

บทที่ 5

การจัดสร้างและทดสอบแบบจำลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการจัดสร้างและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษานี้ ซึ่งมี 2 แบบจำลอง ได้แก่ (1) แบบจำลองฮาร์โมนิก และ (2) แบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม การทดสอบแบบจำลองใช้วิธีเปรียบเทียบและสอบทานกับข้อมูลจริงเมื่อไม่มีอาคารกั้นลำน้ำ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของความเสียหายเพื่อนำไปใช้ในการณที่มีอาคารกั้นลำน้ำ และได้ทดสอบผลการคำนวณจากแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม ในกรณีทางน้ำอย่างง่าย โดยเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์จากทฤษฎี Cooscillating Tide และผลจากแบบจำลองฮาร์โมนิก

นอกจากแบบจำลองทั้งสองข้างต้นแล้ว การศึกษานี้ยังได้พยายามประยุกต์ใช้รากสมการ Telegraphers ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ แต่พบว่าผลวิเคราะห์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง จึงไม่ได้นำมาใช้ในการศึกษา โดยรายละเอียดของการประยุกต์ใช้รากสมการ Telegraphers ได้แสดงในภาคผนวก จ.

5.1 แบบจำลองฮาร์โมนิก

หัวข้อนี้เป็นการจัดสร้างและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงตามระยะทางในแม่น้ำบางปะกง กรณีไม่มีอาคาร โดยนำวิธีฮาร์โมนิก จากผลการศึกษาของ Kawachi และ Minami(1979) มาประยุกต์ใช้ (สมการที่ 4-41)

วิธีการวิเคราะห์ ได้จำลองแม่น้ำบางปะกง ช่วงจากปากแม่น้ำ ถึง ปตร.บางชนาก (ระยะทาง 104.2 กม. จากปากแม่น้ำ) ให้เป็นทางน้ำค้ำรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความชันท้องน้ำเป็นศูนย์ โดยใช้ความกว้างเฉลี่ยของแม่น้ำ 208 ม. เป็นความกว้างของหน้าตัด และมีสมมติฐานว่า คาบน้ำขึ้นน้ำลงที่มีผลต่อแรงเสียดทานและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ สามารถแทนด้วยคาบน้ำขึ้นน้ำลง M_2 (คาบ 12 ชั่วโมง 25 นาที) เนื่องจากช่วงเวลาน้ำขึ้น (ช่วงเวลานับจาก การเกิดระดับน้ำต่ำสุด ถึงการเกิดระดับน้ำสูงสุด) ที่สถานีวัดระดับน้ำบางปะกง โดยปกติมีค่าในช่วง 4 – 8 ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกับช่วงเวลาน้ำขึ้นขององค์ประกอบ M_2 (6 ชั่วโมง 12.5 นาที) ดังแสดงในรูปที่ 3-7

การวิเคราะห์ได้ใช้ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของแมนนิ่ง (Manning's n) เป็นพารามิเตอร์ในการเปรียบเทียบ โดยการเปรียบเทียบได้ใช้ข้อมูลพิสัยน้ำขึ้นน้ำลง ที่ ปตร.ท่าถั่ว สถานีโทรมาตรเขื่อนทดน้ำบางปะกง และ ปตร.บางชนาก ระหว่างวันที่ 1-15 ธันวาคม พ.ศ. 2543 และใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 16-30 ธันวาคม พ.ศ. 2543 เป็นข้อมูลสำหรับการสอบทานพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงที่ได้จากการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงจริง ค่าอัตราการไหลต้นน้ำทั้งในกรณีเปรียบเทียบและสอบทาน ใช้ค่าอัตราการไหลเฉลี่ยซึ่งมีค่า 20 ลบ.ม./ว.

ผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ n ที่เหมาะสมมีค่า 0.023 โดยให้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMS.Error) น้อยที่สุด โดยมีค่าที่ ปตร.ท่าถั่ว สถานีโทรมาตรเขื่อนทดน้ำบางปะกง และ ปตร.บางขนาก เป็น 0.228 0.078 และ 0.172 ม. ตามลำดับ และกรณีสอบทานได้ค่า 0.187 0.174 และ 0.129 ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบโดยค่า n ต่างๆ แสดงในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ผลการเปรียบเทียบ และสอบทานของการวิเคราะห์โดย แบบจำลองฮาร์โมนิก

สถานี	ระยะจากสถานีวัด ระดับน้ำบางปะกง (กม.)	RMS Error (ม.)				
		กรณีเปรียบเทียบ				กรณีสอบทาน
		n=0.022	n=0.023	n=0.024	n=0.025	n=0.023
ปตร.ท่าถั่ว	36.6	0.216	0.228	0.242	0.257	0.187
เขื่อนทดน้ำบางปะกง	57.4	0.085	0.078	0.106	0.133	0.174
ปตร.บางขนาก	104.2	0.196	0.172	0.139	0.114	0.129

การเปรียบเทียบพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงจากการคำนวณโดยแบบจำลองฮาร์โมนิก กับ พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงจริง ในกรณีเปรียบเทียบและสอบทาน ได้แสดงในรูปที่ 5-1 และ 5-2 ซึ่งเห็นได้ว่า การวิเคราะห์โดยแบบจำลองฮาร์โมนิกบนสมมติฐานการกำหนดค่าคาบน้ำขึ้นน้ำลงหลักที่มีผลต่อแรงเสียดทานเป็นคาบน้ำขึ้นน้ำลง M_2 สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าพอใจ

5.2 แบบจำลองผลต่างสืบเนื่อง

5.2.1 โปรแกรม ISIS

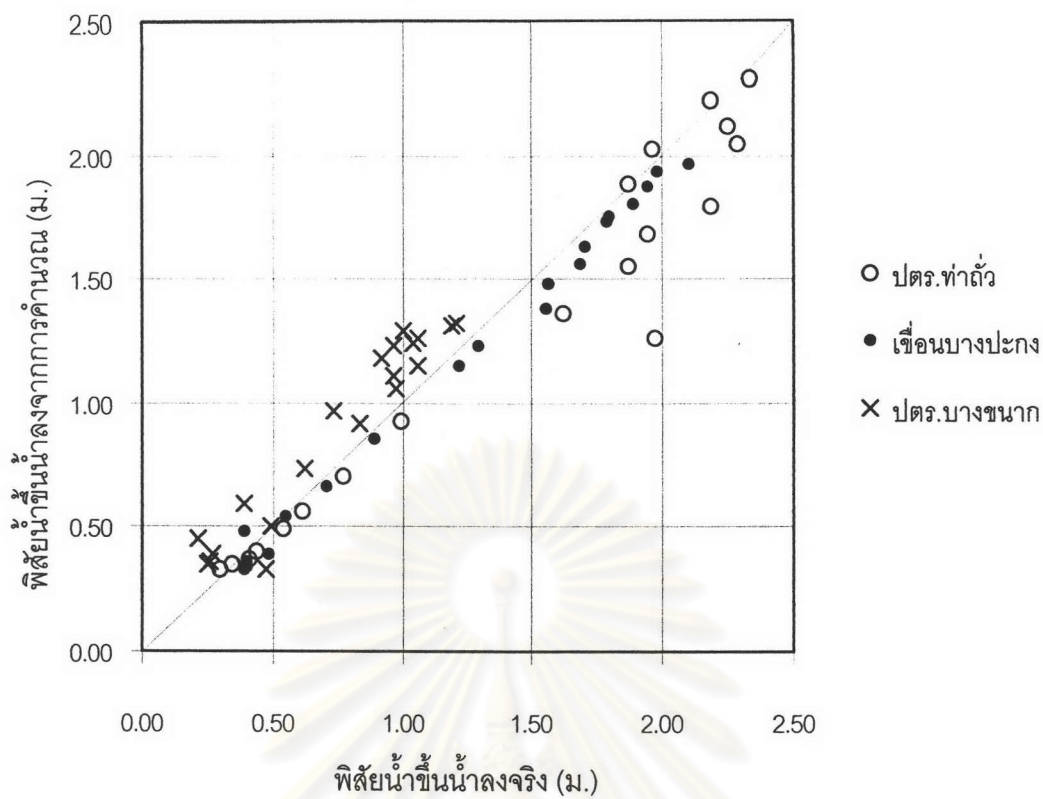
โปรแกรม ISIS เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลบนทางน้ำเปิด พัฒนาโดย HR.Wallingford ลักษณะของโปรแกรม ออกแบบมาให้สามารถใช้งานในระบบปฏิบัติการ Windows

รูปแบบสมการต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัมที่โปรแกรม ISIS ใช้เป็นสมการพื้นฐานคือ

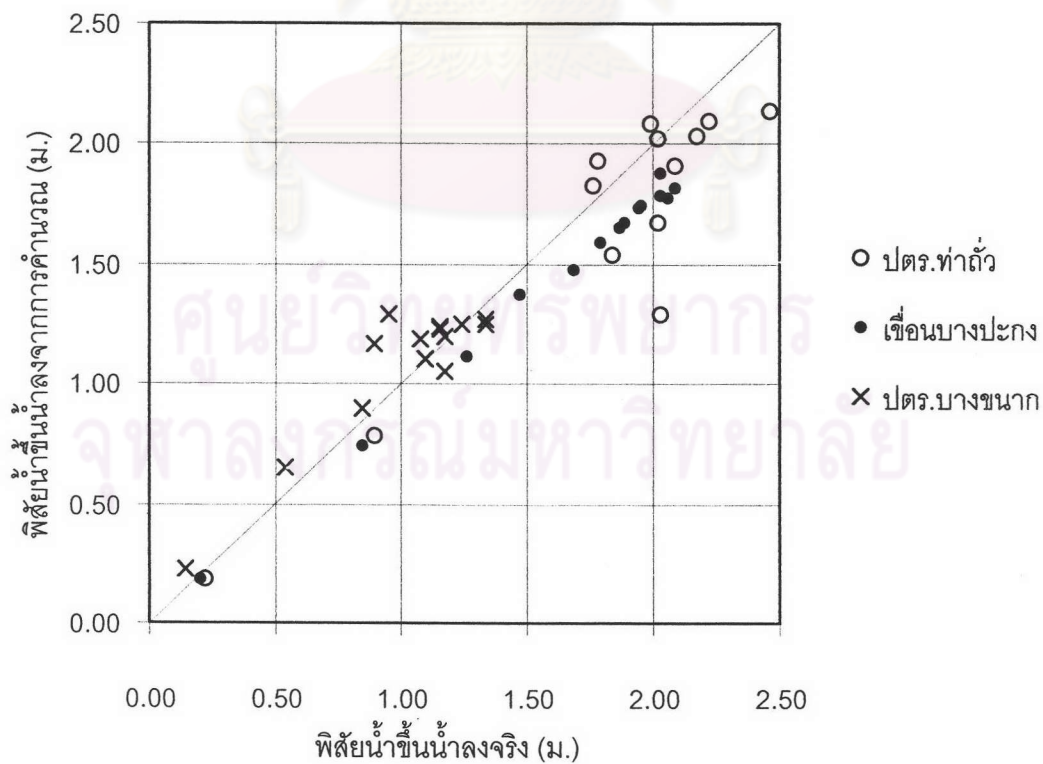
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad \dots(5-1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - gAS_f = 0 \quad \dots(5-2)$$

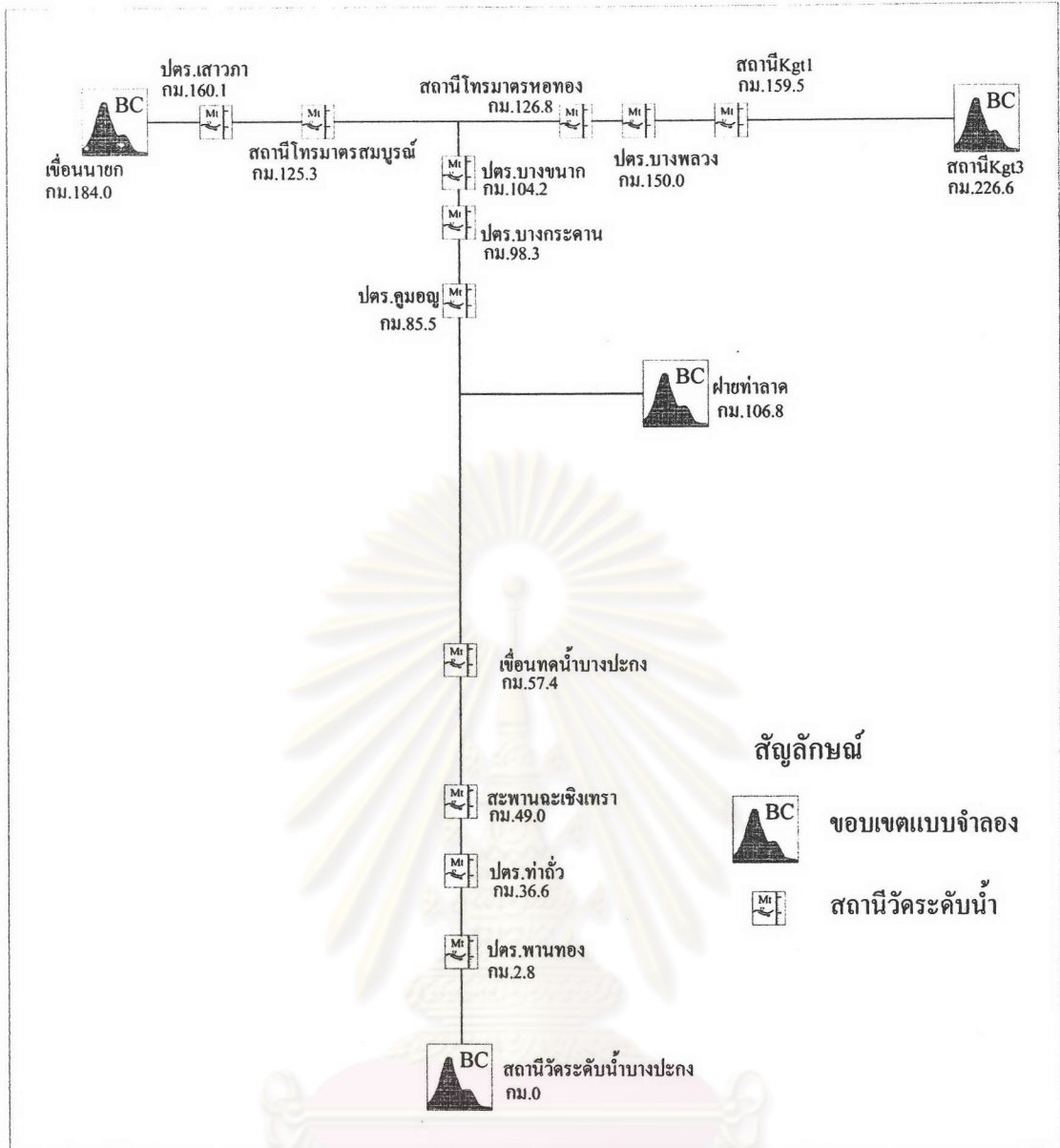
เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตร.ม.) H คือ ระดับน้ำเหนือระดับอ้างอิง (ม.) Q คือ อัตราการไหลในทางน้ำ (ลบ.ม./ว.) q คือ อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (ลบ.ม./ว./ม.) S_f คือ ความลาดของเส้นลาดพลังงานจากสูตรของแมนนิ่ง (ม./ม.) g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (ม./ว.²) x คือ ระยะทางตามแนวการไหล (ม.) และ t คือ เวลา (ว.)



รูปที่ 5-1 ผลการเปรียบเทียบ การวิเคราะห์โดยแบบจำลองฮาร์โมนิก



รูปที่ 5-2 ผลการสอบทาน การวิเคราะห์โดยแบบจำลองฮาร์โมนิก



รูปที่ 5-3 โครงข่ายแบบจำลองแม่น้ำบางปะกง

5.2.3 การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลองของแม่น้ำบางปะกง

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแมนนิง (Manning's n) โดยการเปรียบเทียบ ใช้ข้อมูลค่าขอบเขตจากเหตุการณ์จริงมาคำนวณหาระดับน้ำที่แต่ละสถานีและใช้วิธี Trial and Error เพื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในแต่ละช่วงลำน้ำ ให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลวัดจริง และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนี้ ได้นำมาสอบทานด้วยข้อมูลชุดอื่นเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมก่อนการใช้งาน

สถานีวัดระดับน้ำที่ใช้ในการเปรียบเทียบและสอบทานมี 9 สถานี ซึ่งเป็นสถานีวัดระดับน้ำที่อยู่ในช่วงแม่น้ำบางปะกง 4 จุด คือ ปตร.ท่าถั่ว (กม.36.6) สถานีเขื่อนค่น้ำบางปะกง (กม.57.4) ปตร.คุมอญ (กม.85.5) และ ปตร.บางขนาк (กม.104.2) อยู่ในช่วงแม่น้ำปราจีนบุรี 3 จุด คือ สถานี

โทรมาตรหอทอง (กม.126.8) ปตร.บางพลวง (กม.150.0) และ สถานีKGT1 (กม.159.5) และอยู่ในช่วงแม่น้ำนครนายก 2 จุด คือ สถานีโทรมาตรสมบูรณ (กม.125.3) ปตร.เสาวภา (กม.160.1) โดยในการเปรียบเทียบได้พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนจากสถานีวัดระดับน้ำที่บันทึกข้อมูลรายชั่วโมง ซึ่งมี 5 สถานี ได้แก่ ปตร.ท่าถั่ว สถานีเขื่อนทดน้ำบางปะกง ปตร.บางขนาก สถานีโทรมาตรหอทอง และสถานีโทรมาตรสมบูรณ ส่วนอีก 4 สถานีได้ใช้สำหรับประกอบการพิจารณา เนื่องจากสถานีทั้ง 4 นี้มีการบันทึกข้อมูลราย 3 ชั่วโมงในช่วงเวลา 6.00 น. ถึง 18.00 น. ทำให้ไม่สามารถหาค่าพิสัยน้ำขึ้นน้ำลง และระดับน้ำเฉลี่ยมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนได้

ผลการคำนวณระดับน้ำ ที่สถานีวัดระดับน้ำที่ทำการเปรียบเทียบและสอบทาน สรุปจากค่า 3 ค่า คือ ค่าระดับน้ำที่เวลาใดๆ (Water Level) ค่าพิสัยน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Range) และค่าเฉลี่ยระดับน้ำสูงสุดต่ำสุดในช่วงวัน การวัดความคลาดเคลื่อนวัดจากค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error) ของค่าทั้งสามที่ได้จากการคำนวณเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริง

ช่วงเวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ ระหว่างวันที่ 1-15 ธันวาคม พ.ศ.2543 ส่วนช่วงเวลาสำหรับสอบทานมี 2 ชุด คือ ชุดที่ 1 ช่วงวันที่ 16-30 ธันวาคม พ.ศ. 2543 และ ชุดที่ 2 ช่วงวันที่ 3-4 มีนาคม พ.ศ.2546 (ข้อมูลการสอบทานชุดที่ 2 นี้ เป็นข้อมูลระดับน้ำ และความเร็วการไหลรายชั่วโมงที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข.)

ข้อมูลค่าขอบเขตที่ใช้ในการเปรียบเทียบและสอบทานมี 4 จุด ได้แก่ ระดับน้ำสถานีวัดระดับน้ำบางปะกง อัตราการไหลจากฝายท่าลาดบนคลองท่าลาด อัตราการไหลผ่านสถานี Kgt3 บนแม่น้ำปราจีนบุรี และระดับน้ำที่เขื่อนนายกบนแม่น้ำนครนายก รายละเอียดข้อมูลค่าขอบเขตแสดงในภาคผนวก ค. โดยข้อมูลที่ใช้ทั้งหมดอยู่ในช่วงฤดูแล้ง อัตราการไหลต้นน้ำรวมประมาณ 20 ลบ.ม./ว.

5.2.4 ผลการเปรียบเทียบและสอบทาน

การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายในแต่ละช่วงลำน้ำ ได้แบ่งแบบจำลองออกเป็น 4 ช่วงลำน้ำ คือ ช่วงแม่น้ำนครนายก จากเขื่อนนายกถึงจุดบรรจบ (ความยาว 64 กม.) ช่วงแม่น้ำปราจีนบุรี จากสถานี Kgt3 จนถึงจุดบรรจบ (ความยาว 107 กม.) ช่วงแม่น้ำบางปะกงเหนือเขื่อนทดน้ำ จากจุดบรรจบถึงเขื่อนทดน้ำบางปะกง (ความยาว 62.6 กม.) และช่วงแม่น้ำบางปะกงใต้เขื่อนทดน้ำ จากเขื่อนทดน้ำบางปะกงถึงสถานีวัดระดับน้ำบางปะกง(ความยาว 57.4 กม.)

การปรับค่าเริ่มจากให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายในแต่ละช่วงลำน้ำใกล้เคียงกับการศึกษาของกรมชลประทาน(2545) โดย พิจารณาสภาพลำน้ำประกอบ เช่น แม่น้ำนครนายกมีค่า Manning's n สูง เนื่องจากลำน้ำแคบและวัสดุท้องน้ำเป็นหินขนาดใหญ่ แม่น้ำบางปะกงช่วงท้ายเขื่อนซึ่งติดต่อกับทะเล มีค่า Manning's n น้อย เป็นต้น แล้วจึงปรับค่าจนได้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของพิสัย ระดับน้ำเฉลี่ย และระดับน้ำที่เหมาะสม โดยในการศึกษานี้ได้ให้ความสำคัญต่อค่าความคลาดเคลื่อนของพิสัยมากที่สุด เพราะการวิเคราะห์ที่จะศึกษาต่อไปจะอยู่ในรูปค่าพิสัยของระดับน้ำขึ้นลงสูงสุดและต่ำสุด ส่วนช่วงลำน้ำที่ให้ความสำคัญมากที่สุด คือ แม่น้ำบางปะกงช่วงท้ายเขื่อนทดน้ำ

รายละเอียดของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในแต่ละช่วงลำน้ำที่ทำการปรับและค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ แสดงไว้ในตารางที่ 5-3 และ 5-4 โดยค่า Manning's n ที่เหมาะสมจากการปรับเทียบ ในช่วงแม่น้ำนครนายกได้ค่า 0.032 แม่น้ำปราจีนบุรีได้ค่า 0.026 แม่น้ำบางปะกงเหนือเขื่อนได้ค่า 0.029 และแม่น้ำบางปะกงท้ายเขื่อนได้ค่า 0.024 สรุปค่า Manning's n ที่ได้ กับค่าที่ใช้ในการศึกษาต่างๆที่ผ่านมา ได้แสดงในตารางที่ 5-6 โดยค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Ahmad(1979) และ กรมชลประทาน(2545) ซึ่งอยู่ในช่วง 0.025-0.045 และ 0.020-0.050 ตามลำดับ

ค่า Manning's n ที่ตำแหน่งเขื่อนทดน้ำใช้ค่า 0.016 เนื่องจากหน้าตัดมีลักษณะราบเรียบและตาดด้วยคอนกรีต บนคลองท่าลาดและแม่น้ำนครนายก มีค่า 0.030 และ 0.032 ซึ่งสูงเมื่อเทียบกับช่วงอื่นเป็นเพราะหน้าตัดลำน้ำแคบกว่า แม่น้ำปราจีนบุรี และแม่น้ำบางปะกง นอกจากนี้สภาพวัสดุท้องน้ำของแม่น้ำนครนายกเป็นหินขนาดใหญ่ทำให้มีค่า Manning's n สูง

ผลการปรับเทียบและสอบ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-5 และได้แสดงตัวอย่างผลการปรับเทียบและสอบทานค่าระดับน้ำ ที่สถานีโทรมาตรหลักเขื่อนทดน้ำบางปะกงดังรูปที่ 5-4 ถึง 5-6 (รูปแสดงผลการปรับเทียบและสอบทานทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค.)

จากตารางที่ 5-5 ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของระดับน้ำอยู่ระหว่าง 0.123–0.368 ม. ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนของพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงอยู่ระหว่าง 0.041-0.245 ม. ซึ่งเห็นได้ว่าแม้ว่าความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำจะมีค่าค่อนข้างสูง แต่ความคลาดเคลื่อนของพิสัยซึ่งเป็นค่าที่การศึกษานี้ให้ความสำคัญนั้นมีค่าน้อยยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เนื่องจากการคลาดเคลื่อนของระดับน้ำเกิดจากการเลื่อนของเวลาด้วย (โดยจากรูปที่ 5-4 และ 5-5 สังเกตได้ว่าค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าวัดจริง แต่เวลาเกิดมีการเลื่อนกัน) สิ่งที่เกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่งคือ ค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีโทรมาตรซึ่งมีการเก็บข้อมูลต่อเนื่องอัตโนมัติ จะมีค่าน้อยกว่าค่าของสถานีเก็บข้อมูลที่เข้าเจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูล โดยความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำของสถานีโทรมาตรจะอยู่ในระหว่าง 0.123-0.226 ม.ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากเครื่องมือและวิธีบันทึกข้อมูล

ผลการสอบทานค่าความเร็วการไหลแสดงดังรูปที่ 5-7 โดยมีค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของความเร็วการไหลเป็น 0.104 ม./ว. ความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.28 ม./ว. ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่ทิศทางการไหลในแม่น้ำเริ่มเปลี่ยนเนื่องจากผลของน้ำขึ้นน้ำลง

จากผลการปรับเทียบ สอบทาน และจากการศึกษาที่ผ่านมา การศึกษานี้จึงได้กำหนดใช้ค่า Manning's n มีค่าดังตารางที่ 5-6 ซึ่งให้ผลความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่า Manning's n นี้ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญมากในการอธิบายสภาพทางชลศาสตร์ทั้งหมด และข้อมูลที่น่ามาใช้ในการทดสอบแบบจำลองมีข้อจำกัดทั้งในด้าน จำนวนสถานีวัดข้อมูล ช่วงเวลาวัดข้อมูล และการขาดข้อมูลวัดอัตราการไหล ส่งผลให้ค่า Manning's n ที่ได้จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงอยู่ ซึ่งการหาค่า Manning's n โดยละเอียดนั้นควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยอาศัยการเก็บข้อมูลสนามที่ละเอียดมากขึ้น

ตารางที่ 5-3 สัมประสิทธิ์ความเสียหายที่ใช้ในแต่ละกรณีการปรับเทียบ* แบบจำลองผลต่างสี่บเนื่อง

กรณี	สัมประสิทธิ์ความเสียหายของแมนนิ่ง ที่ใช้ในแต่ละช่วงลำน้ำ			
	นครนายก	ปราจีนบุรี	บางประกง เหนือเขื่อน	บางประกง ท้ายเขื่อน
1	0.040 - 0.050	0.020 - 0.050	0.020 - 0.028	0.022
2	0.040 - 0.050	0.020 - 0.050	0.020 - 0.028	0.020
3	0.040 - 0.050	0.020 - 0.050	0.020 - 0.028	0.030
4	0.040 - 0.050	0.020 - 0.050	0.020 - 0.028	0.025
5	0.040 - 0.050	0.020 - 0.050	0.025	0.025
6	0.040 - 0.050	0.020 - 0.050	0.028	0.025
7	0.040 - 0.050	0.025	0.028	0.025
8	0.035	0.025	0.028	0.025
9	0.030	0.025	0.028	0.025
10	0.025	0.025	0.028	0.025
11	0.040 - 0.050	0.028	0.028	0.025
12	0.040 - 0.050	0.030	0.028	0.025
13	0.030	0.025	0.028	0.024
14	0.030	0.025	0.028	0.026
15	0.030	0.025	0.026	0.026
16	0.030	0.025	0.027	0.026
17	0.030	0.025	0.026	0.024
18	0.030	0.025	0.027	0.024
19	0.030	0.025	0.029	0.024
20	0.030	0.024	0.029	0.024
21	0.030	0.026	0.029	0.024
22	0.028	0.024	0.029	0.024
23	0.032	0.024	0.029	0.024

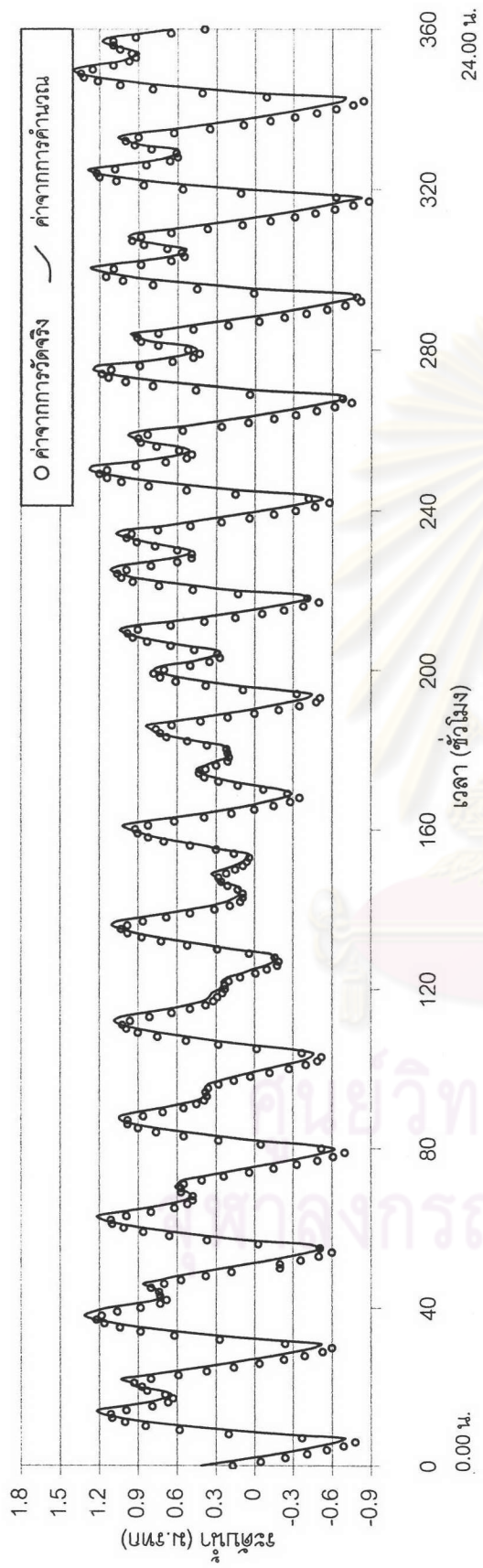
หมายเหตุ : การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียหายในแต่ละกรณี ใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error)

ตารางที่ 5-4 ความคลาดเคลื่อน(จากการลองผิดลองถูก) ของแต่ละกรณีการรับเทียบ แบบจำลองผลต่างสี่ปีเนื่อง

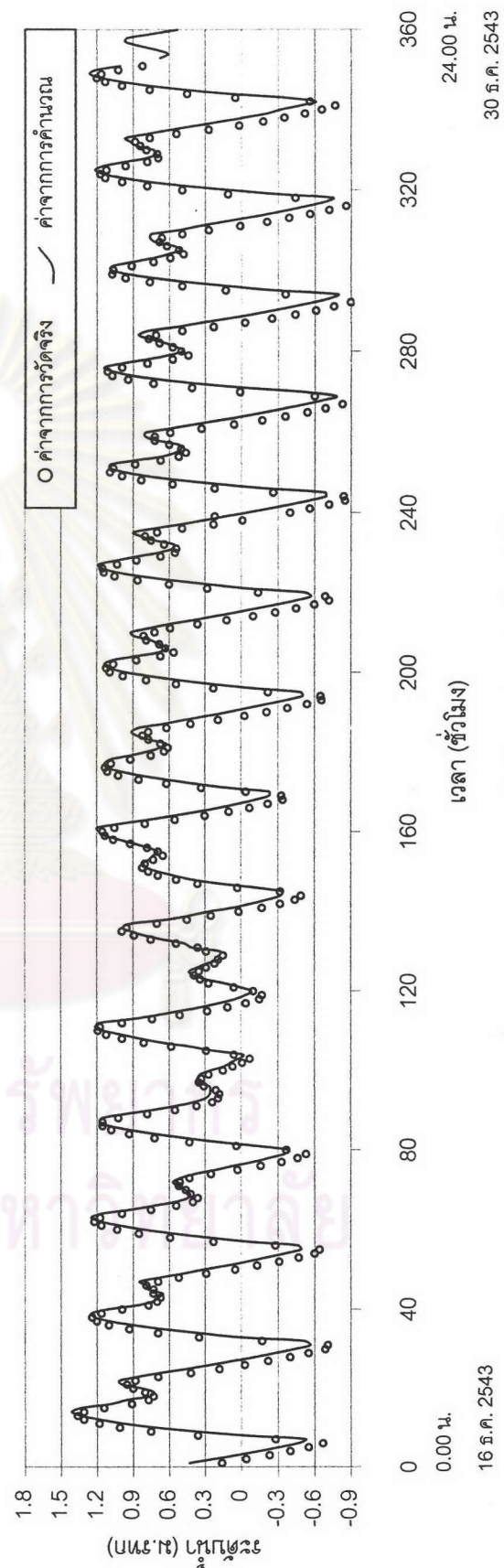
กรณีศึกษา	เปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริง																			
	สถานีโทรมาตรสมรภูมิ (NY08)				สถานีโทรมาตรหอดอง (B074)				ปตร.บางซ่ง (B062)				สถานีโทรมาตรหลัก (DAM-D)				ปตร.ท่าอิฐ (BPK17)			
	RMS.Error	RMS.Error	WL	RMS.Error	RMS.Error	WL	RMS.Error	RMS.Error	WL	RMS.Error	RMS.Error	WL	RMS.Error	RMS.Error	WL	RMS.Error	RMS.Error	WL	RMS.Error	RMS.Error
1	0.081	0.025	0.133	0.176	0.122	0.180	0.102	0.060	0.160	0.099	0.050	0.203	0.192	0.122	0.364					
2	0.112	0.027	0.134	0.213	0.126	0.184	0.132	0.059	0.160	0.191	0.041	0.199	0.187	0.120	0.362					
3	0.066	0.025	0.139	0.057	0.107	0.170	0.129	0.071	0.171	0.256	0.087	0.255	0.329	0.137	0.353					
4	0.049	0.022	0.135	0.123	0.116	0.175	0.088	0.063	0.163	0.085	0.065	0.219	0.233	0.127	0.369					
5	0.064	0.024	0.134	0.152	0.120	0.178	0.090	0.062	0.161	0.111	0.066	0.223	0.244	0.128	0.368					
6	0.045	0.023	0.138	0.099	0.113	0.175	0.089	0.064	0.162	0.078	0.064	0.221	0.230	0.127	0.371					
7	0.044	0.022	0.123	0.063	0.107	0.162	0.083	0.065	0.156	0.065	0.061	0.212	0.228	0.127	0.369					
8	0.041	0.021	0.125	0.055	0.106	0.162	0.084	0.066	0.155	0.066	0.062	0.219	0.228	0.127	0.369					
9	0.044	0.021	0.122	0.051	0.106	0.162	0.086	0.066	0.155	0.067	0.063	0.218	0.227	0.127	0.369					
10	0.049	0.022	0.120	0.048	0.106	0.163	0.090	0.067	0.156	0.068	0.064	0.217	0.227	0.128	0.369					
11	0.052	0.022	0.127	0.062	0.104	0.163	0.084	0.065	0.157	0.065	0.059	0.221	0.229	0.127	0.370					
12	0.059	0.022	0.128	0.062	0.103	0.163	0.087	0.065	0.158	0.066	0.059	0.222	0.230	0.126	0.370					
13	0.054	0.021	0.122	0.057	0.107	0.162	0.083	0.065	0.154	0.053	0.058	0.212	0.211	0.126	0.367					
14	0.039	0.022	0.123	0.048	0.105	0.162	0.092	0.068	0.157	0.098	0.068	0.225	0.245	0.129	0.371					
15	0.055	0.021	0.121	0.058	0.108	0.162	0.083	0.065	0.155	0.121	0.069	0.227	0.255	0.130	0.370					
16	0.045	0.021	0.122	0.051	0.106	0.162	0.086	0.066	0.156	0.109	0.068	0.225	0.250	0.130	0.370					
17	0.084	0.022	0.121	0.081	0.111	0.164	0.089	0.062	0.153	0.059	0.059	0.213	0.219	0.126	0.365					
18	0.068	0.021	0.121	0.068	0.109	0.163	0.085	0.063	0.153	0.055	0.058	0.213	0.215	0.126	0.366					
19	0.044	0.022	0.122	0.050	0.106	0.162	0.085	0.067	0.155	0.055	0.057	0.212	0.208	0.126	0.368					
20	0.042	0.022	0.122	0.051	0.106	0.162	0.088	0.067	0.155	0.056	0.058	0.211	0.207	0.126	0.368					
21	0.047	0.022	0.123	0.050	0.105	0.162	0.084	0.066	0.155	0.055	0.057	0.213	0.208	0.126	0.368					
22	0.043	0.022	0.121	0.051	0.106	0.162	0.089	0.067	0.155	0.056	0.058	0.211	0.207	0.126	0.368					
รวมเฉลี่ย	0.04	0.02	0.12	0.05	0.10	0.16	0.08	0.06	0.15	0.06	0.06	0.22	0.23	0.12	0.37					

หมายเหตุ 1. ระดับนัยยะและพิสัยของ 1 ข้อมูล หากจาก ค่าระดับนัยยะที่สุดและค่าระดับนัยยะที่สุด ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน

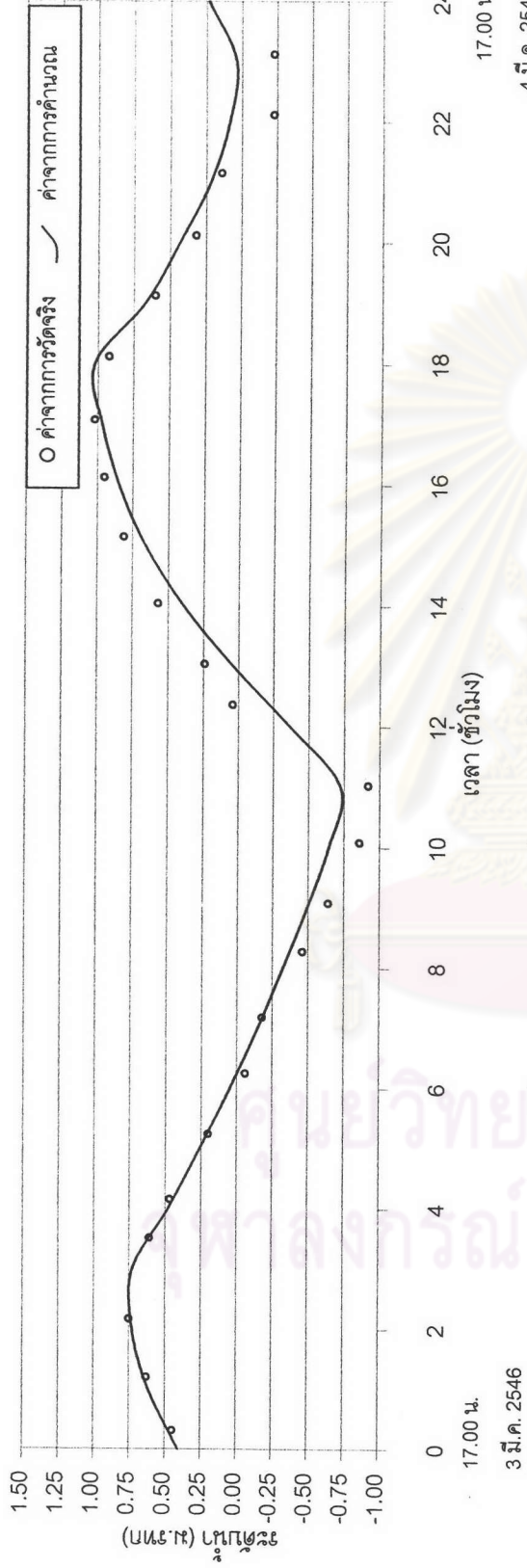
2. RMS Error หากจากจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ได้ในข้อ 1. ตลอดช่วงเวลาการรับเทียบ



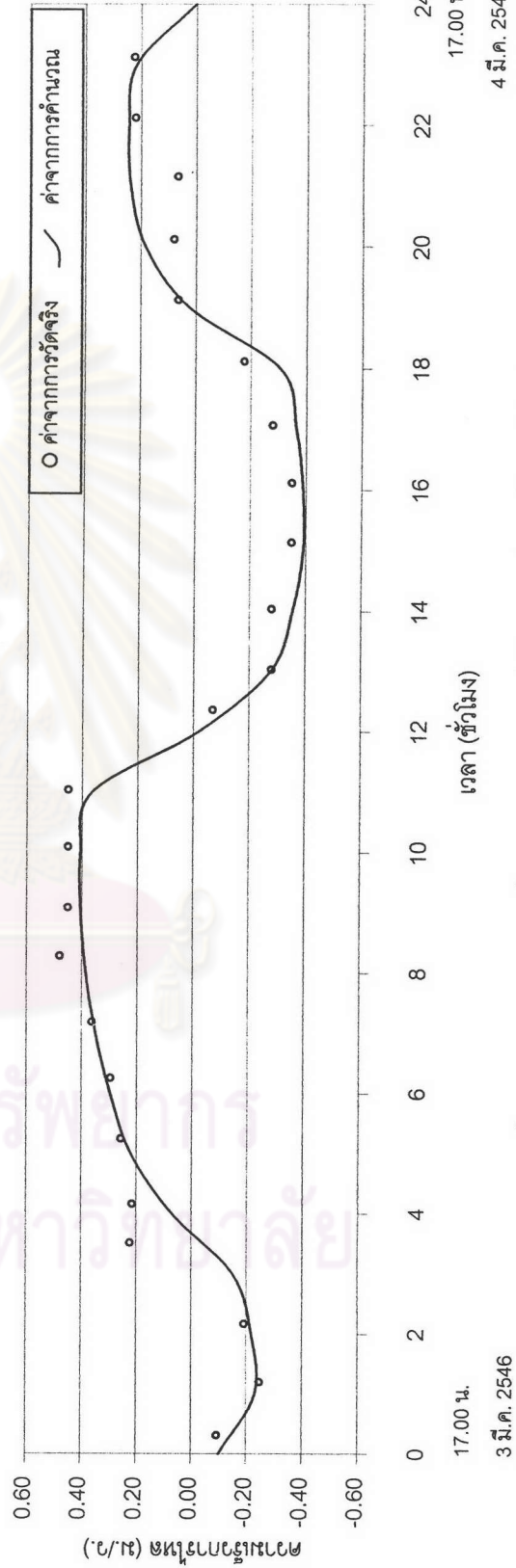
รูปที่ 5-4. ผลการเปรียบเทียบ ที่สถานีโทรมาตรเขื่อนทดน้ำบางปะกง 15.ค. 2543



รูปที่ 5-5. ผลการสอบทาน ชุดที่ 1 ที่สถานีโทรมาตรเขื่อนทดน้ำบางปะกง 30.ค. 2543



รูปที่ 5-6. ผลการสอบทานชุดที่ 2 (ค่าระดับน้ำ) ที่สถานีโทรมาตรเขื่อนทดน้ำบางปะกง



รูปที่ 5-7. ผลการสอบทานชุดที่ 2 (ค่าความเร็วการไหล) ที่สถานีโทรมาตรเขื่อนทดน้ำบางปะกง

ตารางที่ 5-5. ผลการเปรียบเทียบและสอบทาน แบบจำลองผลต่างสืบเนื่อง

กรณี	ชื่อสถานี	รูปแสดงผล (แสดงในภาค ผนวก ค.)	ผลการเปรียบเทียบและสอบทาน			
			RMS.Error	RMS.Error	RMS.Error	RMS.Error
			พิสัย (ม.)	ค่าเฉลี่ย* (ม.)	ระดับน้ำ (ม.)	ความเร็ว (ม./ว.)
เปรียบเทียบ	ปตร.ท่าถั่ว	รูปที่ ค-5 ก.	0.203	0.135	0.368	-
สอบทาน 1	ปตร.ท่าถั่ว	รูปที่ ค-5 ข.	0.245	0.153	0.322	-
เปรียบเทียบ	เขื่อนทดน้ำบางปะกง	รูปที่ ค-6 ก.	0.055	0.058	0.212	-
สอบทาน 1	เขื่อนทดน้ำบางปะกง	รูปที่ ค-6 ข.	0.103	0.076	0.225	-
สอบทาน 2	เขื่อนทดน้ำบางปะกง	รูปที่ ค-6 ค.	-	-	0.160	-
		รูปที่ ค-6 ง.	-	-	-	0.104
เปรียบเทียบ	ปตร.คูมอญ	รูปที่ ค-7 ก.	-	-	0.213	-
สอบทาน 1	ปตร.คูมอญ	รูปที่ ค-7 ข.	-	-	0.215	-
เปรียบเทียบ	ปตร.บางขนาก	รูปที่ ค-8 ก.	0.089	0.067	0.154	-
สอบทาน 1	ปตร.บางขนาก	รูปที่ ค-8 ข.	0.17	0.108	0.198	-
เปรียบเทียบ	สถานีโทรมาตรหอทอง	รูปที่ ค-9 ก.	0.053	0.106	0.162	-
สอบทาน 1	สถานีโทรมาตรหอทอง	รูปที่ ค-9 ข.	0.094	0.043	0.147	-
สอบทาน 2	สถานีโทรมาตรหอทอง	รูปที่ ค-9 ค.	-	-	0.112	-
เปรียบเทียบ	ปตร.บางพลวง	รูปที่ ค-10 ก.	-	-	0.239	-
สอบทาน 1	ปตร.บางพลวง	รูปที่ ค-10 ข.	-	-	0.170	-
เปรียบเทียบ	สถานี Kgt1	รูปที่ ค-11 ก.	-	-	0.199	-
สอบทาน 1	สถานี Kgt1	รูปที่ ค-11 ข.	-	-	0.298	-
เปรียบเทียบ	สถานีโทรมาตรสมบูรณ	รูปที่ ค-12 ก.	0.041	0.022	0.123	-
สอบทาน 1	สถานีโทรมาตรสมบูรณ	รูปที่ ค-12 ข.	0.066	0.063	0.143	-
สอบทาน 2	สถานีโทรมาตรสมบูรณ	รูปที่ ค-12 ค.	-	-	0.091	-
เปรียบเทียบ	ปตร.เสาวภา	รูปที่ ค-13 ก.	-	-	0.174	-
สอบทาน 1	ปตร.เสาวภา	รูปที่ ค-13 ข.	-	-	0.184	-

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยคือ ค่าเฉลี่ยระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดที่เกิดติดกัน

ตารางที่ 5-6. สัมประสิทธิ์ความเสียหาย ในแม่น้ำบางปะกงที่ใช้ในการศึกษาต่างๆ

ช่วงลำน้ำ	ระยะจากสถานี วัดระดับน้ำบางปะกง (กม.)	Ahmad(1979)	กรมชลประทาน(2545)	การศึกษานี้
บางปะกง ท้ายเขื่อนทดน้ำ	0 - 57	0.025	0.022	0.024
เขื่อนทดน้ำ	57 - 58	0.025	0.016	0.016
บางปะกงเหนือ เขื่อนทดน้ำ	58 - 120	0.025 - 0.045	0.020 - 0.028	0.029
คลองท่าลาด	71 - 107	NA.	0.030 - 0.050	0.030
ปราจีนบุรี	120 - 227	0.045	0.020 - 0.050	0.024
นครนายก	120 - 184	NA.	0.040 - 0.050	0.032
ช่วงค่าสัมประสิทธิ์		0.025 - 0.045	0.020 - 0.050	0.024 - 0.032

หมายเหตุ

- 1.JICA(2001) และ วีระพล(2543) ได้ศึกษาแบบจำลองชลศาสตร์ของแม่น้ำบางปะกง แต่ไม่ได้สรุปค่า Manning's n ที่ใช้ในการคำนวณ
- 2.ค่า Manning's n ในแม่น้ำเจ้าพระยา จากการศึกษาโดย Torranin(1967) อยู่ในช่วง 0.020 - 0.040 ขึ้นกับระยะทางและอัตราการไหลเหนือน้ำ Koontanakulvong และKawachi(1986)ได้ค่า n=0.025

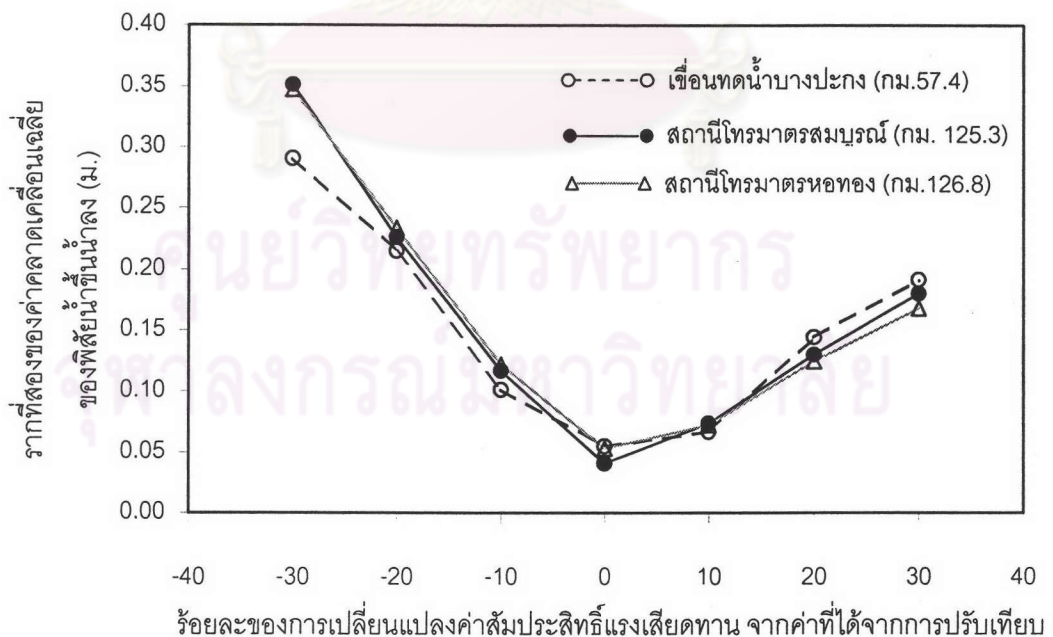
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.5 ความอ่อนไหวของแบบจำลองผลต่างสี่ปี

การตรวจสอบความอ่อนไหวของแบบจำลองเป็นการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่า Manning's n ที่ได้จากการปรับเทียบ ที่มีต่อความคลาดเคลื่อนที่ได้จากแบบจำลอง โดยได้เลือกสถานีสำหรับตรวจสอบ 3 สถานี คือ สถานีเขื่อนทดน้ำบางปะกง (กม.57.4 อยู่บนแม่น้ำบางปะกง) สถานีโทรมาตรสมบูรณ์ (กม.125.3 อยู่บนแม่น้ำนครนายก) และสถานีโทรมาตรหอทอง (กม.126.8 อยู่บนแม่น้ำปราจีนบุรี) การเปลี่ยนแปลงค่า Manning's n ได้ใช้การเพิ่ม (หรือลด) ค่าตลอดทั้งลำน้ำร้อยละ 10 ถึง 30 ค่าคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการศึกษาคือ รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงผลการศึกษานี้แสดงได้ดังรูปที่ 5-8

จากรูปที่ 5-8 แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่า Manning's n คลาดเคลื่อนไปร้อยละ 10 (คือคลาดเคลื่อนไปประมาณ 0.002-0.003) ทำให้ความคลาดเคลื่อนของพิสัย มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.07 ม. และเมื่อค่า Manning's n คลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น ความคลาดเคลื่อนของพิสัยจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราสูงกว่า โดยความคลาดเคลื่อนที่แต่ละตำแหน่งบนทางน้ำมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกัน

ความอ่อนไหวของแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้ค่า Manning's n ที่เหมาะสม ซึ่งต้องพิจารณาทั้งจากสภาพภูมิประเทศ และผลจากการปรับเทียบแบบจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับเทียบแบบจำลองต้องอาศัยข้อมูลที่ถูกต้อง และพอเพียง ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา



รูปที่ 5-8 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองผลต่างสี่ปี

5.3 การทดสอบแบบจำลองผลต่างสปีบนื่องกรณีทางน้ำปลายด้านหนึ่งปิด

การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีทางน้ำปลายด้านหนึ่งปิดนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณของแบบจำลองผลต่างสปีบนื่อง ในกรณีมีอาคารกั้นลำน้ำ โดยในการทดสอบใช้วิธีตรวจสอบผลการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จัดสร้างโดยโปรแกรม ISIS กับผลการทดลองของ Ippen และ Harleman(1966) และผลการศึกษาของ Kawachi และ Minami (1979) โดยใช้กรณีศึกษาเป็น ทางน้ำอย่างง่ายซึ่งมีหน้าตัดคงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าความชันท้องน้ำเป็นศูนย์ มีปลายข้างหนึ่งปิด และอีกข้างหนึ่งเปลี่ยนแปลงเป็นฮาร์โมนิกอย่างง่าย

การศึกษาของ Ippen เป็นการศึกษาที่สำคัญ ได้มีงานวิจัยหลายงานที่ใช้ทฤษฎี Cooscilating Tide ของ Ippen และ Harleman มาเปรียบเทียบกับการศึกษาทางทฤษฎีทั้งที่เป็นการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี และ แบบจำลองผลต่างสปีบนื่อง เช่น Knight(1973) และมีงานวิจัยบางงานที่ใช้ข้อมูลผลการทดลองจากแบบจำลองทางกายภาพของ Ippen มาเป็นข้อมูลในการตรวจสอบทฤษฎีของตนเช่น Ostendorf (1984)

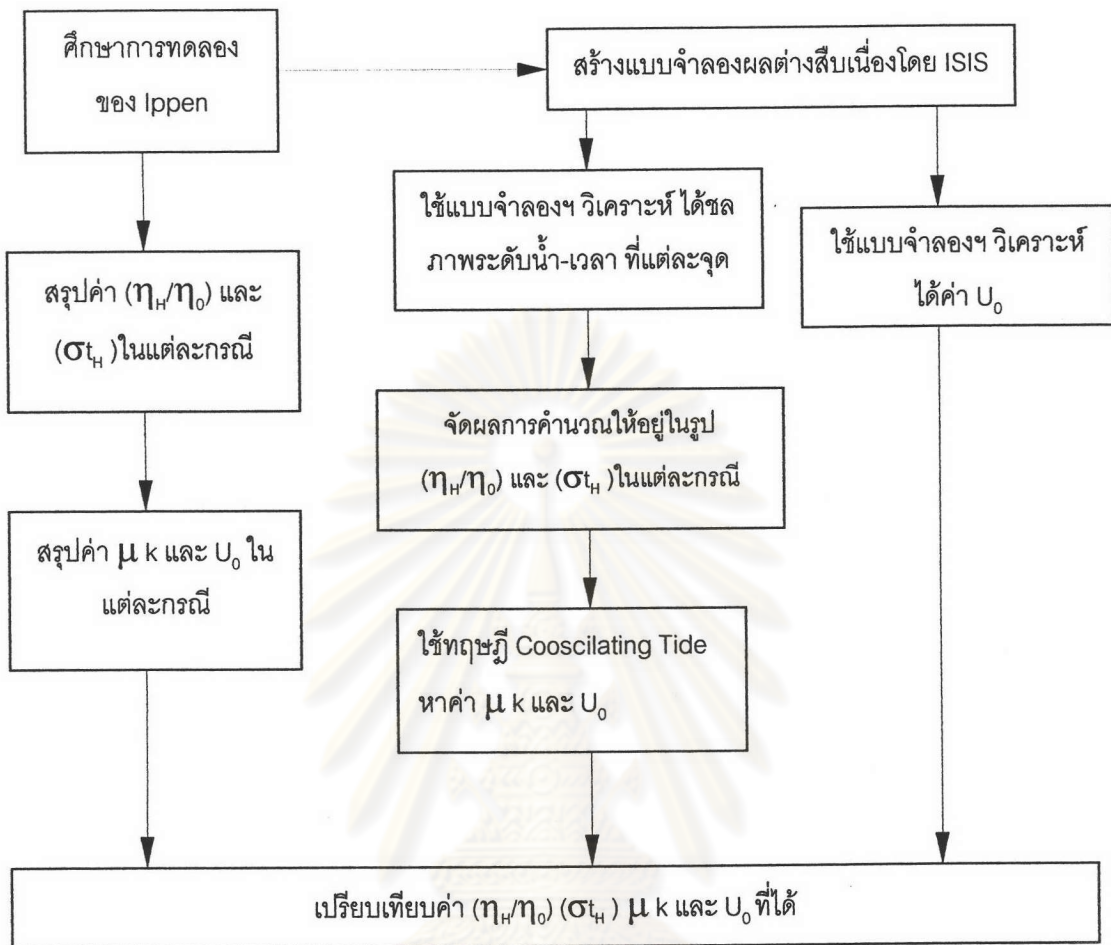
การศึกษาที่ผ่านมาอีกเรื่องหนึ่งที่น่าสนใจในการทดสอบแบบจำลอง คือ การศึกษาของ Kawachi และ Minami(1979) ซึ่งมีลักษณะเด่นที่สามารถอธิบายผลของ อัตราการไหลทางต้นน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาอื่นที่อธิบายเพียงผลของกรณีที่อัตราการไหลต้นน้ำมีค่าเป็นศูนย์

5.3.1 การทดสอบกับผลการทดลองของ Ippen และ Harleman

การทดสอบแบบจำลองผลต่างสปีบนื่อง โดยเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Ippen และ Harleman มีวิธีการศึกษาคือ ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างโดยโปรแกรม ISIS ในการวิเคราะห์สภาพการไหลในการทดลองของ Ippen และ Harleman แต่เนื่องจาก ในการศึกษาของ Ippen และ Harleman ไม่ได้แสดงข้อมูลที่วัดได้ในการทดลอง (ชลภาพที่จุดต่างๆ) แต่แสดงเพียงค่าที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วในรูปค่าของ อัตราส่วนแอมพลิจูดที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับด้านปลายปิด (η_H/η_0) และเวลาเฟสที่เกิดระดับน้ำสูงสุด(σ_H) ดังนั้นในการเปรียบเทียบ จึงได้นำข้อมูลชลภาพระดับน้ำที่คำนวณได้โดยโปรแกรม ISIS มาจัดในรูป อัตราส่วนแอมพลิจูดที่ตำแหน่งต่างๆเทียบกับด้านปลายปิด (η_H/η_0) และเวลาเฟสที่เกิดระดับน้ำสูงสุด(σ_H) เพื่อให้อยู่ในรูปตัวแปรที่เปรียบเทียบกันได้

นอกจากนี้ยังได้นำผลการคำนวณจากแบบจำลองมาวิเคราะห์โดยทฤษฎี Cooscilating Tide เพื่อหาค่า สัมประสิทธิ์การลดขนาดคลื่น (Damped Coefficient μ) ค่าเลขจำนวนคลื่น (Wave Number k) และ ความเร็วสูงสุดที่ปลายเปิด (U_0) มาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลสรุปของ Ippen และ Harleman และได้เปรียบเทียบความเร็วที่วัดได้จากการทดลองจริงกับที่คำนวณได้จากแบบจำลองอีกด้วย

ขั้นตอนการศึกษาสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5-9



รูปที่ 5-9 ขั้นตอนการทดสอบแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับ
ผลการศึกษา ของ Ippen และ Harleman(1966)

Ippen และ Harleman (1966) ได้ใช้ แบบจำลองทางชลศาสตร์ WES Flume ในการศึกษา แบบจำลองนี้เป็น รางน้ำยาว 327 ฟุต กว้าง 0.75 ฟุต ลึก 0.5 ฟุต ปลายด้านหนึ่งปิด คลื่นถูกสร้างขึ้นที่ปลายอีกด้านหนึ่งซึ่งเป็นอ่างน้ำเค็ม มีความยาวคลื่น 2400 ฟุต ความเร็วคลื่น 4 ฟุตต่อวินาที มีคาบ 10 และ 7 นาที ที่ด้านขอบและพื้นทางน้ำทำให้ผิวขรุขระโดยติดแผ่นลูไซต์ มีการปรับเทียบเพื่อหาค่า Manning's n ในกรณีการไหลคงตัว ได้ค่า 0.020, 0.018 และ 0.011

ผลการทดลองของ Ippen และ Harleman ที่ได้นำมาเปรียบเทียบในการศึกษานี้มี 3 กรณีคือ Test No. 29, 30-3 และ 28 ซึ่งแต่ละกรณีมีค่าขอบเขตด้านต้นน้ำ(ปลายด้านปิด)และท้ายน้ำ(ปลายด้านเปิด) ดังแสดงในตารางที่ 5-7

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้สร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลหน้าตัดของ WES Flume ความยาว 327 ฟุตหรือ 98 เมตร ได้แบ่งออกเป็น 20 ช่วง มีค่า Manning's n เท่ากับ 0.020 ที่ปลายปิดใช้เงื่อนไขค่าขอบเขตคือ อัตราการไหลเป็นศูนย์ตลอดเวลา และที่ปลายเปิดใช้เงื่อนไขค่าขอบเขตเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำแบบฮาร์โมนิกอย่างง่ายเช่นเดียวกับการทดลอง ค่าพิสัยและคาบน้ำขึ้นน้ำลงที่ขอบเขตท้ายน้ำ โดยกรณี Test No. 29 และ 30-3 จะมีความสูงคลื่น 0.015 ม. ในขณะที่กรณี Test No. 28 มีความสูงคลื่น 0.030 ม. และกรณีที่ Test No. 29 และ 28 มีคาบ 600 วินาที ในขณะที่ กรณี Test No. 30-3 มีคาบ 420 วินาทีการใช้ค่าขอบเขตในแต่ละกรณีย่อย แสดงได้ดังตารางที่ 5-7

การคำนวณใช้ช่วงเวลาในการคำนวณ 9 วินาที เวลาที่ใช้ในการจำลอง 1 ชั่วโมง อัตราการไหลและระดับน้ำเริ่มต้นใช้ผลการคำนวณจากการไหลคงตัวที่เวลาเริ่มต้น

ตารางที่ 5-7 ค่าขอบเขตที่ใช้ในแต่ละกรณี

กรณี	ค่าขอบเขตด้านต้นน้ำ	ค่าขอบเขตด้านท้ายน้ำ
Test No.29	อัตราการไหลเท่ากับ 0 ลบ.ม./ว	ความสูงคลื่น 0.015 ม. คาบ 600 วินาที
Test No.30-3	อัตราการไหลเท่ากับ 0 ลบ.ม./ว	ความสูงคลื่น 0.015 ม. คาบ 420 วินาที
Test No.28	อัตราการไหลเท่ากับ 0 ลบ.ม./ว	ความสูงคลื่น 0.030 ม. คาบ 600 วินาที

ในการทดลองของ Ippen และ Harleman ผลการทดลองในกรณี Test no.29 และ 30-3 จะได้ค่า ϕ (พารามิเตอร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การลดขนาดคลื่น- μ และเลขจำนวนคลื่น- k เป็นค่าที่แสดงถึงความเสียหายในลำน้ำ รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.2.3) ที่เข้ากับกลุ่มข้อมูลที่สุดคือ 2.75 ในขณะที่ Test no.28 ได้ 3.25 เมื่อนำค่า ϕ มาคำนวณหา μ k และ U_0 ได้ค่าดังแสดงใน ตารางที่ 5-8 โดยมีค่าความเร็วที่ปากทางน้ำที่วัดได้จริง(สดมภ์ที่ 5)ในการทดลองมีเฉพาะกรณี Test No.29 มีค่า 0.45 ฟุตต่อวินาที และจากการประยุกต์ทฤษฎี Cooscilating Tide (สดมภ์ที่ 8) ได้ค่าความเร็วที่ปากทางน้ำเท่ากับ 0.44 0.48 และ 0.70 สำหรับกรณี Test No.29 30-3 และ 28 ตามลำดับ

ค่าระดับน้ำสูงสุดและเวลาที่เกิดซึ่งหาได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละกรณี ถูกนำมา plot ในรูป η_H/η_{OH} และ σ_H ร่วมกับผลการทดลองของ Ippen และ Harleman ดังแสดงในรูปที่ 5-10 เมื่อประยุกต์ใช้ทฤษฎี Cooscilating Tide กับชลภาพที่ได้จากแบบจำลองทางผลต่างสืบเนื่อง (ตัวอย่างแสดงในภาคผนวก จ) พบว่าค่า ϕ ที่เข้ากันกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบผลต่างสืบเนื่อง (สดมภ์ที่ 10) ในกรณี Test no.29, 30-3 และ 28 ได้ค่า ϕ เป็น 2.75 2.5 และ 3.1 ตามลำดับ และมีค่าความเร็วที่ปากทางน้ำเป็น 0.44 0.53 และ 0.80 ฟุตต่อวินาทีตามลำดับ (สดมภ์ที่ 12)

ตารางที่ 5-8 ผลการทดสอบกับการศึกษาของ Ippen และ Harleman

กรณี* Test No.	ลักษณะ Tidal			ผลการทดลองของ Ippen				ผลการคำนวณโดยผลต่างสี่เหลี่ยม			
	A	T	K	U_0 วัดจริง	ประยุกต์ ทฤษฎี Cooscillating Tide			U_0	ประยุกต์ ทฤษฎี Cooscillating Tide		
					ϕ	μ	U_0		ϕ	μ	U_0
ft.	Sec.	rad/ft	fps		rad/ft	fps	fps		rad/ft	Fps	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
29	0.05	600	0.0033	0.45	2.75	0.0014	0.44	0.44	2.75	0.0014	0.44
30-3	0.05	420	0.0048	-	2.75	0.0021	0.48	0.55	2.50	0.0019	0.53
28	0.10	600	0.0037	-	3.25	0.0019	0.77	0.79	3.10	0.0018	0.80

หมายเหตุ : A คือ แอมพลิจูดระดับน้ำที่ด้านปลายเปิด T คือ คาบน้ำขึ้นน้ำลง k คือ ค่าเลขจำนวนคลื่น

* หมายเลขชื่อเรียกแต่ละกรณี ใช้ตามการศึกษาของ Ippen และ Harleman รายละเอียดดังตารางที่ 5-7

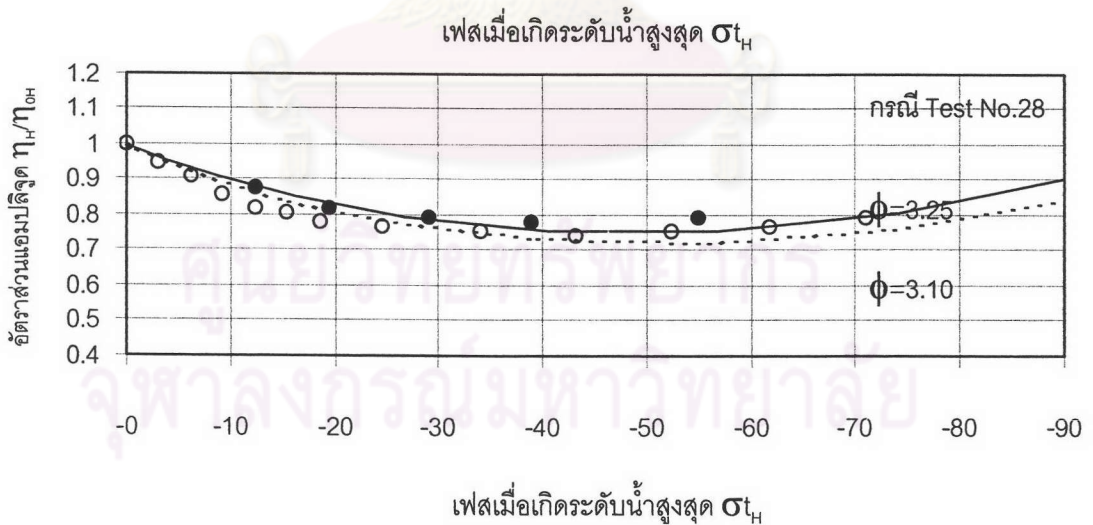
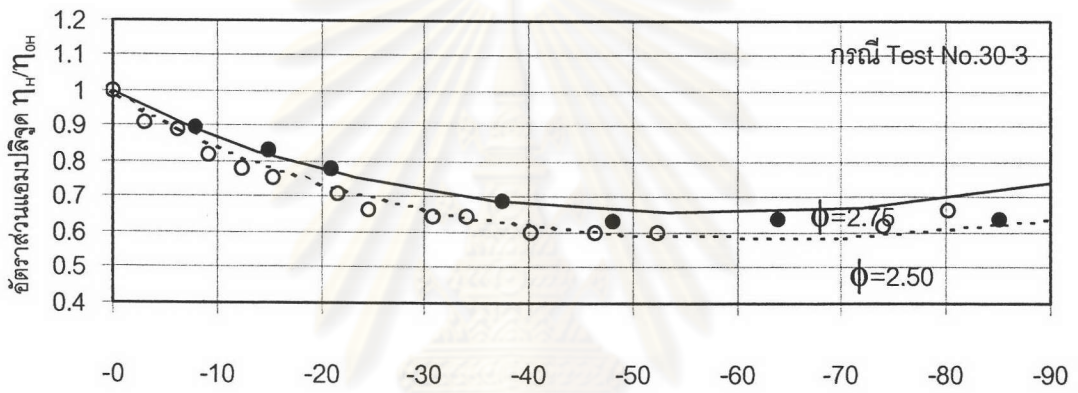
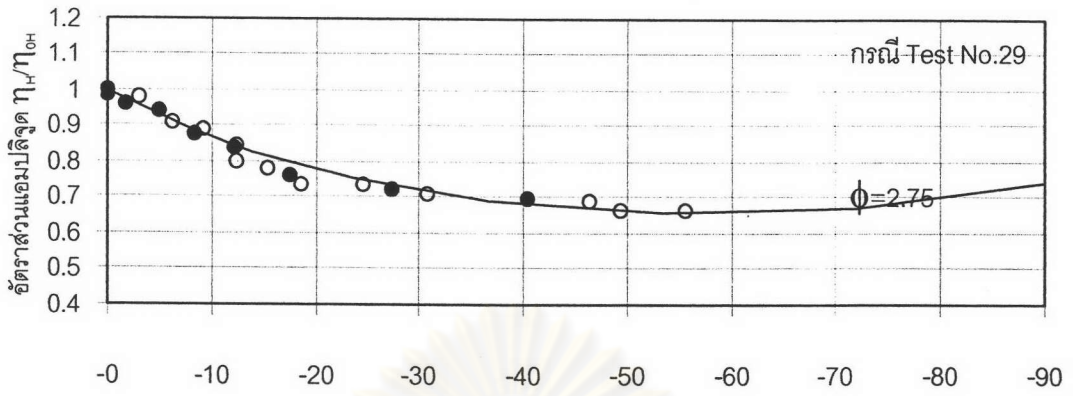
จากตารางที่ 5-8 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความเร็วสูงสุดที่ปลายเปิดซึ่งคำนวณโดยแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม (สดมภ์ที่ 9) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากข้อมูลจากการทดลองโดยใช้ทฤษฎี Cooscillating Tides (สดมภ์ที่ 8) ปรากฏว่ามีความใกล้เคียงกัน ผลความแตกต่างมากที่สุดคือ Test no.30-3 ซึ่งต่างกันร้อยละ 15

2. ค่าความเร็วสูงสุดที่ปลายเปิดซึ่งคำนวณโดยแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม (สดมภ์ที่ 9) และผลการวัดจริง (สดมภ์ที่ 5) ในกรณี Test no.29 มีความใกล้เคียงกันมาก แต่ในกรณีอื่นไม่สามารถเปรียบเทียบได้เพราะไม่มีข้อมูลจากการวัดจริง

3. รูปที่ 5-10 แสดงให้เห็นว่า ผลการคำนวณโดยแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม และผลการทดลองของ Ippen และ Harleman มีค่าใกล้เคียงกัน และค่า ϕ ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน (สดมภ์ที่ 6 กับ 10) โดยกรณีที่แตกต่างกันมากที่สุดคือ Test No.30-3 ซึ่งให้ค่า ϕ ต่างกันร้อยละ 10

ผลการทดสอบแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยมกับผลการศึกษาของ Ippen และ Harleman สรุปได้ว่า แบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยมสามารถใช้อธิบายผลการทดลองของ Ippen และ Harleman ได้ดี และผลจากแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยมกับผลจากทฤษฎี Cooscillating Tides ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน



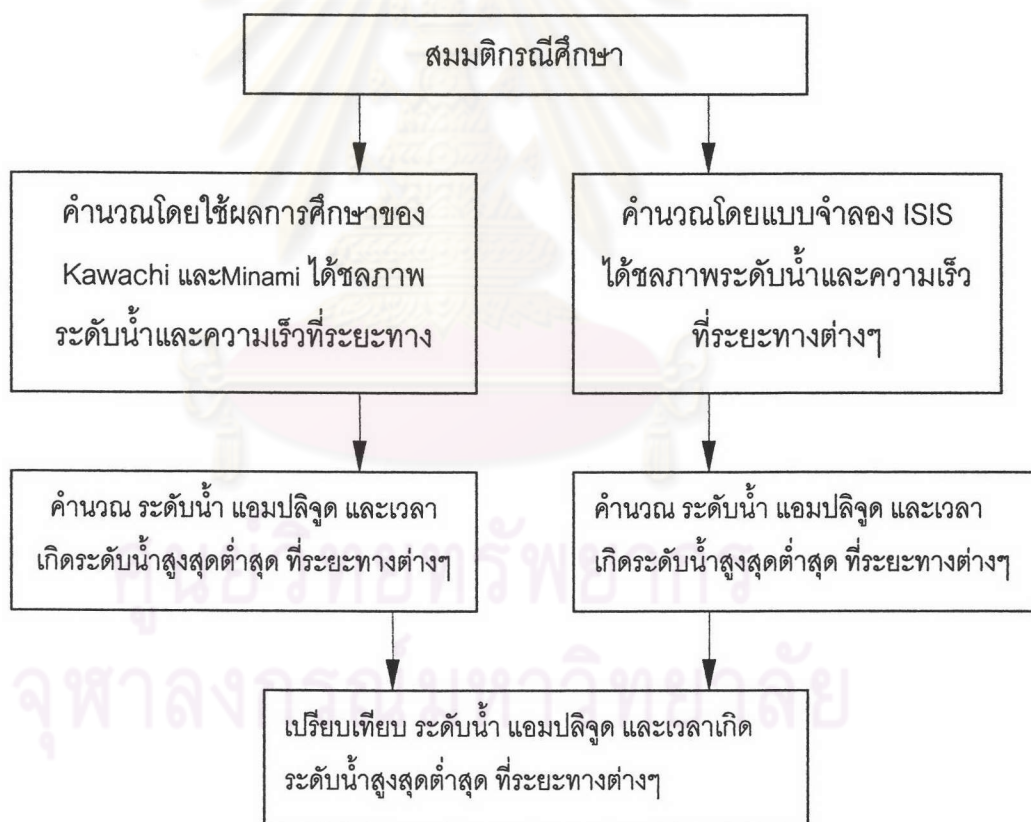
- ข้อมูลจากการทดลองของ Ippen และ Harleman
- ข้อมูลจากการคำนวณ
- เส้นแนวโน้มข้อมูลจากการทดลอง
- เส้นแนวโน้มจากแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม

รูปที่ 5-10 ผลการคำนวณจากแบบจำลองกับข้อมูลจากการทดลองของ Ippen และ Harleman

5.3.2 การทดสอบกับผลจากแบบจำลองฮาร์โมนิก

ในการเปรียบเทียบกับผลการศึกษารากฮาร์โมนิกของสมการการไหล ได้ใช้ผลการศึกษาของ Kawachi และMinami(1979) กรณีการศึกษาที่นำมาทดสอบเป็นทางน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความชันท้องน้ำเป็นศูนย์ ค่า Manning's n เท่ากับ 0.022 ความกว้าง 100 ม. ความยาว 70 กม. ความลึกที่ระดับน้ำนิ่ง 10 ม. มีอัตราการไหลต้นน้ำและ ระดับน้ำท้ายน้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา แบ่ง 6 กรณี โดยแต่ละกรณีมีค่าขอบเขตดังแสดงในตารางที่ 5 -9

กรณีศึกษาทั้ง 6 กรณี ได้นำมาวิเคราะห์โดยทฤษฎีของ Kawachi และMinami และแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม ที่สร้างโดยโปรแกรม ISIS ผลการวิเคราะห์ได้นำมาเปรียบเทียบกันในค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ระดับน้ำเฉลี่ย ค่าแอมพลิจูด และเวลาที่เกิดระดับน้ำสูงสุดต่ำสุด ขั้นตอนการศึกษาสามารถแสดงได้ในรูปที่ 5 -11



รูปที่ 5-11 ขั้นตอนการทดสอบแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยม กับแบบจำลองรากฮาร์โมนิก

แบบจำลองผลต่างสืบเนื่องที่สร้างโดยโปรแกรม ISIS ได้แบ่งช่วงความยาว 70 กม. ออกเป็น 20 ช่วง ช่วงละ 3.5 กม. การคำนวณใช้ช่วงเวลาในการคำนวณ 60 วินาที อัตราการไหลและระดับน้ำเริ่มต้นใช้ผลการคำนวณจากการไหลคงที่

การเปรียบเทียบผลการคำนวณแสดงในรูปที่ 5-12 ถึง 5-17 และได้สรุปผลต่างของการคำนวณทั้งสองวิธีไว้ดังตารางที่ 5-10 ซึ่งเห็นได้ว่า

1. ในกรณีอัตราการไหลต้นน้ำมีค่าเป็นศูนย์ ดังกรณีที่ 1 และ 2 ซึ่งเทียบได้กับกรณีมีการปิดกั้นลำน้ำโดยสมบูรณ์ ความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด และระดับน้ำเฉลี่ยตลอดทางน้ำ ที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธีมีค่าต่างกันไม่เกินร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับแอมพลิจูดที่ปลายเปิด และเมื่อคิดความแตกต่างของแอมพลิจูดตลอดทางน้ำ พบว่าต่างกันไม่เกินร้อยละ 9 เมื่อเทียบกับแอมพลิจูดที่ปลายเปิด และมีความแตกต่างของเวลาเกิดระดับน้ำสูงสุดต่ำสุด ต่างกันไม่เกินร้อยละ 6 เมื่อเทียบกับคาบน้ำขึ้นน้ำลง

2. เมื่ออัตราการไหลต้นน้ำมีค่ามากขึ้น ดังกรณีที่ 3 4 และ 6 ซึ่งมีอัตราการไหลต้นน้ำในช่วง 100 – 300 ลบ.ม./ว. พบว่า ความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด และระดับน้ำเฉลี่ยตลอดทางน้ำ เพิ่มขึ้นมาก และเพิ่มตามอัตราการไหลต้นน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยคิดเป็นความแตกต่างของผลการคำนวณทั้งสองวิธีประมาณ ร้อยละ 80-90 เมื่อเทียบกับแอมพลิจูดที่ปากแม่น้ำ อย่างไรก็ตาม ผลต่างของแอมพลิจูดยังคงมีค่าไม่เกินร้อยละ 10

3. เมื่ออัตราการไหลเพิ่มมากถึง 1000 ลบ.ม./ว. พบว่าความแตกต่างของผลการคำนวณเพิ่มขึ้นมากทั้งโดยค่า ระดับน้ำสูงสุด เฉลี่ย ต่ำสุด มีความแตกต่างประมาณร้อยละ 270-420 และ ค่าแอมพลิจูดมีความแตกต่างประมาณร้อยละ 76

จากผลการเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ว่า ในกรณีอัตราการไหลต้นน้ำเป็นศูนย์ แบบจำลองผลต่างสืบเนื่องและผลจากแบบจำลองฮาร์โมนิก ให้ค่าที่ต่างกันในระดับที่ยอมรับได้ (ความแตกต่างระดับน้ำประมาณร้อยละ 8-14 เทียบกับแอมพลิจูดที่ปากแม่น้ำ และความแตกต่างเวลาเกิดประมาณร้อยละ 6 เมื่อเทียบกับคาบ) ซึ่งเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณโดยแบบจำลองทั้งสองได้ในระดับหนึ่ง

เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ความแตกต่างของการคำนวณทั้งสองวิธีเริ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากสมมติฐานในการวิเคราะห์โดยแบบจำลองฮาร์โมนิกว่าความลึกน้ำตลอดทางน้ำมีค่าคงที่ ซึ่งสมมติฐานนี้จะลดความถูกต้องลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น

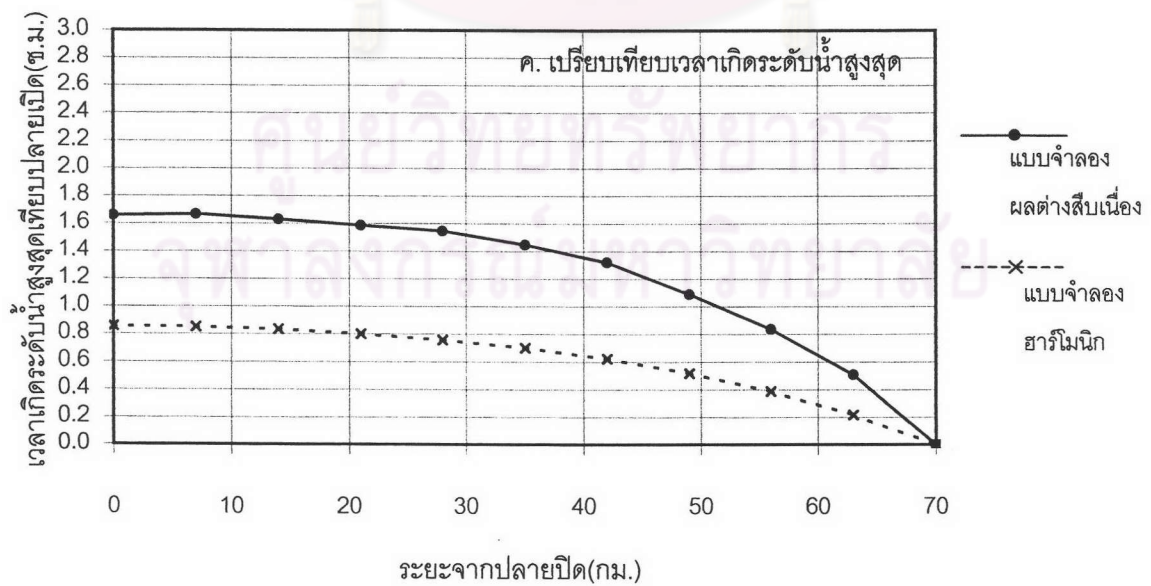
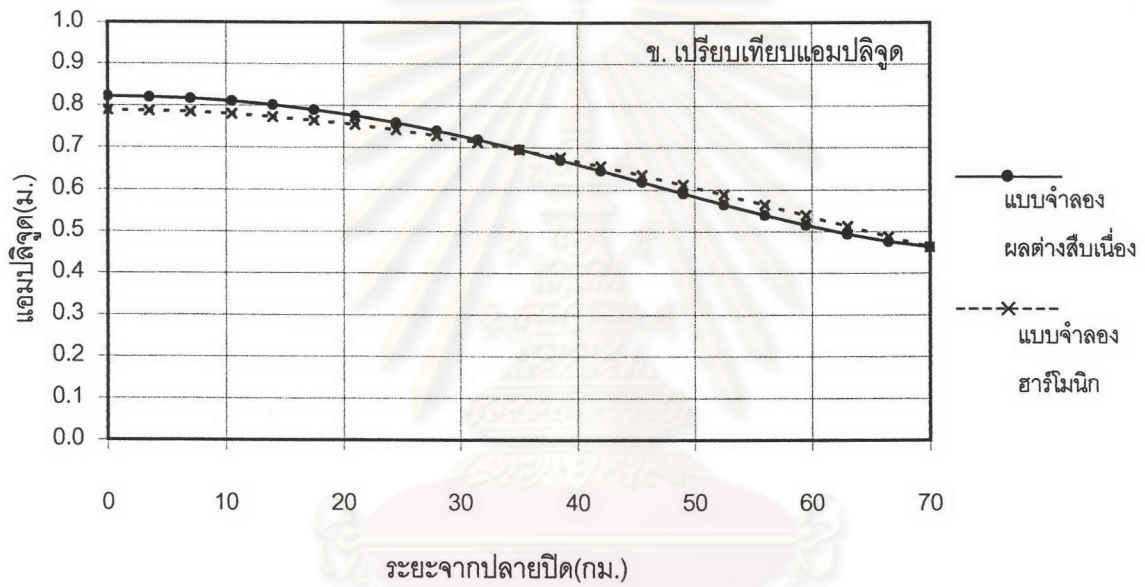
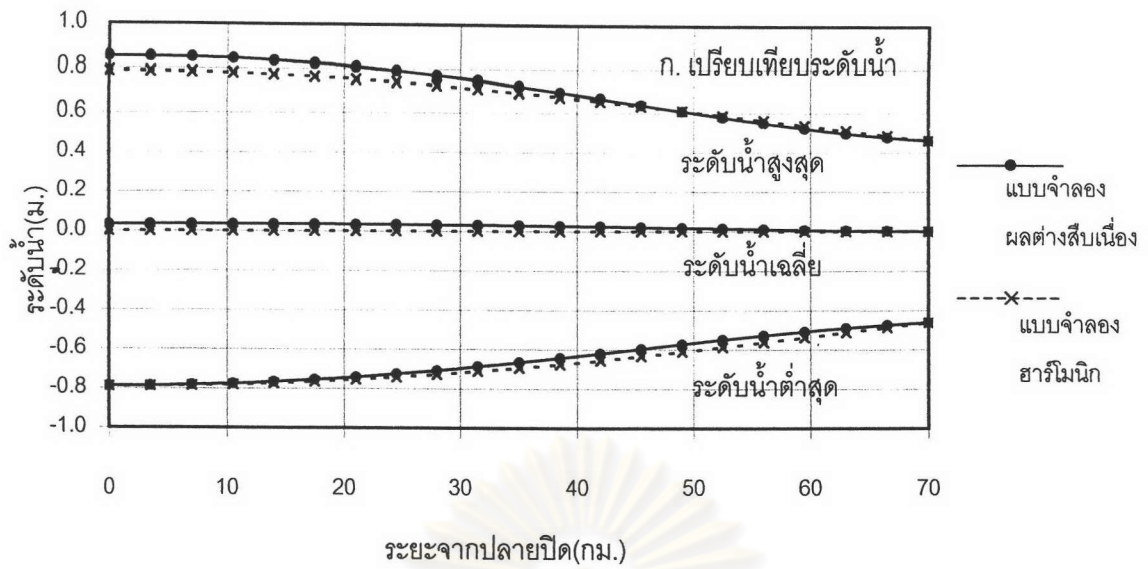
ตารางที่ 5-9 ค่าขอบเขตที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองผลต่างสืบเนื่องกับแบบจำลองฮาร์โมนิก

กรณี	ค่าขอบเขตด้านต้นน้ำ	ค่าขอบเขตด้านท้ายน้ำ
1	อัตราการไหลเท่ากับ 0 ลบ.ม./ว	แอมพลิจูด 0.463 ม. คาบ 12.42 ชม.
2	อัตราการไหลเท่ากับ 0 ลบ.ม./ว	แอมพลิจูด 0.722 ม. คาบ 23.36 ชม.
3	อัตราการไหลเท่ากับ 100 ลบ.ม./ว	แอมพลิจูด 0.463 ม. คาบ 12.42 ชม.
4	อัตราการไหลเท่ากับ 300 ลบ.ม./ว	แอมพลิจูด 0.463 ม. คาบ 12.42 ชม.
5	อัตราการไหลเท่ากับ 1000 ลบ.ม./ว	แอมพลิจูด 0.463 ม. คาบ 12.42 ชม.
6	ฮาร์โมนิกอย่างง่ายโดยมี พีลย์ 300 ลบ.ม./ว. คาบ 12.42 ชม. อัตราการไหลเฉลี่ย 300 ลบ.ม./ว.	แอมพลิจูด 0.463 ม. คาบ 12.42 ชม.

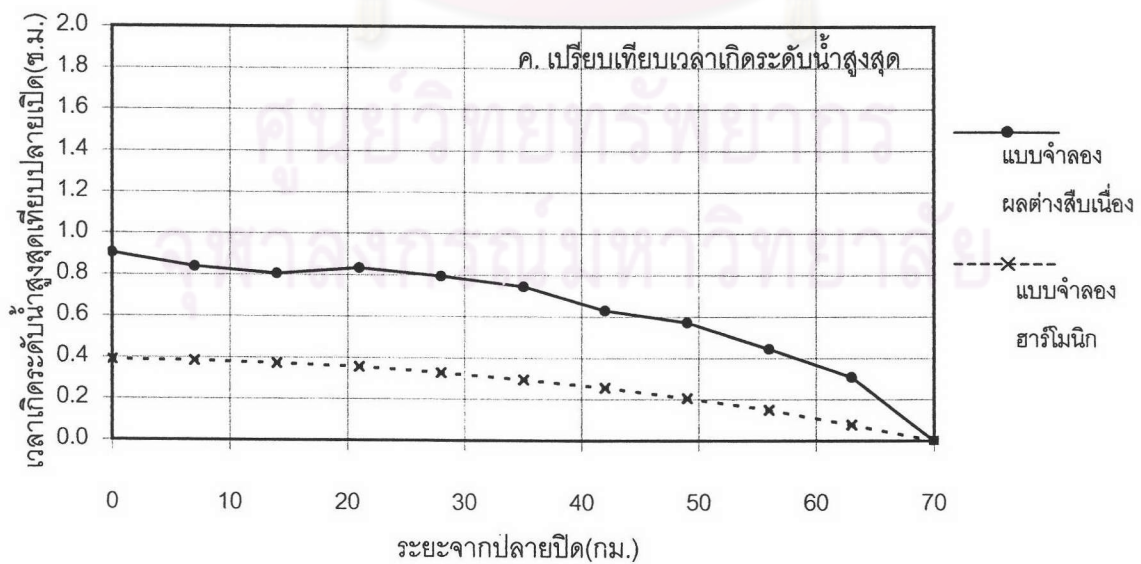
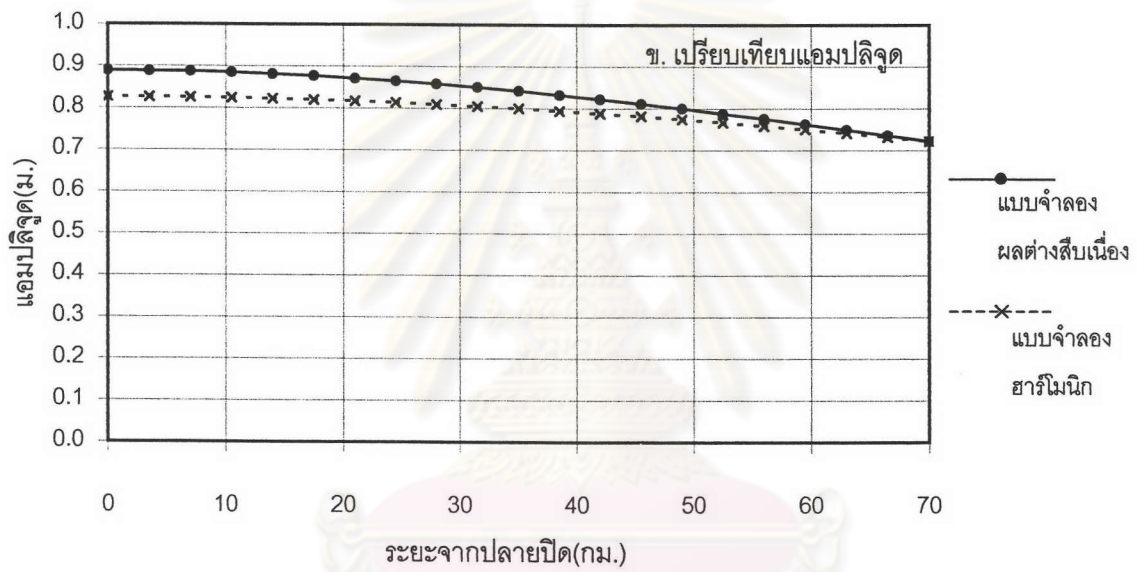
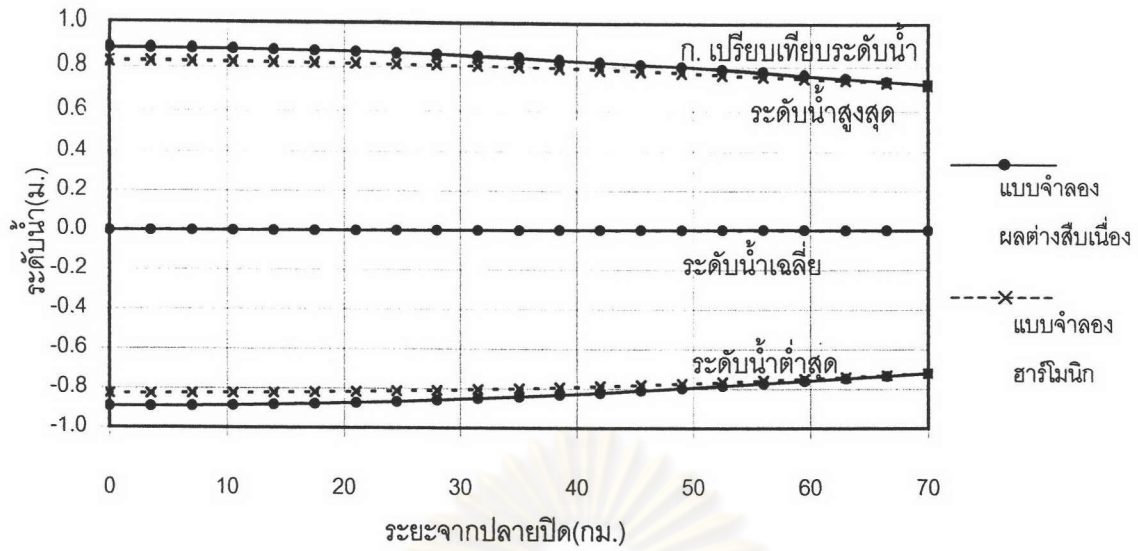
ตารางที่ 5-10 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลอง กับแบบจำลองฮาร์โมนิก

กรณี	ผลต่างของระดับน้ำ						ผลต่างของแอมพลิจูด		ผลต่างของเวลาเกิดระดับน้ำสูงสุดต่ำสุด*	
	ระดับน้ำสูงสุด		ระดับน้ำเฉลี่ย		ระดับน้ำต่ำสุด		ผลต่างสูงสุด (ม.)	ร้อยละที่แอมพลิจูดที่ปากแม่น้ำ	ผลต่างสูงสุด (ชม.)	ร้อยละที่เทียบกับคาบ
	ผลต่างสูงสุด (ม.)	ร้อยละที่แอมพลิจูดที่ปากแม่น้ำ	ผลต่างสูงสุด (ม.)	ร้อยละที่แอมพลิจูดที่ปากแม่น้ำ	ผลต่างสูงสุด (ม.)	ร้อยละที่แอมพลิจูดที่ปากแม่น้ำ				
1	0.066	14	0.035	8	0.039	8	0.033	7	0.802	6
2	0.06	8	0.003	0	0.065	9	0.063	9	0.517	2
3	0.184	40	0.153	33	0.121	26	0.032	7	0.827	7
4	0.338	73	0.379	82	0.42	91	0.041	9	0.958	8
5	1.264	273	1.617	349	1.969	425	0.352	76	1.016	8
6	0.403	87	0.389	84	0.374	81	0.037	8	0.603	5

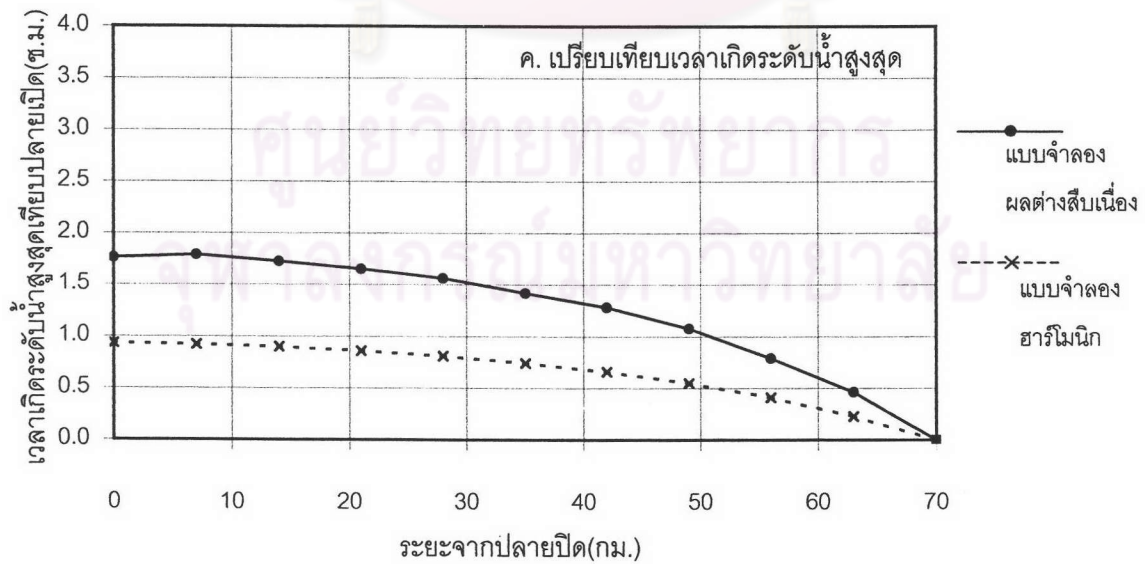
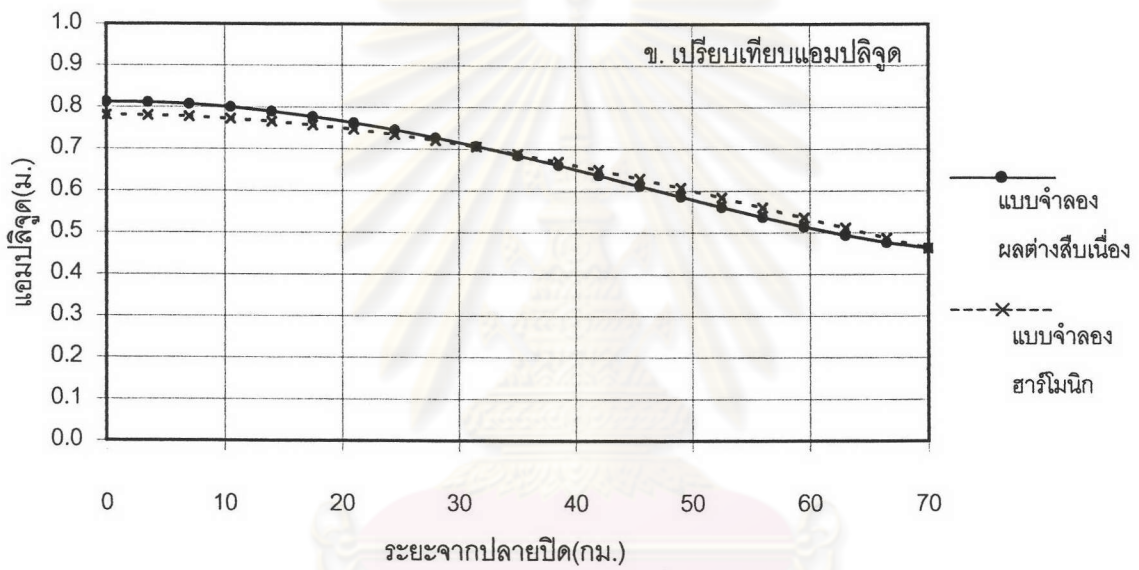
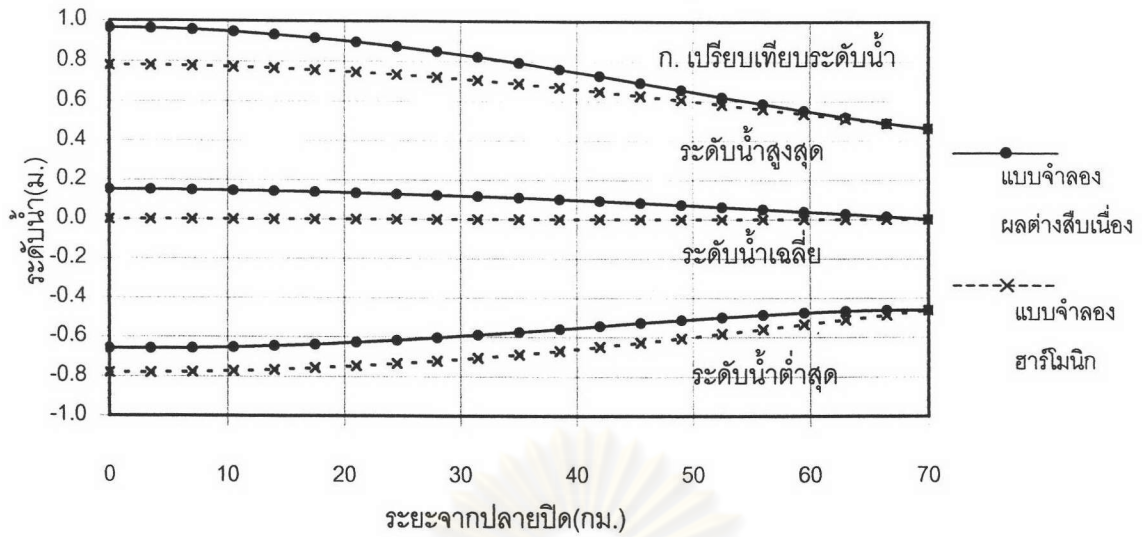
หมายเหตุ : * เวลาเกิดระดับน้ำสูงสุดต่ำสุด เริ่มต้นเวลาที่ศูนย์เมื่อ ที่ปากแม่น้ำมีค่าระดับน้ำสูงสุดต่ำสุด



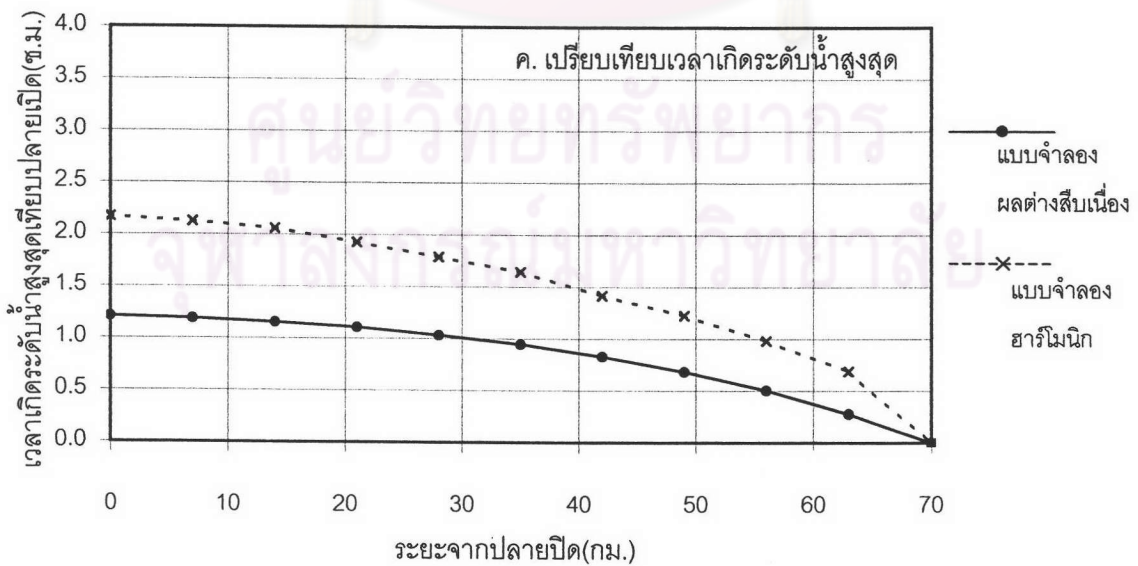
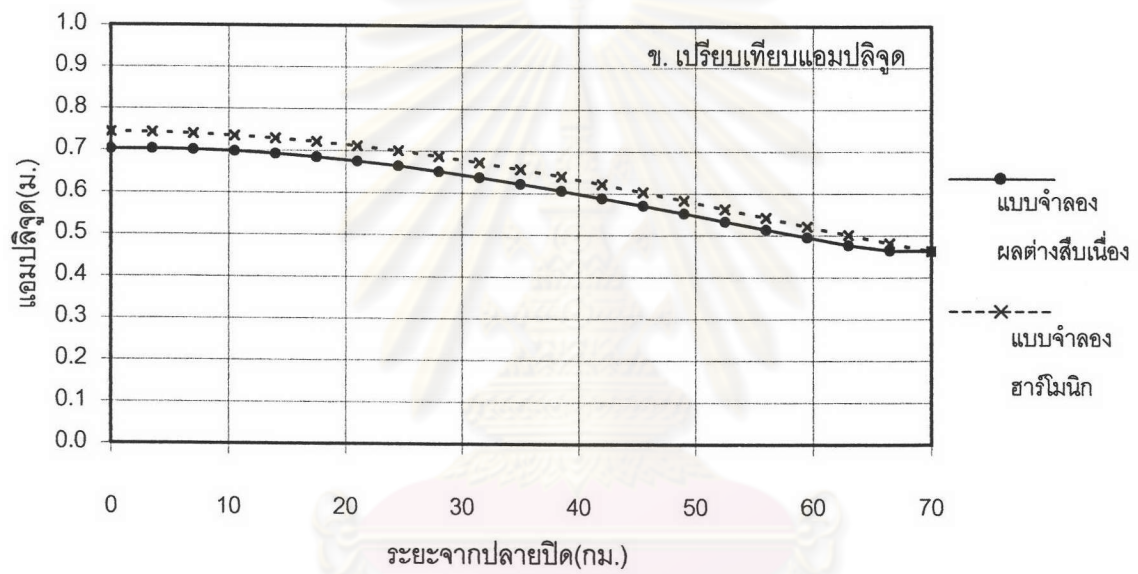
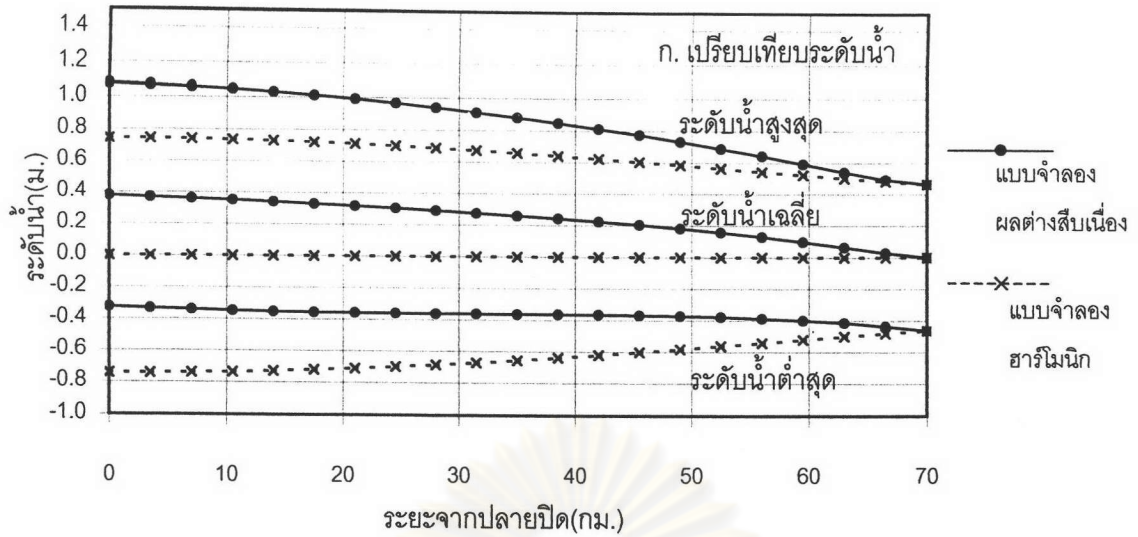
รูปที่ 5-12 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองผลต่างสี่บเนื่องกับแบบจำลองฮาร์โมนิก กรณีที่ 1



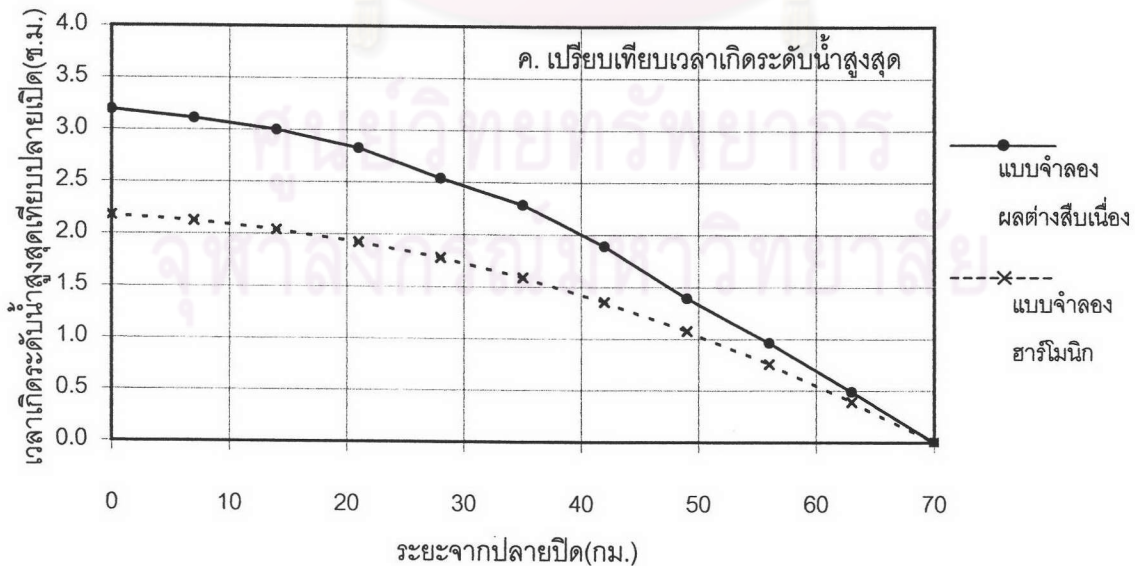
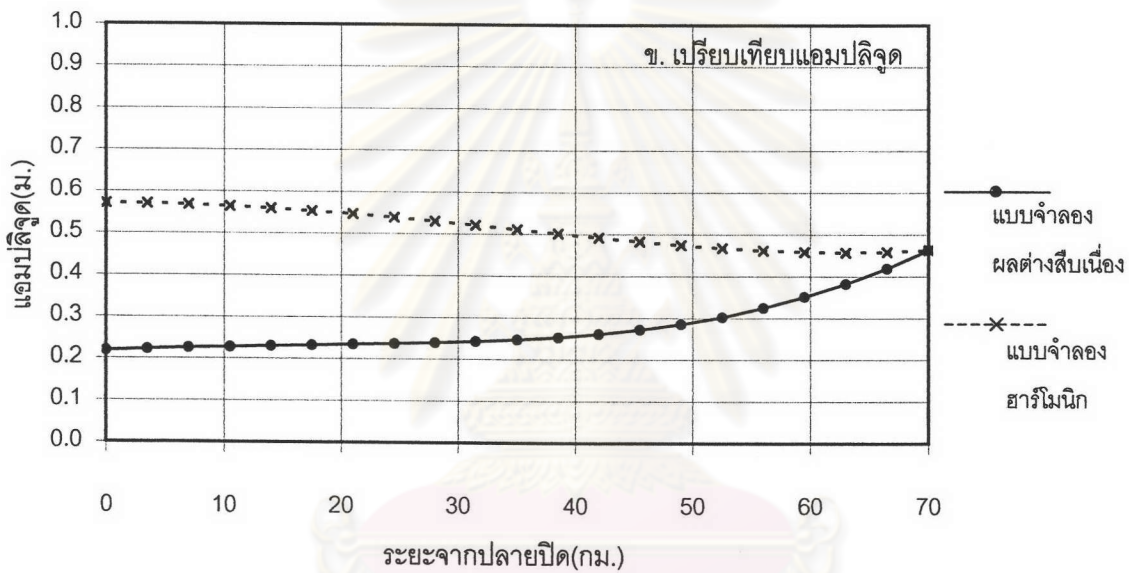
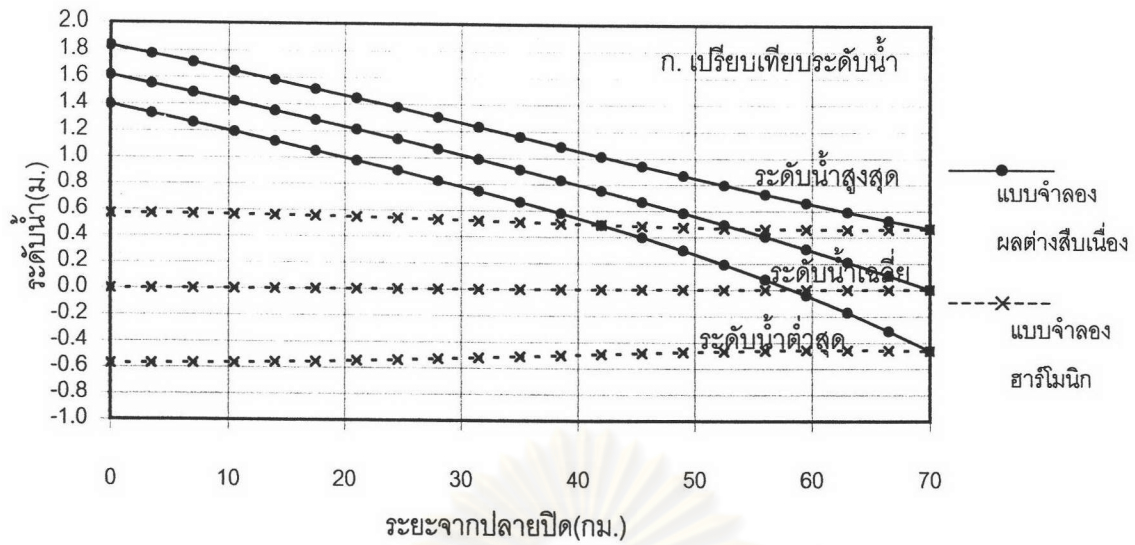
รูปที่ 5-13 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองผลต่างสี่บั้งกับแบบจำลองฮาร์โมนิก กรณีที่ 2



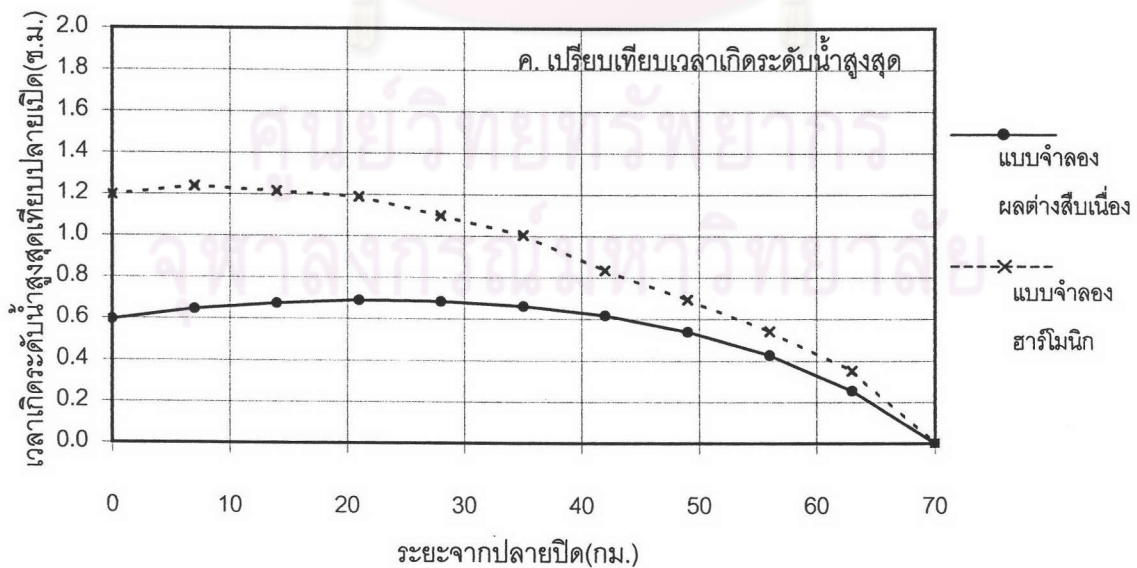
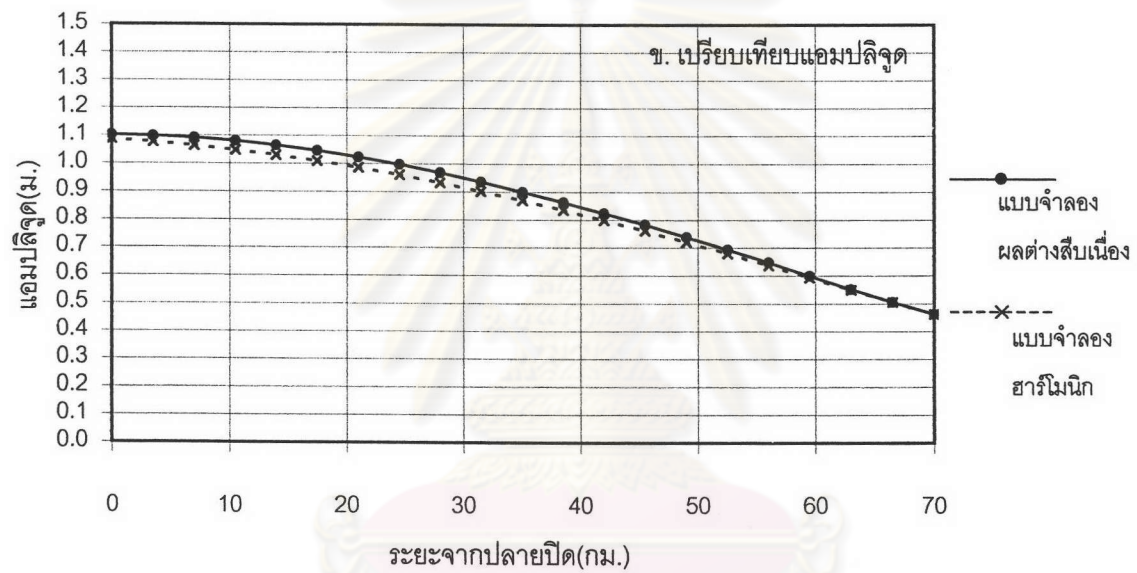
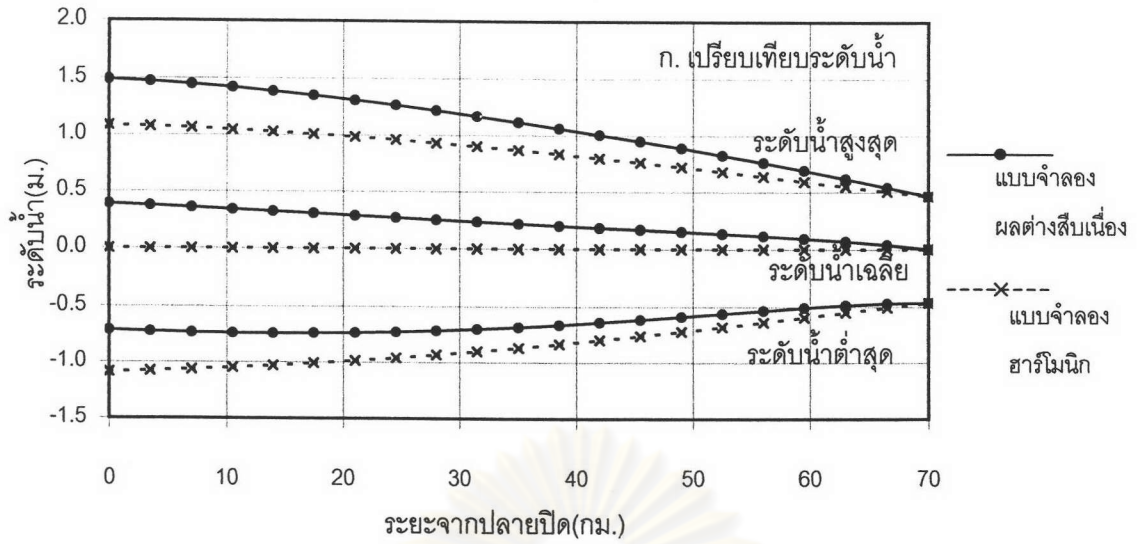
รูปที่ 5-14 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองผลต่างสี่เหลี่ยมกับแบบจำลองฮาร์โมนิก กรณีที่ 3



รูปที่ 5-15 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองผลต่างสืบเนื่องกับแบบจำลองฮาร์โมนิก กรณีที่ 4



รูปที่ 5-16 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองผลต่างสึบเนื่องกับแบบจำลองฮาริโมนิก กรณีที่ 5



รูปที่ 5-17 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากแบบจำลองผลต่างสี่บั้งกับแบบจำลองฮาร์โมนิก กรณีที่ 6