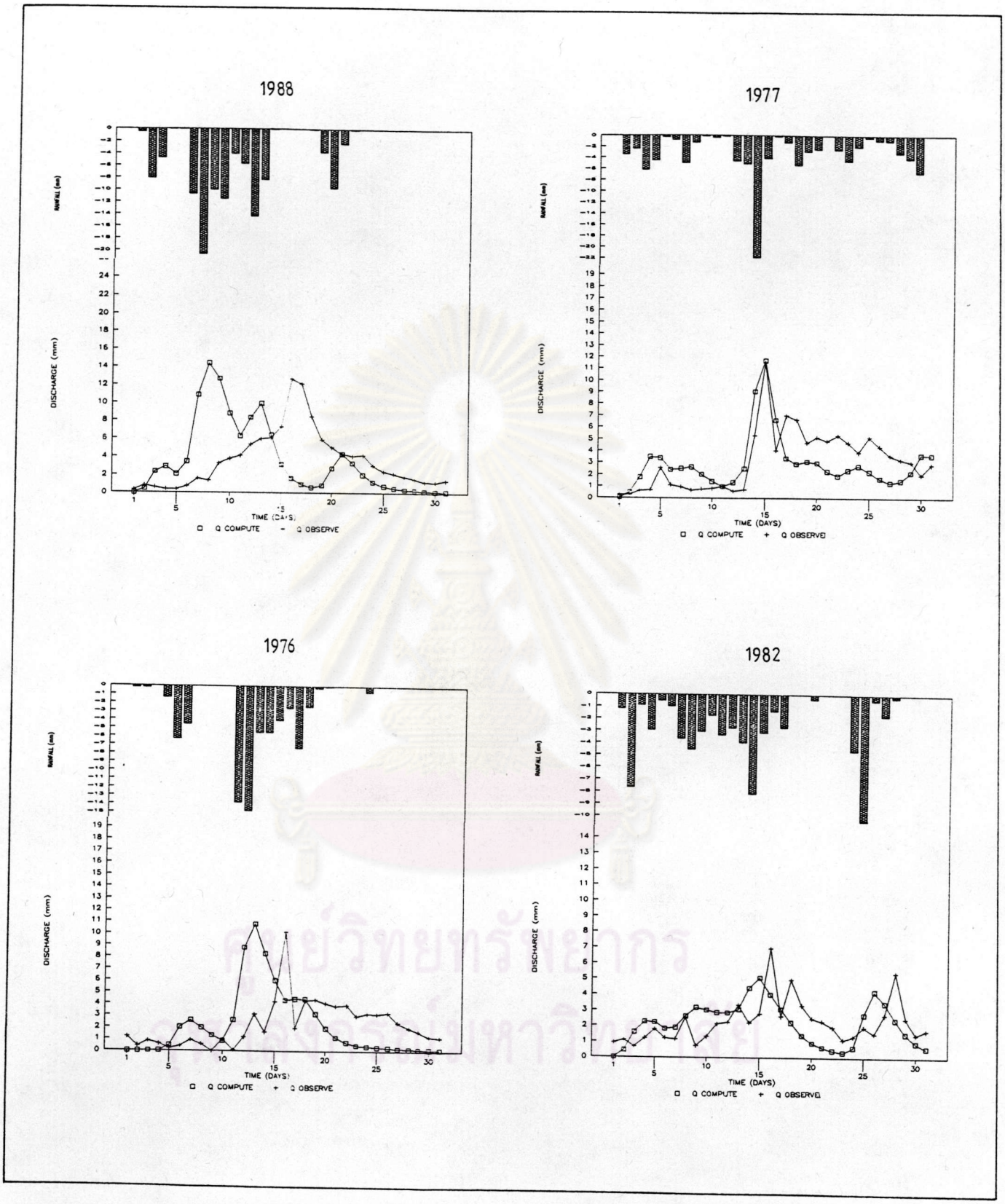
R_{-i} = ปริมาณฝนส่วนเกินจากค่าวัดจริง (mm/day)

N = จำนวนวันที่นำมาพิจารณา การคำนวณฝนล่วงหน้า

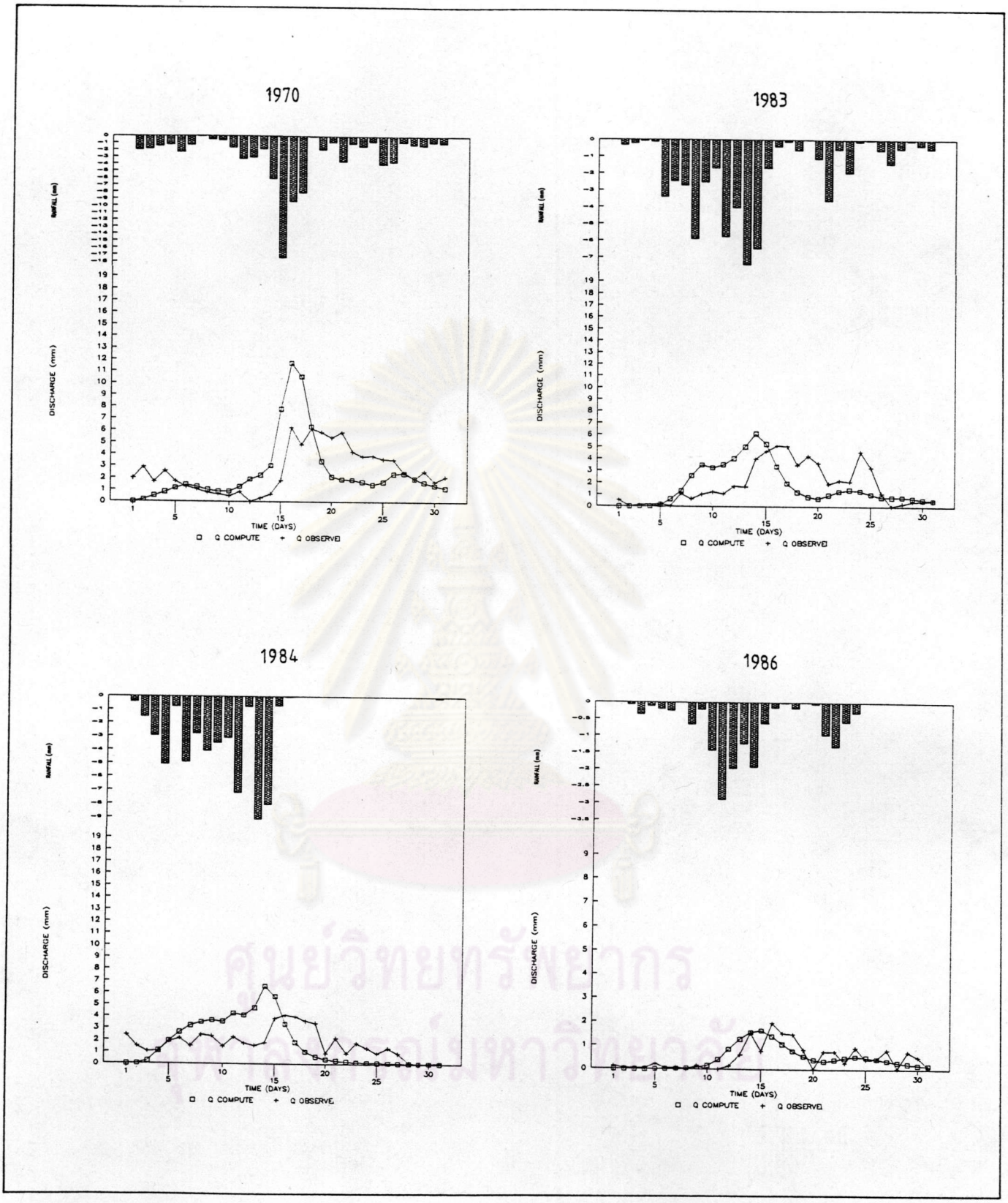
เช่น 1-Day Average และ 2-Day Average

ดังนั้น N = 1 และ 2 ตามลำดับ

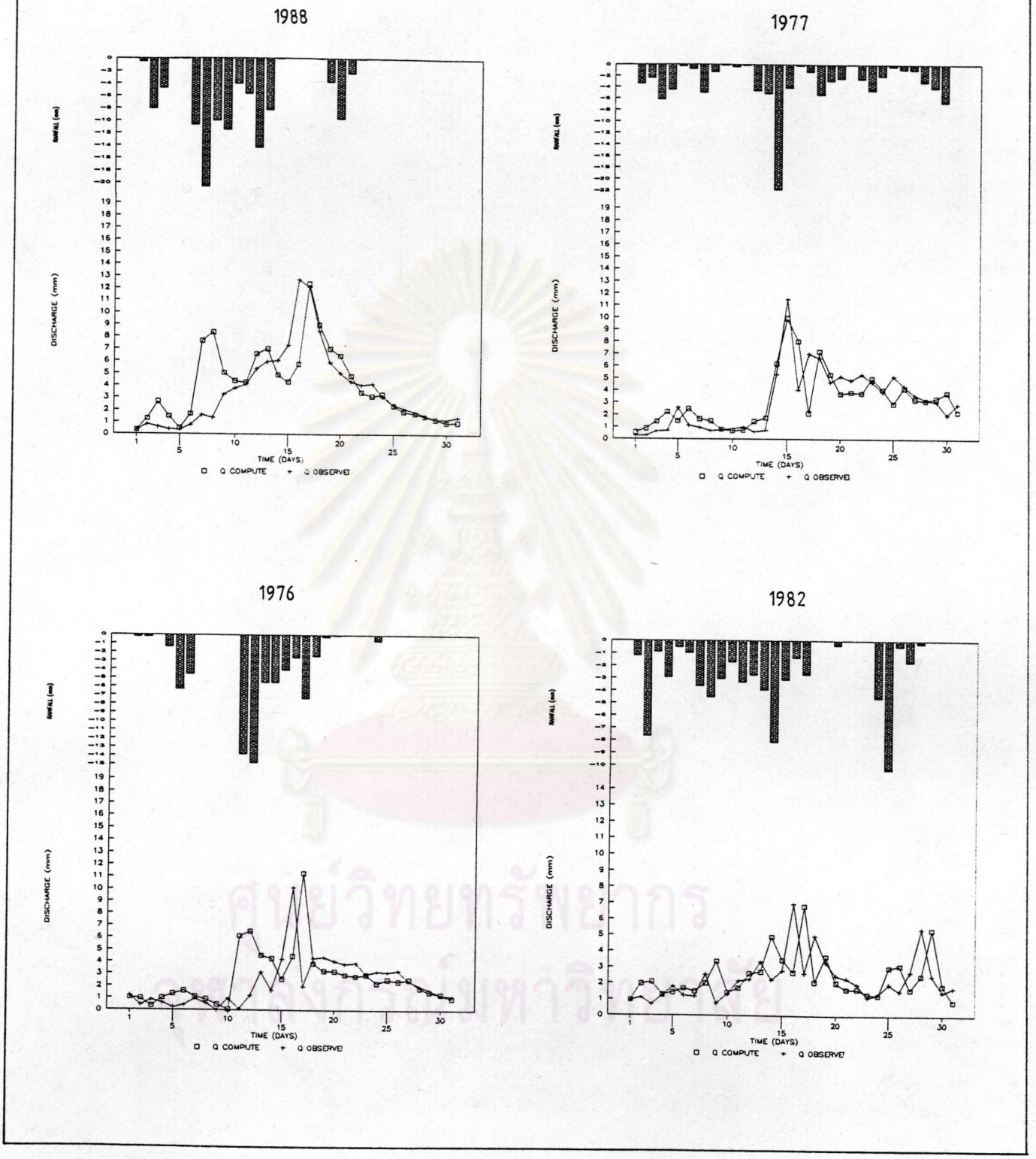
รูป 5.1 การคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินเฉลี่ยรายวันล่วงหน้า



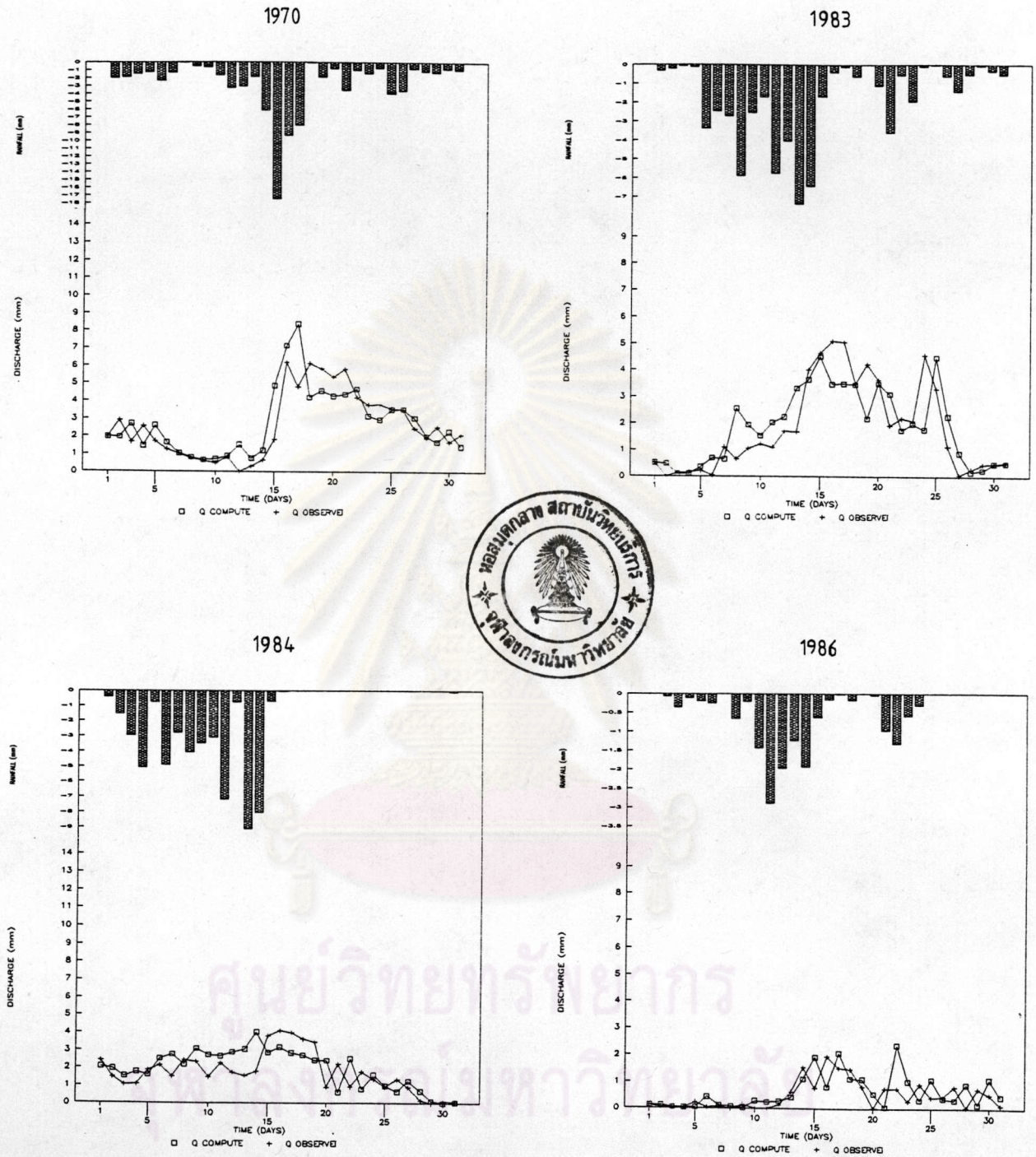
รูป 5.2 ผลการประยุกต์ใช้ NLSFM กับข้อมูลปริมาณฝนจริงจากการวัด



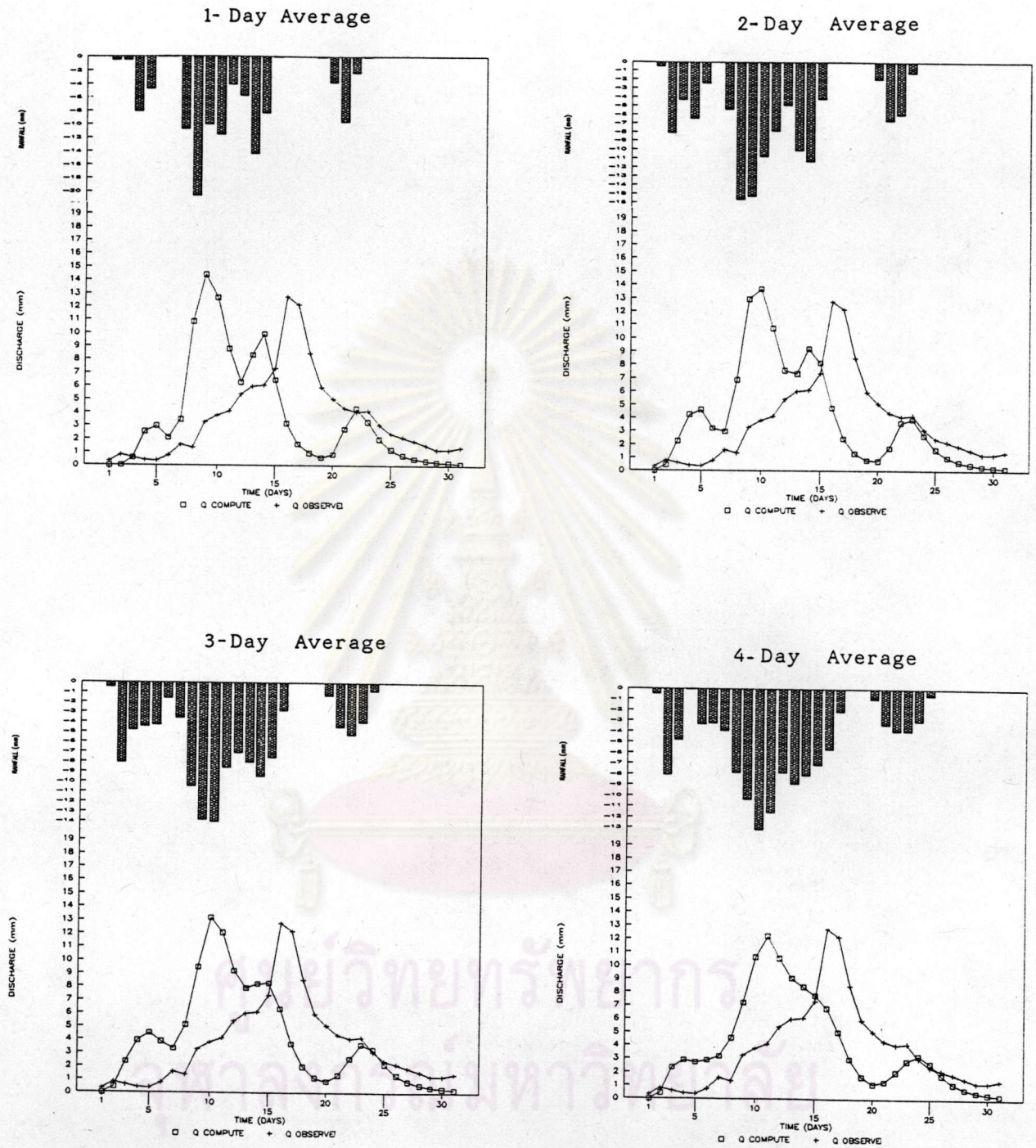
รูป 5.2(ต่อ) ผลการประยุกต์ใช้ NLSFM กับข้อมูลปริมาณฝนจริงจากการวัด



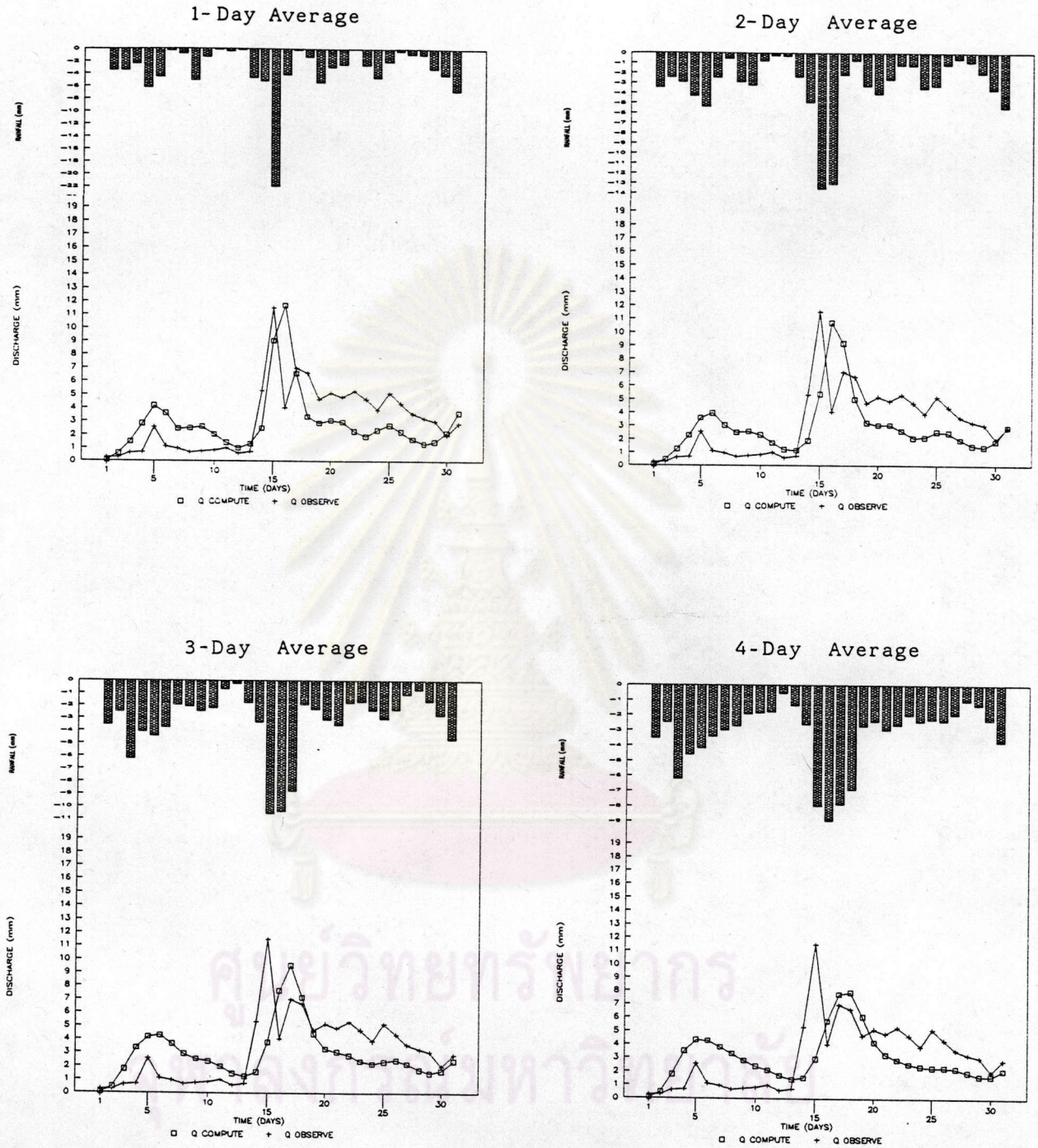
รูป 5.3 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลปริมาณฝนจริงจากการวัด



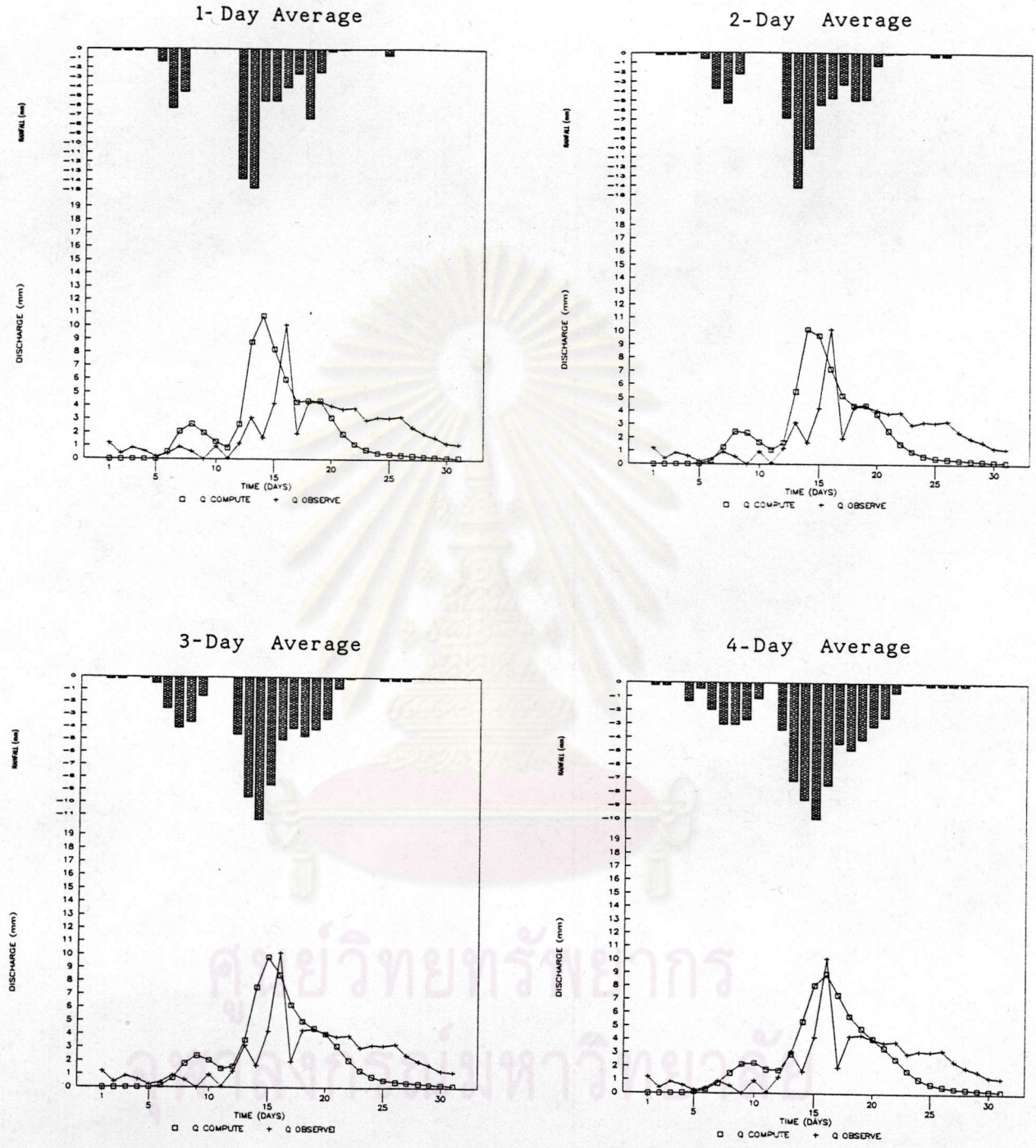
รูป 5.3(ต่อ) ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลปริมาณฝนจริงจากการวัด



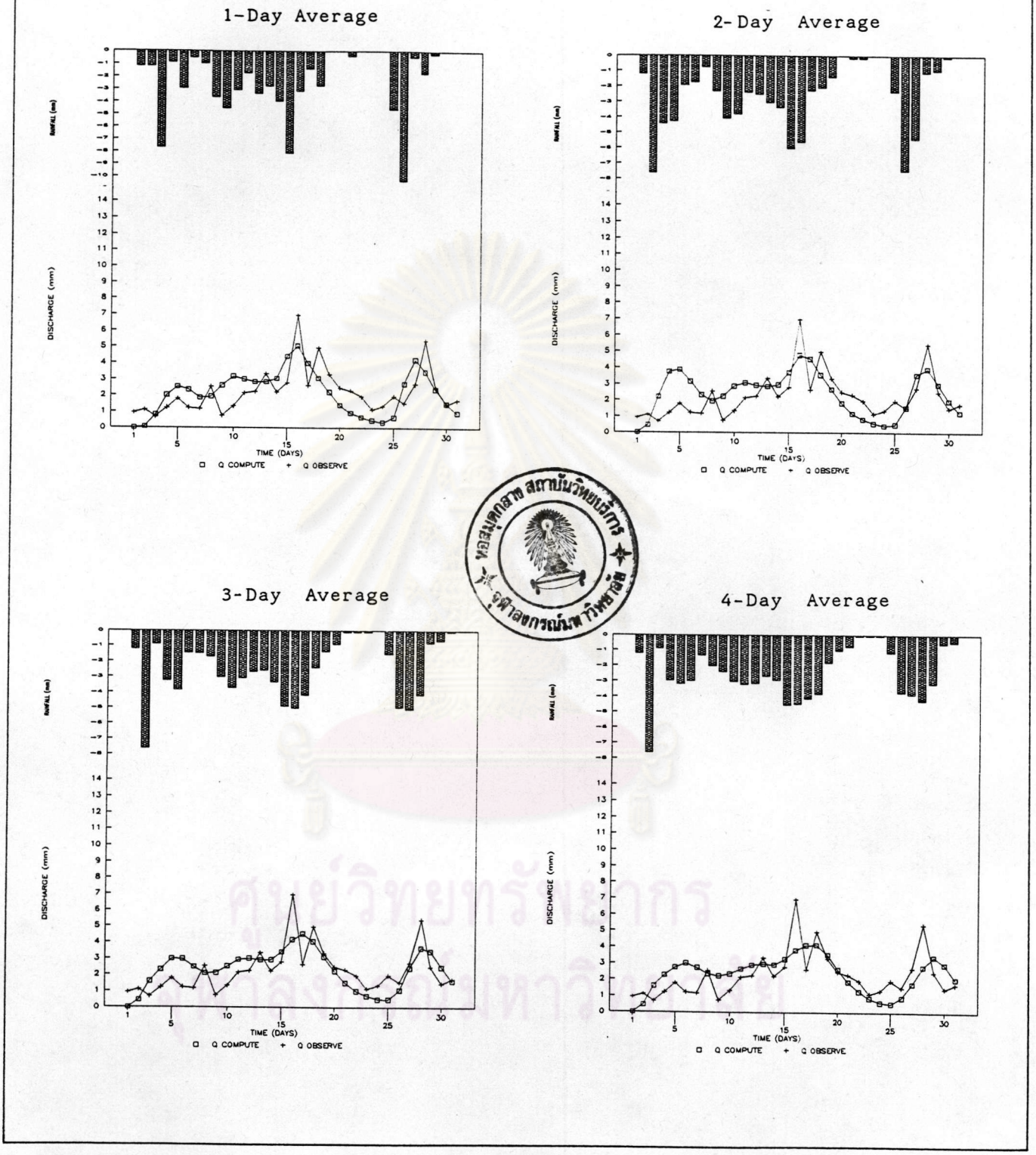
รูป 5.4 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1988 จากการคำนวณล่วงหน้า



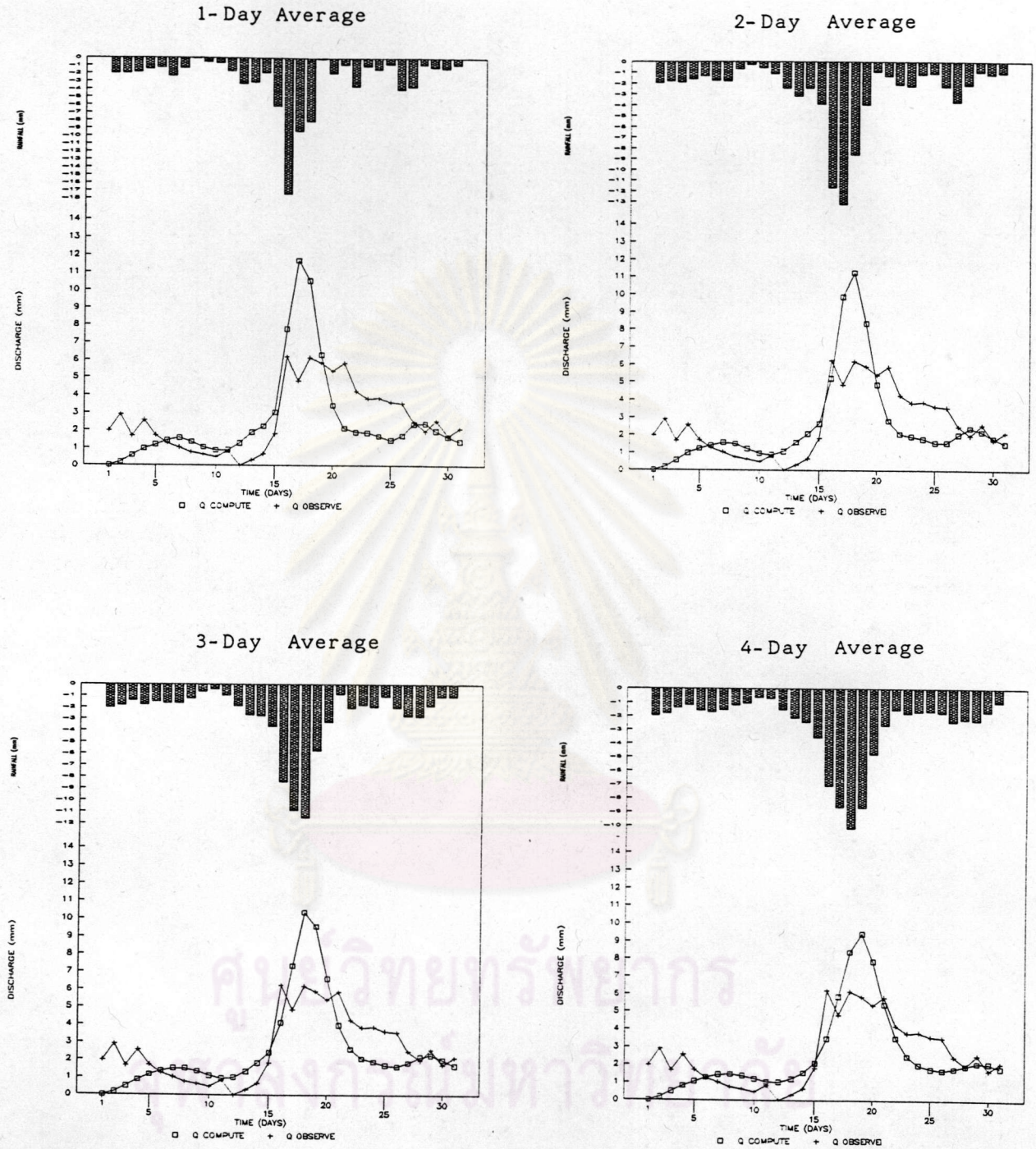
รูป 5.5 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1977 จากการคำนวณล่วงหน้า



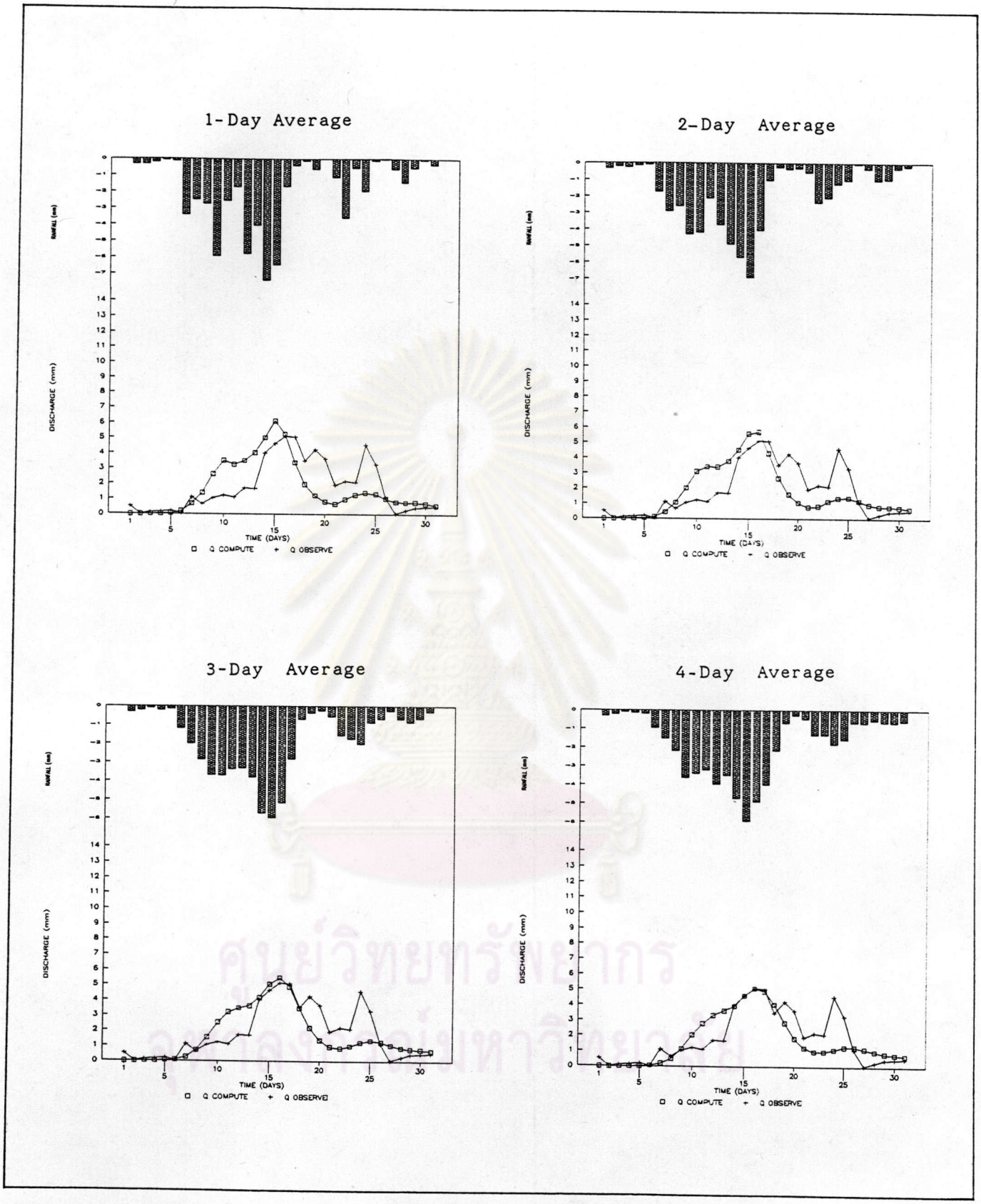
รูป 5.6 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1976 จากการคำนวณล่วงหน้า



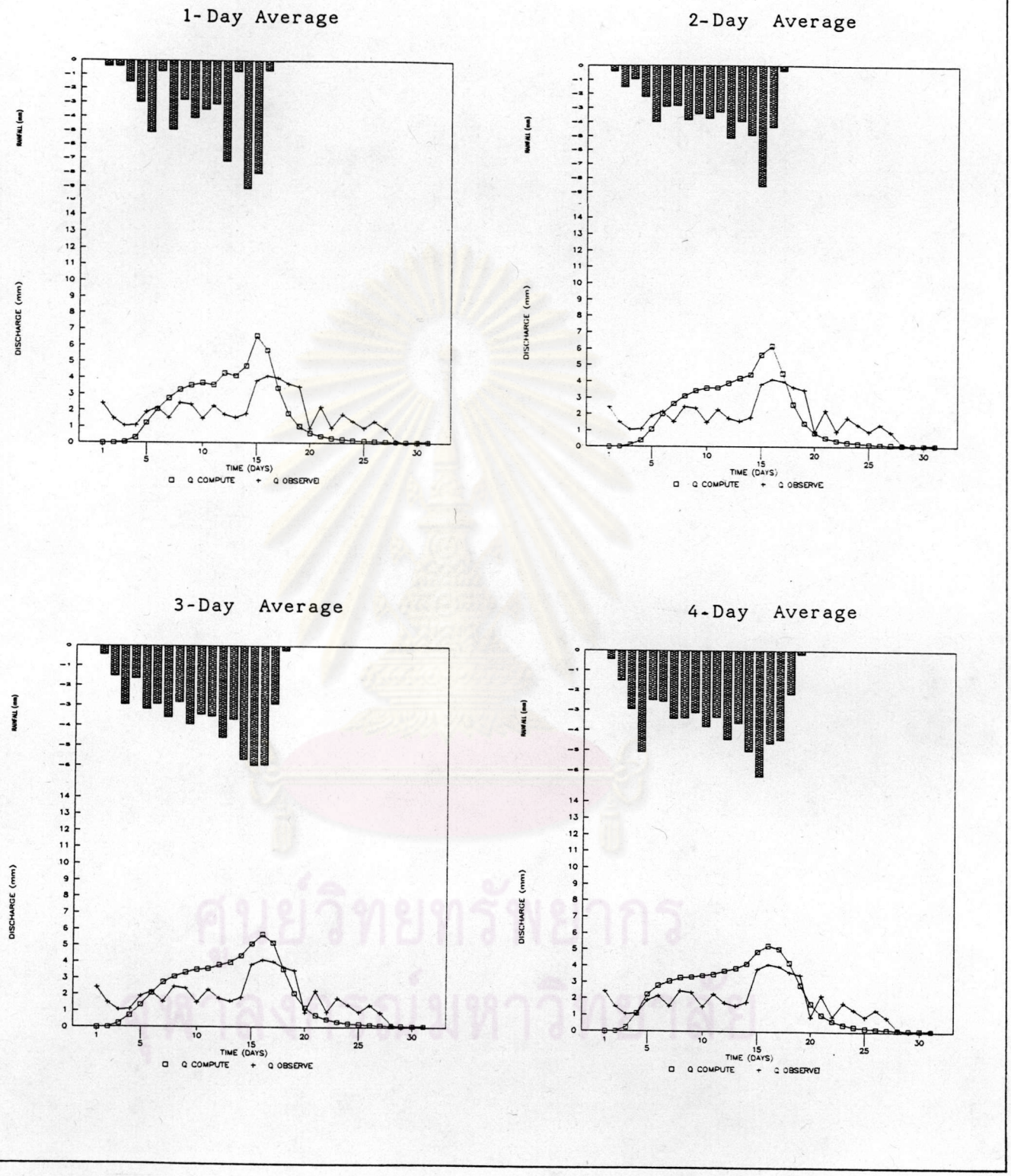
รูป 5.7 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1982 จากการคำนวณล่วงหน้า



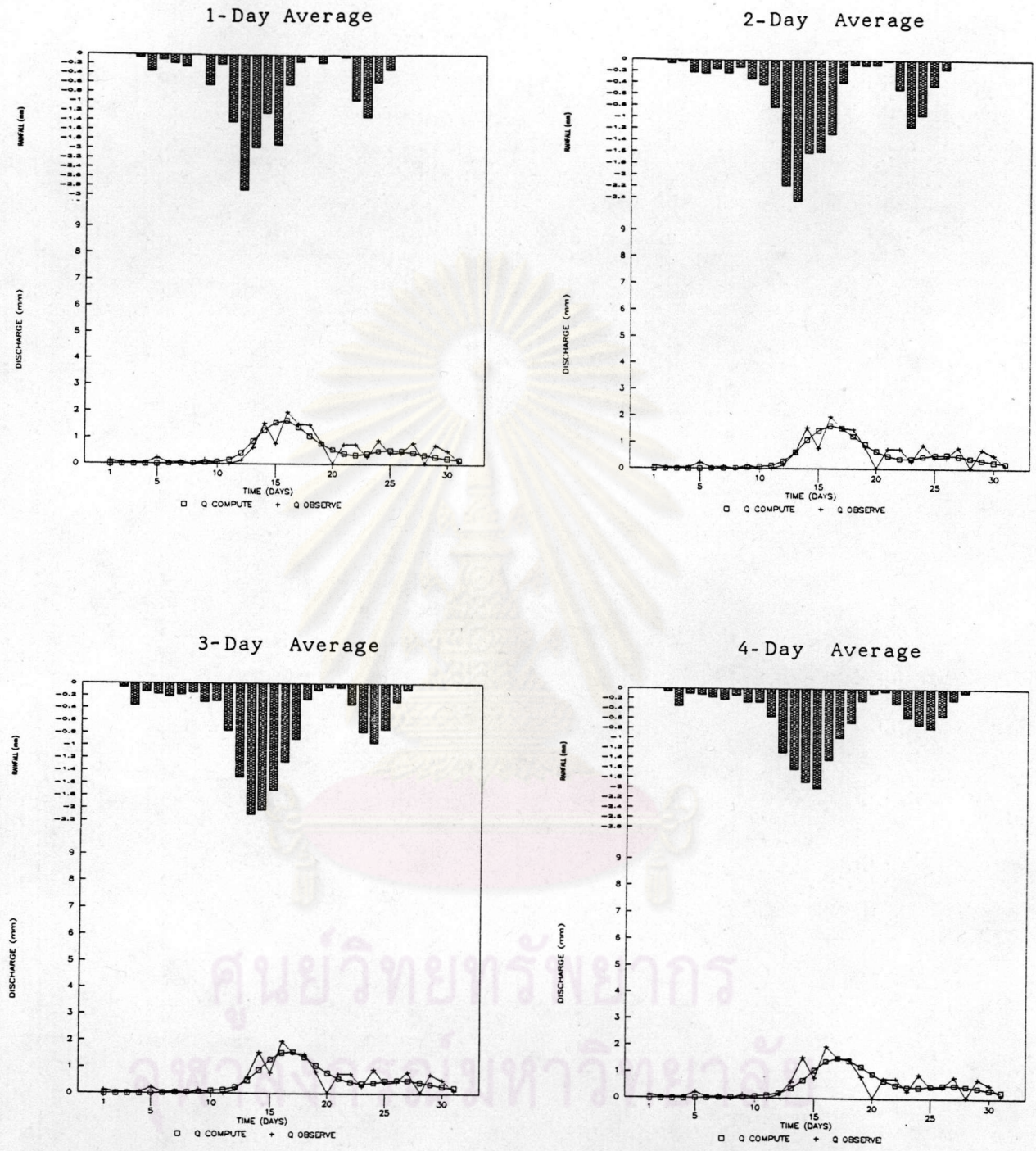
รูป 5.8 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1970 จากการคำนวณล่วงหน้า



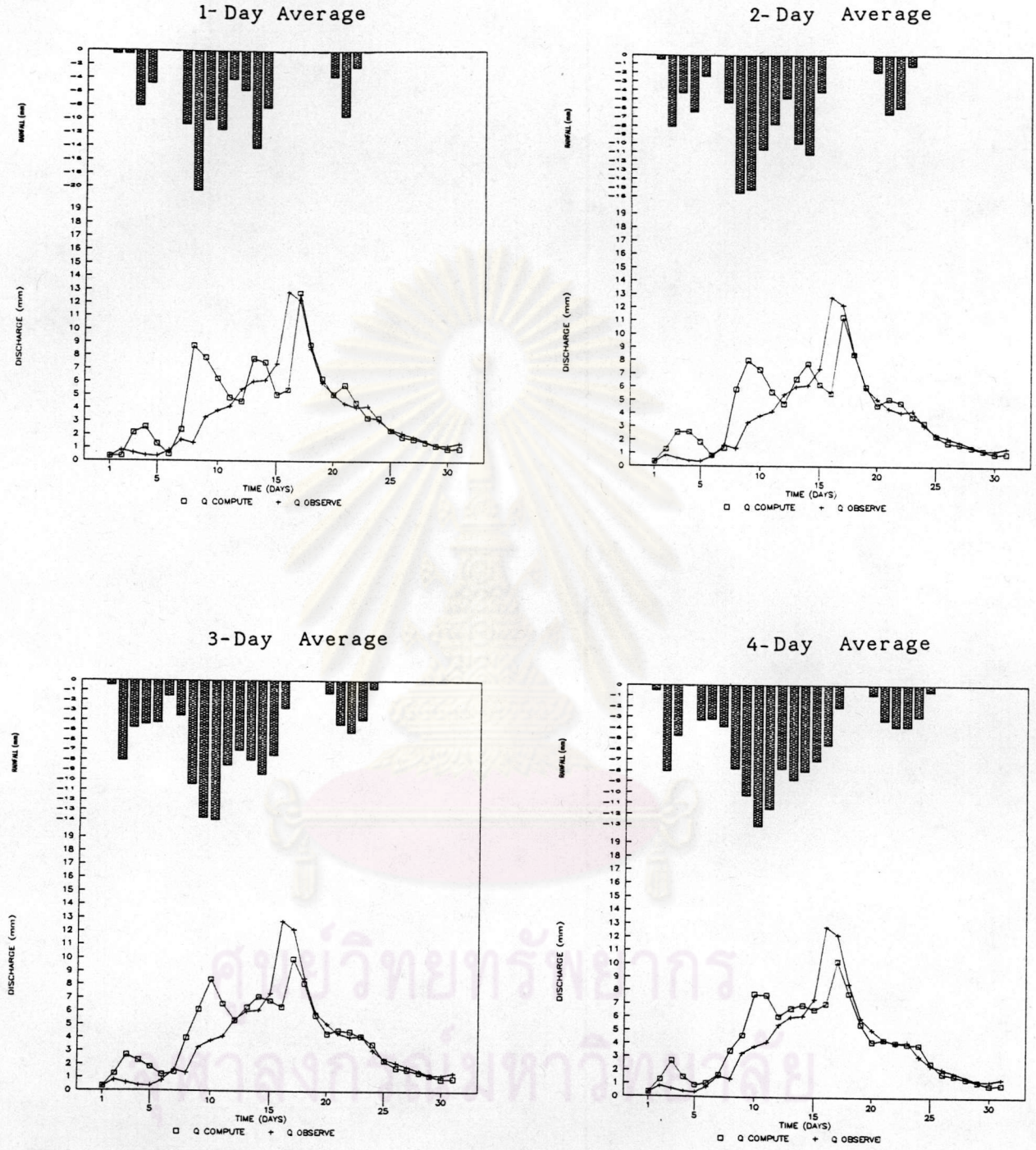
รูป 5.9 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1983 จากการคำนวณล่วงหน้า



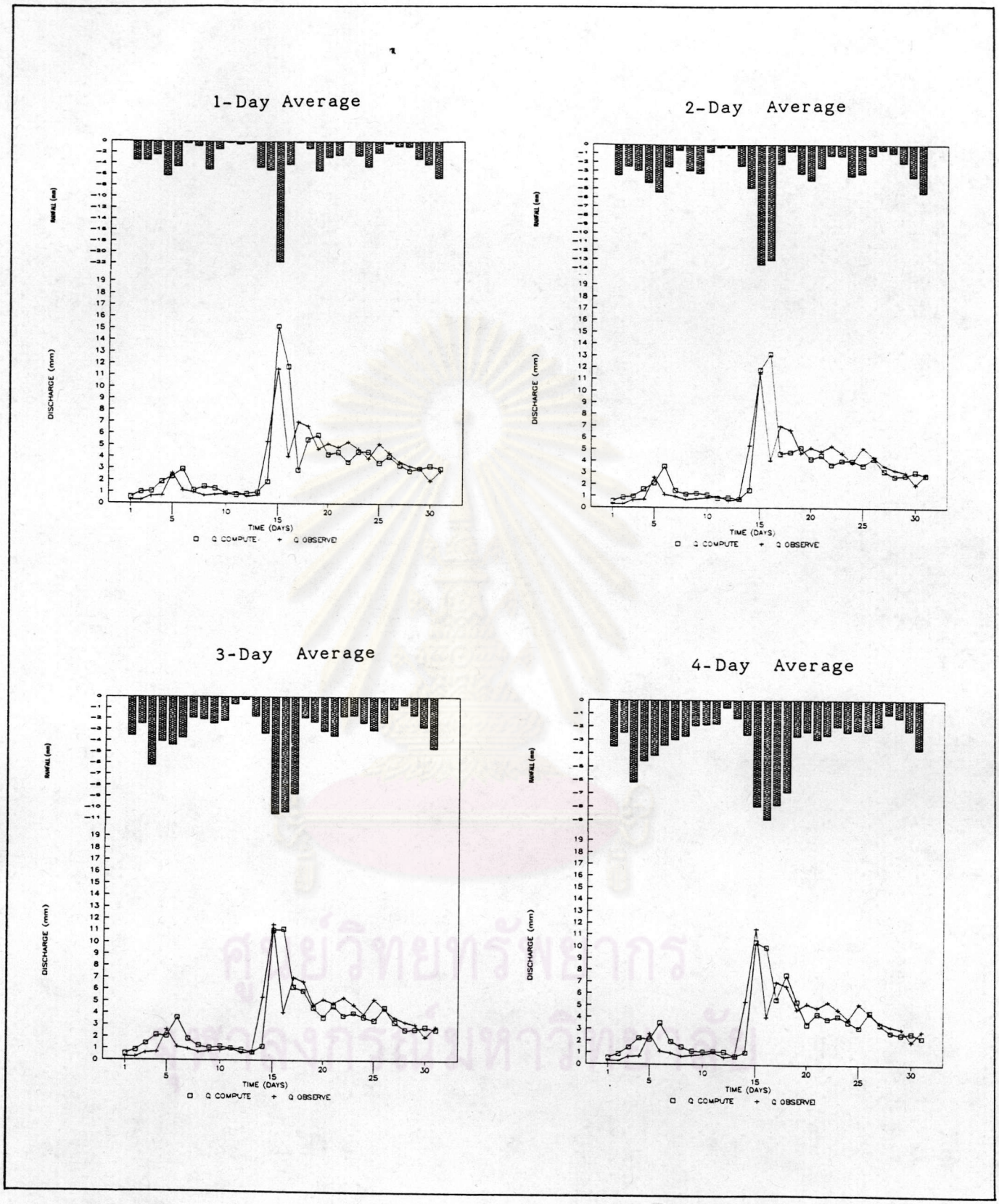
รูป 5.10 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1984 จากการคำนวณล่วงหน้า



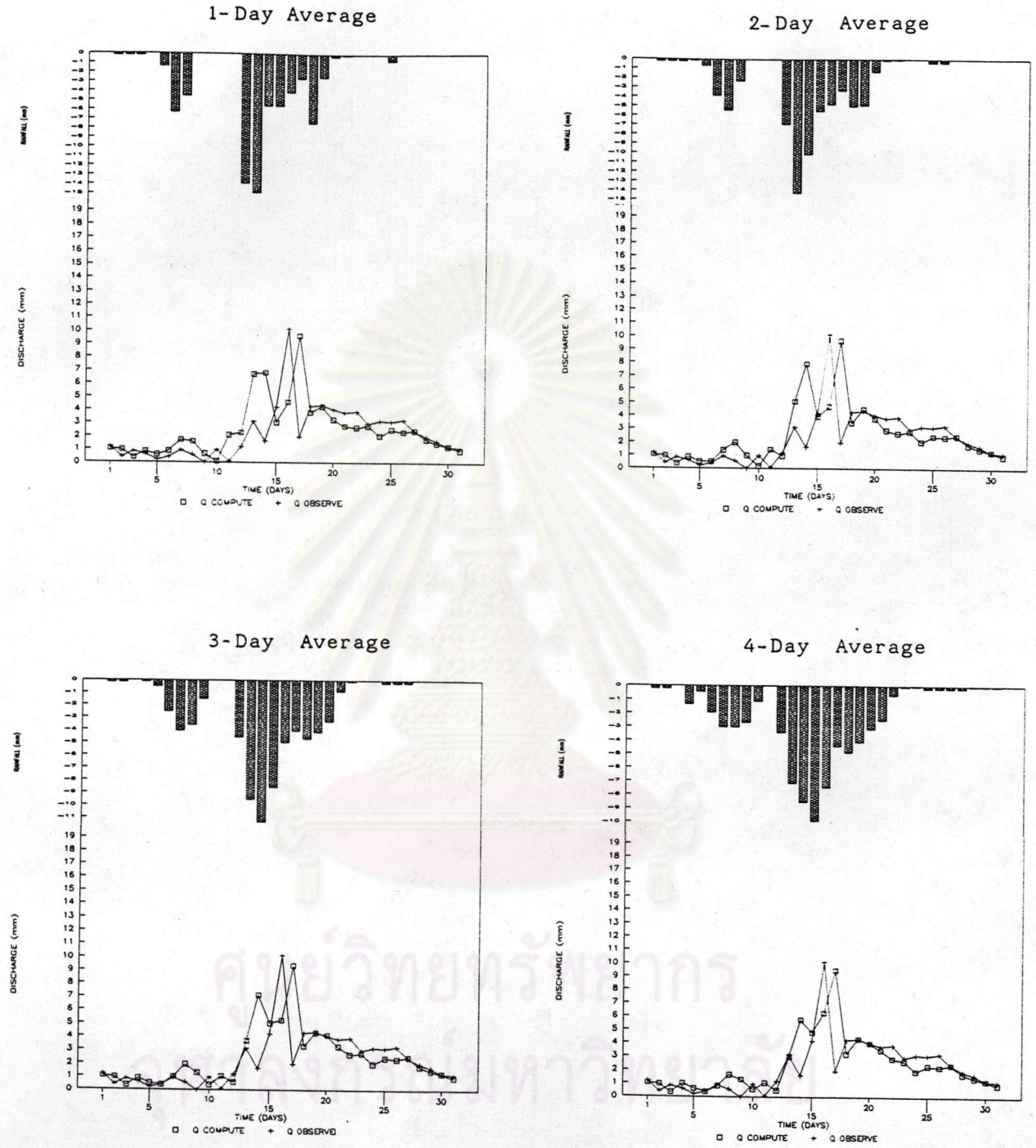
รูป 5.11 ผลการประยุกต์ NLSFM กับข้อมูลฝนปี 1986 จากการคำนวณล่วงหน้า



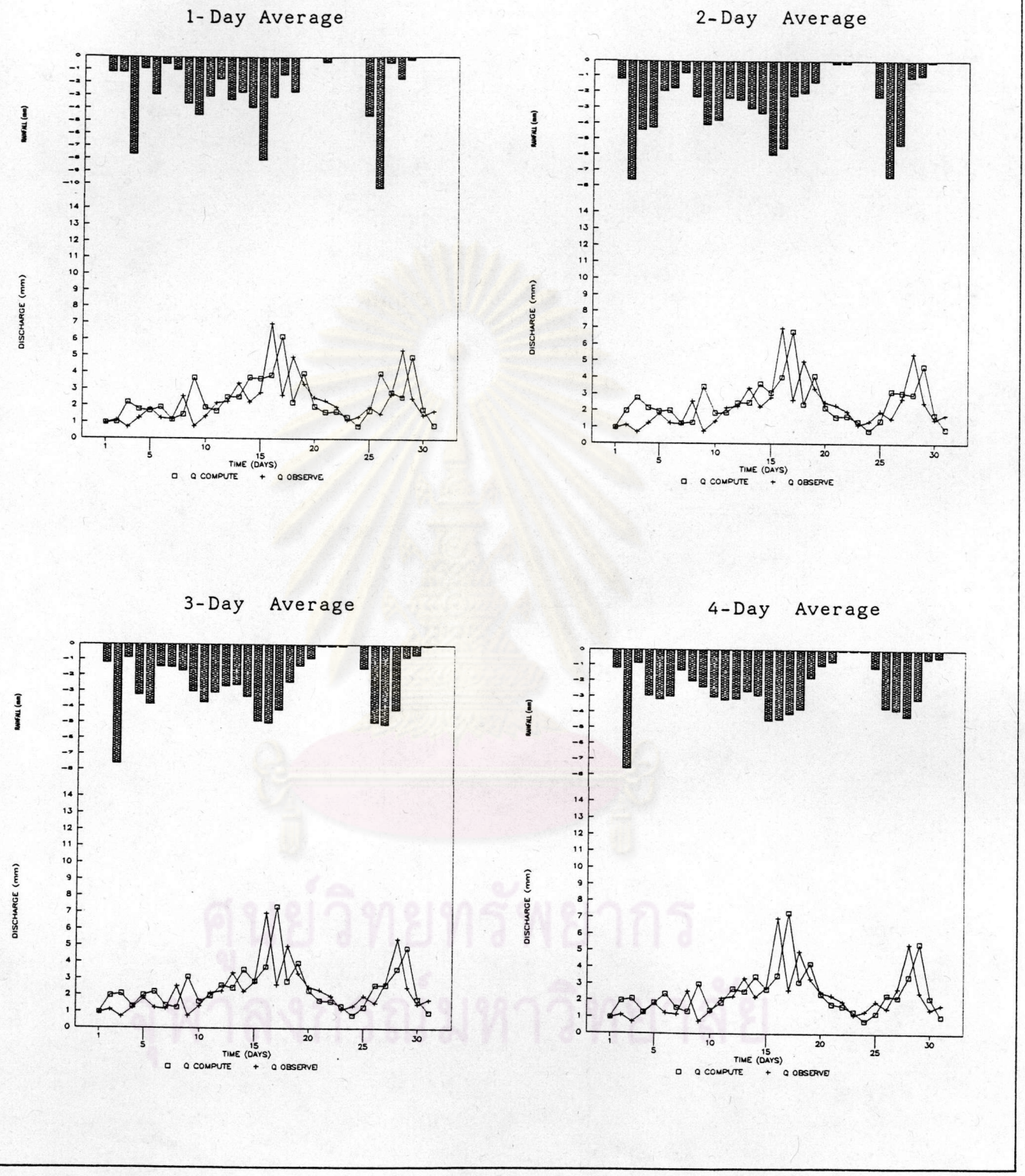
รูป 5.12 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1988 จากการคำนวณล่วงหน้า



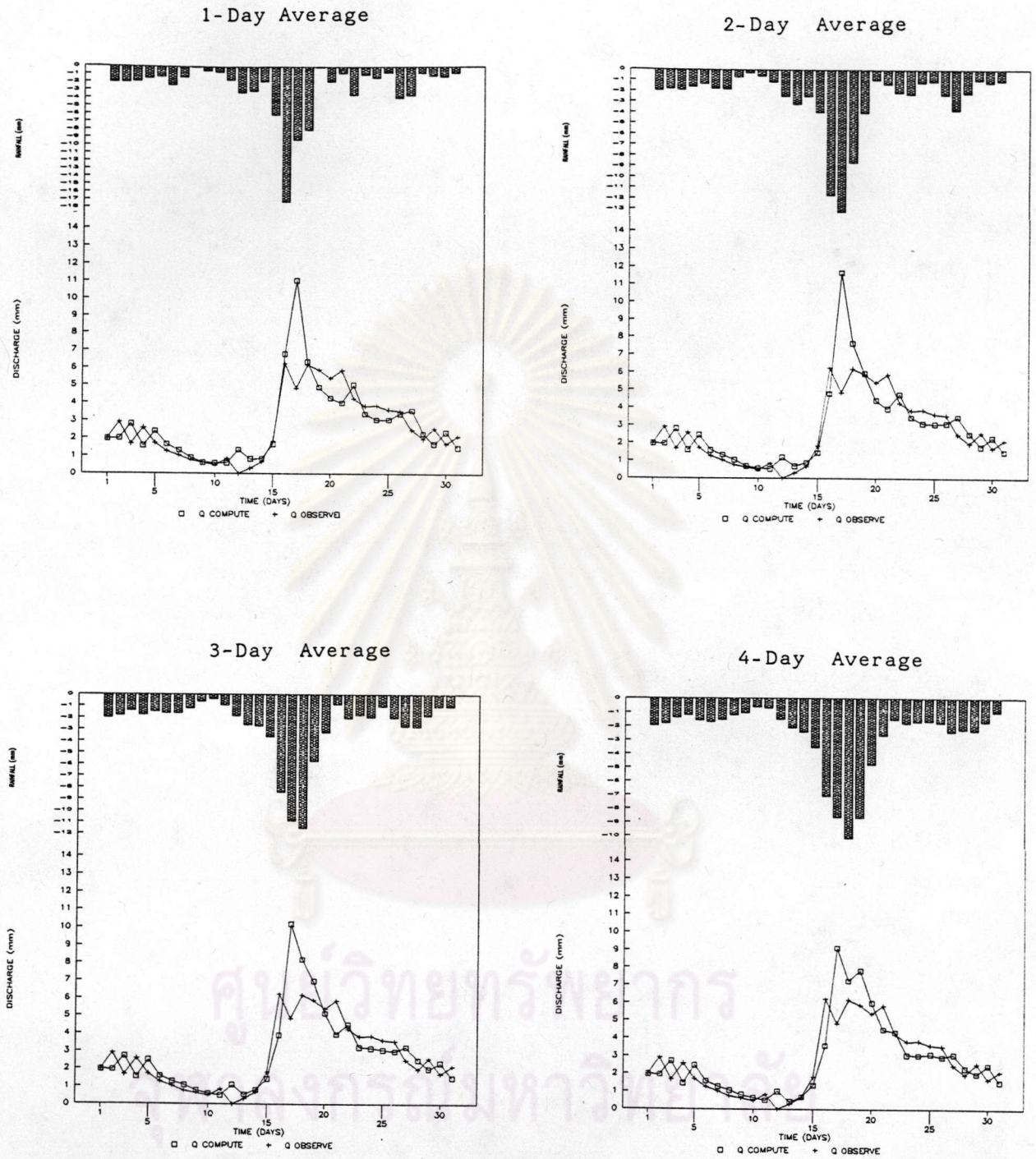
รูป 5.13 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1977 จากการคำนวณล่วงหน้า



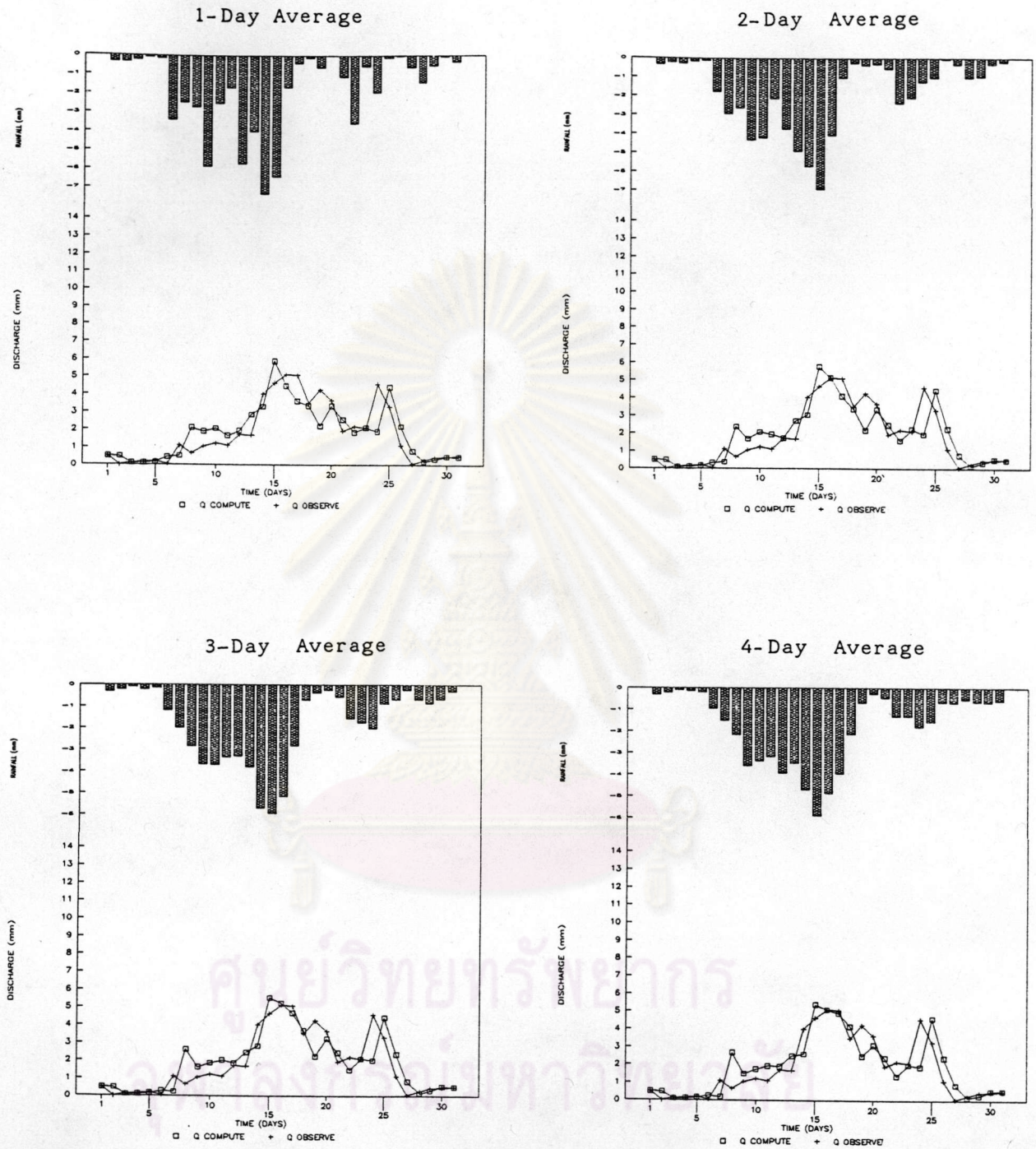
รูป 5.14 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1976 จากการคำนวณล่วงหน้า



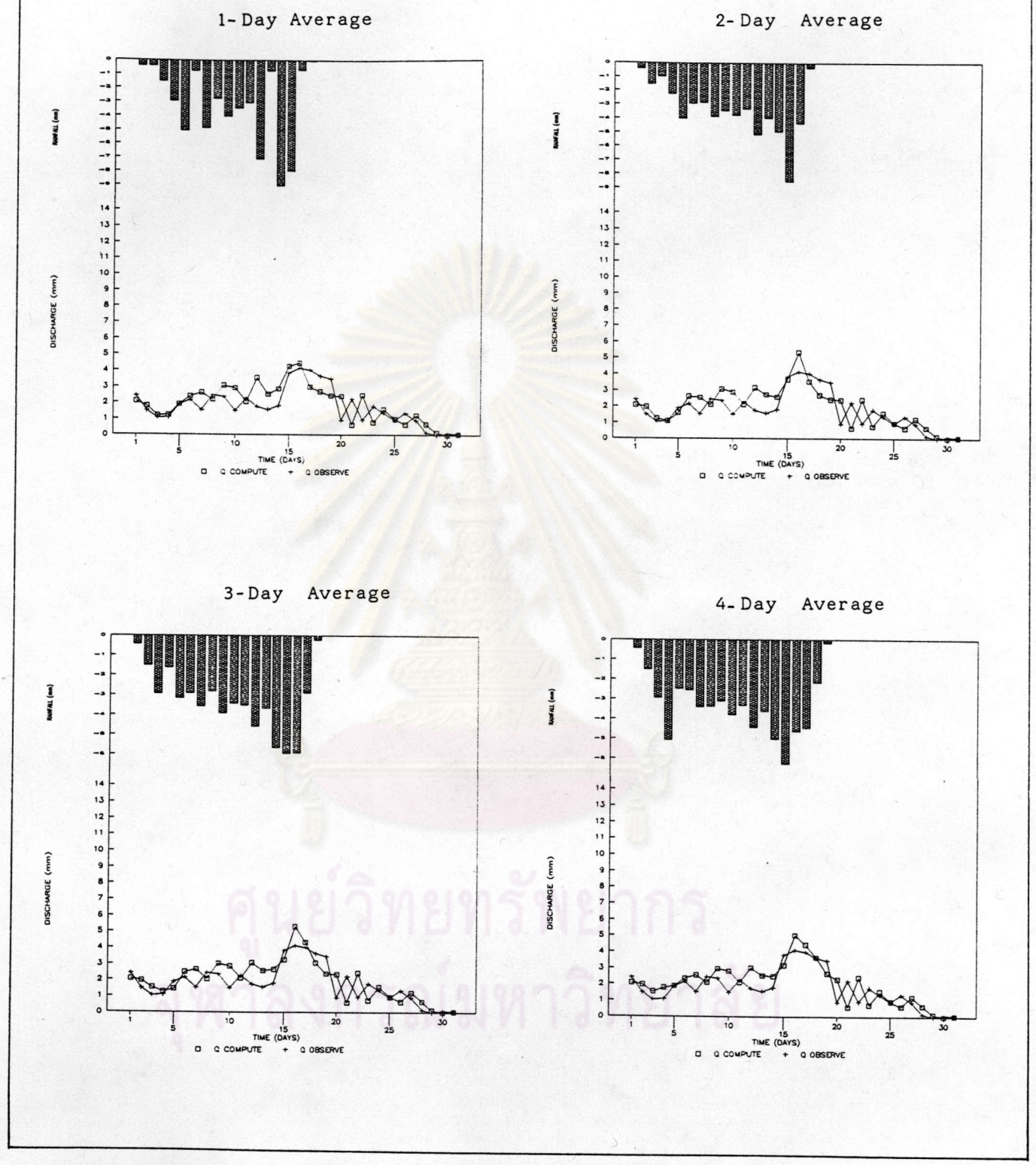
รูป 5.15 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1982 จากการคำนวณล่วงหน้า



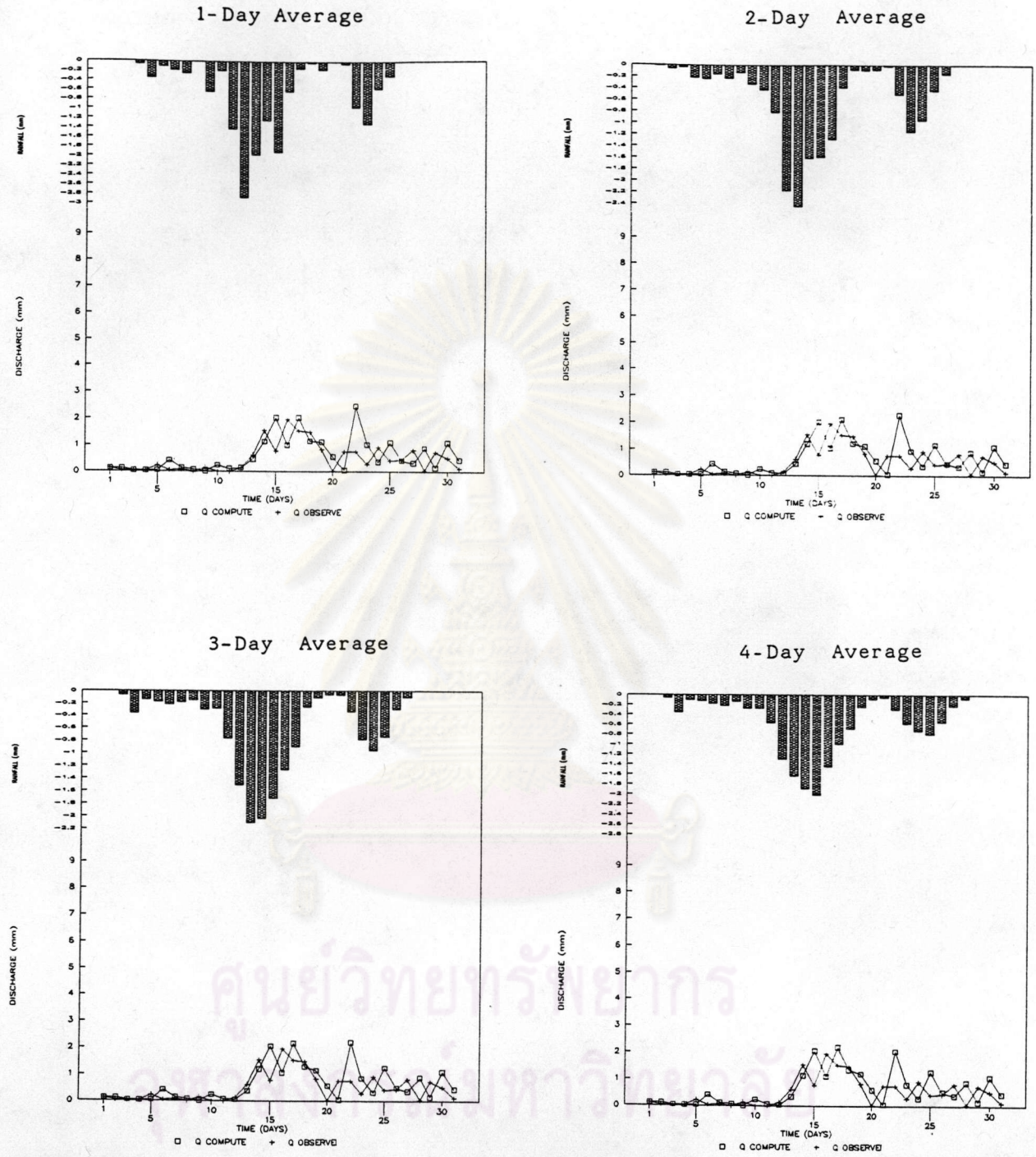
รูป 5.16 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1970 จากการคำนวณล่วงหน้า



รูป 5.17 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1983 จากการคำนวณล่วงหน้า



รูป 5.18 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1984 จากการคำนวณล่วงหน้า



รูป 5.19 ผลการประยุกต์ Kalman Filter Model กับข้อมูลฝนปี 1986 จากการคำนวณล่วงหน้า