บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมในการพยากรณ์ค่าระดับน้ำรายชั่วโมงล่วงหน้า 1 ชม. ถึง 7 วัน ที่สถานีปากเกร็ด สถานีสามเสน สถานีป้อมพระจุล และสถานีสันดอนกรุงเทพ โดยแต่ละสถานีได้รับอิทธิพลจากน้ำหลากทางด้านเหนือ ฝนที่ตกในพื้นที่ และการผันแปรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการพยากรณ์ได้แก่ ตัวแปรเข้า-ตัวแปรออก ค่าพารามิเตอร์ และลักษณะโครงสร้างภายในที่เหมาะสม และได้ทำการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมในช่วงเวลาที่แบบจำลองไม่เคยเรียนรู้มาก่อนโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองฮาร์โมนิก

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและน้ำหลากในลำน้ำ

จากการวิเคราะห์ในแต่ละสถานีทำให้ทราบว่า

- ช่วงเวลาของการขึ้นลงของค่าระดับน้ำ ณ. สถานีต่างๆมีคาบเวลาเท่ากันคือ 24-25 ชั่วโมง แต่มีการเหลื่อมกันของยอดคลื่นในแต่ละสถานีประมาณ 1-2 ชั่วโมง อีกทั้งมีการยกตัวสูงขึ้นของระดับน้ำและมีค่าเรนจ์น้ำที่ลดลงซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางซึ่งห่างจากปากแม่น้ำเข้าไปในลำน้ำ
- สถานีวัดบริเวณปากแม่น้ำมีรูปร่างที่เป็นคาบของน้ำเกิดและน้ำตายที่ 14 วันที่ค่อนข้างชัดเจน พฤติกรรมนี้ลดลงเมื่อสถานีวัดอยู่ลึกเข้าไปในลำน้ำ
- สถานีวัดในลำน้ำมีการผันแปรของระดับน้ำระหว่างฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมและฤดูร้อนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนที่ชัดเจนโดยมีรูปร่างที่คล้ายคลึงกับกราฟน้ำท่าทั่วไป (รูประฆังคว่ำ) แสดงว่า อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อการผันแปรของระดับน้ำ คืออิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงและอิทธิพลของน้ำหลากในลำน้ำ
- สถานีวัดบริเวณปากแม่น้ำมีการผันแปรของระดับน้ำระหว่างฤดูฝนและฤดูร้อนที่ไม่ชัดเจนมากนักเนื่องจากอิทธิพลหลักคือ อิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง

2. ผลกระทบของโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่อการพยากรณ์

ในการพยากรณ์ค่าระดับน้ำโดยแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม ได้ทำการแบ่งช่วงการพยากรณ์ออกเป็น 3 กรณีได้แก่ กรณีน้ำมากในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2542 กรณีน้ำปานกลางในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2535 และ กรณีน้ำน้อยในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2534 ผลกระทบของตัวแปรต่างๆต่อการพยากรณ์ ได้แก่ ตัวแปรเข้า-ตัวแปรออก โครงสร้างและค่าพารา-มิเตอร์ จะให้ผลการทดสอบที่คล้ายคลึงกันทั้งสถานีปากเกร็ด สถานีสามเสน สถานีป้อมพระจุล และสถานีสันดอนกรุงเทพ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- จากการทดสอบตัวแปรเข้าที่มีผลต่อการพยากรณ์พบว่า กรณีที่ใช้ค่าระดับน้ำสังเกตจากทุกสถานีและค่าความลึกฝนให้ผลการพยากรณ์ที่ดีที่สุดเพราะ ระดับน้ำในแต่ละสถานีมีความสัมพันธ์กัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากทางด้านเหนือเนื่องจากน้ำหลาก ระดับน้ำที่สถานีบางไทรเป็นตัวบอกเหตุ หากมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทย ระดับน้ำที่สถานีสันดอนกรุงเทพเป็นตัวบอกเหตุ และหากมีฝนตกในพื้นที่ปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำที่สถานีใกล้เคียงเป็นตัวบอกเหตุ ทำให้ครอบคลุมถึงสาเหตุหลักที่ทำให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลง
- จากการทดสอบตัวแปรออกที่มีผลต่อการพยากรณ์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองโครงสร้าง 139-139-9 (126-126-9) และ โครงสร้าง 139-139-1 (126-216-1) พบว่า ผลการพยากรณ์ใกล้เคียงกัน แต่โครงสร้าง 139-139-9 (126-126-9) ใช้เวลาในการเรียนรู้มากกว่าโครงสร้าง 139-139-1 (126-216-1) ประมาณ 9 เท่า
- จากการทดสอบตัวแปรซ่อนที่มีผลต่อการพยากรณ์พบว่า จำนวนตัวแปรซ่อนที่เหมาะสมเท่ากับจำนวนตัวแปรเข้า โดยหากใช้ตัวแปรซ่อนที่น้อยเกินไปทำให้การพยากรณ์มีความถูกต้องลดลง แต่หากใช้ตัวแปรซ่อนที่มากเกินไปจะทำให้การคำนวณลู่ออกได้
- จากการทดสอบค่าโมเมนตัมที่มีผลต่อการพยากรณ์ พบว่าค่าโมเมนตัมทั้ง 3 กรณี (ค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.6, 0.8 และ 1.0) ให้ผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่แบบจำลองที่มีค่าโมเมนตัมเท่ากับ 0.8 ใช้เวลาในการเรียนรู้น้อยกว่าอีก 2 กรณีประมาณ 1.1-1.3 เท่า
- จากการทดสอบผลของอัตราการเรียนรู้ที่มีต่อการพยากรณ์พบว่า จากค่าอัตราการเรียนรู้ทั้ง 3 กรณี (อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.05, 0.01 และ 0.002) แบบจำลองที่มีอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.05 ทำให้การคำนวณลู่ออก ส่วนอีกสองกรณีให้ผลการพยากรณ์ที่

ใกล้เคียงกันแต่แบบจำลองที่มีอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.01 ใช้เวลาในการเรียนรู้น้อยกว่าอีก กรณีประมาณ 1.3 เท่า

จากการทดสอบตัวแปรต่างๆทำให้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อความถูกต้องของการพยากรณ์มากที่สุดคือ การกำหนดตัวแปรเข้า หากสามารถกำหนดตัวแปรเข้าที่มีความสัมพันธ์มากกับตัวแปรออก ทำให้ผลการพยากรณ์มีความถูกต้องมาก และจำนวนตัวแปรซ่อนก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งต่อความถูกต้องของการพยากรณ์

ส่วนในเรื่องของตัวแปรออก (พยากรณ์ 9 ตัวแปรออกใน 1 แบบจำลอง และพยากรณ์ทีละ 1 ตัวแปรออก รวม 9 แบบจำลอง) และค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง หากค่าเหล่านั้นไม่ทำให้การคำนวณลู่ออก ให้ผลการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกันแต่จะต่างกันในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้

3. ผลกระทบจากเรนจ์น้ำที่มีผลต่อการพยากรณ์

ผลการพยากรณ์โดยแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมให้ผลที่มีความผิดพลาดมากที่เรนจ์น้ำสูงสุดช่วงน้ำเกิดซึ่งอาจสูงถึง 2 เมตร และเรนจ์น้ำต่ำสุดช่วงน้ำตาย เนื่องจากแบบจำลองเรียนรู้ช่วงการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ไม่ดีพอ ซึ่งเกิดขึ้นประมาณ 1-2 วัน หลังจากนั้นแบบจำลองจะปรับตัวให้เข้ากับพฤติกรรม จากค่าความผิดพลาดดังกล่าวทำให้แบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำในกรณีที่เกิดน้ำท่วมใหญ่ แต่เหมาะสมกว่าในกรณีใช้ข้อมูลการพยากรณ์ในการวางแผนระบบการระบายน้ำ การเดินเรือ การระบายน้ำในระบบสิ่งแวดล้อม เพราะแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้สามารถเรียนรู้รูปแบบการผันแปรได้

4. ความสามารถในการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าโดยแบบจำลองโครงข่ายใยประสาท-เทียม

จากผลการทดสอบแบบจำลองสามารถสรุปผลดังแสดงในตารางที่ 6.1 - 6.2 และพบว่า

- ผลการทดสอบในช่วงการเรียนรู้ให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าช่วงทดสอบ
- ความถูกต้องของผลการพยากรณ์สูงขึ้น เมื่อสถานีวัดมีระยะทางห่างจากปากแม่น้ำมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเรนจ์น้ำที่ลดลง
- สำหรับสถานีปากเกร็ดและสถานีสามเสน ผลการพยากรณ์ที่ระดับน้ำสูงซึ่งมีค่าเรนจ์น้ำต่ำจะมีความถูกต้องมากกว่า กรณีระดับน้ำปานกลางและระดับน้ำต่ำตามลำดับ
- สำหรับสถานีป้อมพระจุลและสถานีสันดอนกรุงเทพ ผลการพยากรณ์ใกล้เคียงกันทั้งกรณีระดับน้ำสูง กรณีระดับน้ำปานกลางและระดับน้ำต่ำ

ตารางที่ 6.1 ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAD, ซม.) ของผลต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าพยากรณ์โดยแบบจำลอง

	สถานีปากเกร็ด		สถานีสามเสน		สถานีป้อมพระจุล		สถานีสันดอนกรุงเทพ	
	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ
ระดับน้ำสูง	2-3	7-9	2-3	9-11	8-21	14-18	9-16	19-21
ระดับน้ำกลาง	2-6	11-15	4-6	13-17	6-13	26-33	7-19	29-34
ระดับน้ำต่ำ	4-8	10-14	4-6	12-16	8-14	22-29	8-12	17-25

ตารางที่ 6.2 ค่าดรรชนีวัดประสิทธิภาพ (R^2) ของผลต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าพยากรณ์โดยแบบจำลอง

	สถานีปากเกร็ด		สถานีสามเสน		สถานีป้อมพระจุล		สถานีสันดอนกรุงเทพ	
	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ	ช่วงการเรียนรู้	ช่วงการทดสอบ
ระดับน้ำสูง	0.95-0.99	0.93-0.95	0.95-0.99	0.90-0.94	0.92-0.98	0.90-0.93	0.93-0.98	0.89-0.92
ระดับน้ำกลาง	0.97-0.99	0.67-0.84	0.97-0.98	0.76-0.84	0.97-0.99	0.73-0.81	0.96-0.99	0.73-0.83
ระดับน้ำต่ำ	0.91-0.97	0.73-0.86	0.96-0.98	0.77-0.85	0.94-0.97	0.79-0.86	0.96-0.98	0.89-0.95

3. ผลการเปรียบเทียบผลกับแบบจำลองฮาร์โมนิก

สถานีปากเกร็ดและสถานีสามเสน ผลการพยากรณ์ทั้ง 2 แบบจำลองให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในช่วงผลต่างน้อยกว่า 10 ซม. แต่ในช่วงผลต่างน้อยกว่า 20 ซม. แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมจะให้ผลดีกว่าประมาณ 10 %

สถานีป้อมพระจุลและสถานีสันดอนกรุงเทพ ผลการพยากรณ์โดยแบบจำลองฮาร์โมนิกให้ผลดีกว่าแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมประมาณ 10-25 %

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมให้ผลการพยากรณ์ที่ดีกว่าแบบจำลองฮาร์โมนิกเล็กน้อยสำหรับสถานีปากเกร็ดและสามเสนซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำหลากทางด้านเหนือเป็นหลัก รวมถึงอิทธิพลของการผันแปรของระดับน้ำทะเลและฝนที่ตกในพื้นที่ แต่แบบจำลองฮาร์โมนิกจะให้ผลการพยากรณ์ที่ดีกว่าสำหรับสถานีป้อมพระจุลและสันดอนกรุงเทพซึ่งอิทธิพลหลักคือการผันแปรของระดับน้ำทะเล

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสามารถเรียนรู้รูปแบบของการผันแปรในแม่น้ำได้ดีกว่าแบบจำลองฮาร์โมนิกเนื่องจากมีการใช้ค่าระดับน้ำหลากจากด้านเหนือ การผันแปรระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ และฝนในพื้นที่ แต่แบบจำลองฮาร์โมนิกพยากรณ์ระดับน้ำบริเวณปากแม่น้ำได้ดีกว่าเนื่องจากมีการใช้ข้อมูลของสถานีนั้นในการวิเคราะห์ ทำให้สามารถจำลองเหตุการณ์ได้ดีกว่า เมื่อนำเอาจุดเด่นของทั้งสองแบบจำลองมารวมกันอาจทำให้ได้แบบจำลองที่ดีขึ้น เช่น
   - แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมที่เพิ่มตัวแปรเข้าคือ ระดับน้ำของสถานีนั้นๆ
   - ใช้แบบจำลองฮาร์โมนิกพยากรณ์ระดับน้ำก่อนเพื่อขจัดการผันแปรของระดับน้ำเนื่องจากคลื่น และใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมพยากรณ์ผลต่างระหว่างค่าระดับน้ำสังเกตและระดับน้ำพยากรณ์จากแบบจำลองฮาร์โมนิก
2. หากมีการนำแบบจำลอง ANN ไปประยุกต์ใช้งานจริง ควรมีการศึกษาในเรื่องช่วงเวลาการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อให้สามารถเรียนรู้เหตุการณ์สำคัญๆในระยะเวลาอันสั้น
3. เนื่องจากปัจจุบันเริ่มมีการใช้ระบบโทรมาตรมากขึ้นซึ่งเป็นโอกาสอันดีที่จะประยุกต์และพัฒนาแนวคิดหรือแบบจำลองใหม่ๆเพื่อใช้ประโยชน์จากระบบให้เต็มที่ เช่น การรับส่งข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองโดยอัตโนมัติ