



การจำลองการไหลในลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง โดยใช้ซอฟต์แวร์ HEC-RAS:
กรณีศึกษาแม่น้ำแม่ลาว จังหวัดเชียงราย

RIVER FLOW AND FLOODPLAIN MODELING BY HEC-RAS: A CASE
STUDY FROM MAE LAO RIVER, CHIANG RAI PROVINCE

สุภัทร สายรัตนอินทร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2553

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การจำลองการไหลในลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง โดยใช้ซอฟต์แวร์ HEC-RAS:
กรณีศึกษาแม่น้ำแม่ลาว จังหวัดเชียงราย

RIVER FLOW AND FLOODPLAIN MODELING BY HEC-RAS: A CASE
STUDY FROM MAE LAO RIVER, CHIANG RAI PROVINCE

สุภัทร สายรัตนอินทร์

คุณูปนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2553

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

การจำลองการไหลในลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง โดยใช้ซอฟต์แวร์ HEC-RAS:
กรณีศึกษาแม่น้ำแม่ลาว จังหวัดเชียงราย

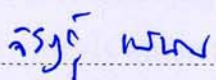
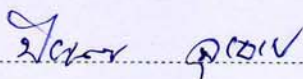
RIVER FLOW AND FLOODPLAIN MODELING BY HEC-RAS: A CASE
STUDY FROM MAE LAO RIVER, CHIANG RAI PROVINCE

สุภัทร สายรัตนอินทร์

คุณนิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ

2553

คณะกรรมการสอบคุณนิพนธ์

	ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถาวร อ่อนประไพ)	
	กรรมการ
(ดร. รุ่งโรจน์ นิลทอง)	
	กรรมการ
(ดร. จิรพันธุ์ แสนทน)	
	กรรมการ
(ดร. อนันต์ อึ้งวณิชพันธ์)	
	กรรมการ
(ดร. ปิยนตร นุ้ยฉาย)	

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถาวร อ่อนประไพ ประธานกรรมการสอบคณิพนธ์ และ ดร. ปิยะนตร ญฉาย กรรมการสอบคณิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบคณิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำแก้ไขคณิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. รุ่งโรจน์ นิลทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่า แนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของคณิพนธ์ฉบับนี้จนแล้วเสร็จ คณิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลงได้ ถ้าขาดความช่วยเหลือและความเมตตาจากท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. จิรวิทย์ แสนทน และ ดร. อนันต์ อึ้งวิชัยพันธ์ กรรมการที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่า คอยช่วยเหลือและชี้แนะแนวทางแห่งความสำเร็จให้แก่ผู้เขียนจนกระทั่งผู้เขียนสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ และสามารถจัดทำคณิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน กรมชลประทาน และสำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ความดีงามของคณิพนธ์ที่พึงมี ผู้เขียนขอยกให้กับบิดา มารดาและญาติผู้ใหญ่ ที่คอยให้ความรัก ความเข้าใจ ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยดูแลและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้เขียนจนสามารถผ่านวิกฤติและมีวันนี้ได้

สุภัทร สายรัตนอินทร์

ชื่อเรื่องคุณิพนธ์

การจำลองการไหลในลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง โดยใช้
ซอฟต์แวร์ HEC-RAS: กรณีศึกษาแม่น้ำแม่ลาว จังหวัดเชียงราย

ชื่อผู้เขียน

สุภัทร สายรัตนอินทร์

หลักสูตร

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เชิงคำนวณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. รุ่งโรจน์ นิลทอง

ดร. จิรภัฏ แสทน

ดร. อนันต์ อึ้งวนิชพันธ์

บทคัดย่อ

การจำลองการไหลแบบไม่ทรงตัว ใน 1 มิติ สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการทดลองนี้ได้นำซอฟต์แวร์ HEC-RAS มาประยุกต์ใช้ในการจำลองการไหลของแม่น้ำแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่บริเวณต้นน้ำ (สถานี G.10) จนถึงท้ายน้ำ (สถานี G.8) รวมระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร ในช่วงเวลาปีน้ำ 2547-2551 ข้อมูลพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองคือ ข้อมูลทางกายภาพของลำน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ อัตราการไหล และ ข้อมูลระดับน้ำที่ตำแหน่งเริ่มต้น ในการประมาณค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์ใช้วิธี Perturbation ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ 5 ตัว คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำหลัก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา ค่าสัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว และ ค่าสัมประสิทธิ์ฝายถ้ำวอก การสอบเทียบแบบจำลองมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Sum Square of Error, SSE) ของระดับน้ำรายชั่วโมงที่คำนวณได้ในปีน้ำ 2547 ณ บริเวณท้ายน้ำ (สถานี G.8) ให้มีค่าน้อยที่สุด และพารามิเตอร์ที่มีค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์มากที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำหลัก (5010.80) โดย ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย ค่าสัมประสิทธิ์

ความขรุขระของทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา ค่าสัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว และ ค่าสัมประสิทธิ์ฝายถ้ำวอก มีค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์ 1865.70, 271.33, 1.40, และ 1.35 ตามลำดับ ค่า SSE หลังจากการสอบเทียบแบบจำลอง คือ 612.42 เมตร² และนำค่าพารามิเตอร์นี้มาใช้ในการทำนายค่าระดับน้ำในปีน้ำ 2548-2551 ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่คำนวณได้กับค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด และพบว่าได้ผลลัพธ์ที่ดี เนื่องจากค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) มีค่าน้อยกว่า 1 เมตร ในทุกปีน้ำที่ทำการคำนวณ ซึ่งค่าที่ดีที่สุดอยู่ในปีน้ำ 2550 เท่ากับ 0.23 เมตร และมีค่า RMSE ในปีน้ำ 2548 2549 และ 2551 เท่ากับ 0.38 เมตร 0.33 เมตร และ 0.28 เมตร ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึง สร้างโดยใช้ข้อมูลค่าระดับน้ำ ณ ตำแหน่งและเวลาต่าง ๆ ที่คำนวณได้ในปีน้ำ 2547 – 2551 และข้อมูลทางกายภาพของลำน้ำ ที่คำนวณได้จากโปรแกรม HEC-RAS มาแสดงผลเป็นแบบจำลองเชิงพื้นที่ 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถเลือกช่วงหน้าตัดของลำน้ำที่ต้องการศึกษาได้ โดยการสร้างพื้นผิวของน้ำจากข้อมูลระดับน้ำที่คำนวณได้ซ้อนทับลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ ทำให้สามารถแสดงขอบเขตของน้ำท่วมบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ตามวันที่ที่ต้องการได้

คำสำคัญ: การสอบเทียบแบบจำลอง / การตอบสนองของพารามิเตอร์ / ซอฟต์แวร์ HEC-RAS / ซอฟต์แวร์ MATLAB / แบบจำลองการไหลแบบไม่ทรงตัว / พื้นที่ราบน้ำท่วมถึง / แม่น้ำแม่ลาว

Dissertation Title	River Flow and Floodplain Modeling by HEC-RAS: A Case Study from Mae Lao River, Chiang Rai Province
Author	Supat Sairattanain
Degree	Doctor of Philosophy (Computational Science)
Supervisory Committee	Dr. Rungrote Nilthong Dr. Schradh Saenton Dr. Anant Eungwanichayapant

ABSTRACT

A mathematical model was setup to simulate one-dimensional (1-D) open-channel flow in the Mae Lao river, Chiang Rai Province. The channel flow was monitored and simulated over a distance of 30 km from upstream (G.10 station) to downstream (G.8 station) during water years 2004-2008. This study used software HEC-RAS for simulating unsteady flow water surface profile using implicit finite difference method. The model requires information about channel geometry, Manning's roughness values n , discharge and starting water levels. Perturbation method was used to estimate parameter sensitivities which included Manning's roughness coefficients of the main channel, left and right overbanks, Mae Lao weir and Tham Wok weir coefficients. The model calibration targeted to minimize sum of squared error (SSE) of hourly water levels at G.8 station during the water year 2004. The most sensitive of parameters is n main channel (5010.80) where other parameter sensitivities are 1865.70, 271.33, 1.40 and 1.35 for n left overbank, n right overbank, Mae Lao weir coefficient and Tham Wok weir coefficient,

respectively. The value of SSE after calibration was 612.42 m^2 . The calibrated model was later used to predict water levels of water years 2005-2008. The model verification targeted to comparison water surface profile between observed and simulated data show a good results of root mean square error (RMSE) every water years less than 1 m. The best RMSE was 0.23 m in water year 2007 where other RMSE are 0.38 m, 0.33 m and 0.28 m for water year 2005, 2006 and 2008, respectively. The floodplain model was created by using hydraulic and geometry data from HEC-RAS with MATLAB. Firstly, the terrain model was created in three-dimension (3-D) varies with selected cross-section. Secondly, boundary of water was created from water level data overlaying on the terrain model. Finally, the results can show the boundary of flood of Mae Lao river on selected date.

Keywords: Floodplain / HEC-RAS / Mae Lao River / MATLAB / Model Calibration /
Parameter Sensitivity / Unsteady flow model

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(3)
บทคัดย่อภาษาไทย	(4)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(6)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 การไหลในทางน้ำเปิด	7
2.3 สมการเซนต์-วีแนนต์ (Saint-Venant Equations)	8
2.4 การจำแนกแบบจำลองการกระจายตัวของการไหลไปตามลำน้ำ	12
2.5 แบบจำลอง HEC-RAS	13

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	ระเบียบวิธีวิจัย
3.1	แบบจำลอง Dynamic wave
3.2	วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference method)
3.3	แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิท (Implicit dynamic wave model)
3.4	สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Equations)
3.5	การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference solution)
4	แบบจำลองการไหลของน้ำในลำน้ำการศึกษาแม่น้ำแม่ลาว
4.1	การสร้างแบบจำลอง
4.2	การทดสอบการตอบสนองของพารามิเตอร์
4.3	การสอบเทียบแบบจำลอง
4.4	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
4.5	ผลการทดลอง
4.6	วิจารณ์ผลการทดลอง
5	แบบจำลองน้ำท่วมการศึกษาแม่น้ำแม่ลาว
5.1	การสร้างแบบจำลอง
5.2	ผลการทดลอง
5.3	วิจารณ์ผลการทดลอง
6	วิเคราะห์ผลการทดลอง
6.1	การสรุปผลการศึกษาของแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว
6.2	การสรุปผลการศึกษาของแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาว

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง	69
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำ ในแม่น้ำแม่ลาว ด้วยซอฟต์แวร์ HEC-RAS	74
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึง ของแม่น้ำแม่ลาวด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB	84
ภาคผนวก ค ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าระดับน้ำสูงสุดที่ได้จาก การคำนวณและระดับตลิ่งของแม่น้ำแม่ลาว ที่ตำแหน่งหน้าตัดต่าง ๆ ในปีน้ำ 2548-2551	126
ภาคผนวก ง การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (base flow) ซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลอง ในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัดมีค่าสูงกว่า ระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2548-2551	138
ประวัติผู้เขียน	163

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ช่วงของค่าพารามิเตอร์และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นในแบบจำลอง	36
4.2 ผลการทดสอบค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์	37
4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง	39
4.4 ค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์หลังจากการสอบเทียบแบบจำลอง	41
4.5 ค่า RMSE ที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ณ ตำแหน่งท้ายน้ำ (สถานี G.8) ในปีน้ำ 2548 – 2551	42
4.6 ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ณ ตำแหน่งหน้าตัดที่ทำการคำนวณ รวมถึงตำแหน่งและวันเวลาที่เกิดน้ำท่วม ปีน้ำ 2547	47
4.7 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมการไหลใต้ผิวดิน ซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลองในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัดมีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2547	52

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 หลักเกณฑ์ในการเตือนภัยน้ำท่วมจากเอ่อล้นตลิ่งของน้ำ ในแม่น้ำแม่ลาว	2
2.1 การไหลของน้ำในลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง	14
2.2 การแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง ในแต่ละหน้าตัดของการไหล	16
3.1 ระบายคำตอบ ของวิธีการอิมพลิชิตไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์	19
4.1 แผนที่แสดงขอบเขตการปกครองระดับอำเภอของจังหวัดเชียงราย	30
4.2 แผนที่แสดงลำน้ำสาขาของกลุ่มน้ำกกและลักษณะภูมิประเทศ ของจังหวัดเชียงราย	31
4.3 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดระดับน้ำ และฝายบนแม่น้ำแม่ลาว	32
4.4 แผนที่แสดงตำแหน่งของหน้าตัด สถานีตรวจวัดน้ำ และฝายบนพื้นที่ศึกษา	33
4.5 ภาพตัดตามยาวของพื้นที่ศึกษาระบุตำแหน่งของหน้าตัดต่างๆ ทั้ง 62 หน้าตัด	34
4.6 ตัวอย่างภาพตัดตามขวางที่ใช้ตำแหน่งของตลิ่งซ้ายและตลิ่งขวา ในการระบุทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย ทางน้ำหลัก และทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา	34
4.7 การหาค่า SSE ที่ต่ำที่สุดของแบบจำลองในแต่ละค่าของพารามิเตอร์	38
4.8 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2547	40
4.9 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2548	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.10 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2549	44
4.11 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2550	45
4.12 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2551	46
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับน้ำ สถานี G.8 ปีน้ำ 2546 (rating curve)	51
5.1 การกำหนดจุดของลำน้ำตั้งแต่หน้าตัดที่ 131 – 126 ลงบนระนาบ 3 มิติ	59
5.2 การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ของแม่น้ำแม่ลาวจากข้อมูลจุด	59
5.3 แบบจำลองพื้นที่ผิวของแม่น้ำแม่ลาวหน้าตัดที่ 131 – 126 พร้อมกับขอบเขตของน้ำในวันที่ 17 กันยายน 2547 (ระดับน้ำสูงสุดปีน้ำ 2547)	60
5.4 หน้าแรกของการโปรแกรมการแสดงผลของแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาวใน 3 มิติ	61
5.5 แบบจำลองเชิงพื้นที่ระหว่างหน้าตัดที่ 113 – 110 ใน 2 มิติ	62
5.6 แบบจำลองเชิงพื้นที่ระหว่างหน้าตัดที่ 113 – 110 ใน 3 มิติ	62
5.7 ขอบเขตของน้ำบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ในวันที่ 23 เมษายน 2547	63
5.8 ขอบเขตของน้ำบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ในวันที่ 23 เมษายน 2547	63

บทที่ 1

บทนำ

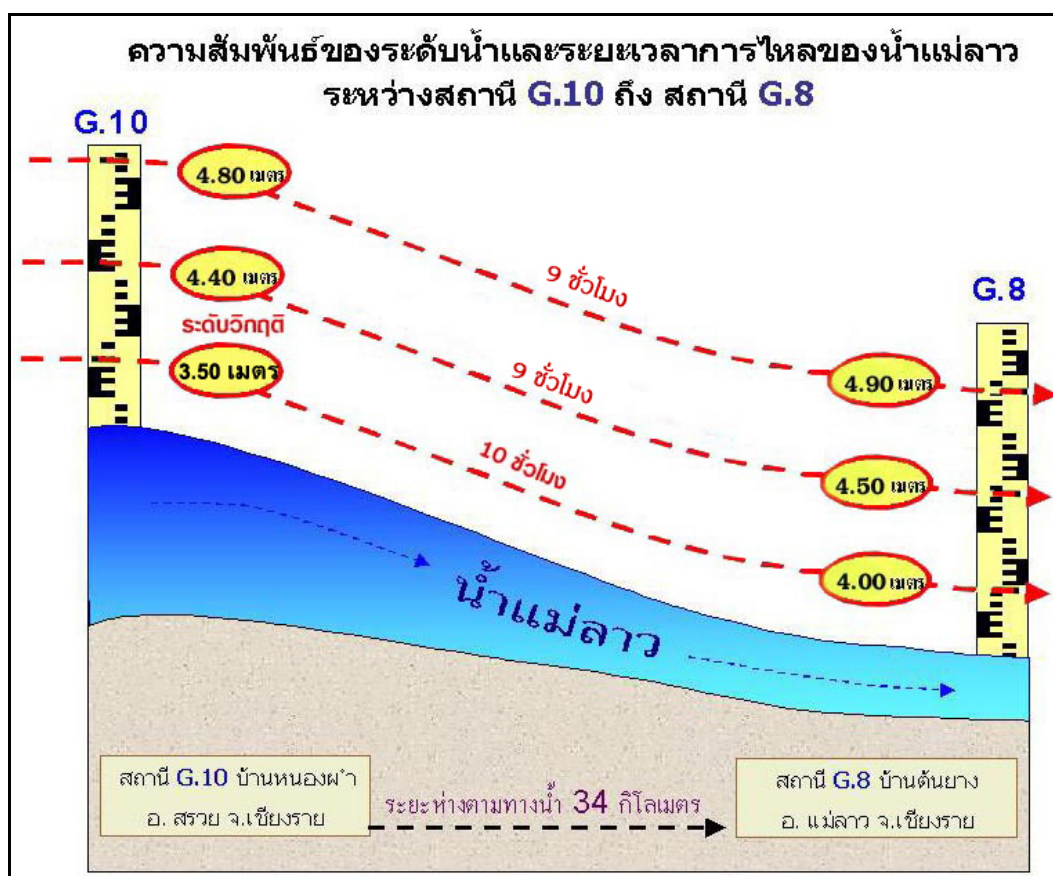
ในส่วนของบทนำจะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญในการทำการศึกษาวิจัย รวมถึงขอบเขตในการทำการศึกษาวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วนที่สำคัญ คือ ความสำคัญและที่มาของการศึกษา วัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และ นิยามศัพท์เฉพาะ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษา

ภาคเหนือของประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดผ่านในช่วงกลางเดือนตุลาคมไปจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ นำเอาความหนาวเย็นจากประเทศจีนเข้าสู่ประเทศไทย จัดเป็นช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศแห้งแล้ง และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลอันดามัน พัดผ่านในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม จัดเป็นช่วงฤดูฝน และในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคมมักจะมีพายุที่ก่อตัวขึ้นจากทะเลจีนใต้พัดเข้าหาชายฝั่งทางทวีปเอเชีย ซึ่งถ้าหากพายุนี้ขึ้นฝั่งที่ประเทศเวียดนามก็มักจะส่งอิทธิพลมาถึงบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย และมักจะอ่อนกำลังลงเป็นดีเปรสชันเข้าสู่ประเทศไทยในอีก 2 วันถัดมาโดยประมาณ ซึ่งโดยเฉลี่ยภาคเหนือจะได้รับอิทธิพลของพายุดีเปรสชันประมาณปีละ 2-3 ลูก พายุดีเปรสชันนี้จะทำให้มีฝนตกหนักเพิ่มขึ้น และมักจะทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลากและน้ำท่วมขัง ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นจำนวนมาก

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุดของภาคเหนือ ประมาณ 1,600 มิลลิเมตร/ปี ทำให้ประสบกับปัญหาน้ำท่วมเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะแม่น้ำแม่ลาว ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาสำคัญของแม่น้ำกก และเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่ถาวร ทางกรมชลประทานได้สร้างสถานีบันทึกค่าระดับน้ำขึ้น 2 สถานี คือ สถานี G.10 (สถานีต้นน้ำ) บ้านหนองผำ ตำบลแม่สรวย อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย และ สถานี G.8 (สถานีท้ายน้ำ) บ้านต้นยาง ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ซึ่งทั้งสองสถานีมีระยะทางห่างกันประมาณ 34 กิโลเมตร ทำหน้าที่

เฝ้าระวังและเตือนภัยน้ำท่วมที่เกิดจากปริมาณน้ำในแม่น้ำแม่ลาวเอ่อล้นตลิ่งโดยการใช้วิธีทางสถิติ กำหนดค่าระดับน้ำวิกฤติที่สถานี G.10 เมื่อระดับน้ำที่สถานี G.10 ขึ้นถึงระดับวิกฤติ จะทำการแจ้ง การเตือนภัยอย่างมากที่สุด 10 ชั่วโมง ระดับน้ำที่ สถานี G.8 จะขึ้นถึงระดับวิกฤติด้วย (ดูภาพที่ 1.1) ซึ่งวิธีการนี้ไม่สามารถระบุขอบเขตและระดับของน้ำในบริเวณที่เกิดน้ำท่วมได้



จาก กรมชลประทาน

ภาพที่ 1.1 หลักเกณฑ์ในการเตือนภัยน้ำท่วมจากเอ่อล้นตลิ่งของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว

ด้วยเหตุนี้ทำให้มีความคิดที่จะพัฒนาระบบการเตือนภัยน้ำท่วมจากการเอ่อล้นตลิ่งของ แม่น้ำแม่ลาวด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ซึ่งสามารถอธิบายการไหล ของน้ำในแม่น้ำด้วยสมการเซนต์-เวแนนต์ (Saint-Venant equations) แสดงการกระจายตัวของค่า ระดับน้ำตลอดทั้งแม่น้ำที่ตำแหน่งและเวลาใด ๆ ใน 1 มิติ และนำค่าระดับน้ำที่คำนวณได้มา

ซ้อนทับกับแบบจำลองเชิงพื้นที่ (terrain model) ในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อแสดงขอบเขตของการเกิดน้ำท่วมจากการเอ่อล้นตลิ่งของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำใน 1 มิติ (1-Dimensional river flow model) เพื่อคำนวณหาค่าระดับของน้ำในแม่น้ำ ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงใน 3 มิติ (3-Dimensional floodplain model) เพื่อแสดงให้เห็นถึงขอบเขตของน้ำบนที่ราบน้ำท่วมถึง (floodplain) ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ทำการศึกษาการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่สถานี G.10 (สถานีต้นน้ำ) บ้านหนองผำ ตำบลแม่สรวย อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย ถึง สถานี G.8 (สถานีท้ายน้ำ) บ้านต้นยาง ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย ด้วยซอฟต์แวร์ HEC-RAS เพื่อหาค่าระดับน้ำที่มีการกระจายตัวไปตามลำน้ำที่ตำแหน่งและเวลาใด ๆ ในช่วงเวลาปีน้ำ 2547-2551

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจถึงกระบวนการในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำเพื่อทำนายค่าระดับน้ำที่มีการกระจายตัวไปตามลำน้ำ ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำนายเวลาในการเดินทางของมวลน้ำเพื่อพัฒนาระบบการเตือนภัยน้ำท่วมเนื่องจากการเอ่อล้นตลิ่งของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวได้

1.4.2 เข้าใจถึงกระบวนการในการสร้างแบบจำลองพื้นที่น้ำท่วมเพื่อแสดงขอบเขตของการเกิดน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึง ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อแสดงขอบเขตของการเกิดน้ำท่วมจากการเอ่อล้นตลิ่งของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวได้

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 แม่น้ำแม่ลาว (Mae Lao river) หมายถึง แม่น้ำสาขาสำคัญสายหนึ่งของแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย มีต้นน้ำจากเขตอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย และไหลไปบรรจบกับแม่น้ำกกที่เขตอำเภอเชียงราย จังหวัดเชียงราย

1.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) หมายถึง การใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายระบบ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการทำนายสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบนั้น ๆ

1.5.3 แบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำ (river flow model) หมายถึง การอธิบายการไหลของน้ำในแม่น้ำว่ามีการเคลื่อนที่ไปในแม่น้ำอย่างไร ที่ตำแหน่งและเวลาต่าง ๆ กัน

1.5.4 แบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึง (floodplain model) หมายถึง การแสดงขอบเขตของการเกิดน้ำท่วมบนที่ราบริมฝั่งแม่น้ำ ที่ตำแหน่งและเวลาต่าง ๆ กัน

1.5.5 ปีน้ำ (water year) หมายถึง ช่วงระยะเวลาตั้งแต่ วันที่ 1 เมษายน ในปีนั้น จนถึง วันที่ 31 มีนาคม ในปีถัดไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงความเป็นมาของการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำ และทฤษฎีที่นำมาใช้ในการศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วนที่สำคัญ คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การไหลในทางน้ำเปิด สมการเซนต์-วีแนนต์ (Saint-Venant Equations) การจำแนกแบบจำลองการกระจายตัวของ การไหลไปตามลำน้ำ และแบบจำลอง HEC-RAS

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจในการศึกษาการเกิดน้ำท่วมจากน้ำในลำน้ำมากกว่า 200 ปี โดยบุคคลแรกที่นำปัญหานี้มาทำการศึกษา คือ เซนต์-วีแนนต์ (Saint-Venant) และบุคคลต่อมาคือ บอส์เสนส์ (Boussinesq) และ เกรฟฟ์ (Graeff) (Rouse & Ince, 1957) ต่อมา เคลทซ์ (Kleitz, 1877) ได้นำเสนอ loop type discharge-head diagram

เส็ดดอน (Seddon, 1900) ได้เสนอหลักการการแพร่กระจายของน้ำท่วม (principle of flood propagation) ด้วยกฎการอนุรักษ์มวล (mass conservation) ฟอร์ชไฮเมอร์ (Forchheimer) ได้เสนอทฤษฎีของคลื่นน้ำท่วม (floodwave) และสุดท้ายคือ ชาว (Chow) ในปี 1959 และในการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำท่วม การศึกษาใน 1 มิติ เป็นการศึกษาที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากแม่น้ำมีการไหลออกของน้ำไปด้านข้างน้อยกว่าการไหลไปตามความยาวของลำน้ำเป็นอย่างมาก (Rutschmann & Hager, 1996)

สมการเซนต์-วีแนนต์ (Chow, 1959 & Chaudhry, 1993) ได้จำแนกลักษณะของสมการออกเป็นแบบจำลอง 3 ลักษณะ คือ แบบจำลอง kinematic wave แบบจำลอง diffusion wave และแบบจำลอง dynamic wave ซึ่งแบบจำลอง dynamic wave เป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนที่สุดซึ่งไม่สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีการเชิงวิเคราะห์ (analytical method) แต่สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีการเชิงตัวเลข (numerical method) และมีโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณสมการเซนต์-วีแนนต์พัฒนาขึ้นมากมายซึ่งมีโปรแกรมที่เป็นที่นิยมเช่น Mike 11, SMS, WMS, HEC-RAS เป็นต้น

HEC-RAS เป็นโปรแกรมที่สามารถคำนวณการไหลของน้ำในลำน้ำแบบ dynamic wave ได้และที่สำคัญเป็นซอฟต์แวร์ฟรีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย

คราอุส (Kraus, 1999) ได้ใช้แบบจำลอง HEC-RAS ร่วมกับโปรแกรม ArcView GIS ในการสร้างพื้นที่น้ำท่วมบริเวณลำธารมิลล์ (Mill Creek) จากข้อมูลจากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์และแบบจำลองภูมิประเทศโครงข่ายสามเหลี่ยม โดยโปรแกรมจะรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางอุทกวิทยาและข้อมูลภาคตัดขวางของลำน้ำ และใช้สมการของแมนนิง (Manning's Equation) ในการคำนวณลักษณะผิวน้ำแบบ steady flow ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ และอัตราการไหล รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณบริเวณที่ล้นและสะพาน ผลการจำลองสามารถแสดงในรูปแบบแผนที่ได้ด้วยโปรแกรม ArcView GIS

เทท (Tate, 1999) ได้ใช้แบบจำลอง HEC-RAS ในการจำลองการไหลของลำธารวอลเลอร์ (waller creek) และสร้างแผนที่น้ำท่วมด้วยโปรแกรม ArcView GIS โดยสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ (terrain model) จากข้อมูลหน้าตัดลำน้ำจากแบบจำลอง HEC-RAS และข้อมูลจากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์บริเวณที่ศึกษา ทำให้สร้างเป็นแผนที่น้ำท่วมในบริเวณที่ศึกษาได้

เมย์, โลเปส และ บราวน์ (May, Lopez & Brown, 2000) ใช้แบบจำลอง HEC-RAS จำลองการไหลของน้ำในคลองฟลอริดา (Florida canal) และแม่น้ำฟลอริดา (Florida river) แล้วเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลตรวจวัดได้ผลว่า ผลจากการจำลองในคลองฟลอริดาให้ผลดีเยี่ยม ความผิดพลาดของแบบจำลองอยู่ที่ร้อยละ 1.2 ในขณะที่ผลจากการจำลองแม่น้ำฟลอริดาได้ผลที่ต่ำกว่าความผิดพลาดของแบบจำลองอยู่ที่ร้อยละ 20.8

ฮอรัทท์ และ เบทส์ (Horritt & Bates, 2002) ได้ใช้แบบจำลอง HEC-RAS, LISFLOOD-FP และ TELEMAC-2D จำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำเซเวิร์น (Severn river) ประเทศอังกฤษ โดยที่แบบจำลอง HEC-RAS เป็นแบบจำลองใน 1 มิติ แบบ dynamic wave แบบจำลอง LISFLOOD-FP เป็นแบบจำลองใน 1 มิติ แบบ diffusion wave และแบบจำลอง TELEMAC-2D เป็นแบบจำลองใน 2 มิติ แบบ dynamic wave ผลจากการทดลองพบว่าแบบจำลอง HEC-RAS เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้ ทั้งผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง และผลจากการทำนายขอบเขตของน้ำท่วม

รีโม และ พินเตอร์ (Remo & Pinter, 2007) จำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำมิสซิสซิปปีช่วงกลาง (Middle Mississippi river) ด้วยแบบจำลอง HEC-RAS โดยใช้ข้อมูลสำรวจในปี 1888-1889 ในการสร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลระดับน้ำในปี 1900-1904 ในการทดลอง ผลจากการสอบเทียบแบบจำลองด้วยข้อมูลตรวจวัดจาก 8 สถานี และการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในปี 1906 พบว่า ผลการสอบเทียบแบบจำลองให้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root

Mean Square Error, RMSE) และความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.25-1.01 เมตร และ 0.17-0.77 เมตร ตามลำดับ และผลจากการทดสอบความถูกต้องให้ค่า RMSE และความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.10-1.59 เมตร และ 0.06-0.45 เมตร ตามลำดับ

ทริกซ์ (Trigg et al., 2009) ทำการจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำอะเมซอน (Amazon river) และแม่น้ำสาขาอีกหนึ่งสาย ในช่วงเวลา 1 มิถุนายน 1995 – 31 มีนาคม 1997 ด้วยแบบจำลอง LISFLOOD-FP ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบ diffusion wave และ HEC-RAS ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบ dynamic wave โดยใช้ในการคำนวณจาก HEC-RAS ด้วยข้อมูลพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากการใช้โซนาร์ (sonar) ในวันที่ 8-21 มิถุนายน 2005 เป็นข้อมูลหลักในการเทียบ (control) และทำการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทั้งสองแต่ใช้ข้อมูลพื้นที่หน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผลจากการทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลหลักพบว่าค่า RMSE ของแบบจำลอง LISFLOOD-FP และแบบจำลอง HEC-RAS ที่แม่น้ำอะเมซอน เท่ากับ 0.151 เมตร และ 0.126 เมตร ตามลำดับ และที่แม่น้ำสาขา เท่ากับ 0.235 เมตร และ 0.241 เมตร ตามลำดับ

2.2 การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลของน้ำไปตามทางน้ำนั้นสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ การไหลในทางน้ำเปิด (open-channel flow) และการไหลในท่อ (pipe flow) ซึ่งการไหลทั้งสองลักษณะนี้มีความแตกต่างกันตรงที่ การไหลในทางน้ำเปิดจะมีผิวน้ำส่วนบนสัมผัสกับอากาศ (free surface) ในขณะที่การไหลในท่อผิวน้ำจะไม่สัมผัสกับอากาศ ทำให้ความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) มีผลต่อการไหลในทางน้ำเปิดอย่างมาก ต่างจากการไหลในท่อที่ไม่มีผลของความดันบรรยากาศแต่จะมีผลจากความดันของน้ำ (hydraulic pressure) เท่านั้น (Chow, 1959)

การไหลในทางน้ำเปิดมีแรงที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ชนิด คือ แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะมีผลให้น้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ และแรงเสียดทานซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความหนืดของของไหล ซึ่งทำหน้าที่ในการต้านทานการไหล (ซูเกียร์ดี ทรัพย์ไพศาล และไตรรัตน์ ศรีวัฒนา, 2527)

การไหลในทางน้ำเปิด สามารถจำแนกได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ใช้เป็นเกณฑ์ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวลีของการไหล (y) คือ เวลา (t) และระยะทาง (x) (French, 1985)

2.2.1 ใช้เวลาในการจำแนก

การจำแนกการไหลโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์ สามารถจำแนกการไหลได้ 2 ลักษณะ คือ การไหลแบบทรงตัวมัน (steady flow) ซึ่งความลึกของการไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ($\partial y / \partial t = 0$) และ การไหลแบบไม่ทรงตัว (unsteady flow) ซึ่งความลึกของการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ($\partial y / \partial t \neq 0$) ซึ่งการศึกษาปัญหาการไหลในทางน้ำเปิดส่วนใหญ่ มักศึกษาพฤติกรรมของการไหลภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบทรงตัวมัน (steady flow) อย่างไรก็ตาม การศึกษาการไหลภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบไม่ทรงตัว (unsteady flow) ก็มีความสำคัญ โดยเฉพาะการศึกษาปัญหาน้ำท่วม (flood) หรือ ปัญหาคลื่น (surge) ซึ่งความลึกของการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาอย่างรวดเร็วทำให้มีผลต่อการออกแบบโครงสร้างที่ใช้ในการควบคุม เป็นต้น

2.2.2 ใช้ระยะทางในการจำแนก

การจำแนกการไหลโดยใช้ระยะทางเป็นเกณฑ์ สามารถจำแนกการไหลได้ 2 ลักษณะ คือ การไหลแบบเสมอดันเสมอลาย (uniform flow) ซึ่งความลึกของการไหลไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง ($\partial y / \partial x = 0$) และ การไหลแบบไม่เสมอดันเสมอลาย (non-uniform flow) ซึ่งความลึกของการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง ($\partial y / \partial x \neq 0$) ซึ่งการไหลแบบเสมอดันเสมอลายอาจจะเป็นการไหลแบบทรงตัวมัน (steady flow) หรือ ไม่ทรงตัว (unsteady flow) ด้วยก็ได้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการศึกษาว่าความลึกของการไหลเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือไม่

2.3 สมการเซนต์-วีแนนต์ (Saint-Venant Equations)

การไหลของน้ำผ่านดินหรือลำน้ำของกลุ่มน้ำใด ๆ เป็นกระบวนการการกระจายตัวของน้ำไปตามลำน้ำ เนื่องจากอัตราการไหล ความเร็ว และความลึกของการไหล มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งพื้นที่กลุ่มน้ำ ในการประมาณค่าอัตราการไหล หรือระดับน้ำ ณ ตำแหน่งที่สนใจในระบบลำน้ำสามารถกระทำได้โดยใช้แบบจำลองการกระจายตัวของน้ำไปตามลำน้ำ (a distributed flow routing model) ซึ่งแบบจำลองประเภทนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ Saint-Venant equations ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลและระดับน้ำได้ในรูปของฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับพื้นที่และเวลา (space and time) (Chow, 1988) สมการเซนต์-วีแนนต์นี้ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1871 เป็นการรวมกันของสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการโมเมนตัม (momentum equation) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

สมการความต่อเนื่องมีหลักการว่ามวลสุทธิที่ไหลออกจากปริมาตรควบคุม จะต้องเท่ากับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวลภายในปริมาตรควบคุมนั้นดังสมการ (2.1)

$$0 = \frac{d}{dt} \iiint_{C.V.} \rho dV + \iint_{C.S.} \rho \mathbf{v} \cdot d\mathbf{A} \quad (2.1)$$

พิจารณาพจน์แรกด้านขวาของสมการ (2.1) โดยที่ C.V. คือ ปริมาตรควบคุม (control volume) จะได้ว่า

$$\text{การเปลี่ยนแปลงภายในปริมาตรเก็บกัก (change in storage)} = \frac{\partial A}{\partial t} \Delta x \quad (2.2)$$

พิจารณาพจน์ที่สองด้านขวาของสมการ (2.1) โดยที่ C.S. คือ พื้นผิวควบคุม (control surface) จะได้ว่า

$$\text{ปริมาณการไหลเข้า} = Q + q \Delta x \quad (2.3)$$

$$\text{ปริมาณการไหลออก} = Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x \quad (2.4)$$

แทนค่าสมการ (2.2), (2.3) และ (2.4) ลงในสมการ (2.1)

$$\frac{\partial A}{\partial t} \Delta x - (Q + q \Delta x) + (Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x) = 0 \quad (2.5)$$

จัดรูปสมการ (2.5) ใหม่ได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial t} \Delta x - q \Delta x + \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x &= 0 \\ \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q &= 0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

โดย	Q	=	อัตราการไหลของน้ำ (เมตร ³ /วินาที)
	q	=	อัตราการไหลจากด้านข้าง (เมตร ³ /วินาที)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (เมตร ²)
	V	=	ปริมาตร (เมตร ³)
	v	=	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
	ρ	=	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/เมตร ³)

$$\begin{aligned} x &= \text{ระยะทาง (เมตร)} \\ t &= \text{เวลา (วินาที)} \end{aligned}$$

2.3.2 สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

สมการโมเมนตัมมีหลักการว่าผลรวมของแรงลัพธ์เท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุม บวกกับปริมาณการไหลออกสุทธิของโมเมนตัมภายในพื้นผิวควบคุม ดังสมการ (2.7)

$$\sum F = \frac{d}{dt} \iiint_{C.V.} \rho \mathbf{v} dV + \iint_{C.S.} \rho \mathbf{v} \cdot \mathbf{dA} \quad (2.7)$$

พิจารณาพจน์แรกด้านขวาของสมการ (2.7) โดยที่ C.V. คือ ปริมาตรควบคุม (control volume) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุมโดยมีความหนาแน่น } (\rho) \\ \text{คงที่} = \frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} = \rho \frac{\partial(Q)}{\partial t} \Delta x \end{aligned} \quad (2.8)$$

พิจารณาพจน์ที่สองด้านขวาของสมการ (2.7) โดยที่ C.S. คือ พื้นผิวควบคุม (control surface) จะได้ว่า ปริมาณการไหลออกสุทธิของโมเมนตัมภายในพื้นผิวควบคุม C.S. โดยมีความหนาแน่น (ρ) คงที่ คือ

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมที่ไหลเข้า} = \rho Q V = \frac{\rho Q^2}{A} \quad (2.9)$$

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมที่ไหลออก} = \frac{\rho Q^2}{A} + \rho \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) \Delta x \quad (2.10)$$

พิจารณาพจน์ด้านขวาของสมการ (2.7) แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้จากแรงโน้มถ่วง แรงเสียดทาน และแรงดัน ดังนี้

$$\text{แรงโน้มถ่วง (gravity force)} = \rho g A \sin(\theta) \Delta x = \rho g A S_o \Delta x \quad (2.11)$$

$$\text{แรงเสียดทาน (friction force)} = \rho g A S_f \Delta x \quad (2.12)$$

$$\text{แรงดัน (pressure force)} = \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} \Delta x \quad (2.13)$$

แทนค่าสมการ (2.8) (2.9) (2.10) (2.11) (2.12) และ (2.13) ลงในสมการ (2.7)

$$\rho g A S_o \Delta x - \rho g A S_f \Delta x - \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} \Delta x = \rho \frac{\partial Q}{\partial t} \Delta x - \left(\rho \frac{Q^2}{A} \right) + \left(\rho \frac{Q^2}{A} \right) + \rho \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) \Delta x \quad (2.14)$$

จัดรูปสมการ (2.14) ใหม่ได้

$$\begin{aligned} gA(S_o - S_f) - gA \frac{\partial y}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial Q}{\partial t} \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f \right) &= 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

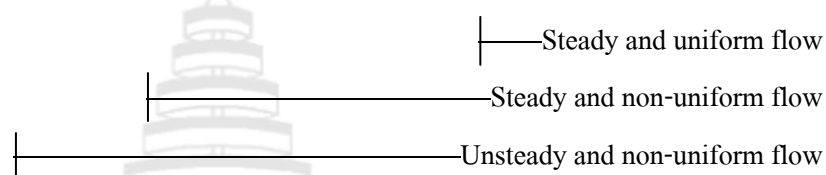
โดย	Q	=	อัตราการไหลของน้ำ (เมตร ³ /วินาที)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (เมตร ²)
	V	=	ปริมาตร (เมตร ³)
	V	=	ความเร็วของการไหล (เมตร/วินาที)
	ρ	=	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/เมตร ³)
	y	=	ความลึกของการไหล (เมตร)
	g	=	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตร/วินาที ²)
	S_o	=	ความลาดชันของพื้นที่ท้องน้ำ
	S_f	=	ความลาดชันของความฝืด
	x	=	ระยะทาง (เมตร)
	t	=	เวลา (วินาที)

สมการทั้ง 2 นี้ รู้จักกันในชื่อของสมการเซนต์-เวแนนต์ (Saint-Venant Equations) สมการทั้ง 2 รวมกันเป็นระบบสมการสามารถอธิบายการไหลแบบไม่ทรงตัวในลำน้ำ (unsteady flow) ซึ่งเป็นสมการ partial differential equation แบบ hyperbolic ที่จำเป็นต้องมีเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) และ เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ในการแก้ระบบสมการ (Baltas, 1988)

และระบบสมการนี้ไม่สามารถหาคำตอบเชิงวิเคราะห์ (analytical solution) ได้ อย่างไรก็ตามระบบสมการนี้สามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีการเชิงตัวเลข (numerical method) (Gunduz, 2004)

สมการโมเมนตัมสามารถเขียนได้ในรูปแบบของการไหลแบบ steady หรือ unsteady และ uniform หรือ non-uniform ดังแสดงในสมการ (2.17) สำหรับสมการความต่อเนื่องนั้น เมื่อพจน์ $\frac{\partial A}{\partial t} = 0$ จะเป็นการไหลแบบ steady flow และปริมาณการไหลเข้าทางด้านข้าง q เป็นศูนย์จะเป็นการไหลแบบ uniform flow

$$-\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{1}{gA} \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} - \frac{\partial y}{\partial x} + S_o = S_f \quad (2.17)$$



2.5 แบบจำลอง HEC-RAS

2.5.1 HEC-RAS

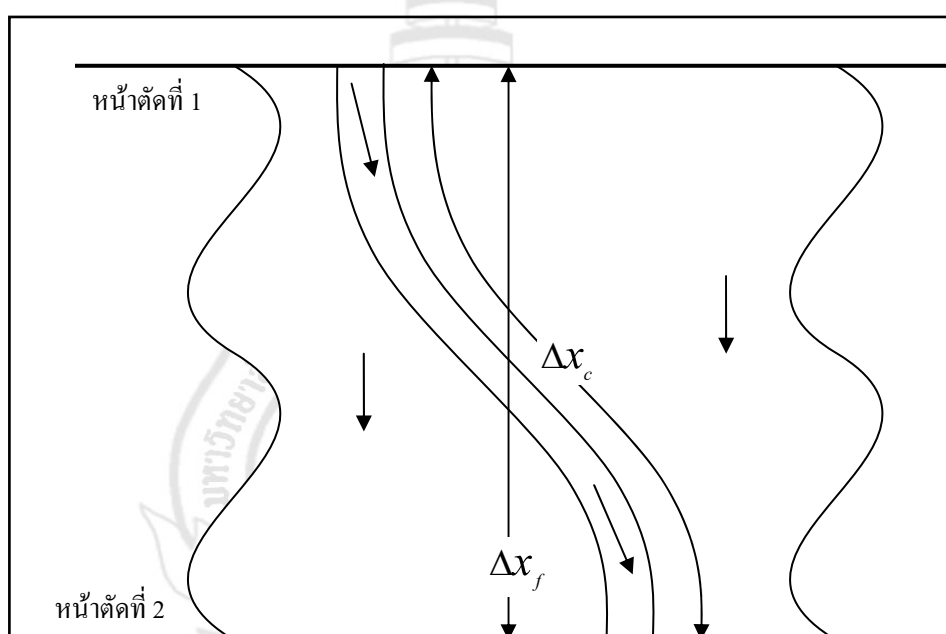
ซอฟต์แวร์ HEC-RAS เป็น free software มีชื่อเต็มว่า U.S. Army Corps of Engineer River Analysis System เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์ในหนึ่งมิติ (one-dimensional) ซอฟต์แวร์นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Hydrologic Engineering Center for the U.S. Army Corps of Engineering มีความสามารถในการวิเคราะห์ 4 อย่างคือ (1) การคำนวณการไหลของน้ำแบบทรงตัว (steady flow) (2) การคำนวณการไหลของน้ำแบบไม่ทรงตัว (unsteady flow) (3) การคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอน และ (4) การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (Brunner, 2006)

2.5.2 การคำนวณการไหลของน้ำแบบไม่คงที่ (Unsteady flow)

ในการศึกษานี้แบบจำลอง HEC-RAS มาประยุกต์ใช้ในการอธิบายการไหลของน้ำในแม่น้ำ จึงขอกล่าวเฉพาะหลักการที่นำมาใช้ในการคำนวณแบบไม่ทรงตัว (unsteady flow) เท่านั้น ซึ่งการไหลของน้ำในลำน้ำแบบไม่ทรงตัวนี้เป็นไปตามทฤษฎีของสมการเซนต์-วีแนนต์ คือ ประกอบไปด้วยสมการที่ใช้อธิบายการไหลทั้ง 2 สมการ คือ สมการความต่อเนื่องหรือสมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) และสมการโมเมนตัมหรือสมการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum)

2.5.3 การประยุกต์ใช้สมการเซนต์-วีแนนต์ในแบบจำลอง HEC-RAS

ภาพที่ 2.1 อธิบายถึงลักษณะของปฏิสัมพันธ์ในสองมิติระหว่างการไหลในทางน้ำหลักและที่ราบน้ำท่วมถึง (floodplain) เมื่อน้ำในลำน้ำมีระดับสูงขึ้นจนเกินระดับของตลิ่ง น้ำก็จะไหลออกจากลำน้ำไปทางด้านข้างเข้าท่วมพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงและไหลเข้าไปเต็มในพื้นที่แก้มลิง (storage area) ในขณะที่มีความลึกของการไหลเพิ่มขึ้น พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงก็จะเริ่มนำพาน้ำให้ไหลไปยังด้านท้ายน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วระยะทางของการไหลบนที่ราบน้ำท่วมถึงจะสั้นกว่าระยะทางในการไหลของทางน้ำหลักมาก และเมื่อความลึกของการไหลลดลง น้ำจากพื้นที่นอกตลิ่งก็จะไหลกลับเข้าไปยังทางน้ำหลัก ทำให้ระดับน้ำของการไหลในทางน้ำหลักเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง



ภาพที่ 2.1 การไหลของน้ำในลำน้ำและที่ราบน้ำท่วมถึง

เนื่องจากการไหลของน้ำออกด้านข้างของลำน้ำ (เข้าท่วมที่ราบน้ำท่วมถึง) มีสัดส่วนที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับการไหลของน้ำไปตามลำน้ำ ทำให้สามารถประมาณการไหลในหนึ่งมิติแทนการไหลในสองมิติดังที่กล่าวมาแล้วได้ โดยการกำหนดให้การไหลในทางน้ำหลักสามารถแลกเปลี่ยนน้ำกับที่ราบน้ำท่วมถึงได้ ทำให้อัตราการไหลของน้ำในที่ราบน้ำท่วมถึงแยกออกจากอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำหลัก มีความพยายามในการแก้ปัญหการแลกเปลี่ยนของน้ำระหว่างทางน้ำหลักและพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงในหลาย ๆ วิธี วิธีการที่ง่ายวิธีหนึ่งคือ การละเลยการไหลของน้ำออกนอกตลิ่งหรือการไหลจะเกิดขึ้นในทางน้ำหลักเท่านั้น ซึ่งสมมติฐานนี้เหมาะสมสำหรับลำน้ำที่มีขนาด

ใหญ่ เช่น แม่น้ำมิสซิสซิปปีซึ่งลำน้ำได้ถูกจำกัดหรือกั้นไว้ด้วยพังกั้นน้ำ เฟร็ด (Fread, 1976) และ สมิธ (Smith, 1978) ได้แก้ไขปัญหานี้โดยการแบ่งระบบของการไหลออกเป็นสองส่วนคือการไหลในทางน้ำหลักและการไหลบนที่ราบน้ำท่วมถึง แล้วกำหนดสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการโมเมนตัม (momentum equation) สำหรับทั้งสองส่วนของการไหล เพื่อให้ปัญหาย่อยขึ้นพวกเขาได้กำหนดให้ผิวหน้าของแต่ละหน้าตัดเป็นตัวกำหนดว่าเป็นการไหลในทางน้ำหลักหรือการไหลบนที่ราบน้ำท่วมถึง นั่นหมายความว่าได้ละการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมระหว่างทางน้ำหลักกับที่ราบน้ำท่วมถึง และให้อัตราการไหล (discharge) มีการกระจายตัวตามช่องทางลำน้ำ นั่นคือ

$$Q_c = \phi Q \quad (2.18)$$

โดย	Q_c	=	อัตราการไหลในลำน้ำหลัก (เมตร ³ /วินาที)
	Q	=	อัตราการไหลรวม (เมตร ³ /วินาที)
	ϕ	=	สัมประสิทธิ์การไหลรวม
		=	$K_c / (K_c - K_f)$
	K_c	=	สัมประสิทธิ์การไหลในทางน้ำหลัก
	K_f	=	สัมประสิทธิ์การไหลในพื้นที่ราบน้ำท่วมถึง

ด้วยสมมติฐานนี้สามารถรวมสมการการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ ทั้งทางน้ำหลักและพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงเป็นสมการเดียวคือ

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\phi)^2 Q^2 / A_f)}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (2.20)$$

สัญลักษณ์ c และ f ในที่นี้หมายถึงลำน้ำหลักและพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงตามลำดับ สมการเหล่านี้ได้ถูกประมาณค่าโดยใช้ implicit finite differences และแก้ค่าโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขที่ชื่อว่า Newton-Raphson iteration technique (Brunner, 2002)

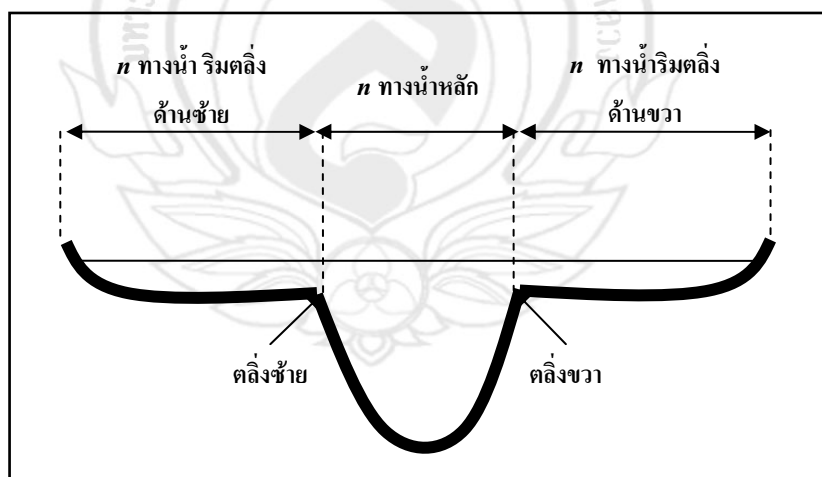
2.5.4 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning roughness coefficient)

ในการประมาณค่าของพจน์ S_f ในสมการโมเมนตัม HEC-RAS ใช้สมการของแมนนิงในการประมาณ (Chow, 1988) นั่นคือ

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{R^{4/3}A^2} \quad (2.21)$$

โดย	S_f	=	ความลาดชันของความฝืด (friction slope)
	Q	=	อัตราการไหล (เมตร ³ /วินาที)
	n	=	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning roughness coefficient)
	R	=	รัศมีชลศาสตร์ (เมตร)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (เมตร ²)

สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิงนี้จะขึ้นอยู่กับพื้นผิวของการไหล และในการคำนวณของ HEC-RAS จะแยกสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิงนี้ออกเป็น 3 ส่วน คือ ทางน้ำหลัก พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงด้านซ้าย และพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงด้านขวา (ดูภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 การแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิงในแต่ละหน้าตัดของการไหล

2.5.5 การไหลของน้ำผ่านฝาย

ในกรณีที่มีการไหลของน้ำผ่านฝาย HEC-RAS จะทำการคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายดังนี้ (Brunner, 2002)

$$Q = CLH^{3/2} \quad (2.22)$$

โดย	Q	=	อัตราการไหลในลำน้ำหลัก (เมตร ³ /วินาที)
	C	=	สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านฝาย
	L	=	ความยาวของสันฝาย (เมตร)
	H	=	พลังงานจลน์ของน้ำเหนือสันฝาย (เมตร)



บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในส่วนของระเบียบวิธีวิจัยจะกล่าวถึงการนำวิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference method) มาใช้ในการแก้สมการเซนต์-วีแนนต์ (Saint-Venant equations) โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วนที่สำคัญ คือ แบบจำลอง dynamic wave วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference method) แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิท (implicit dynamic wave model) สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference equations) และ การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference solution)

3.1 แบบจำลอง dynamic wave

แบบจำลอง dynamic wave เป็นแบบจำลองที่มีการนำทุกพจน์ในสมการโมเมนต์มาพิจารณา และยังเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ที่ไม่สามารถหาคำตอบเชิงวิเคราะห์ได้ (analytical solution) ทำให้มีความจำเป็นในการนำวิธีการเชิงตัวเลข (numerical method) มาประยุกต์ใช้ และวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ก็เป็นวิธีการเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหานี้ได้

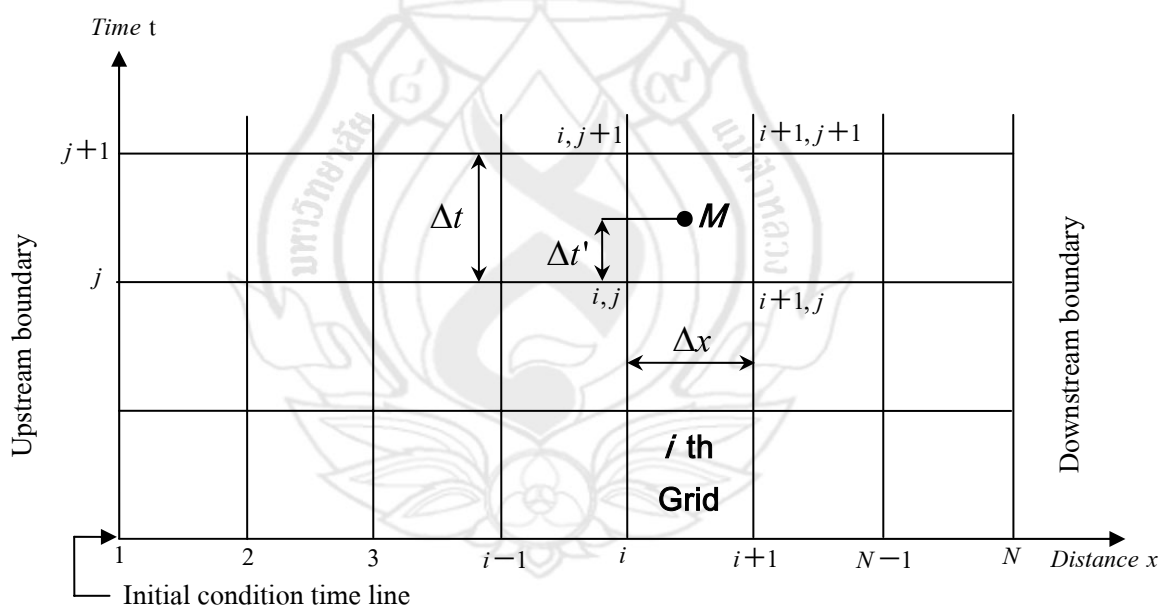
3.2 วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference method)

การแก้ปัญหาคำถามการกระจายตัวของน้ำไปตามลำน้ำใน 1 มิติโดยใช้วิธีการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์นั้น สามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equation) ให้อยู่ในรูปของสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference equation) โดยการแบ่งพื้นที่การคำนวณออกเป็นกริดที่ประกอบด้วยแกนของเวลา (t) และระยะทาง (x) โดยที่ $x-t$ กริดนี้คือระบบโครงข่ายของจุดที่ถูกกำหนดโดยระยะทางที่เพิ่มขึ้นตามความยาว (Δx) และช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น (Δt) (ดูภาพที่ 3.1) ซึ่งจุดต่าง ๆ ที่แสดงระยะทาง แสดงโดยดัชนี i และ จุดต่าง ๆ ที่แสดงเวลา แสดงโดยดัชนี j และเส้นเวลา (time line) คือเส้นที่ขนานกับแกน x ผ่านจุดต่าง ๆ ของ

ระยะทาง สำหรับเวลาหนึ่งที่กำหนดให้ การประมาณพจน์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาสามารถประมาณได้จากค่าของตัวแปรเช่น Q และ y ณ ตำแหน่งจุดบนกริดนั้น ๆ

3.3 แบบจำลองคลื่นพลศาสตร์แบบอิมพลีซิท (implicit dynamic wave model)

วิธีการอิมพลีซิทไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Implicit finite difference method) เป็นวิธีการแก้สมการเซนต์-เวแนนต์ (Saint-Venant equations) จากเส้นเวลาหนึ่ง (one time line) ไปยังเส้นเวลาถัดไป โดยการแก้ระบบสมการจะกระทำในเวลาเดียวกันสำหรับทุก ๆ จุดของตำแหน่งตามแนวของเส้นเวลา วิธีการอิมพลีซิทนี้ได้รับการพัฒนามาจากวิธีการเอ็กซ์พลีซิท (explicit methods) ซึ่งมีข้อจำกัดของขนาดของช่วงเวลา (Δt)



ภาพที่ 3.1 ระนาบคำตอบ $x-t$ ของวิธีการอิมพลีซิทไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

วิธีการอิมพลีซิทไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์นี้ ใช้วิธีถ่วงน้ำหนักแบบ 4 จุด (a weighted 4 point method) ในระหว่างเส้นเวลาที่อยู่ใกล้กับจุด M ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ถ้าในกรณีที่ตัวแปร เช่น อัตราการไหลหรือค่าระดับน้ำ ซึ่งแสดงโดยตัวแปร u อนุพันธ์ของเวลา (time derivative) ของ u

นั้นสามารถประมาณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่จุดของระยะทาง i และ $i+1$ เพราะฉะนั้นค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ตำแหน่ง i ที่เวลานั้น คือ $(u_i^{j+1} - u_i^j) / \Delta t$ และค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ตำแหน่ง $i+1$ ที่เวลานั้น คือ $(u_{i+1}^{j+1} - u_{i+1}^j) / \Delta t$ ทำให้สามารถประมาณค่าอนุพันธ์ของตัวแปรที่เวลานั้นได้ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_i^{j+1} + u_{i+1}^{j+1} - u_i^j - u_{i+1}^j}{2\Delta t} \quad (3.1)$$

ในการประมาณค่าอนุพันธ์ของสถานที่ (spatial derivative) มีวิธีการที่แตกต่างกันเล็กน้อย คือ มีการนำ θ ซึ่งเป็นแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนักมาประยุกต์ใช้กับค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่จุดของเวลา j และ $j+1$ ที่ตำแหน่งนั้น คือ $(u_{i+1}^j - u_i^j) / \Delta t$ และ $(u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}) / \Delta t$ ตามลำดับ ทำให้สามารถประมาณค่าอนุพันธ์ของตัวแปรที่ตำแหน่งนั้นได้ดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \theta \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{u_{i+1}^j - u_i^j}{\Delta x} \quad (3.2)$$

โดยใช้วิธีการเดียวกันสามารถประมาณค่าเฉลี่ยอื่น ๆ ได้ดังนี้

$$\bar{u} \approx \theta \frac{u_i^{j+1} + u_{i+1}^{j+1}}{2} + (1-\theta) \frac{u_i^j + u_{i+1}^j}{2} \quad (3.3)$$

ซึ่งค่าของ $\theta = \Delta t' / \Delta t$ เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุด M ซึ่งอยู่ในแนวดังดังภาพที่ 3.1 สำหรับการใส่ค่า $\theta = 0$ เรียกวิธีการนี้ว่า fully explicit scheme เมื่อใส่ค่า $\theta = 1$ เรียกวิธีการนี้ว่า fully implicit scheme สำหรับการคำนวณด้วยวิธีการอิมพลีซิทไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ค่า θ จะอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 เมื่อใส่ค่า $\theta = 0.5$ เรียกวิธีการนี้ว่าวิธีการ Crank Nicolson และ ค่าที่เหมาะสมสำหรับ θ ควรอยู่ในช่วง 0.55 ถึง 0.6 (Fread, 1973, 1974)

3.4 สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference equations)

สมการเซนต์-วีแนนต์ซึ่งประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการโมเมนตัม (momentum equation) ดังสมการ (3.4) และ (3.5) ตามลำดับ และสมการอนุพันธ์ที่ใช้ในการประมาณค่าตัวแปรต่าง ๆ แสดงดังสมการ (3.6) – (3.9)

สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.4)$$

สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial Q}{\partial t} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_o + S_f \right) = 0 \quad (3.5)$$

อนุพันธ์ของเวลา (time derivative)

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1} - A_i^j - A_{i+1}^j}{2\Delta t} \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j}{2\Delta t} \quad (3.7)$$

อนุพันธ์ของสถานที่ (spatial derivative)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \theta \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x} \quad (3.8)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \theta \frac{y_{i+1}^{j+1} - y_i^{j+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{y_{i+1}^j - y_i^j}{\Delta x} \quad (3.9)$$

แทนค่าอนุพันธ์จากสมการ (3.6) – (3.9) ลงในสมการสมการความต่อเนื่อง (3.4) และสมการโมเมนตัม (3.5) จะได้สมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์สำหรับสมการความต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม ดังนี้

สมการความต่อเนื่องในรูปแบบสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

$$\frac{A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1} - A_i^j - A_{i+1}^j}{2\Delta t} + \theta \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x} = 0 \quad (3.10)$$

สมการโมเมนตัมในรูปแบบสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์

$$\begin{aligned} & \theta \frac{(Q^2/A)_{i+1}^{j+1} - (Q^2/A)_i^{j+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{(Q^2/A)_{i+1}^j - (Q^2/A)_i^j}{\Delta x} + \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j}{2\Delta t} \\ & + gA \left(\theta \frac{y_{i+1}^{j+1} - y_i^{j+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{y_{i+1}^j - y_i^j}{\Delta x} + S_f - S_o \right) = 0 \end{aligned} \quad (3.11)$$

เมื่อคูณสมการ (3.10) ด้วย Δx จะได้สมการความต่อเนื่องที่อยู่ในรูปของสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์แบบ 4 จุด ดังนี้

$$\frac{\Delta x}{2\Delta t} (A_i^{j+1} + A_{i+1}^{j+1} - A_i^j - A_{i+1}^j) + \theta (Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}) + (1-\theta) (Q_{i+1}^j - Q_i^j) = 0 \quad (3.12)$$

เช่นเดียวกัน เมื่อคูณสมการ (3.11) ด้วย Δx จะได้สมการโมเมนตัมที่อยู่ในรูปของสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์แบบ 4 จุด ดังนี้

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta x}{2\Delta t} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) + \theta \left[(Q^2/A)_{i+1}^{j+1} - (Q^2/A)_i^{j+1} \right] + (1-\theta) \left[(Q^2/A)_{i+1}^j - (Q^2/A)_i^j \right] \\ & + gA \left[\theta (y_{i+1}^{j+1} - y_i^{j+1}) + (1-\theta) (y_{i+1}^j - y_i^j) - (S_o \Delta x) + (S_f \Delta x) \right] = 0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

และกำหนดให้ค่า A และ S_f หาได้จากสมการ (3.14) และ (3.15) ตามลำดับ

$$A = \theta \frac{(A_{i+1}^{j+1} + A_i^{j+1})}{2} + (1-\theta) \frac{(A_{i+1}^j + A_i^j)}{2}$$

$$= \theta \bar{A}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{A}_i^j \quad (3.14)$$

$$S_f = \theta \frac{(S_{fi+1}^{j+1} + S_{fi}^{j+1})}{2} + (1-\theta) \frac{(S_{fi+1}^j + S_{fi}^j)}{2}$$

$$= \theta \bar{S}_f^{j+1} + (1-\theta) \bar{S}_f^j \quad (3.15)$$

สำหรับพจน์ที่มีตัวยก j กำกับอยู่ในสมการ (3.12) และ (3.13) นั้นสามารถทราบค่าได้จากเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) หรือจากการแก้สมการเซนต์-วีแนนต์ที่เส้นเวลาก่อนหน้านี้นี้ สำหรับพจน์ g , Δx และ Δt นั้นเป็นพจน์ที่ทราบค่า และจะต้องถูกกำหนดขึ้นอย่างอิสระในการแก้สมการ โดยพจน์ที่ไม่ทราบค่าคือ Q_{i+1}^{j+1} , Q_i^{j+1} , h_{i+1}^{j+1} , h_i^{j+1} , A_i^{j+1} และ A_{i+1}^{j+1} อย่างไรก็ตามพจน์เหล่านี้สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันของพจน์ที่ไม่ทราบค่า Q_{i+1}^{j+1} , Q_i^{j+1} , h_{i+1}^{j+1} และ h_i^{j+1} จึงทำให้มีพจน์ที่ไม่ทราบค่าเพียง 4 พจน์เท่านั้น และเนื่องจากตัวแปรที่ไม่ทราบค่ามีกำลังแตกต่างจากกำลังหนึ่งดังนั้นสมการ (3.13) จึงเป็นสมการเชิงอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น

สมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัมจะถูกพิจารณาในแต่ละ $N-1$ grid (ดูภาพที่ 3.1) ซึ่งอยู่ในขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ (upstream boundary) ที่ $i=1$ และขอบเขตของด้านท้ายน้ำ (downstream boundary) ที่ $i=N$ จึงทำให้มีจำนวนสมการเท่ากับ $2N-2$ สมการ โดยจะมีพจน์ที่ไม่ทราบค่า $2N$ พจน์ โดยต้องการสมการอีก 2 สมการเพื่อทำให้สามารถแก้สมการได้ โดยได้จากเงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ (upstream and downstream boundary condition) โดยเงื่อนไขขอบเขตทางด้านเหนือน้ำนั้นปกติแล้วทราบได้จากกราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลเข้า ในขณะที่เงื่อนไขขอบเขตทางด้านท้ายน้ำสามารถกำหนดได้ในรูปของกราฟระดับน้ำ ก็อาจจะเป็นกราฟน้ำท่าของปริมาณการไหลที่ทราบค่า หรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณการไหล (rating curve)

3.5 การแก้ปัญหโดยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference solution)

ในการแก้ระบบสมการไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ที่จะได้อธิบายต่อไปนี้เป็นส่วนที่ได้นำมาจากการอธิบายของ ชาว (Chow, 1988) โดยระบบของสมการแบบไม่เชิงเส้นสามารถแสดงได้ในรูปแบบของฟังก์ชันของพจน์ที่ไม่ทราบค่า h และ Q ที่ระดับเวลา $j+1$ ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 UB(h_1, Q_1) &= 0 && \text{(เงื่อนไขขอบเขตต้นน้ำ, upstream boundary condition)} \\
 C_1(h_1, Q_1, h_2, Q_2) &= 0 && \text{(สมการความต่อเนื่อง สำหรับกริดที่ 1)} \\
 M_1(h_1, Q_1, h_2, Q_2) &= 0 && \text{(สมการโมเมนตัม สำหรับกริดที่ 1)} \\
 &\vdots && \\
 C_i(h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) &= 0 && \text{(สมการความต่อเนื่อง สำหรับกริดที่ i)} \\
 M_i(h_i, Q_i, h_{i+1}, Q_{i+1}) &= 0 && \text{(สมการโมเมนตัม สำหรับกริดที่ i)} \\
 &\vdots && \\
 C_{N-1}(h_{N-1}, Q_{N-1}, h_N, Q_N) &= 0 && \text{(สมการความต่อเนื่อง สำหรับกริดที่ N-1)} \\
 M_{N-1}(h_{N-1}, Q_{N-1}, h_N, Q_N) &= 0 && \text{(สมการโมเมนตัม สำหรับกริดที่ N-1)} \\
 DB(h_N, Q_N) &= 0 && \text{(เงื่อนไขขอบเขตท้ายน้ำ, downstream boundary condition)}
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

ระบบของสมการแบบไม่เชิงเส้นจำนวน $2N$ สมการ โดยมีพจน์ที่ไม่ทราบค่าจำนวน $2N$ พจน์นั้น สามารถแก้ได้ในแต่ละช่วงเวลา (time step) โดยวิธีการทำซ้ำของ Newton-Raphson สำหรับวิธีการในแต่ละเวลา $j+1$ นั้น เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าสมมติฐานแบบลองผิดลองถูก (assigning trial values) สำหรับพจน์ที่ไม่ทราบค่าจำนวน $2N$ พจน์ ณ เวลานั้น โดยพจน์เหล่านี้อยู่ในรูปของ h และ Q อาจเป็นพจน์ที่ทราบค่า ณ เวลา j จากเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) หรือจากการคำนวณในช่วงเวลาก่อนหน้านี้ (previous time step) โดยการใช้ค่าจากการลองผิดลองถูก ในสมการ (3.16) เป็นผลให้ได้ส่วนที่เหลืออยู่ (residual) จำนวน $2N$ ค่า สำหรับในขั้นการทำซ้ำที่ k^{th} ค่าของส่วนที่เหลืออยู่ (residual) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
UB(h_1^k, Q_1^k) &= RUB^k && \text{(ส่วนเหลือของเงื่อนไขขอบเขตต้นน้ำ)} \\
C_1(h_1^k, Q_1^k, h_2^k, Q_2^k) &= RC_1^k && \text{(ส่วนเหลือของสมการความต่อเนื่อง สำหรับกริดที่ 1)} \\
M_1(h_1^k, Q_1^k, h_2^k, Q_2^k) &= RM_1^k && \text{(ส่วนเหลือของสมการ โมเมนตัม สำหรับกริดที่ 1)} \\
&\vdots && \\
C_i(h_i^k, Q_i^k, h_{i+1}^k, Q_{i+1}^k) &= RC_i^k && \text{(ส่วนเหลือของสมการความต่อเนื่อง สำหรับกริดที่ i)} \\
M_i(h_i^k, Q_i^k, h_{i+1}^k, Q_{i+1}^k) &= RM_i^k && \text{(ส่วนเหลือของสมการ โมเมนตัม สำหรับกริดที่ i)} \\
&\vdots && \\
C_{N-1}(h_{N-1}^k, Q_{N-1}^k, h_N^k, Q_N^k) &= RC_{N-1}^k && \text{(ส่วนเหลือของสมการความต่อเนื่องสำหรับกริดที่ N-1)} \\
M_{N-1}(h_{N-1}^k, Q_{N-1}^k, h_N^k, Q_N^k) &= RM_{N-1}^k && \text{(ส่วนเหลือของสมการ โมเมนตัม สำหรับกริดที่ N-1)} \\
DB(h_N^k, Q_N^k) &= RDB^k && \text{(ส่วนเหลือของเงื่อนไขขอบเขตท้ายน้ำ)}
\end{aligned} \tag{3.17}$$

การแก้สมการจะนำไปสู่การหาค่าของพจน์ที่ไม่ทราบค่า h และ Q เพื่อที่ว่าส่วนที่เหลืออยู่ จะถูกบังคับให้มีค่าเป็นศูนย์หรือเข้าใกล้ศูนย์

วิธีการ Newton-Raphson เป็นเทคนิคการทำซ้ำ (iteration technique) สำหรับการแก้ระบบสมการแบบไม่เชิงเส้น ให้พิจารณาสมการ (3.17) โดยกำหนดรูปแบบเวกเตอร์ในรูปต่อไปนี้

$$f(x) = 0 \tag{3.18}$$

เมื่อ $x = (Q_1, h_1, Q_2, h_2, \dots, Q_N, h_N)$ คือเวกเตอร์ของปริมาณที่ไม่ทราบค่า และสำหรับการทำซ้ำที่ k , $x^k = (Q_1^k, h_1^k, Q_2^k, h_2^k, \dots, Q_N^k, h_N^k)$ แล้วระบบแบบไม่เชิงเส้นสามารถทำให้อยู่ในแบบเชิงเส้นได้ดังนี้

$$f(x^{k+1}) \approx f(x^k) + J(x^k)(x^{k+1} - x^k) \tag{3.19}$$

ในที่นี้ $J(x^k)$ คือ Jacobian matrix ซึ่งหมายถึงเมตริกของสัมประสิทธิ์ (a coefficient matrix) สำหรับอนุพันธ์บางส่วนลำดับที่หนึ่ง (the first partial derivatives) ของ $f(x)$ ที่ประเมินได้ที่ x^k ทางด้านขวาของสมการ (3.19) คือฟังก์ชันของเวกเตอร์แบบเชิงเส้น ของ x^k ในวิธีการทำซ้ำนั้น ได้นำมาใช้หาค่า x^{k+1} โดยจะบังคับให้ส่วนผิดพลาดที่เหลืออยู่ในสมการ (3.19) มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นไปได้โดยการกำหนดให้ $f(x^{k+1}) = 0$ และจัดรูปสมการ (3.19) ใหม่จะได้เป็น

$$J(x^k)(x^{k+1} - x^k) = -f(x^k) \quad (3.20)$$

ระบบสมการนี้สามารถแก้ได้เมื่อ $(x^{k+1} - x^k) = \Delta x^k$ และการประมาณค่า x^{k+1} เมื่อทราบค่า Δx^k กระบวนการจะถูกทำซ้ำจนกระทั่ง $(x^{k+1} - x^k)$ มีค่าน้อยกว่าค่าที่สามารถยอมรับได้ (tolerance)

ระบบของสมการเชิงเส้นในสมการ (3.20) เกี่ยวข้องกับพจน์ $J(x^k)$ ซึ่งหมายถึง Jacobian ของชุดสมการ (3.16) ซึ่งเทียบกับค่า h และ Q และ $-f(x^k)$ เป็นเวกเตอร์ที่เป็นลบของส่วนที่เหลืออยู่ในสมการ (3.17) ทำให้ได้ระบบสมการดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial UB}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial UB}{\partial Q_1} dQ_1 &= -RUB^k \\ \frac{\partial C_1}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial C_1}{\partial Q_1} dQ_1 + \frac{\partial C_1}{\partial h_2} dh_2 + \frac{\partial C_1}{\partial Q_2} dQ_2 &= -RC_1^k \\ \frac{\partial M_1}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial M_1}{\partial Q_1} dQ_1 + \frac{\partial M_1}{\partial h_2} dh_2 + \frac{\partial M_1}{\partial Q_2} dQ_2 &= -RM_1^k \\ &\vdots \\ \frac{\partial C_i}{\partial h_i} dh_i + \frac{\partial C_i}{\partial Q_i} dQ_i + \frac{\partial C_i}{\partial h_{i+1}} dh_{i+1} + \frac{\partial C_i}{\partial Q_{i+1}} dQ_{i+1} &= -RC_i^k \\ \frac{\partial M_i}{\partial h_i} dh_i + \frac{\partial M_i}{\partial Q_i} dQ_i + \frac{\partial M_i}{\partial h_{i+1}} dh_{i+1} + \frac{\partial M_i}{\partial Q_{i+1}} dQ_{i+1} &= -RM_i^k \\ &\vdots \\ \frac{\partial C_{N-1}}{\partial h_{N-1}} dh_{N-1} + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_{N-1}} dQ_{N-1} + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial h_N} dh_N + \frac{\partial C_{N-1}}{\partial Q_N} dQ_N &= -RC_{N-1}^k \\ \frac{\partial M_{N-1}}{\partial h_{N-1}} dh_{N-1} + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_{N-1}} dQ_{N-1} + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial h_N} dh_N + \frac{\partial M_{N-1}}{\partial Q_N} dQ_N &= -RM_{N-1}^k \\ \frac{\partial DB}{\partial h_N} dh_N + \frac{\partial DB}{\partial Q_N} dQ_N &= -RDB^k \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial UB}{\partial h_1} & \frac{\partial UB}{\partial Q_1} & & & & & & & & \\ \frac{\partial C_1}{\partial h_1} & \frac{\partial C_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial C_1}{\partial h_2} & \frac{\partial C_1}{\partial Q_2} & & & & & & \\ \frac{\partial M_1}{\partial h_1} & \frac{\partial M_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial M_1}{\partial h_2} & \frac{\partial M_1}{\partial Q_2} & & & & & & \\ & & \frac{\partial C_2}{\partial h_2} & \frac{\partial C_2}{\partial Q_2} & \frac{\partial C_2}{\partial h_3} & \frac{\partial C_2}{\partial Q_3} & & & & \\ & & \frac{\partial M_2}{\partial h_2} & \frac{\partial M_2}{\partial Q_2} & \frac{\partial M_2}{\partial h_3} & \frac{\partial M_2}{\partial Q_3} & & & & \\ & & & & \frac{\partial C_3}{\partial h_3} & \frac{\partial C_3}{\partial Q_3} & \frac{\partial C_3}{\partial h_4} & \frac{\partial C_3}{\partial Q_4} & & \\ & & & & \frac{\partial M_3}{\partial h_3} & \frac{\partial M_3}{\partial Q_3} & \frac{\partial M_3}{\partial h_4} & \frac{\partial M_3}{\partial Q_4} & & \\ & & & & & & \frac{\partial C_4}{\partial h_4} & \frac{\partial C_4}{\partial Q_4} & \frac{\partial C_4}{\partial h_5} & \frac{\partial C_4}{\partial Q_5} \\ & & & & & & \frac{\partial M_4}{\partial h_4} & \frac{\partial M_4}{\partial Q_4} & \frac{\partial M_4}{\partial h_5} & \frac{\partial M_4}{\partial Q_5} \\ & & & & & & & & \frac{\partial DB}{\partial h_5} & \frac{\partial DB}{\partial Q_5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dh_1 \\ dQ_1 \\ dh_2 \\ dQ_2 \\ dh_3 \\ dQ_3 \\ dh_4 \\ dQ_4 \\ dh_5 \\ dQ_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -RUB \\ -RC_1 \\ -RM_1 \\ -RC_2 \\ -RM_2 \\ -RC_3 \\ -RM_3 \\ -RC_4 \\ -RM_4 \\ -RDB \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Gaussian elimination หรือ matrix inversion สามารถนำมาใช้ในการแก้สมการชุดนี้ได้ (Conte, 1965) Jacobian coefficient matrix เป็นเมตริก 4 ส่วนในแนวเส้นทแยงมุม ซึ่งเฟร็ด (Fread, 1971) ได้พิจารณาเทคนิคการแก้สมการที่นับว่ามีประสิทธิภาพ จากการแก้สมการ (3.21) จะได้ค่าของ dh_i และ dQ_i สำหรับพจน์ที่ไม่ทราบค่าที่ลำดับการทำซ้ำ $(k+1)^{th}$ จะได้อยู่ในรูป

$$h_i^{k+1} = h_i^k + dh_i \quad (3.22)$$

$$Q_i^{k+1} = Q_i^k + dQ_i \quad (3.23)$$

ซึ่งสมการที่ 3.22 เป็นสมการแสดงขั้นตอนการแก้ระบบสมการเซนต์-วีแนนต์สำหรับหนึ่งช่วงเวลาโดยวิธีการทำซ้ำของ Newton-Raphson

บทที่ 4

แบบจำลองการไหลของน้ำในลำน้ำกรณีศึกษาแม่น้ำแม่ลาว

การดำเนินการศึกษาการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวใน 1 มิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน 1 มิติ สำหรับคำนวณค่าระดับน้ำที่ขึ้นอยู่กับระยะทาง (distance) และเวลา (time) ในแม่น้ำแม่ลาวตั้งแต่สถานี G.10 ถึง สถานี G.8 และทำการตรวจสอบค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจริงที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง โดยมีการศึกษาที่สำคัญ 5 ส่วน คือ การสร้างแบบจำลอง การทดสอบการตอบสนองของพารามิเตอร์ การสอบเทียบแบบจำลอง การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และผลการทดลอง

4.1 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวเพื่อคำนวณหาค่าระดับน้ำที่มีการกระจายตัวไปตามลำน้ำ ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ มีรายละเอียดของขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองดังต่อไปนี้

4.1.1 การเลือกแบบจำลอง (model selection)

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ HEC-RAS ในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว เนื่องจาก HEC-RAS เป็นซอฟต์แวร์ฟรีที่สามารถคำนวณหาค่าระดับน้ำที่มีการกระจายตัวไปตามลำน้ำ ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ จากสมการเซนต์-เวแนนต์แบบเต็มรูปแบบ (full Saint-Venant equations) หรือแบบจำลอง dynamic wave คือ การนำทุกพจน์ในสมการอนุพันธ์โมเมนตัมมาใช้ในการคำนวณ

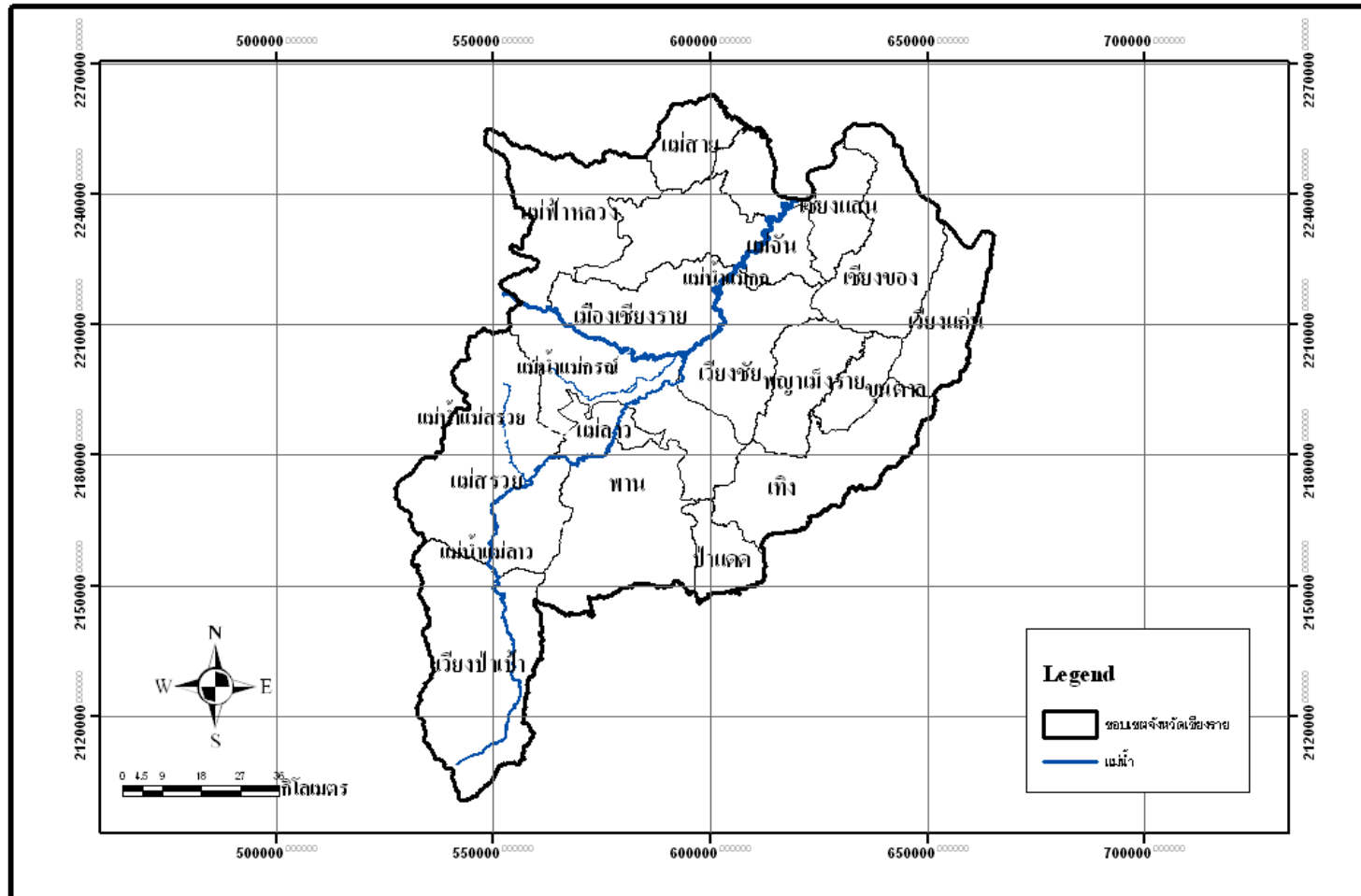
4.1.2 พื้นที่ศึกษา (study area)

จังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่ทางตอนเหนือสุดของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 11,678,369 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,298,981 ไร่ แบ่งการปกครองออกเป็น 16 อำเภอ (ดูภาพที่ 4.1) ลักษณะภูมิประเทศ เป็นที่ราบลุ่มระหว่างภูเขา พื้นที่เป็นท้องกระทะมีเทือกเขาสูงทอดยาวตามแนวเหนือใต้ความสูงของเทือกเขาประมาณ 1,500 - 2,000 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (ดูภาพที่

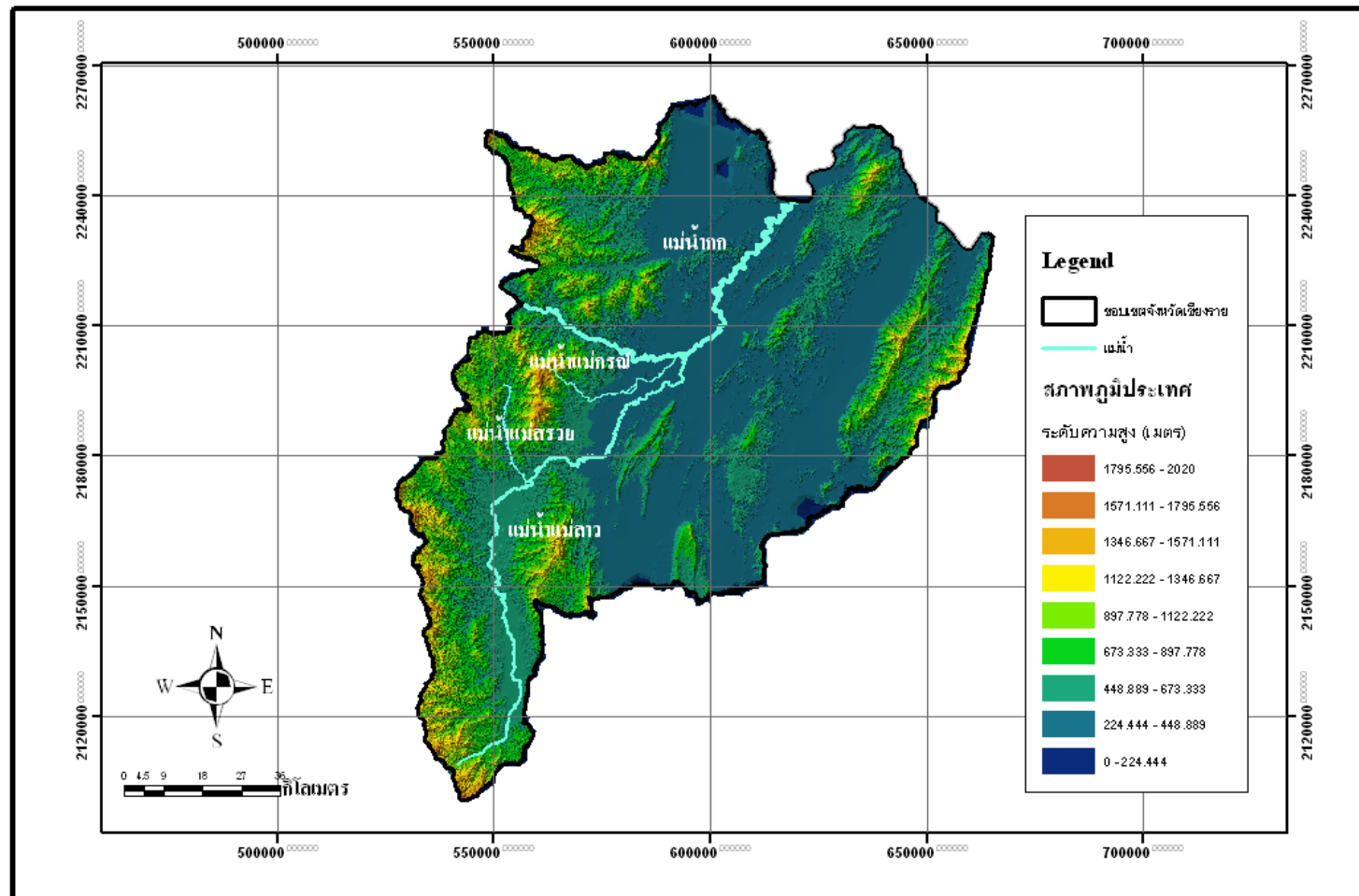
4.2) มีจำนวนประชากรรวมทั้งสิ้น 1,207,512 คน 396,770 ครัวเรือน จำนวนครัวเรือนเกษตร 169,845 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 42.81 ของครัวเรือนทั้งหมด ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีพื้นที่ทำการเกษตร 2,584,165 ไร่ หรือร้อยละ 35.40 ของพื้นที่จังหวัด มีลุ่มน้ำหลักสำหรับการเกษตร 2 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำกก พื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 5,061 ตารางกิโลเมตร และลุ่มน้ำโขง มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 6,413 ตารางกิโลเมตร ลุ่มน้ำกกมีลำน้ำสาขาสำคัญ 3 สาย คือ แม่น้ำแม่ลาว พื้นที่รับน้ำ 2,656.46 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำแม่สรวย พื้นที่รับน้ำ 440.39 ตารางกิโลเมตร แม่น้ำแม่กกตอนล่าง พื้นที่รับน้ำ 1,964.26 ตารางกิโลเมตร

แม่น้ำแม่ลาวเป็นแม่น้ำสาขาสำคัญของลุ่มน้ำกก มีต้นกำเนิดจากเทือกเขานางแก้วในเขตอำเภอเวียงป่าเป้าและมีทิศทางการไหลไปทางทิศเหนือ ผ่านเขตอำเภอแม่สรวย อำเภอพาน อำเภอแม่ลาว อำเภอเมืองเชียงราย และไหลมาบรรจบกับแม่น้ำแม่กกบริเวณสบลาว บ้านแม่ข้าวต้ม ตำบลแม่ข้าวต้ม อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย รวมระยะทางทั้งสิ้น 117 กิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั้งปี 827 ล้านลูกบาศก์เมตร จัดเป็นแม่น้ำสายสำคัญที่สุดสำหรับส่งน้ำเพื่อการเกษตรโดยเฉพาะการปลูกข้าว

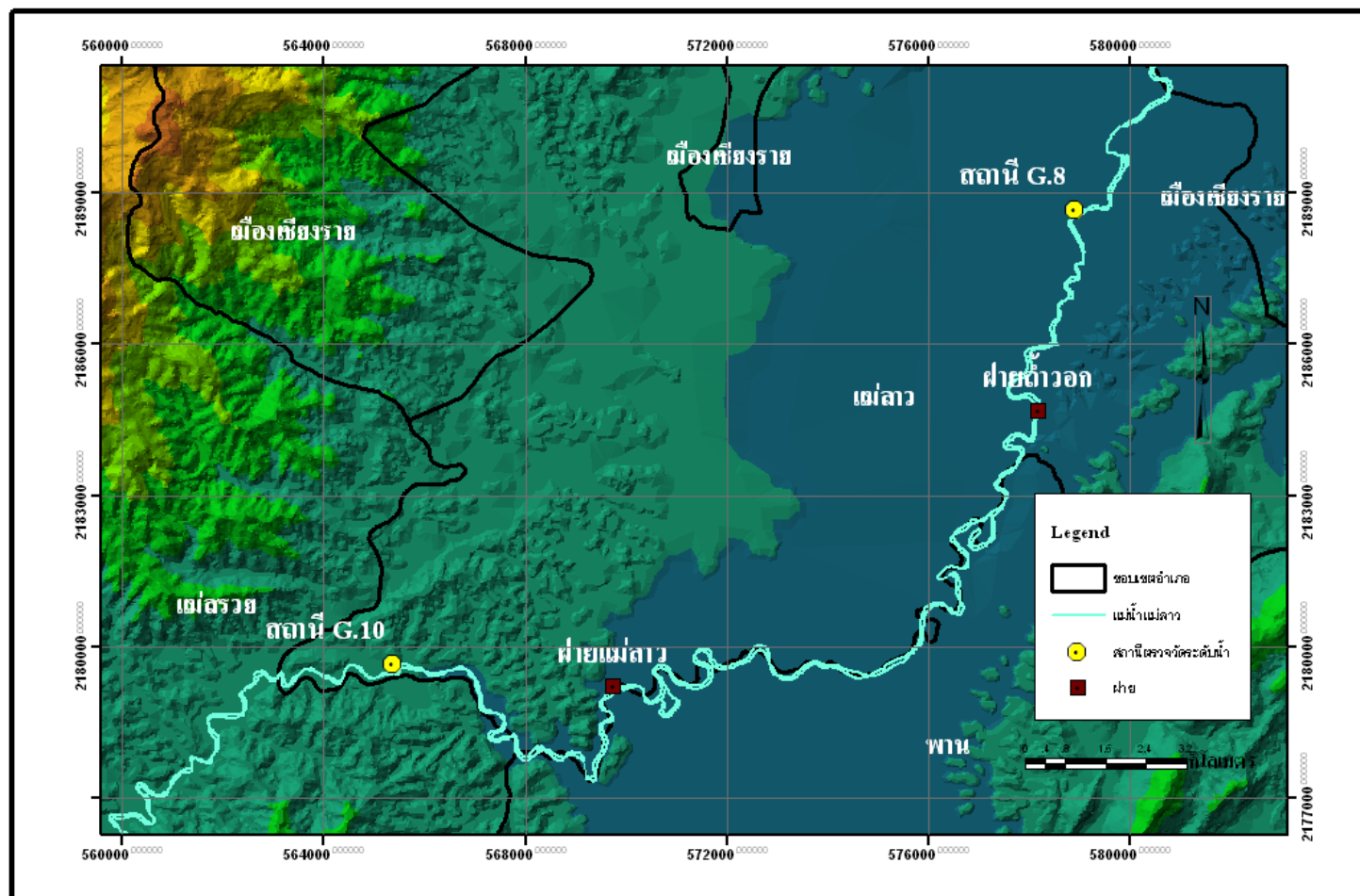
มีสถานีตรวจวัดระดับน้ำเพื่อการเตือนภัยน้ำท่วมจากการเอ่อล้นตลิ่ง 2 สถานี คือ สถานี G.10 บ้านหนองคำ ตำบลแม่สรวย อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย และ สถานี G.8 บ้านต้นยาง ตำบลบัวสลี อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย มีระยะทางห่างกันประมาณ 30 กิโลเมตร (ดูภาพที่ 4.3) และระหว่างสถานีตรวจวัดน้ำทั้งสองสถานี มีฝายชะลอน้ำเพื่อชะลอน้ำและผันน้ำไปยังพื้นที่เกษตรกรรม 2 ฝาย คือ ฝายแม่ลาว ตำบลดงมะดะ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย และฝายถั่วอก ตำบลจอมหมอกแก้ว อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย มีระยะทางห่างกันประมาณ 16 กิโลเมตร ฝายแม่ลาวเป็นโครงการชลประทานขนาดใหญ่ มีพื้นที่รับประโยชน์ 133,686 ไร่ จำนวน 23 ตำบล ในเขตอำเภอเมืองเชียงราย อำเภอแม่ลาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย และอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ฝายถั่วอกเป็นโครงการชลประทานขนาดกลาง มีพื้นที่รับประโยชน์ 8,000 ไร่ จำนวน 6 ตำบล ในเขตอำเภอแม่ลาว และอำเภอพาน



ภาพที่ 4.1 แผนที่แสดงขอบเขตการปกครองระดับอำเภอของจังหวัดเชียงราย



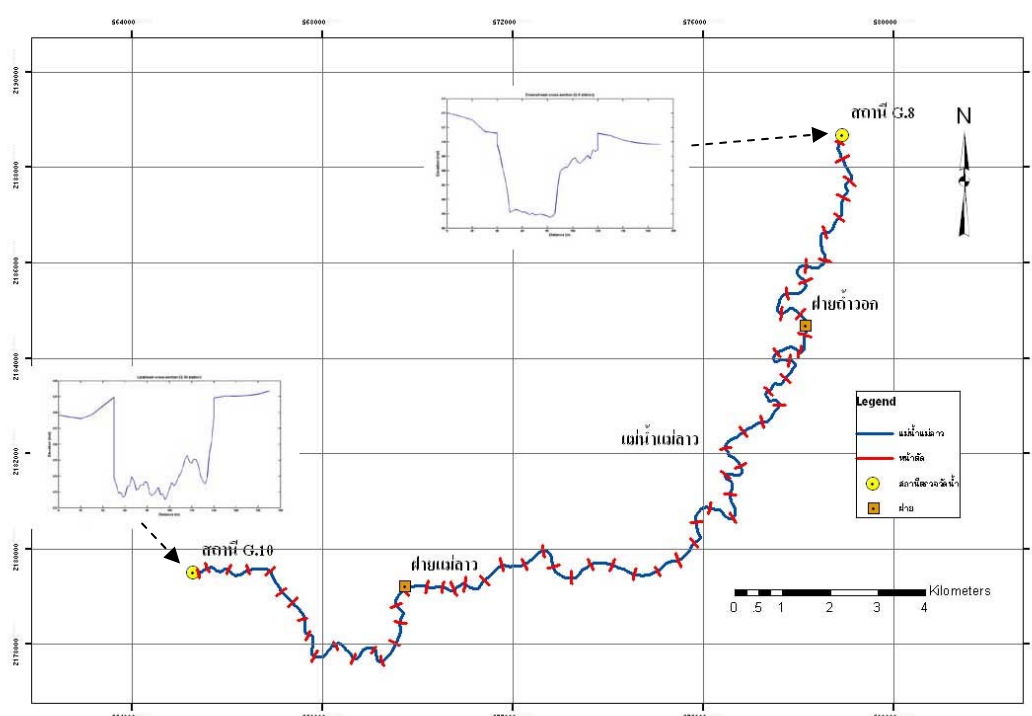
ภาพที่ 4.2 แผนที่แสดงลำน้ำสาขาของกลุ่มน้ำกกและลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดเชียงราย



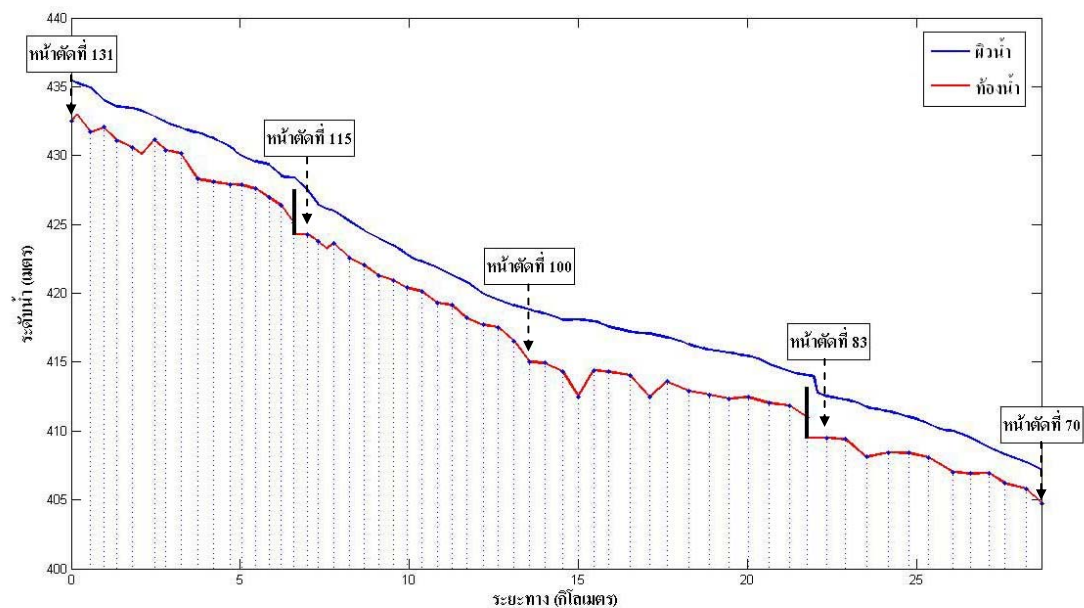
ภาพที่ 4.3 แผนที่แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดระดับน้ำ และฝายบนแม่น้ำแม่ลาว

4.1.3 ข้อมูลเชิงพื้นที่ของลำน้ำ (channel geometry)

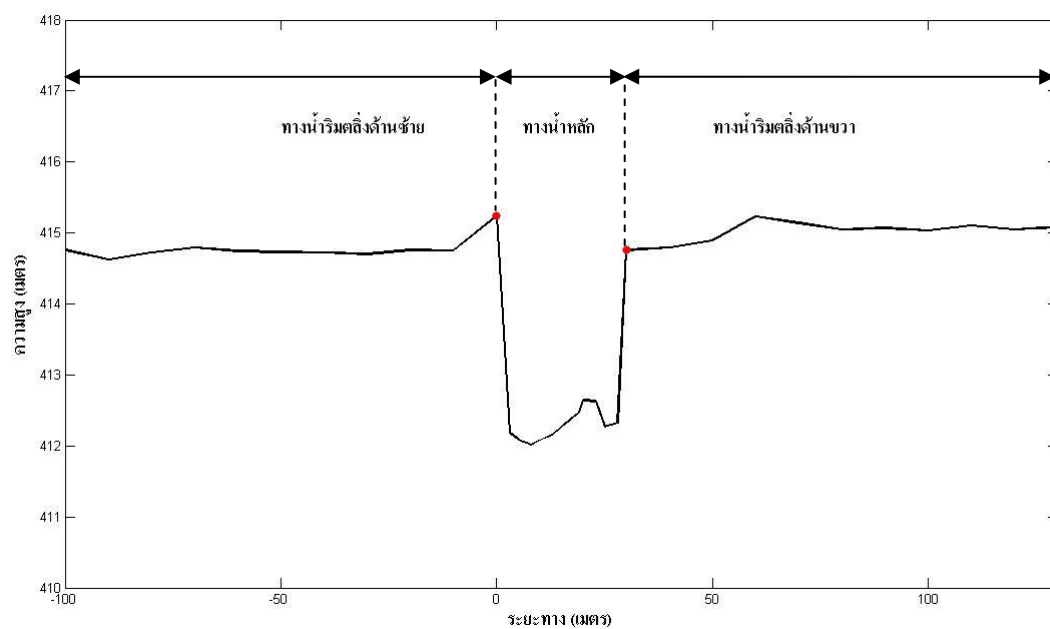
การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของลำน้ำแม่ลาวที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของลำน้ำแม่ลาวจากแผนที่ภาพตัดตามขวาง (cross-section map) และแผนที่ภาพตัดตามยาว (long-section map) ซึ่งข้อมูลแผนที่ทั้ง 2 นี้เป็นแผนที่ที่ได้มาจากการสำรวจในปี 2549 โดยกรมชลประทาน มีจำนวนภาพตัดตามขวางตั้งแต่สถานี G.10 ถึง สถานี G.8 ทั้งสิ้น 62 ภาพ แต่ละภาพห่างกันประมาณ 463 เมตร (ดูภาพที่ 4.4 และ 4.5) ข้อมูลภาพตัดตามขวางแต่ละภาพของแม่น้ำแม่ลาวนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ทางน้ำหลัก (main channel) ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย (left overbank) และทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา (right overbank) ซึ่งมีความกว้างเฉลี่ยตลอดทั้งลำน้ำ เท่ากับ 62 เมตร 92 เมตร และ 96 เมตร ตามลำดับ ทางน้ำทั้ง 3 ส่วนนี้ ใช้จุดตลิ่งซ้าย (left bank) และตลิ่งขวา (right bank) เป็นจุดอ้างอิงในการแบ่ง และตำแหน่งความสูงของระดับตลิ่งทั้ง 2 ฝั่งจะเป็นตัวชี้วัดว่ามีการเกิดน้ำท่วมขึ้นในพื้นที่หรือไม่ คือเมื่อระดับน้ำสูงเกินกว่าระดับตลิ่งแสดงว่ามีน้ำท่วมที่เกิดจากการเอ่อล้นตลิ่งของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวในบริเวณนั้น (ดูภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.4 แผนที่แสดงตำแหน่งของหน้าตัด สถานีตรวจวัดน้ำ และฝายบนพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 4.5 ภาพตัดตามยาวของพื้นที่ศึกษาระบุตำแหน่งของหน้าตัดต่าง ๆ ทั้ง 62 หน้าตัด



ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างภาพตัดตามขวางที่ใช้ตำแหน่งของตลิ่งซ้ายและตลิ่งขวาในการระบุทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย ทางน้ำหลัก และทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา

4.1.4 เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น (boundary condition and initial condition)

ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equation) ด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference method) จำเป็นจะต้องมีการระบุเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้นในการคำนวณ เนื่องจากการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบ ทำให้เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้นที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้คำตอบที่ได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย

แบบจำลองนี้ต้องการเงื่อนไขขอบเขต 2 เงื่อนไข คือ ค่าระดับน้ำรายชั่วโมง ณ ตำแหน่งต้นน้ำ (สถานี G.10) ตั้งแต่ปีน้ำ 2547-2551 และค่าการเปลี่ยนแปลงของพลังงานทั้งหมดเทียบกับระยะทางหรือความลาดชันการสูญเสียพลังงาน (friction slope, S_f) ณ ตำแหน่งท้ายน้ำ (สถานี G.8)

เงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลองนี้คือ อัตราการไหลของน้ำ ณ ตำแหน่งต้นน้ำ (สถานี G.10) และอัตราการไหลของน้ำ ณ ตำแหน่งท้ายน้ำ (สถานี G.8) ที่เวลาเริ่มต้นการคำนวณ ซึ่งค่าของเงื่อนไขเริ่มต้นนี้จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการคำนวณ เช่น เงื่อนไขขอบเขตเป็นค่าระดับน้ำรายชั่วโมงของปีน้ำ 2547 เงื่อนไขเริ่มต้นก็ต้องเป็นอัตราการไหลของน้ำในปีน้ำ 2547 ด้วย

4.1.5 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น (starting parameter)

แบบจำลองนี้เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณ 5 พารามิเตอร์ คือ n ทางน้ำหลัก, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย, สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว และ สัมประสิทธิ์ฝายถ้ำออก ซึ่งค่าทดสอบที่ใช้ในการเริ่มต้นการคำนวณได้มาจากการสุ่มค่าในช่วงของพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ (ดูตารางที่ 4.1)

พารามิเตอร์ n คือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning's roughness coefficient) เนื่องจากเป็นทางน้ำธรรมชาติกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานการไหลอยู่ในช่วง 0.025 ถึง 0.033 สำหรับทางน้ำหลัก และ 0.02 ถึง 0.2 สำหรับที่ราบน้ำท่วมถึง (Chow, 1959)

พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ของฝาย คือค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำขณะผ่านฝายมีค่าอยู่ในช่วง 2.46 ถึง 4 (Brunner, 2002)

ตารางที่ 4.1 ช่วงของค่าพารามิเตอร์และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้นในแบบจำลอง

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้เป็นค่าเริ่มต้น
1.	n ทางน้ำหลัก	0.025	0.033	0.03
2.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา	0.020	0.200	0.03
3.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย	0.020	0.200	0.03
4.	สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว	2.460	4.000	3.00
5.	สัมประสิทธิ์ฝายถ้ำออก	2.460	4.000	3.00

4.2 การทดสอบการตอบสนองของพารามิเตอร์

การทดสอบการตอบสนองของพารามิเตอร์ (parameter sensitivity) เป็นการเรียงลำดับของพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อการคำนวณของแบบจำลอง จากมากที่สุดไปน้อยที่สุดของพารามิเตอร์ทั้ง 5 พารามิเตอร์ โดยใช้ข้อมูลน้ำในปีน้ำ 2547 ในการทดสอบการตอบสนองของพารามิเตอร์ เพื่อนำลำดับของพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้เป็นลำดับในการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) โดยใช้วิธีการ perturbation method ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการ (4.1)

$$\text{Parameter sensitivity} \left(\frac{\Delta y'}{\Delta b} \right) = \frac{y'(b+\Delta b) - y'(b)}{(b+\Delta b) - (b)} \quad (4.1)$$

โดย ค่า $\frac{\Delta y'}{\Delta b}$ คือ ค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์

ค่า $b, \Delta b$ คือ ค่าของพารามิเตอร์

ค่า $y'(b+\Delta b), y'(b)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง (SSE) ที่ได้จากการใช้ค่าพารามิเตอร์นั้น ๆ

เมื่อมีการปรับค่าของพารามิเตอร์ ที่ละพารามิเตอร์ในแบบจำลองไป Δb จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง $y'(b+\Delta b)$ เปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งถ้าพารามิเตอร์ใดให้ค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์สูงสุด แสดงว่าพารามิเตอร์นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแบบจำลองมาก

ที่สุดด้วย หรือเป็นพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนค่าแล้วให้ค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนไปมากที่สุดนั่นเอง (Poeter & Hill, 1999)

และจากการทดสอบได้ผลลัพธ์ลำดับของพารามิเตอร์ดังนี้ n ทางน้ำหลัก, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา, สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว และ สัมประสิทธิ์ฝายถั่วออก โดยมีค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์คือ 5010.80, 1865.70, 271.33, 1.40 และ 1.35 ตามลำดับ (ดูตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ	Δb	ค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์
1.	n ทางน้ำหลัก	0.03	0.001	5010.8000
2.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย	0.03	0.001	1865.7000
3.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา	0.03	0.001	271.3300
4.	สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว	3.00	0.001	1.3968
5.	สัมประสิทธิ์ฝายถั่วออก	3.00	0.001	1.3536

4.3 การสอบเทียบแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวโดยใช้ข้อมูลน้ำในปีน้ำ 2547 เพื่อใช้ในการทำนายค่าระดับน้ำรายชั่วโมงในปีน้ำ 2548 – 2551 โดยใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันได (stepwise regression method) คือการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 พารามิเตอร์ในแบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง SSE ที่ต่ำที่สุดในแต่ละค่าพารามิเตอร์ โดยใช้ลำดับของพารามิเตอร์ในการสอบเทียบแบบจำลองจากการทดสอบการตอบสนองของพารามิเตอร์ โดยสามารถหาค่า SSE ได้จากสมการ (4.2)

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.2)$$

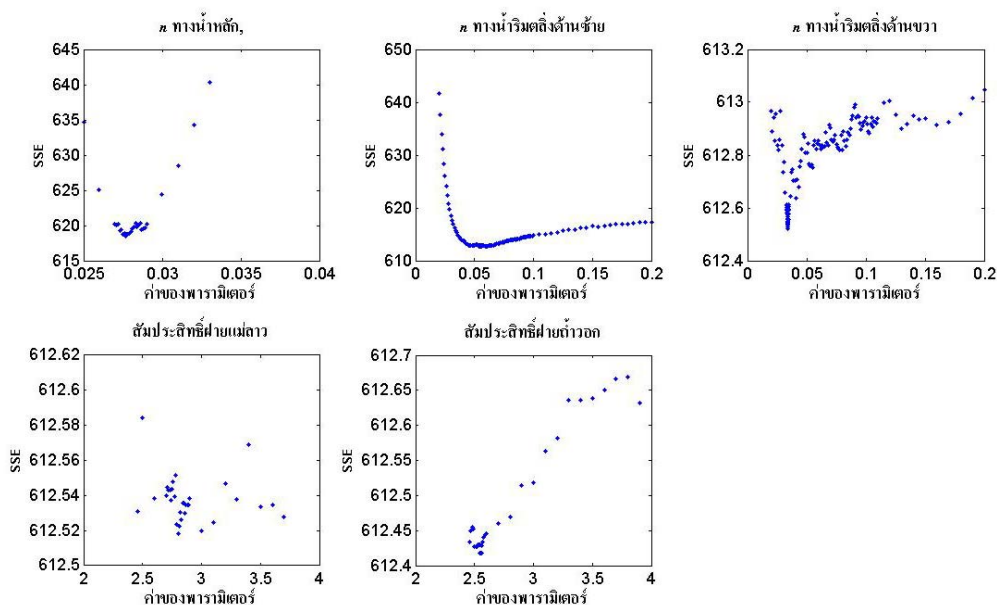
โดย ค่า y_i คือค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานี G.8 (เมตร)

ค่า $\hat{y}_i$ คือค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง ณ ตำแหน่งสถานี G.8 (เมตร)

ค่า n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลจากการสอบเทียบแบบจำลองทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว ดังภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.3 และภาพการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงจากการตรวจวัดและแบบจำลองแสดงไว้ในภาพที่ 4.8

และทำการทดสอบการตอบสนองของพารามิเตอร์อีกครั้งเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องซึ่งได้ผลลัพธ์ลำดับการตอบสนองของพารามิเตอร์เหมือนกันกับการทดสอบครั้งแรก (ดูตารางที่ 4.4)

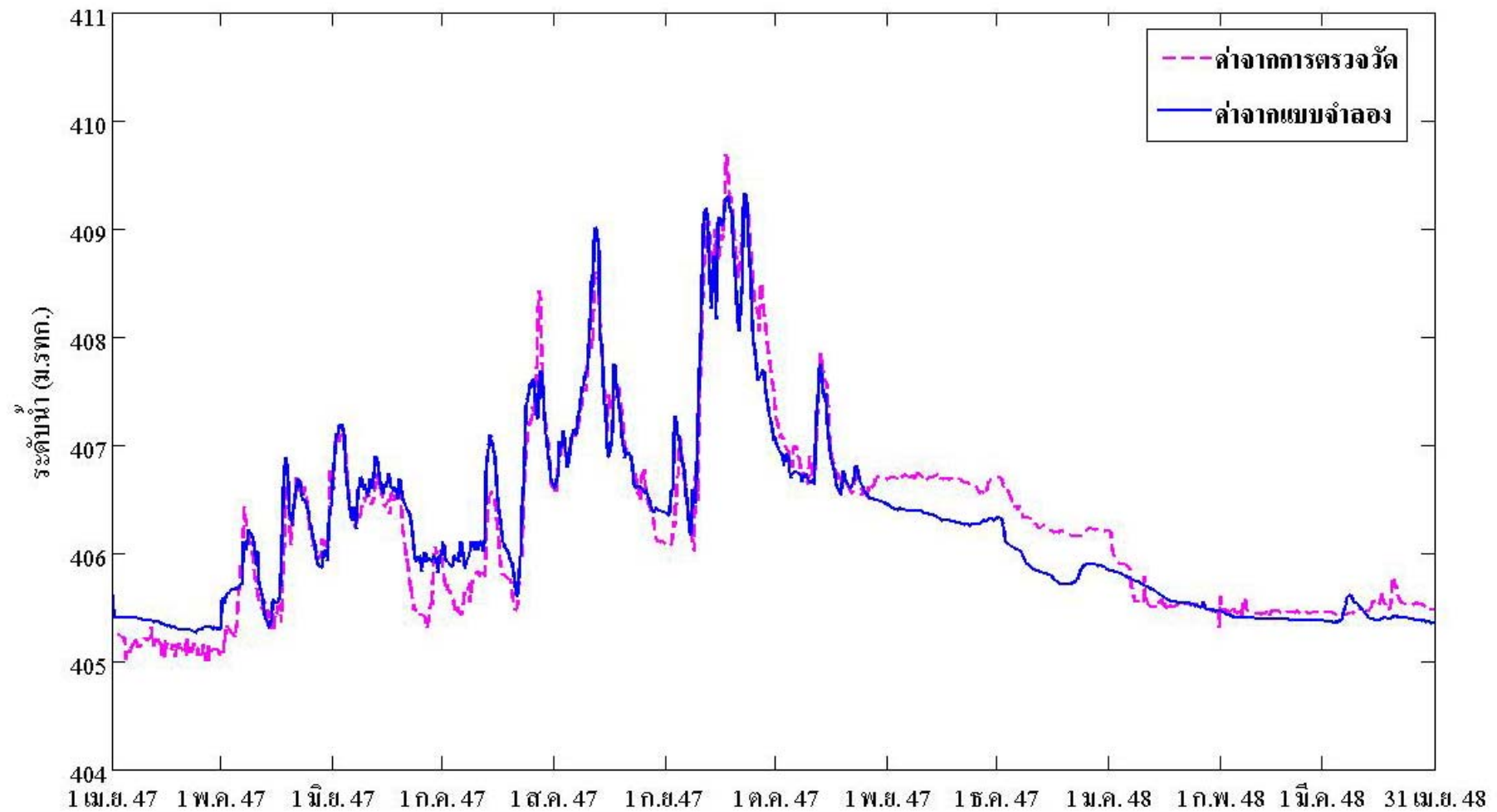


ภาพที่ 4.7 การหาค่า SSE ที่ต่ำที่สุดของแบบจำลองในแต่ละค่าของพารามิเตอร์

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ค่าของพารามิเตอร์	SSE (เมตร ²)
1.	n ทางน้ำหลัก	0.02770	618.540
2.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย	0.05500	612.735
3.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา	0.03389	612.520
4.	สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว	2.80000	612.518
5.	สัมประสิทธิ์ฝายถ้ำออก	2.55000	612.418





ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2547

ตารางที่ 4.4 ค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์หลังจากการสอบเทียบแบบจำลอง

ลำดับที่	พารามิเตอร์	Δb	ค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์ หลังการสอบเทียบแบบจำลอง
1.	n ทางน้ำหลัก	0.001	16531.0000
2.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย	0.001	134.2500
3.	n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา	0.001	46.7000
4.	สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว	0.001	1.5217
5.	สัมประสิทธิ์ฝายถ้ำออก	0.001	0.7800

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (model verification) คือการใช้แบบจำลองทำนายค่าระดับน้ำรายชั่วโมง โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการนำค่าระดับน้ำที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานี G.8 ในปีน้ำ 2548 – 2551 โดยการหาค่า RMSE (Root Mean Squared Error) ซึ่งสามารถวัดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล 2 ชุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง ∞ โดยค่า RMSE = 0 หมายความว่า ข้อมูล 2 ชุดไม่มีความคลาดเคลื่อนจากกัน (เป็นข้อมูลชุดเดียวกัน) และ ค่า RMSE ที่เพิ่มมากขึ้น หมายความว่า ข้อมูล 2 ชุด มีความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าที่สูงที่สุดคือ ∞ โดยสามารถหาค่า RMSE ได้จากสมการ (4.3)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (4.3)$$

โดย ค่า y_i คือค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด ณ ตำแหน่งสถานี G.8 (เมตร)

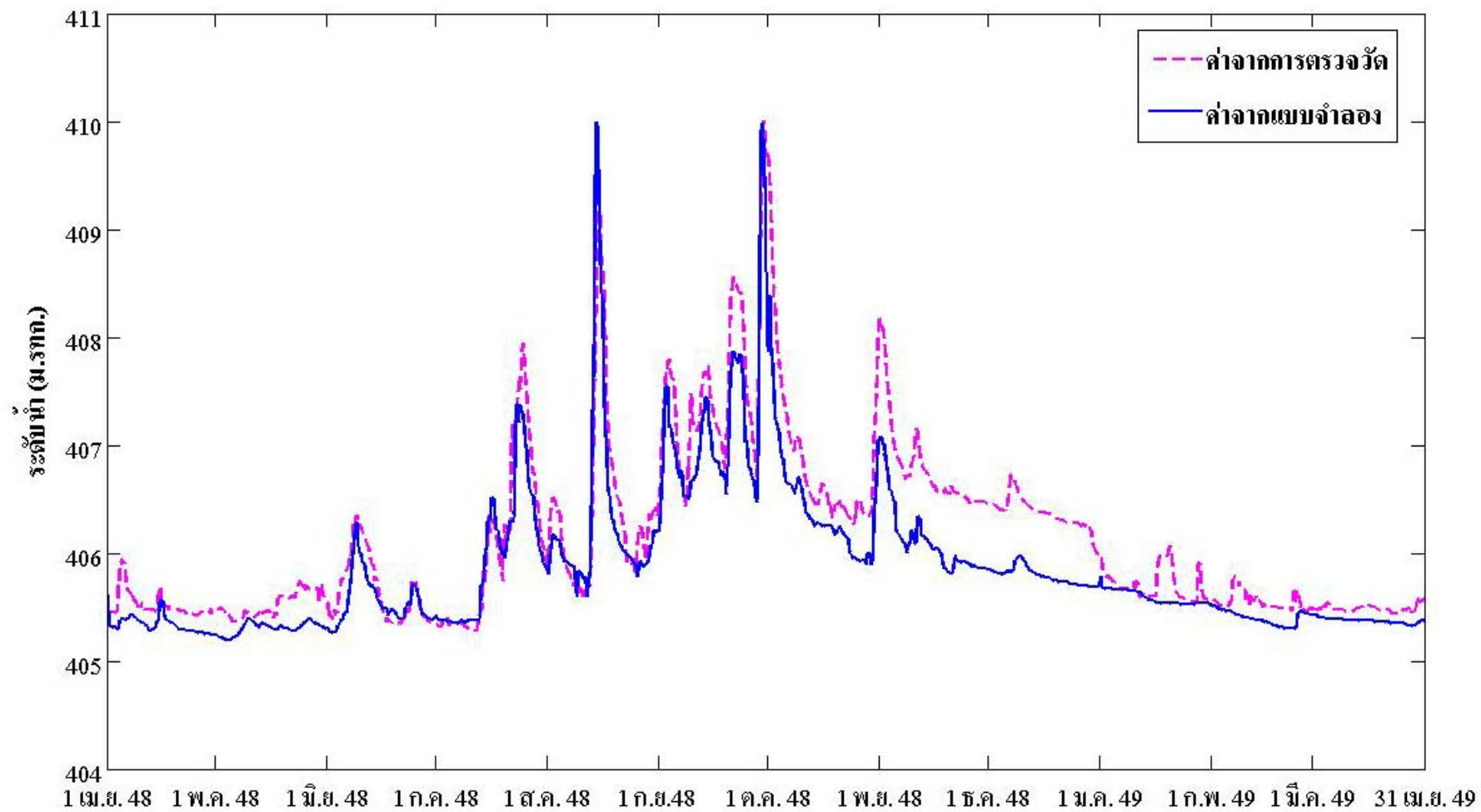
ค่า $\hat{y}_i$ คือค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง ณ ตำแหน่งสถานี G.8 (เมตร)

ค่า n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

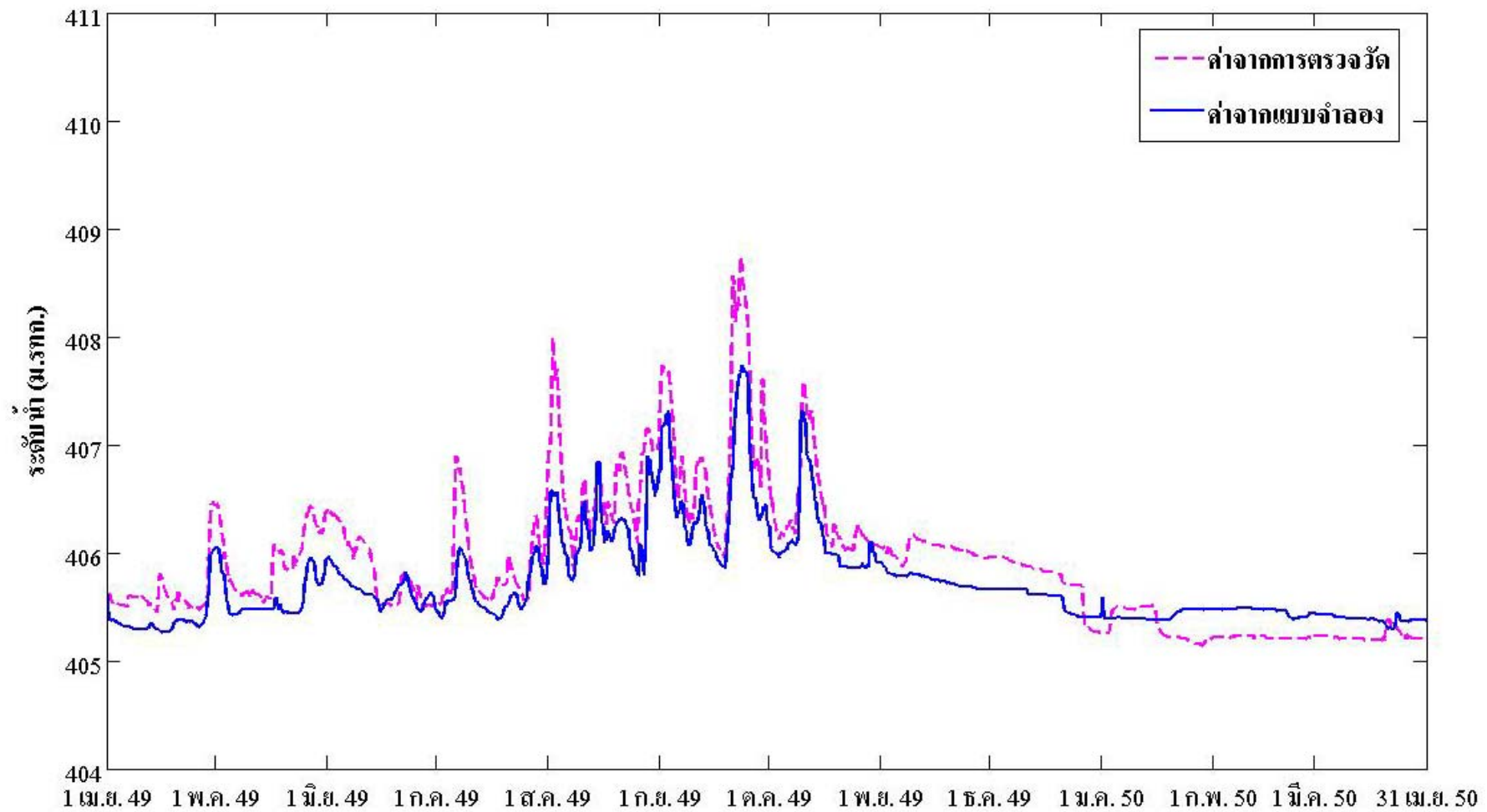
โดยผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ณ ตำแหน่งทำynnน้ำ (สถานี G.8) แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.9 – 4.12

ตารางที่ 4.5 ค่า RMSE ที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ณ ตำแหน่งทำynnน้ำ (สถานี G.8) ในปีน้ำ 2548 – 2551

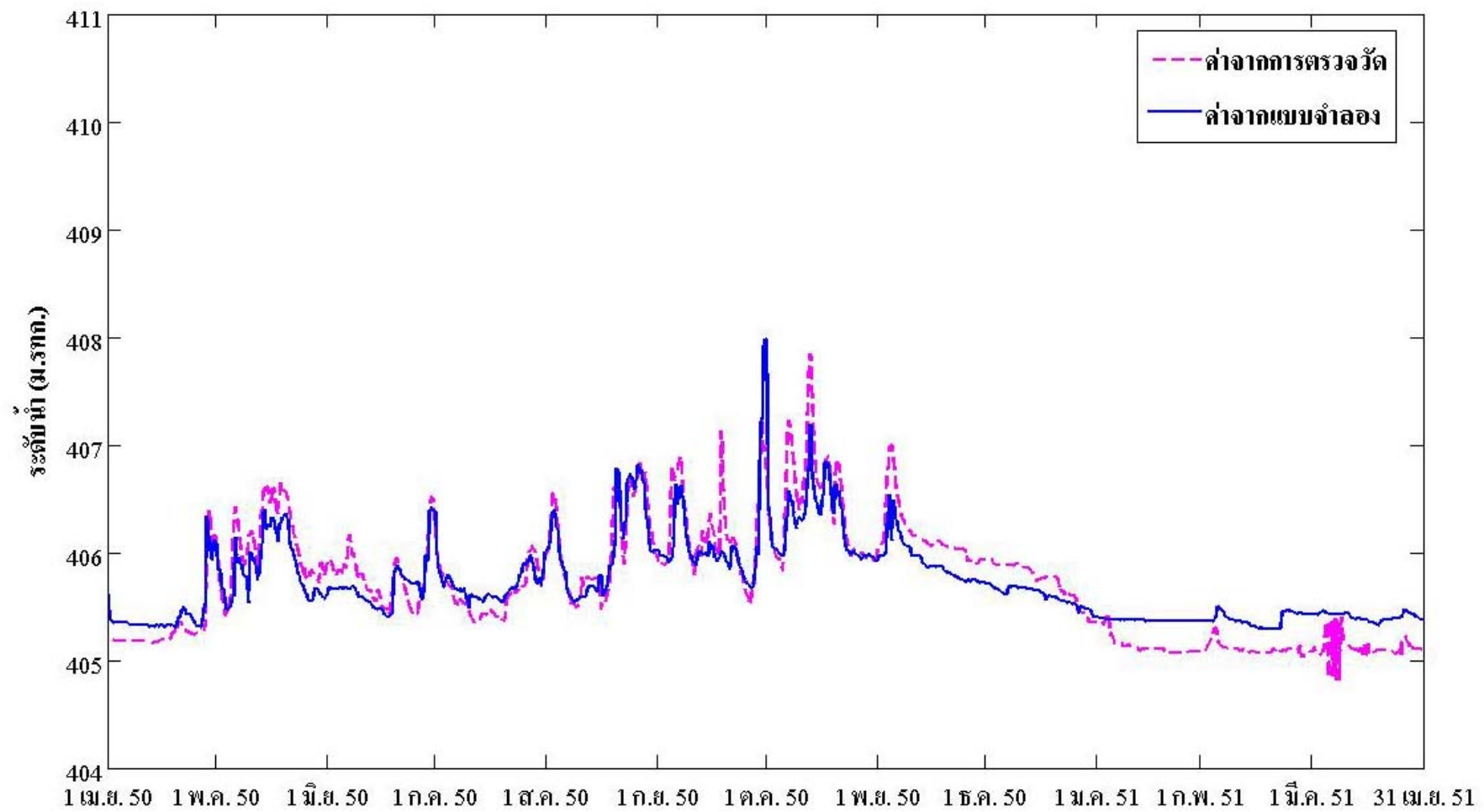
ปีน้ำ	จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ (n)	SSE (เมตร ²)	RMSE (เมตร)
2548	8,760	1,263.928	0.380
2549	8,760	934.297	0.327
2550	8,784	469.667	0.231
2551	8,760	687.581	0.280



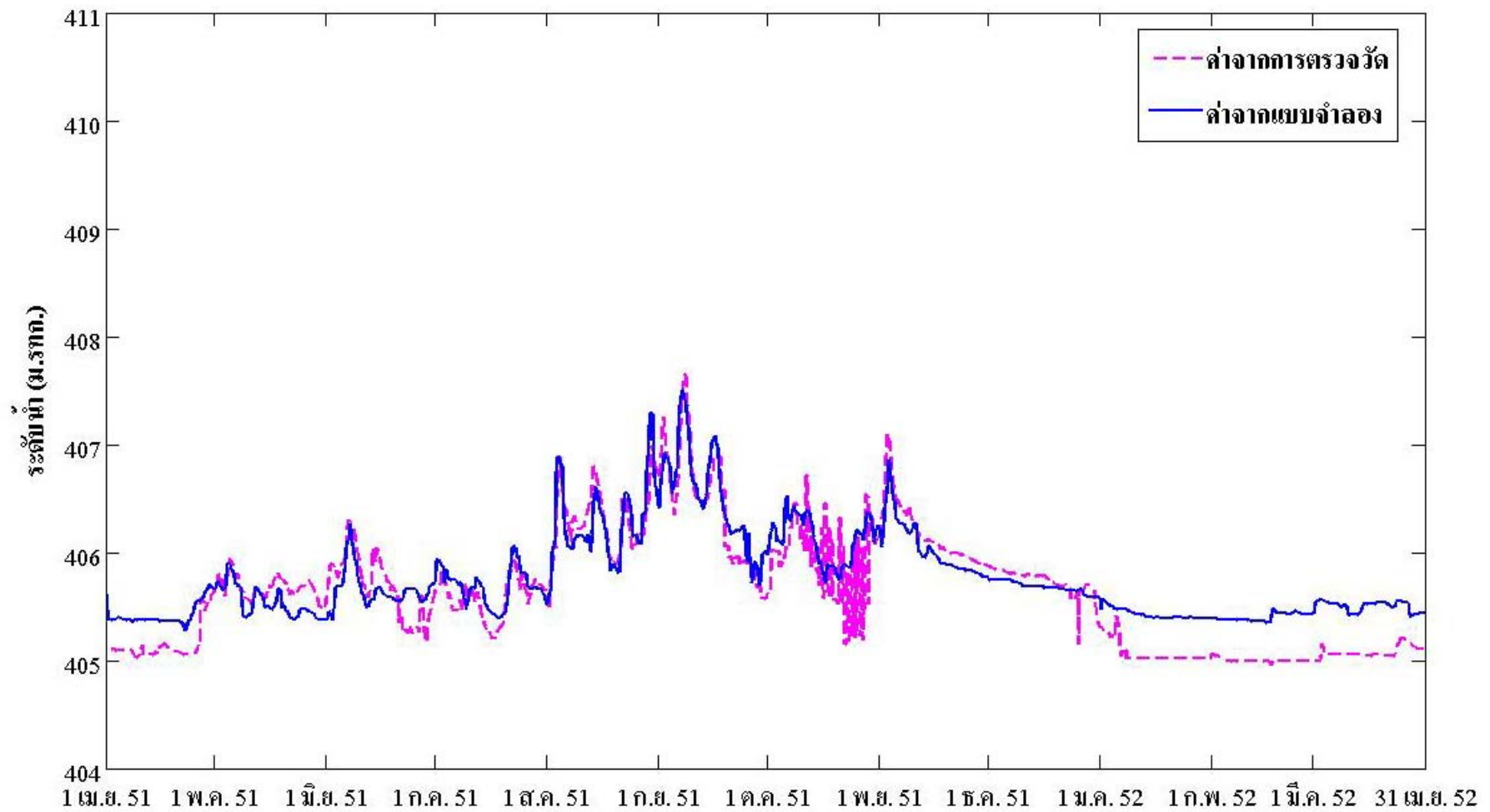
ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2548



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2549



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2550



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ได้จากการตรวจวัด (observed) และจากแบบจำลอง (simulated) ณ ตำแหน่ง สถานี G.8 ปีน้ำ 2551

4.5 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว แสดงให้เห็นถึงระดับน้ำในแต่ละหน้าตัดตั้งแต่ปีน้ำ 2547 – 2551 และระดับน้ำสูงสุดในแต่ละปีเมื่อเทียบกับระดับตลิ่ง แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำเอ่อล้นตลิ่งเกิดขึ้นในทุก ๆ ปีน้ำ แม้ว่าที่สถานี G.10 (หน้าตัด 131) และ G.8 (หน้าตัด 70) จะไม่มีการเกิดน้ำเอ่อล้นตลิ่งขึ้น (ดูตารางที่ 4.6 และตารางที่ ก1 – ก4 ในภาคผนวก)

ตารางที่ 4.6 ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ณ ตำแหน่งหน้าตัดที่ทำการคำนวณ รวมถึงตำแหน่ง และวันเวลาที่เกิดน้ำท่วม ปีน้ำ 2547

หน้าตัด	ระดับตลิ่ง ซ้าย (ม.รทก.)	ระดับตลิ่ง ขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา
131	438.96	438.92	433.64	437.13	-	-
130	436.27	436.27	433.43	436.83	✓	✓
129	435.96	434.27	433.02	436.61	✓	✓
128	435.32	434.64	432.44	435.40	✓	✓
127	436.27	434.35	431.87	434.82	-	✓
126	434.19	434.10	431.84	434.68	✓	✓
125	433.53	433.16	431.83	434.56	✓	✓
124	433.49	433.67	431.30	433.97	✓	✓
123	432.93	432.76	430.97	433.68	✓	✓
122	432.29	431.87	430.36	433.22	✓	✓
121	431.60	432.02	429.19	432.84	✓	✓
120	430.99	431.18	428.93	432.33	✓	✓
119	430.40	430.72	428.57	431.78	✓	✓
118	429.46	430.12	428.45	431.13	✓	✓
117	430.44	429.91	427.98	430.71	✓	✓
116	429.42	429.93	427.63	430.50	✓	✓

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับตลิ่ง ซ้าย (ม.รทก.)	ระดับตลิ่ง ขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา
115	429.26	429.53	427.61	429.61	✓	✓
114	431.44	431.60	427.60	429.20	-	-
113	427.43	427.50	424.83	428.84	✓	✓
112	426.66	426.98	424.49	427.51	✓	✓
111	427.60	427.89	424.38	427.09	-	-
110	426.36	425.93	424.12	426.92	✓	✓
109	426.35	425.70	423.29	426.15	-	✓
108	424.55	425.30	422.69	425.63	✓	✓
107	424.31	424.50	422.30	425.19	✓	✓
106	423.48	423.48	421.74	424.82	✓	✓
105	423.66	425.19	421.14	423.97	✓	-
104	423.26	421.98	420.63	423.56	✓	✓
103	422.16	421.94	420.22	423.16	✓	✓
102	423.78	421.65	419.51	422.83	-	✓
101	422.03	423.51	418.85	422.33	✓	-
100	423.06	421.11	418.49	421.37	-	✓
99	421.31	420.91	418.04	421.11	-	✓
98	420.51	418.99	416.89	420.77	✓	✓
97	419.76	418.79	415.97	420.64	✓	✓
96	420.00	416.41	415.69	420.37	✓	✓
95	419.20	419.76	415.35	419.85	✓	✓
94	419.09	418.98	415.31	419.80	✓	✓
93	418.55	418.68	415.31	419.69	✓	✓
92	418.47	418.37	415.10	419.19	✓	✓
91	417.51	417.73	414.55	418.78	✓	✓

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

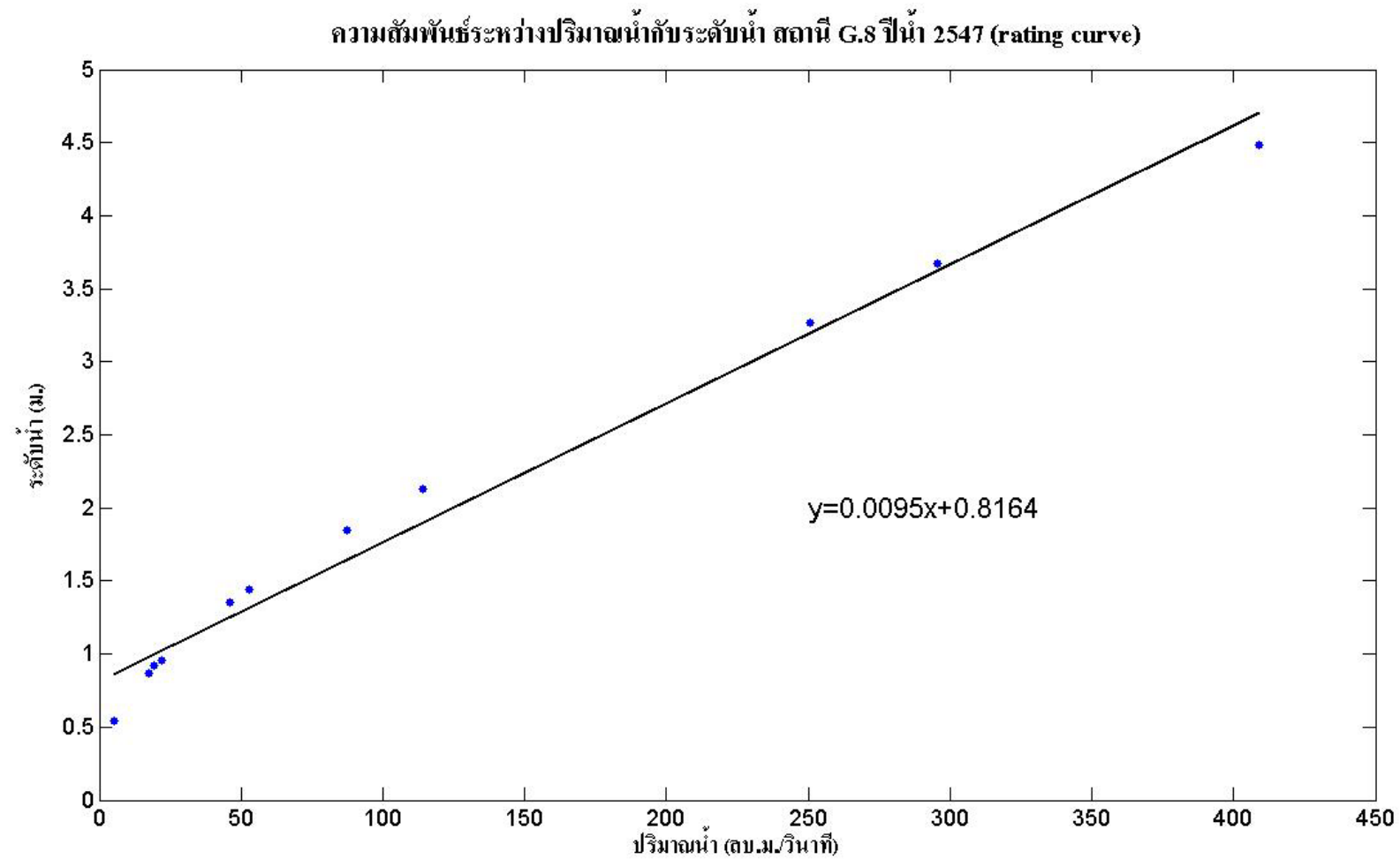
หน้าตัด	ระดับตลิ่ง ซ้าย (ม.รทก.)	ระดับตลิ่ง ขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา
90	417.33	417.47	414.47	418.50	✓	✓
89	416.86	417.12	414.06	418.22	✓	✓
88	416.61	417.18	413.78	417.74	✓	✓
87	416.05	416.22	413.58	417.33	✓	✓
86	416.49	415.40	413.52	417.08	✓	✓
85	414.27	415.36	413.39	416.78	✓	✓
84	415.24	414.76	413.29	416.12	✓	✓
83	414.88	414.63	413.25	415.33	✓	✓
82	416.73	414.50	413.25	414.75	-	✓
81	412.81	414.50	410.63	414.00	✓	-
80	414.07	413.48	409.94	413.73	-	✓
79	413.92	412.95	409.40	413.18	-	✓
78	412.09	413.18	409.33	412.72	✓	-
77	412.52	412.23	409.24	412.26	-	✓
76	410.18	411.26	408.59	411.57	✓	✓
75	410.87	410.35	408.23	411.18	✓	✓
74	410.37	410.13	407.78	410.49	✓	✓
73	409.13	411.42	407.39	410.11	✓	-
72	409.61	411.83	407.10	409.87	✓	-
71	408.42	410.12	406.16	409.65	✓	-
70	410.59	410.59	405.28	409.22	-	-

4.6 วิจัยรณัผลการทดลอง

การใช้ค่า RMSE ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้น เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย (Remo & Pinter, 2007; Trigg et al., 2009) และผลจากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าในทุก ๆ ปีน้ำได้ค่า RMSE ที่น้อยกว่า 1 ซึ่งถือว่าแบบจำลองมีความถูกต้องที่ค่อนข้างสูง

ในช่วงฤดูฝนหรือช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ผลจากการคำนวณค่าระดับน้ำรายชั่วโมงเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีความใกล้เคียงกันสูง แต่ในช่วงหน้าแล้งหรือช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม พบว่าผลจากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดในทุก ๆ ปีน้ำ (ดูภาพที่ 4.8 - 4.12) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณน้ำท่าได้ดิน (base flow) ที่ไหลเข้ามาเดิมในช่วงเวลานี้ ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ไม่ได้นำผลจากการไหลของน้ำเข้ามาเดิมจากภายนอกกระบวนการในการคำนวณ แต่จะคำนวณค่าระดับน้ำจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าทางต้นน้ำเท่านั้น จึงทำการแยกปริมาณน้ำจากน้ำท่าได้ดินออกจากปริมาณน้ำที่ได้จากการตรวจวัดและปริมาณน้ำที่ได้จากแบบจำลองด้วยวิธีการ base flow separation (Arnold, Allen, Muttiah, & Bernhardt, 1995 และ Arnold & Allen, 1999) และนำปริมาณน้ำที่แยกการไหลจากใต้ผิวดินทั้งจากปริมาณน้ำที่ได้จากการตรวจวัด และแบบจำลองไปหาค่าระดับน้ำโดยใช้ความสัมพันธ์ของระดับน้ำและปริมาณน้ำ ในปีน้ำ 2547 (rating curve, ดูภาพที่ 4.13) และนำมาเปรียบเทียบกับอีกครั้ง (ดูตารางที่ 4.7 ภาพที่ ง1-ง4 และตารางที่ ง1 - ง4 ในภาคผนวก) พบว่าค่าระดับน้ำที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ ปีน้ำ จึงสามารถสรุปได้ว่าสาเหตุที่ค่าระดับน้ำจากการตรวจวัดมีค่าสูงกว่าค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม เป็นผลจากการไหลเข้ามาเดิมของน้ำท่าได้ดิน (base flow) นั้นเอง

ในการคำนวณค่าระดับน้ำรายชั่วโมงในปีน้ำ 2547 - 2551 เมื่อนำค่าระดับน้ำสูงสุดในแต่ละปีมาเทียบกับระดับของตลิ่งพบว่าในบางหน้าตัดมีการเกิดน้ำท่วมจากการเอ่อล้นตลิ่งขึ้น ซึ่งการคำนวณในส่วนนี้ไม่สามารถหาค่าระดับน้ำจากการตรวจวัดมาเปรียบเทียบได้เนื่องจากมีสถานีวัดน้ำเพียง 2 สถานี และถ้ามีการเพิ่มสถานีตรวจวัดน้ำในจุดที่มีความเสี่ยงน่าจะเพิ่มความสามารถในการเตือนภัยของแม่น้ำแม่ลาวให้มากขึ้นได้



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับน้ำ สถานี G.8 ปีน้ำ 2547 (rating curve)

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมน้ำทำได้ดินซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลอง ในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัด มีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2547

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (เมตร)
27 ต.ค. 47	8.584	11.579	0.898	0.926
28 ต.ค. 47	11.122	11.238	0.922	0.923
29 ต.ค. 47	17.371	11.264	0.981	0.923
30 ต.ค. 47	15.873	11.314	0.967	0.924
31 ต.ค. 47	14.838	10.670	0.957	0.918
1 พ.ย. 47	14.281	9.840	0.952	0.910
2 พ.ย. 47	15.657	8.171	0.965	0.894
3 พ.ย. 47	14.343	7.679	0.953	0.889
4 พ.ย. 47	12.657	8.872	0.937	0.901
5 พ.ย. 47	15.520	8.924	0.964	0.901
6 พ.ย. 47	15.612	8.815	0.965	0.900
7 พ.ย. 47	14.206	9.405	0.951	0.906
8 พ.ย. 47	14.901	10.157	0.958	0.913

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
9 พ.ย. 47	16.910	10.981	0.977	0.921
10 พ.ย. 47	15.063	11.871	0.959	0.929
11 พ.ย. 47	11.641	10.638	0.927	0.917
12 พ.ย. 47	13.570	11.106	0.945	0.922
13 พ.ย. 47	14.943	11.215	0.958	0.923
14 พ.ย. 47	17.946	11.407	0.987	0.925
15 พ.ย. 47	15.302	10.261	0.962	0.914
16 พ.ย. 47	16.223	9.417	0.971	0.906
17 พ.ย. 47	17.549	9.921	0.983	0.911
18 พ.ย. 47	18.982	10.704	0.997	0.918
19 พ.ย. 47	20.531	10.917	1.011	0.920
20 พ.ย. 47	21.809	11.042	1.024	0.921
21 พ.ย. 47	21.223	11.157	1.018	0.922
22 พ.ย. 47	21.073	11.281	1.017	0.924

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
23 พ.ย. 47	21.914	12.082	1.025	0.931
24 พ.ย. 47	22.368	13.051	1.029	0.940
25 พ.ย. 47	22.538	14.109	1.031	0.950
26 พ.ย. 47	17.931	15.253	0.987	0.961
27 พ.ย. 47	20.483	18.974	1.011	0.997
28 พ.ย. 47	23.730	20.155	1.042	1.008
29 พ.ย. 47	36.039	23.443	1.159	1.039
30 พ.ย. 47	40.573	24.740	1.202	1.051
1 ธ.ค. 47	41.971	28.340	1.215	1.086
2 ธ.ค. 47	41.867	29.960	1.214	1.101
3 ธ.ค. 47	34.723	17.943	1.146	0.987
4 ธ.ค. 47	35.302	15.006	1.152	0.959
5 ธ.ค. 47	26.663	14.267	1.070	0.952
6 ธ.ค. 47	25.813	14.008	1.062	0.949

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
7 ธ.ค. 47	27.495	13.802	1.078	0.948
8 ธ.ค. 47	20.004	12.497	1.006	0.935
9 ธ.ค. 47	20.804	8.692	1.014	0.899
10 ธ.ค. 47	20.437	7.368	1.011	0.886
11 ธ.ค. 47	16.709	5.988	0.975	0.873
12 ธ.ค. 47	16.558	5.537	0.974	0.869
13 ธ.ค. 47	16.394	5.268	0.972	0.866
14 ธ.ค. 47	19.349	5.029	1.000	0.864
16 ธ.ค. 47	17.012	3.908	0.978	0.854
17 ธ.ค. 47	17.205	2.321	0.980	0.838
18 ธ.ค. 47	18.951	0.844	0.996	0.824
19 ธ.ค. 47	20.901	0.153	1.015	0.818
20 ธ.ค. 47	20.329	0.019	1.010	0.817
21 ธ.ค. 47	20.745	0.000	1.013	0.816

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
22 ธ.ค. 47	21.789	0.769	1.023	0.824
23 ธ.ค. 47	23.555	1.743	1.040	0.833
24 ธ.ค. 47	25.465	6.486	1.058	0.878
25 ธ.ค. 47	29.023	9.272	1.092	0.904
26 ธ.ค. 47	36.360	10.804	1.162	0.919
27 ธ.ค. 47	38.954	11.086	1.186	0.922
28 ธ.ค. 47	40.204	10.767	1.198	0.919
29 ธ.ค. 47	43.147	10.422	1.226	0.915
30 ธ.ค. 47	46.222	10.651	1.256	0.918
31 ธ.ค. 47	48.786	9.993	1.280	0.911
1 ม.ค. 48	48.637	9.186	1.278	0.904
2 ม.ค. 48	33.093	9.436	1.131	0.906
3 ม.ค. 48	29.706	9.464	1.099	0.906
4 ม.ค. 48	28.829	9.478	1.090	0.906

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
5 ม.ค. 48	30.527	8.990	1.106	0.902
6 ม.ค. 48	29.945	8.887	1.101	0.901
เฉลี่ย	23.414	10.483	1.039	0.916

บทที่ 5

แบบจำลองน้ำท่วมกรณีศึกษาแม่น้ำแม่ลาว

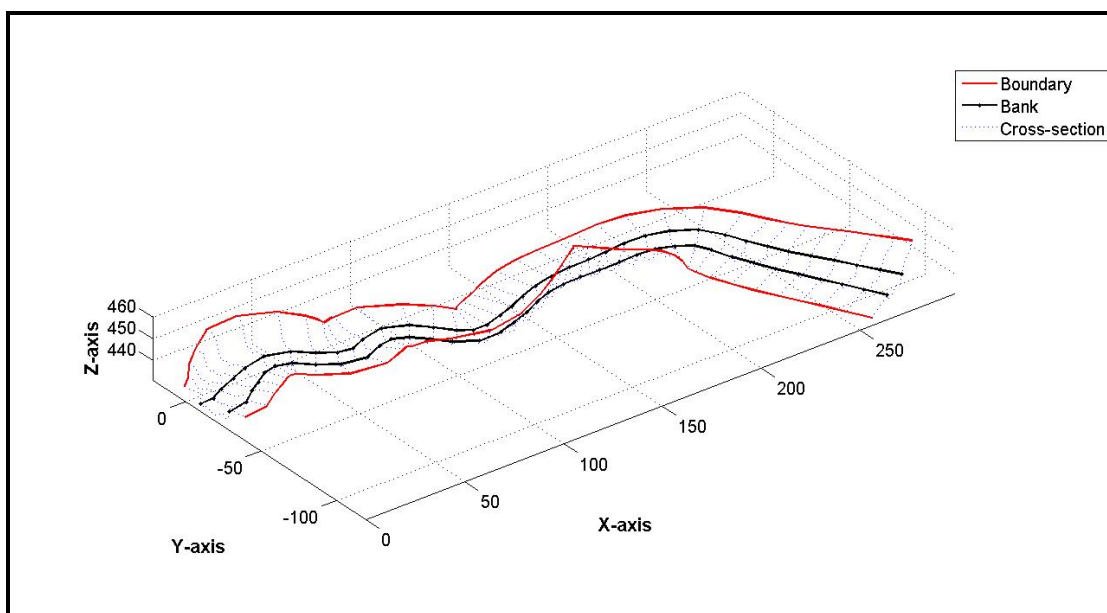
การดำเนินการศึกษาการจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึง (floodplain) ของแม่น้ำแม่ลาว ใน 3 มิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองน้ำท่วมใน 3 มิติ สำหรับแสดงขอบเขตของน้ำที่ได้จากการคำนวณในบทที่ 4 ซึ่งเป็นการคำนวณใน 1 มิติที่ไม่สามารถแสดงขอบเขตของน้ำท่วมที่ชัดเจนได้ โดยแบ่งการศึกษออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ การสร้างแบบจำลอง และผลการทดลอง

5.1 การสร้างแบบจำลอง

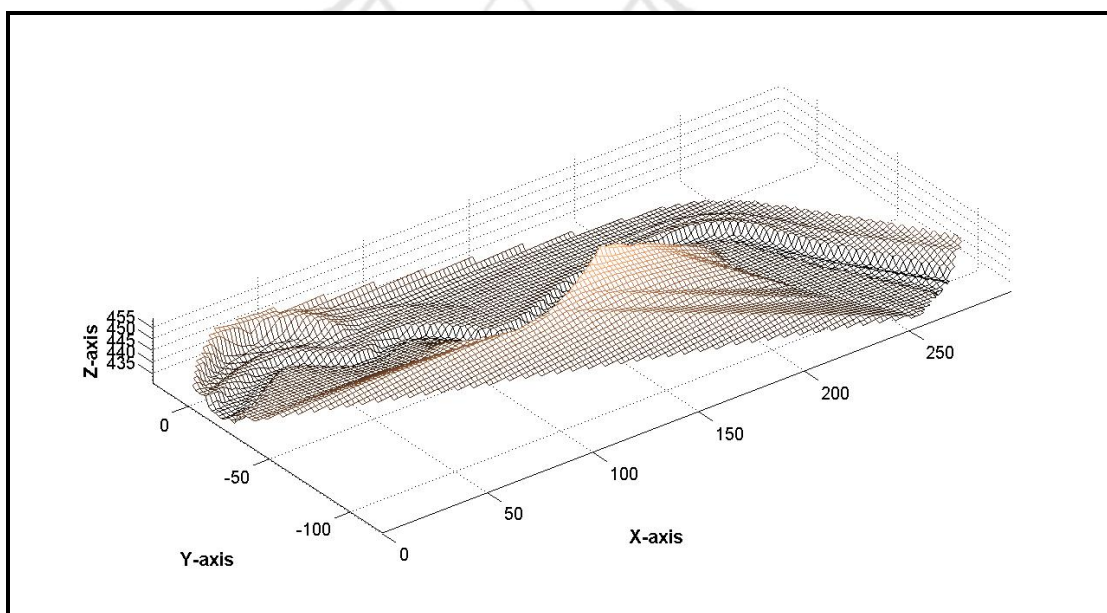
การสร้างแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาว เพื่อแสดงขอบเขตของระดับน้ำบนที่ราบน้ำท่วมถึง ณ ตำแหน่งและเวลาใด ๆ มีรายละเอียดขั้นตอนการสร้างแบบจำลองดังต่อไปนี้

5.1.1 การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ของแม่น้ำแม่ลาว

แบบจำลองเชิงพื้นที่ของแม่น้ำแม่ลาวใน 3 มิติ (3-dimensional terrain model of Maelao river) สร้างขึ้นจากการนำข้อมูลภาพตัดตามขวางจากแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว ด้วยซอฟต์แวร์ HEC-RAS มากำหนดจุดลงในระนาบ 3 มิติ ด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB (รูปภาพที่ 5.1) และสร้างพื้นผิวเชื่อมต่อกันระหว่างภาพตัดขวางของลำน้ำที่ละภาพทำให้ได้พื้นผิว 3 มิติของทางน้ำรวมถึงพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาว (รูปภาพที่ 5.2)



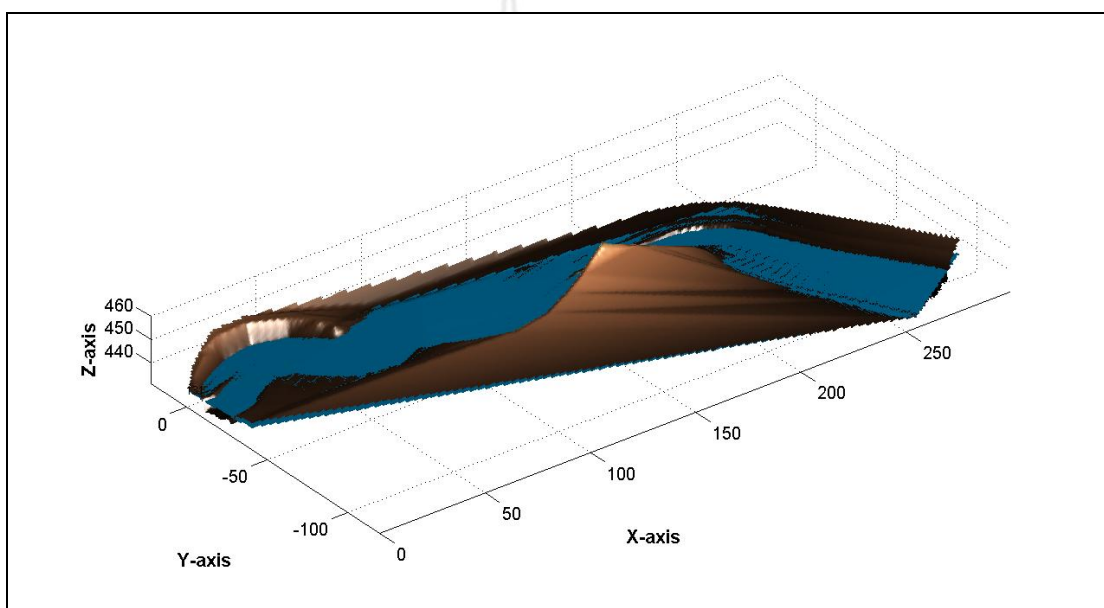
ภาพที่ 5.1 การกำหนดจุดของลำน้ำตั้งแต่หน้าตัดที่ 131 – 126 ลงบนระนาบ 3 มิติ



ภาพที่ 5.2 การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ของแม่น้ำแม่ลาวจากข้อมูลจุด

5.1.2 การสร้างขอบเขตนํ้าท่วมบนแบบจำลองเชิงพื้นที่แม่น้ำแม่ลาว

การสร้างขอบเขตของนํ้าบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ ใช้ค่าระดับนํ้าที่คำนวณได้จากแบบจำลองการไหลของนํ้าในแม่น้ำแม่ลาว ซึ่งในแต่ละจุดของทุก ๆ หน้าตัดของลำนํ้าจะมีค่าระดับนํ้าเฉลี่ยรายวันในแต่ละปีนํ้าบรรจุอยู่ในรูปของเมตริกซ์และสามารถแสดงพื้นผิวของนํ้าบนแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อแสดงขอบเขตของนํ้าจากระดับนํ้าที่คำนวณได้จากแบบจำลองการไหลของนํ้าในแม่น้ำแม่ลาว (ดูภาพที่ 5.3)



ภาพที่ 5.3 แบบจำลองพื้นผิวของแม่น้ำแม่ลาวหน้าตัดที่ 131 – 126 พร้อมกับขอบเขตของนํ้าในวันที่ 17 กันยายน 2547 (ระดับนํ้าสูงสุดปีนํ้า 2547)

เนื่องจากการจำลองที่ราบนํ้าท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาวตลอดทั้งสายพร้อมกับแสดงผลขอบเขตของระดับนํ้ารายวันในแต่ละปีนํ้า ต้องใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลขนาดใหญ่และการแสดงผลตลอดทั้งลำนํ้าต้องใช้ทรัพยากรในการแสดงผลอย่างมากและอาจไม่ชัดเจน จึงสร้างรูปแบบในการแสดงผลโดยใช้วิธีการ GUI (Graphical User Interface) ของซอฟต์แวร์ MATLAB ทำการแสดงผลของที่ราบนํ้าท่วมถึงและขอบเขตของระดับนํ้าของแม่น้ำแม่ลาวตามหมายเลขหน้าตัดที่เลือก เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการแสดงผลของแบบจำลอง

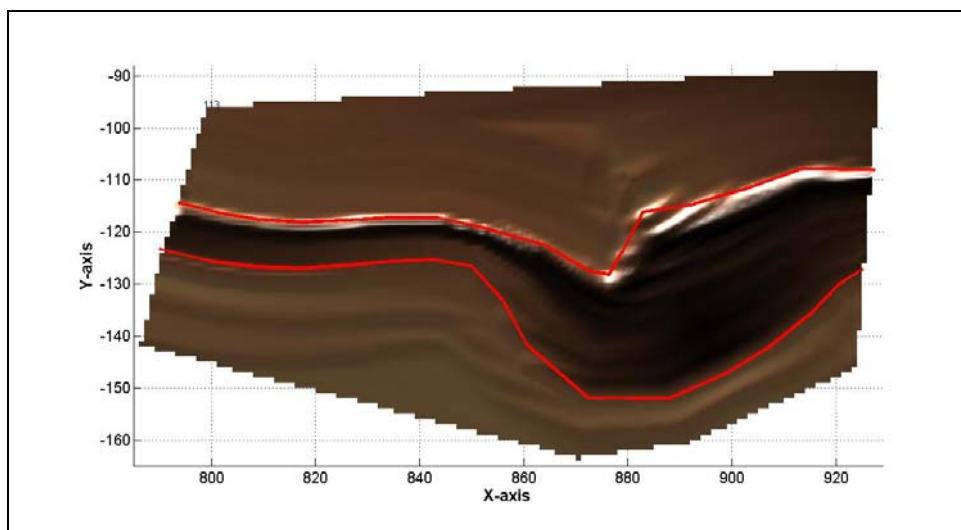
5.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้ได้แบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาวใน 3 มิติที่ใช้วิธีการ GUI (Graphical User Interface) ของซอฟต์แวร์ MATLAB ทำให้สามารถแสดงภาพแบบจำลองเชิงพื้นที่ของลำน้ำ (terrain model) และขอบเขตของน้ำลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ของน้ำได้ทันที และสามารถแบ่งช่วงในการแสดงผลได้ตามหน้าตัดของลำน้ำอีกด้วย (ดูภาพที่ 5.4)

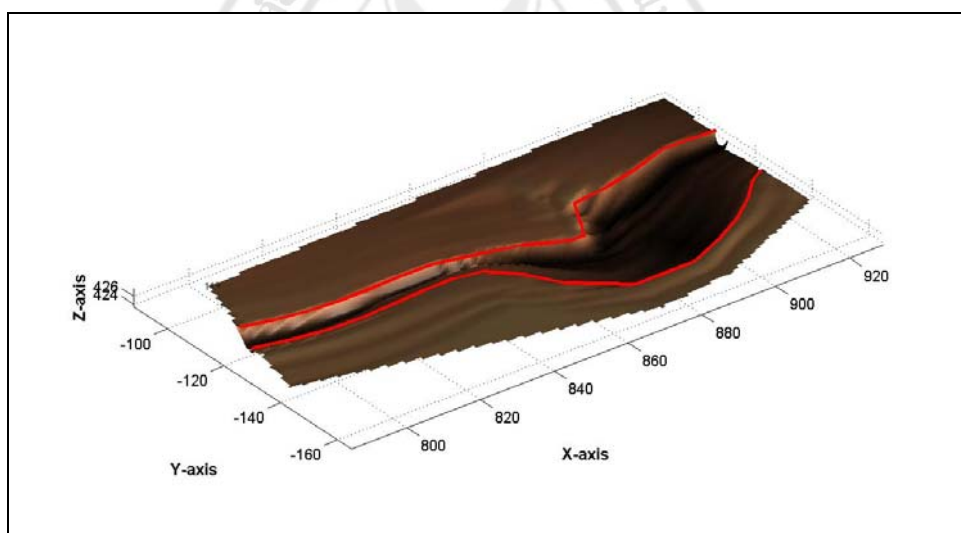


ภาพที่ 5.4 หน้าแรกของโปรแกรมการแสดงผลของแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาวใน 3 มิติ

แบบจำลองเชิงพื้นที่ที่สามารถแสดงได้ทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (ดูภาพที่ 5.5 – 5.6)

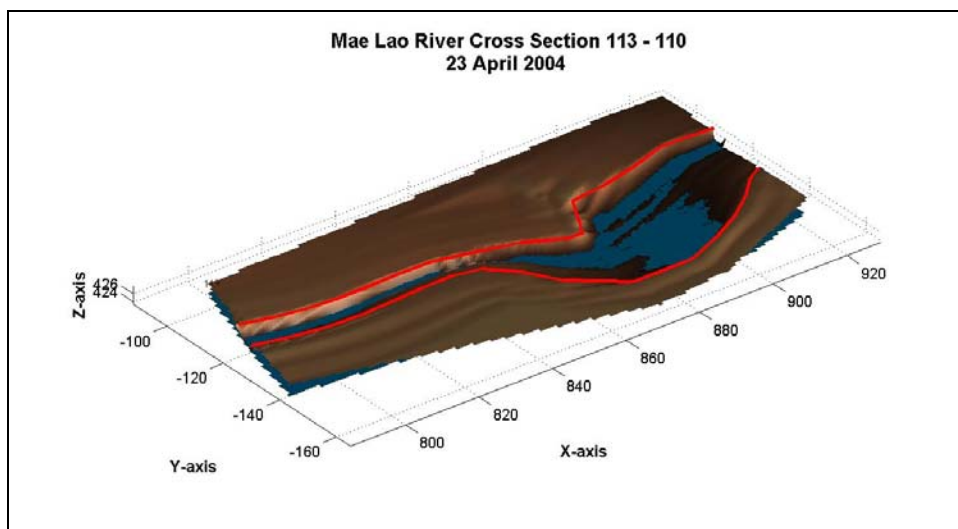


ภาพที่ 5.5 แบบจำลองเชิงพื้นที่ระหว่างหน้าตัดที่ 113 – 110 ใน 2 มิติ โดยเส้นสีแดงคือแนวของระดับตลิ่งของแม่น้ำแม่ลาว

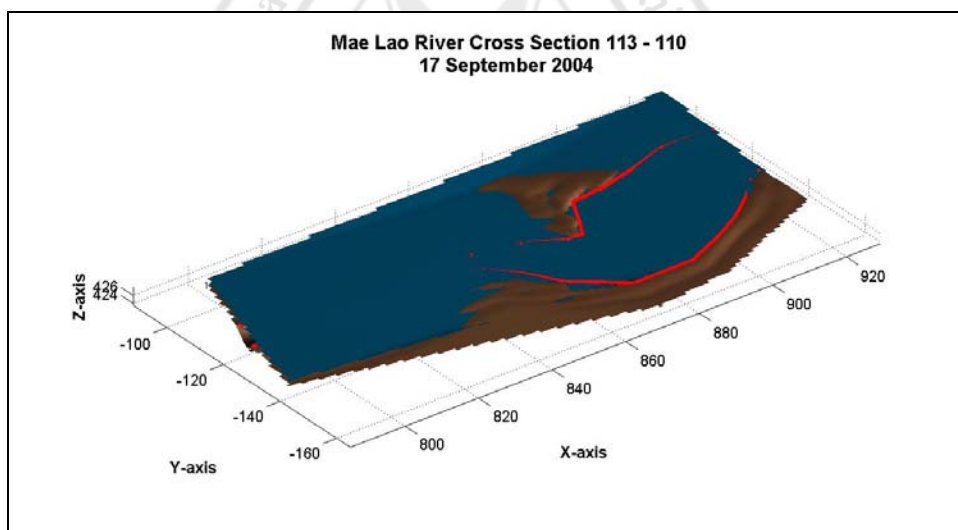


ภาพที่ 5.6 แบบจำลองเชิงพื้นที่ระหว่างหน้าตัดที่ 113 – 110 ใน 3 มิติ โดยเส้นสีแดงคือแนวของระดับตลิ่งของแม่น้ำแม่ลาว

การซ้อนทับขอบเขตของน้ำลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ใน 3 มิติ (ดูภาพที่ 5.7 - 5.8)



ภาพที่ 5.7 ขอบเขตของน้ำบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ในวันที่ 23 เมษายน 2547 (ระดับน้ำต่ำสุดปี
น้ำ 2547) โดยเส้นสีแดงคือแนวของระดับลิ่งของแม่น้ำแม่ลาว



ภาพที่ 5.8 ขอบเขตของน้ำท่วมบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ในวันที่ 17 กันยายน 2547 (ระดับน้ำ
สูงสุดปีน้ำ 2547) โดยเส้นสีแดงคือแนวของระดับลิ่งของแม่น้ำแม่ลาว

5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

แบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึง กรณีศึกษาแม่น้ำแม่ลาวนี้ สร้างขึ้นจากข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำแม่ลาว และข้อมูลค่าระดับน้ำ ณ ตำแหน่งหน้าตัดตามขวางในปีน้ำ 2547 – 2551 ซึ่งข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำแม่ลาวมีพื้นฐานมาจากแผนที่การสำรวจแม่น้ำแม่ลาวในปี 2549 และข้อมูลค่าระดับน้ำ ณ ตำแหน่งหน้าตัดตามขวางในปีน้ำ 2547 – 2551 ได้มาจากการคำนวณของแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวด้วยซอฟต์แวร์ HEC-RAS โดยการนำข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำแม่ลาวทั้ง 62 หน้าตัด (ตั้งแต่ สถานี G.10 ถึง สถานี G.8) มาทำการสร้างเป็นแบบจำลองเชิงพื้นที่ โดยการสร้างชั้นข้อมูลพื้นผิวขึ้นมาจากข้อมูลจุดของหน้าตัดตามขวางใน 3 มิติ ด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB และสร้างชั้นข้อมูลพื้นผิวของน้ำจากข้อมูลค่าระดับน้ำ ณ ตำแหน่งหน้าตัดตามขวางนั้น ๆ ซ้อนทับลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ที่สร้างขึ้น ทำให้สามารถเห็นขอบเขตของน้ำซึ่งตัดกับแบบจำลองเชิงพื้นที่ได้อย่างชัดเจน (ดูภาพที่ 5.7 และ 5.8) เพราะฉะนั้นความถูกต้องของแบบจำลองนี้ จึงขึ้นอยู่กับ การจำลองชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งมาจากแผนที่ที่ได้จากการสำรวจแม่น้ำแม่ลาวที่นำมาใช้

เพื่อความสะดวกในการแสดงผลขอบเขตของน้ำบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ภายในปีน้ำ 2547 – 2551 จึงนำรูปแบบในการแสดงผลโดยวิธีการ GUI (Graphical User Interface) ของซอฟต์แวร์ MATLAB มาประยุกต์ใช้ ทำให้สามารถเลือกขอบเขตของหน้าตัดตามขวางของแม่น้ำแม่ลาวในการแสดงผล และยังสามารถเลือกวันที่ในการแสดงผลขอบเขตของน้ำในแต่ละปีน้ำลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ได้ทันที (ดูภาพที่ 5.4)

เนื่องจากแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงนี้ สร้างขึ้นจากข้อมูลหน้าตัดตามขวางของแม่น้ำแม่ลาวซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ทางน้ำหลัก ที่ราบน้ำท่วมถึงด้านซ้าย และที่ราบน้ำท่วมถึงด้านขวา ซึ่งมีความกว้างเฉลี่ยตลอดลำน้ำเท่ากับ 62 เมตร 92 เมตร และ 96 เมตร ตามลำดับ ทำให้เกิดข้อจำกัดในการแสดงผลขอบเขตของน้ำในวันที่มีค่าระดับน้ำมากกว่าปกติ เช่น ในวันที่ 17 กันยายน 2547 ซึ่งเป็นวันที่มีค่าระดับน้ำสูงสุดในปีน้ำ 2547 (ดูภาพที่ 5.8) จะเห็นได้ว่าพื้นที่ของน้ำท่วมมีความกว้างมากจนเกินกว่าพื้นที่ของข้อมูลที่ทราบน้ำท่วมถึงที่มีอยู่ ทำให้ไม่สามารถแสดงผลขอบเขตของน้ำท่วมได้ทั้งหมด ซึ่งแนวทางการแก้ไขคือ การเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ของที่ราบน้ำท่วมถึงในแต่ละหน้าตัดให้มีความกว้างมากขึ้นกว่าเดิม หรือทำการเพิ่มข้อมูลของแบบจำลองเชิงพื้นที่ให้มีความกว้างมากขึ้น ด้วยข้อมูลจากเส้นแสดงชั้นความสูงของจังหวัดเชียงราย จนกว่าจะสามารถแสดงขอบเขตของน้ำท่วมในวันที่มีค่าระดับน้ำสูงสุดได้อย่างชัดเจน

และเนื่องจากการคำนวณค่าระดับน้ำจากแบบจำลองการไหลของแม่น้ำแม่ลาว ทำการคำนวณค่าระดับน้ำตั้งแต่สถานี G.10 ถึง สถานี G.8 รวมระยะทางทั้งสิ้นประมาณ 30 กิโลเมตร ทำให้แบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงนี้ มีขอบเขตของระยะทางเช่นเดียวกันด้วย และถ้าต้องการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงตลอดทั้งสายของแม่น้ำแม่ลาว ก็สามารถทำได้โดยการคำนวณค่าระดับน้ำของแม่น้ำแม่ลาวตลอดทั้งสายโดยเริ่มต้นการคำนวณจากสถานี G.10 ไปสิ้นสุดที่แม่น้ำแม่ลาวไหลลงแม่น้ำกก และนำข้อมูลที่คำนวณได้ มาสร้างเป็นแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาวตลอดทั้งสายได้ในอนาคต



บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาวิจัย

การสรุปผลการศึกษาวิจัยเป็นการสรุปผลของการวิจัยของแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว และแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ การสรุปผลการศึกษาของแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว และการสรุปผลการศึกษาวิจัยของแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาว

6.1 การสรุปผลการศึกษาของแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว

การจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวด้วยซอฟต์แวร์ HEC-RAS เป็นการจำลองการไหลใน 1 มิติ โดยที่ลักษณะของการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง (non-uniform flow) และเวลา (unsteady flow) ซึ่งใช้สมการเซนต์-เวแนนต์ (Saint-Venant equations) แบบ dynamic wave ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear partial differential equation) เป็นพื้นฐานในการอธิบายลักษณะการกระจายตัวของน้ำไปตามลำน้ำ โดยโครงสร้างของแบบจำลองนี้ประกอบไปด้วย (1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ของลำน้ำที่ได้มาจากการสำรวจในปี 2549 (2) ข้อมูลค่าระดับน้ำรายชั่วโมง เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดในปีน้ำ 2547 – 2551 และ (3) ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง

เมื่อได้ทำการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวขึ้นจากข้อมูลที่กล่าวมาแล้ว จะต้องนำแบบจำลองไปทำการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบบจำลอง โดยการใช้ข้อมูลน้ำเพียงปีเดียว คือข้อมูลจากปีน้ำ 2547 โดยเริ่มจากการหาค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์ (parameter sensitivity) เพื่อจัดลำดับค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแบบจำลองมากที่สุดไปน้อยที่สุดก่อนแล้วจึงนำลำดับของพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) ซึ่งผลที่ได้คือ n ทางน้ำหลัก, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา, สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว และ สัมประสิทธิ์ฝายถ้ำวอก โดยมีค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์เท่ากับ 5010.80, 1865.70, 271.33, 1.40 และ 1.35 ตามลำดับ และนำลำดับของพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง โดยการเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ในแบบจำลองทีละพารามิเตอร์ภายในช่วง

ที่กำหนดไว้ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด เรียกวิธีการนี้ว่าการถดถอยแบบขั้นบันได (stepwise regression method) ผลจากการปรับค่าพารามิเตอร์ทีละค่า ในช่วงที่กำหนดนี้ได้ผลการทดลองคือ n ทางน้ำหลัก, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย, n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา, สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว และ สัมประสิทธิ์ฝายถ้ำออก มีค่า SSE ที่ต่ำที่สุดในแต่ละพารามิเตอร์เท่ากับ 618.54 ตารางเมตร, 612.74 ตารางเมตร, 612.52 ตารางเมตร และ 612.42 ตารางเมตร ตามลำดับ และได้มีการทดสอบค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์อีกครั้งหลังจากทำการสอบเทียบแบบจำลองแล้ว ผลปรากฏว่า ได้ลำดับของพารามิเตอร์เหมือนเดิมคือ n ทางน้ำหลัก n ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย n ทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา สัมประสิทธิ์ฝายแม่ลาว และ สัมประสิทธิ์ฝายถ้ำออก มีค่าการตอบสนองของพารามิเตอร์เท่ากับ 16531.00, 134.25, 46.70, 1.52 และ 0.78 ตามลำดับ

เมื่อทำการสอบเทียบแบบจำลองแล้ว นำแบบจำลองที่ได้ไปทดสอบค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (model verification) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง (model calibration) ไปทำนายค่าระดับน้ำรายชั่วโมงในปีน้ำ 2548 – 2551 และทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องปรากฏว่า ค่า RMSE ในทุก ๆ ปีน้ำมีค่าต่ำกว่า 1 เมตร ซึ่งค่า RMSE ที่คำนวณได้ในปีน้ำ 2548 – 2551 เท่ากับ 0.38 เมตร, 0.33 เมตร, 0.23 เมตร, และ 0.28 เมตร ตามลำดับ และในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงหน้าแล้ง พบว่าค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณมีค่าต่ำกว่าค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในทุก ๆ ปีน้ำ ซึ่งได้ทำการพิสูจน์แล้วว่าเป็นผลมาจากการไหลเสริมของน้ำท่าใต้ดิน (base flow) เนื่องจากเมื่อหักค่าปริมาณน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำท่าใต้ดินออกไปแล้วพบว่า ค่าระดับน้ำเฉลี่ยในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคมมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ในปีน้ำ 2547 ค่าระดับน้ำเฉลี่ยที่หักปริมาณน้ำจากการไหลของน้ำท่าใต้ดินจากการตรวจวัด และแบบจำลอง เท่ากับ 1.039 เมตร และ 0.916 เมตร (ต่างกันร้อยละ 11.838) ตามลำดับ ในปีน้ำ 2548 เท่ากับ 1.127 เมตร และ 0.899 เมตร (ต่างกันร้อยละ 20.231) ตามลำดับ ในปีน้ำ 2549 เท่ากับ 0.841 เมตร และ 0.745 เมตร (ต่างกันร้อยละ 11.415) ตามลำดับ ในปีน้ำ 2550 เท่ากับ 0.990 เมตร และ 0.870 เมตร (ต่างกันร้อยละ 12.121) ตามลำดับ และสุดท้ายในปีน้ำ 2551 เท่ากับ เมตร 1.009 และ 0.824 เมตร (ต่างกันร้อยละ 18.335) ตามลำดับ

และเนื่องจากแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวนี้ สามารถคำนวณค่าระดับน้ำรายชั่วโมงที่ขึ้นอยู่กับระยะทาง (distance) และเวลา (time) ได้ทำให้สามารถระบุตำแหน่งที่มีการเกิดน้ำเอ่อล้นตลิ่งขึ้นได้ ไม่ว่าจะเป็นการเกิดน้ำเอ่อล้นตลิ่งแค่ฝั่งเดียว หรือทั้งสองฝั่งก็ตาม

6.2 การสรุปผลการศึกษาของแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาว

แบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาว เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการแสดงผลขอบเขตของน้ำท่วม จากผลการคำนวณค่าระดับน้ำ ณ ตำแหน่งและเวลาต่าง ๆ ของแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว ทำให้สามารถระบุขอบเขตของการเกิดน้ำท่วมจากการเอ่อล้นตลิ่งของแม่น้ำแม่ลาว จากการคำนวณค่าระดับน้ำใน 1 มิติได้ โดยการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ (terrain model) ของลำน้ำแม่ลาวตั้งแต่สถานี G.10 (สถานีต้นน้ำ) ถึงสถานี G.8 (สถานีท้ายน้ำ) บนระยะ 3 มิติ และทำการสร้างชั้นข้อมูลพื้นผิวของระดับน้ำ (water surface) จากข้อมูลค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวในช่วงเวลาปีน้ำ 2547 - 2551 ซ้อนทับลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ และเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีความยาวของลำน้ำมาก (ประมาณ 30 กิโลเมตร) ประกอบกับมีลักษณะความคดเคี้ยวของลำน้ำ เพื่อความสะดวกในการแสดงผลขอบเขตของน้ำ จึงมีการนำรูปแบบในการแสดงผลโดยวิธีการ GUI (Graphical User Interface) ของซอฟต์แวร์ MATLAB มาประยุกต์ใช้ ทำให้สามารถเลือกขอบเขตของลำน้ำแม่ลาวตามตำแหน่งหน้าตัดของลำน้ำในการแสดงผล และยังสามารถเลือกวันที่ในการแสดงผลขอบเขตของน้ำในแต่ละปีน้ำ (ปีน้ำ 2547 - 2551) ที่ทำการคำนวณลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ได้ และในอนาคตควรมีการนำขอบเขตของน้ำท่วมที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับขอบเขตของน้ำท่วมที่เกิดขึ้นจริง เช่น ภาพถ่ายจากดาวเทียม ในช่วงเวลาที่มีการเกิดน้ำท่วมขึ้นจริง เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้น

นอกจากประโยชน์โดยตรงในการทำนายการเกิดน้ำท่วมของงานวิจัยชิ้นนี้แล้ว งานวิจัยชิ้นนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการแม่น้ำแม่ลาวในด้านอื่น ๆ ได้อีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากทราบว่ามีมีการขยายหรือลดความกว้างในบางส่วนของแม่น้ำแม่ลาวแล้ว จะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำอย่างไร หรือในการตัดสินใจขุดลอกแม่น้ำ ซึ่งสามารถจำลองหน้าตัดตามขวางของลำน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในแบบจำลองและศึกษาผลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะลงมือปฏิบัติจริงในแม่น้ำแม่ลาวได้ แม้กระทั่งการนำไปประยุกต์ใช้กับการคำนวณปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำว่าจะมีการปนเปื้อนไปตามแม่น้ำได้ไกลเท่าไร

และที่สำคัญการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้จำเพาะเจาะจงสำหรับแม่น้ำแม่ลาวเพียงแห่งเดียวเท่านั้น แต่ยังสามารถนำการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้กับแม่น้ำสายอื่น ๆ ได้อีกด้วย เพียงมีข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลอง นั่นก็คือ ข้อมูลลักษณะลำน้ำ ข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำ และข้อมูลค่าระดับน้ำที่ได้จากการตรวจวัด เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเท่านั้น ก็จะสามารสร้างแบบจำลองของแม่น้ำสายอื่น ๆ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา น้ำท่วมจากการเอ่อล้นตลิ่งของน้ำในแม่น้ำนั้น ๆ ได้ต่อไป

รายการอ้างอิง



รายการอ้างอิง

- ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล, และ ไตรรัตน์ ศรีวัฒนา. (2527). การไหลในทางน้ำเปิด. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R., & Bernhardt, G. (1995). Automated base flow separation and recession analysis techniques. **Ground Water** 33(6), 1010-1018.
- Arnold, J. G., & Allen, P. M. (1999). Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. **Journal of the American Water Resources Association** 35(2), 411-424.
- Baltas, E. A. (1988). **A state space model for river routing**. Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Brunner, G. W. (2002). **HEC-RAS, river analysis system hydraulic reference manual**. Davis, CA.: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Brunner, G. W. (2006). **HEC-RAS, river analysis system user's manual**. Davis, CA.: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Chaudhry, M. H. (1993). **Open-channel flow**. Englewood Cliffs, NJ.: Prentice-Hall.
- Chow, V. T. (1959). **Open-channel hydraulics**. New York: McGraw-Hill.
- Chow, V. T. (1988). **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill.
- Conte, S. D. (1965). **Elementary**. New York: McGraw-Hill.
- Ford, A. (1999). **Modeling the environment an introduction to system dynamics modeling of environmental systems**. Washington, D.C.: Island Press.
- Fread, D. L. (1971). Discussion of "Implicit flood routing in natural channels". **HY7**, 97, 1156-1159.

- Fread, D. L. (1973). Effect of time step size in implicit dynamic routing. **Water resource**, **9**, 338-351.
- Fread, D. L. (1974). **Numerical properties of implicit four-point finite difference equations of unsteady flow**. Silver Spring, M.D.: National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Fread, D. L. (1976). Theoretical development of an implicit dynamic routing model. In **Dynamic routing seminar at lower Mississippi river forecast center**. 13-17 Dec 1976. Slidell, LA.
- French, R. H. (1985). **Open-channel hydraulics**. New York: McGraw-Hill.
- Grover, V. I. (2006). **Water global common and global problems**. New Hampshire: Science Publishers.
- Gunduz, O. (2004). **Coupled flow and contaminant transport modeling in large watersheds**. Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. **Journal of Hydrology**, **268**, 87-99.
- Kleitz, M. (1877). Theorie du mouvement non-permanent des liquids. **Ponts Chaussees**, **47**(2), 133-193.
- Kraus, R. A. (1999). Flood plain determination using ArcView and HEC-RAS. In **1999 Esri User Conference Proceedings, San Diego** (pp. 177-189). California: Esri.
- May, D. R., Lopez, A., & Brown, L. (2000). **Validation of the hydraulic-open channel flow model HEC-RAS with observed data**. Durango, Colorado: Fort Lewis College.
- Nirmalakhandan, N. (2002). **Modeling tools for environmental engineers and scientists**. Florida: CRC Press.
- Poeter, E. P., & Hill, M. C. (1999). UCODE, a computer code for universal inverse modeling. **Computers & Geosciences**, **25**, 457-462.

- Remo, J. W. F., & Pinter, N. (2007). Retro-modeling the middle Mississippi river. **Journal of Hydrology**, **337**, 421-435.
- Rouse, H., & Ince, S. (1957). **History of hydraulics**. Iowa: Iowa Institute of Hydraulic Research.
- Rutschmann, P., & Hager, W. H. (1996). Diffusion of floodwaves. **Journal of Hydrology**, **178**, 19-32.
- Seddon, J. A. (1900). River hydraulics. Trans. **ASCE**, **43**, 179-243.
- Smith, R. H. (1978). **Development of a flood routing model for small meandering rivers**. Missouri: University of Missouri.
- Tate, E. C. (1999). **Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS**. Austin, TX: The University of Texas at Austin J.J. Pickle Research Campus.
- Trigg, M. A., Wilson, M. D., Bates, P. D., Horritt, M. S., Alsdorf, D. E., Forsberg, B. R., & Vega, M.C. (2009). Amazon flood wave hydraulics. **Journal of Hydrology**, **374**, 92-105.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

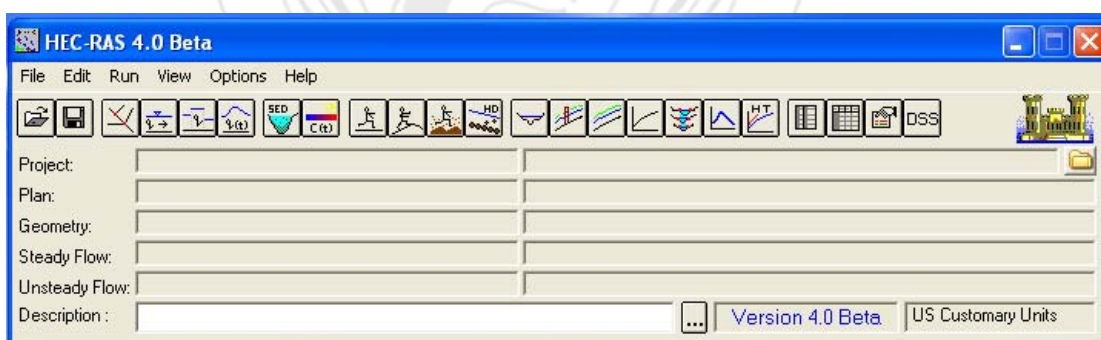
ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาว ด้วยซอฟต์แวร์ HEC-RAS

1. การนำเข้าข้อมูลในซอฟต์แวร์ HEC-RAS

ข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่ลาวประกอบด้วย ข้อมูลภาพตัดตามขวางลำน้ำ (cross-section) ข้อมูลอาคารในลำน้ำ (ฝาย) ซึ่งตั้งอยู่ในช่วงลำน้ำที่พิจารณา ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนในการนำเข้าข้อมูลดังนี้

1.1 ซอฟต์แวร์ HEC-RAS

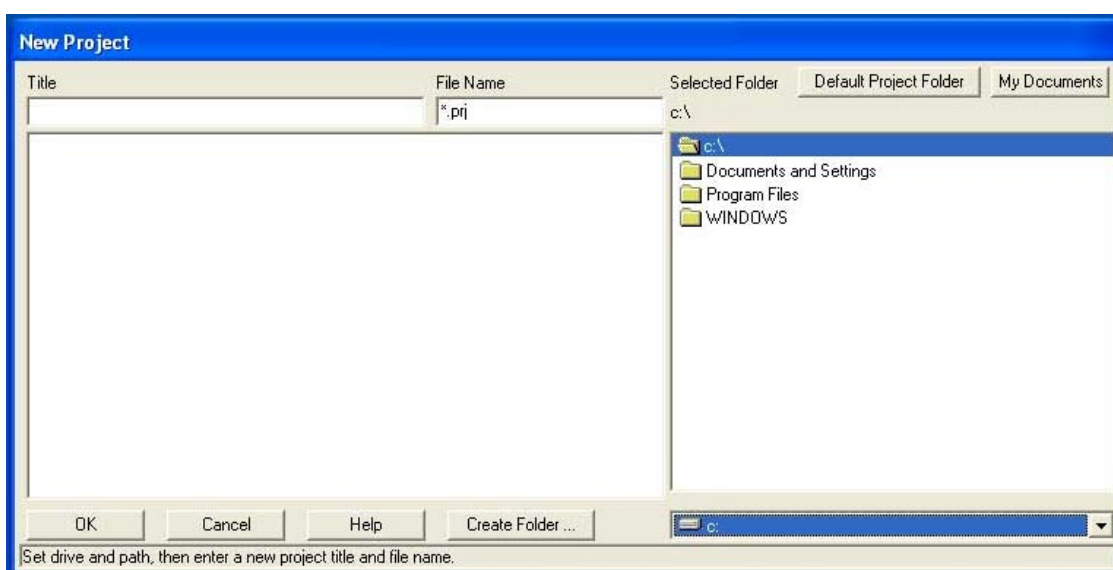
ซอฟต์แวร์ HEC-RAS เป็นซอฟต์แวร์ฟรี ที่สามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของน้ำไปตามลำน้ำแบบ dynamic wave ได้ และในการศึกษานี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ HEC-RAS V. 4.0 Beta ซึ่งหน้าตาแรกของซอฟต์แวร์ได้แสดงไว้ดังภาพที่ ก1



ภาพที่ ก1 หน้าตาแรกของซอฟต์แวร์ HEC-RAS V. 4.0 Beta

1.2 การสร้างโครงการใหม่

การสร้างโครงการใหม่เป็นการกำหนดพื้นที่ที่จะใช้ในการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ รวมทั้งเป็นการกำหนดชื่อไฟล์ (file name) และ รายละเอียดของชื่อไฟล์ (title) ของโครงการใหม่ที่จะสร้างขึ้น ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการเข้าเมนูคำสั่ง File จากหน้าต่างแรก และเลือกคำสั่ง New Project หน้าต่างสำหรับการสร้างโครงการใหม่แสดงไว้ดังภาพที่ ก2



ภาพที่ ก2 หน้าต่างสำหรับการสร้างโครงการใหม่ในซอฟต์แวร์ HEC-RAS

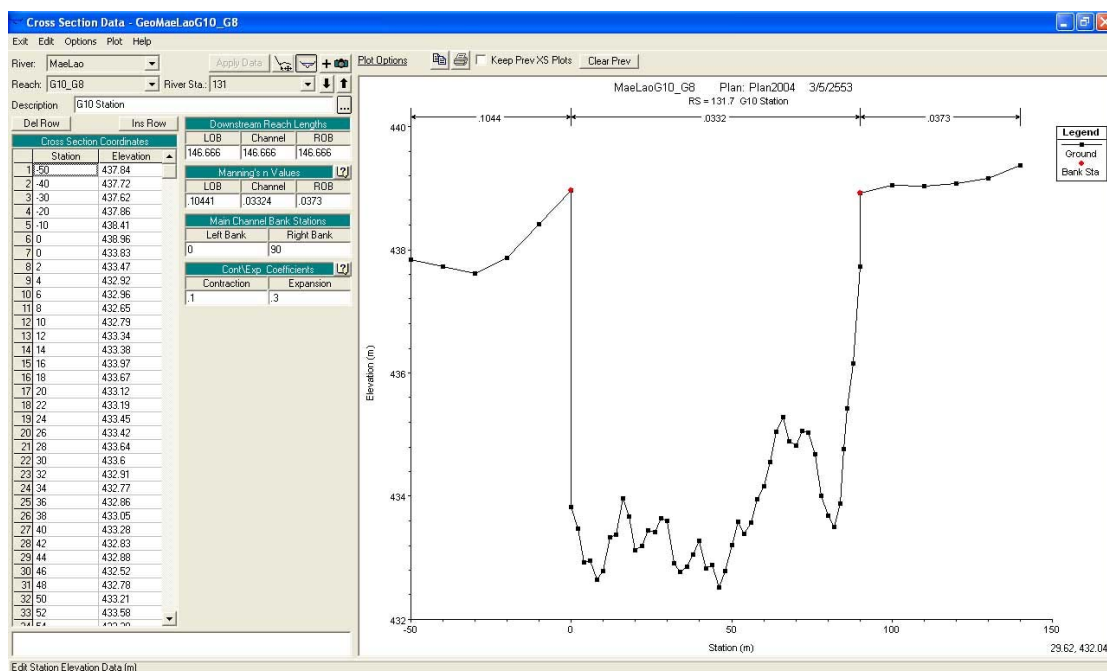
1.3 การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ของลำน้ำแม่ลาว

การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ของลำน้ำแม่ลาวประกอบด้วย ข้อมูลลักษณะการไหลของแม่น้ำแม่ลาว, ข้อมูลภาพตัดขวางลำน้ำแม่ลาว, ข้อมูลอาคารในลำน้ำ ได้แก่ ฝายแม่ลาวและฝายถั่วอก และข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning's roughness coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝาย ข้อมูลเชิงพื้นที่ของลำน้ำอันดับแรกที่จะต้องนำเข้าคือ ข้อมูลลักษณะการไหลของแม่น้ำ สามารถกระทำได้โดยการเข้าเมนูคำสั่ง Edit จากหน้าต่างแรก และเลือกคำสั่ง Geometric Data จะปรากฏหน้าต่าง Geometric Data ขึ้น จากนั้นวาดลักษณะของลำน้ำลงบนหน้าต่างนี้ซึ่งลักษณะลำน้ำที่วาดนี้จำเป็นต้องมีรูปร่างเหมือนกับลำน้ำจริง ในการศึกษาครั้งนี้นำเข้าข้อมูลลักษณะลำน้ำโดยอ้างอิงจากแผนที่ที่ได้จากการสำรวจแม่น้ำแม่ลาวของกรมชลประทานในปี 2549 (ดูภาพที่ ก3)



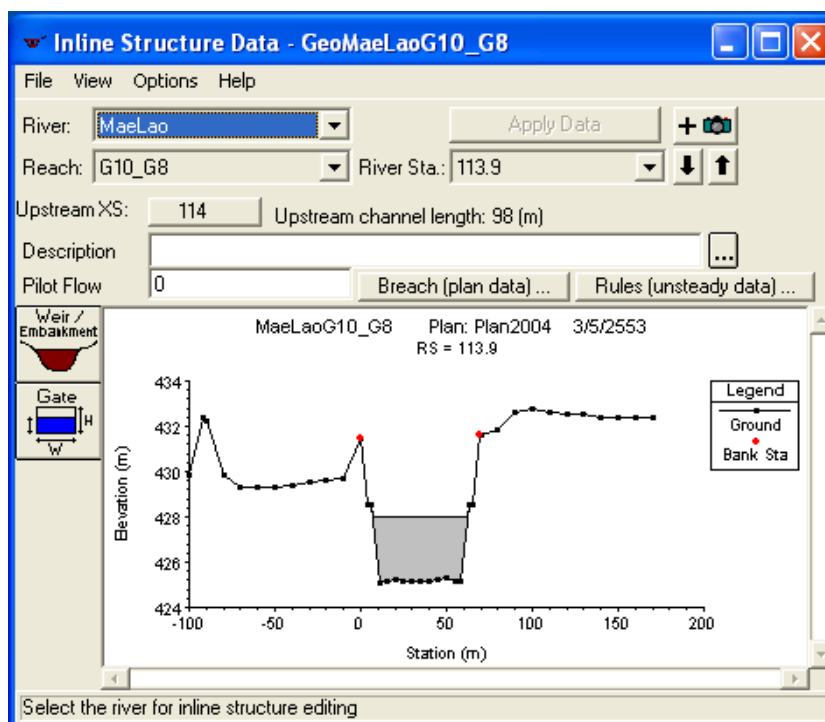
ภาพที่ ก3 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลลักษณะลำน้ำจากแผนที่การสำรวจแม่น้ำแม่ลาว

เมื่อได้ลักษณะของลำน้ำมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำเข้าข้อมูลภาพตัดตามขวางของลำน้ำ โดยเริ่มจากการเข้าเมนูคำสั่ง Edit and/or create cross sections ซึ่งเป็นเมนูย่อยอยู่บริเวณซ้ายมือของหน้าต่าง Geometric Data (เมนูรูป ) จะปรากฏหน้าต่าง Cross Section Data ขึ้นมาและทำการนำเข้าข้อมูลภาพตัดตามขวางในรูปของพิกัด X-Y โดยพิกัด X คือ Station และพิกัด Y คือ Elevation หลังจากนั้นกำหนดระยะห่างของหน้าตัดถัดไปลงในช่อง Downstream Reach Lengths ซึ่งข้อมูลหน้าตัดตามขวางข้อมูลแรกที่ใส่จะเริ่มที่ตำแหน่งต้นน้ำก่อนเสมอและแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ทางน้ำริมตลิ่งด้านซ้าย (LOB) ทางน้ำหลัก (Channel) และทางน้ำริมตลิ่งด้านขวา (ROB) ต่อไปเป็นการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแม่น้ำลงในช่อง Manning's n values ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วงเช่นกันกับการกำหนดระยะห่างของหน้าตัดถัดไป และสุดท้ายกำหนดจุดที่เป็นตลิ่งทั้งฝั่งซ้าย (left bank) และฝั่งขวา (right bank) (ดูภาพที่ ก4)



ภาพที่ ก4 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลภาพตัดตามขวางของลำน้ำแม่ลาว

ข้อมูลเชิงพื้นที่สุดท้ายที่จะทำการนำเข้า คือ ข้อมูลอาคารต่าง ๆ ในลำน้ำ ซึ่งในการศึกษานี้ คือ อาคารฝายแม่ลาว และอาคารฝายถั่วอก การนำเข้าข้อมูลของอาคารนี้สามารถทำได้โดยการเข้าเมนูคำสั่ง Edit and/or create Inline Structure ซึ่งเป็นเมนูย่อยอยู่บริเวณซ้ายมือของหน้าต่าง Geometric Data (เมนูรูป ) ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างสำหรับนำเข้าข้อมูลอาคารดังภาพที่ ก5 และเข้าเมนูย่อย Weir Embankment ด้านซ้ายมือของหน้าต่าง Inline Structure Data (เมนูรูป ) เพื่อกำหนดค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของฝาย (ดูภาพที่ ก6)



ภาพที่ ก5 หน้าต่างสำหรับนำเข้าข้อมูลอาคารที่อยู่ในลำน้ำ

Inline Structure Weir Station Elevation Editor

Distance	Width	Weir Coef
20	3	2.6

Clear Del Row Ins Row Filter...

Edit Station and Elevation coordinates

	Station	Elevation
1	0.	428.
2	65.	428.
3		
4		
5		
6		
7		
8		

U.S. Embankment SS 0 D.S. Embankment SS 0

Weir Data Weir Crest Shape

☒ Broad Crested ☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

ภาพที่ ก6 ตัวอย่างการกำหนดค่าคุณสมบัติของฝาย

1.4 การนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต และเงื่อนไขเริ่มต้น (initial and boundary condition)

การนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต และเงื่อนไขเริ่มต้นนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์การไหลว่าเป็นแบบ steady flow หรือ unsteady flow สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์แบบ unsteady flow ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการเข้าเมนูคำสั่ง Edit จากหน้าต่างแรก และเลือกคำสั่ง Unsteady Flow Data จะปรากฏหน้าต่าง Unsteady Flow Data ขึ้นมา (ดูภาพที่ ก7)

ภาพที่ ก7 หน้าต่างสำหรับนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตของการวิเคราะห์แบบ unsteady flow

การนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) สามารถกระทำได้โดยการเลือกที่แถบ Boundary Conditions ของ Boundary Condition Type ของตำแหน่งต้นน้ำ (RS 131) เลือก Stage Hydrograph จะปรากฏหน้าต่าง Stage Hydrograph เพื่อกำหนดค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งต้นน้ำ ณ เวลาใด ๆ ที่ต้องการวิเคราะห์ (หน้าตัดที่ 131) (ดูภาพที่ ก8) และเลือกที่ช่อง Boundary Condition

Type ของตำแหน่งท้ายน้ำ (RS 70) เลือก Normal Depth จะปรากฏหน้าต่าง Normal Depth Downstream Boundary เพื่อกำหนดค่า Friction Slope ที่ตำแหน่งท้ายน้ำ (ดูภาพที่ ก9)

Stage Hydrograph

River: MaeLao Reach: G10_G8 RS: 131

☐ Read from DSS before simulation

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☒ Use Simulation Time: Date: 01Apr2004 Time: 0100

☐ Fixed Start Time: Date: Time:

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Stage (m)
1	01Apr2004 0100	00:00	433.793
2	01Apr2004 0200	01:00	433.793
3	01Apr2004 0300	02:00	433.793
4	01Apr2004 0400	03:00	433.793
5	01Apr2004 0500	04:00	433.793
6	01Apr2004 0600	05:00	433.793
7	01Apr2004 0700	06:00	433.793
8	01Apr2004 0800	07:00	433.793
9	01Apr2004 0900	08:00	433.793
10	01Apr2004 1000	09:00	433.793
11	01Apr2004 1100	10:00	433.793
12	01Apr2004 1200	11:00	433.793

ภาพที่ ก8 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบริเวณต้นน้ำ (upstream boundary condition)

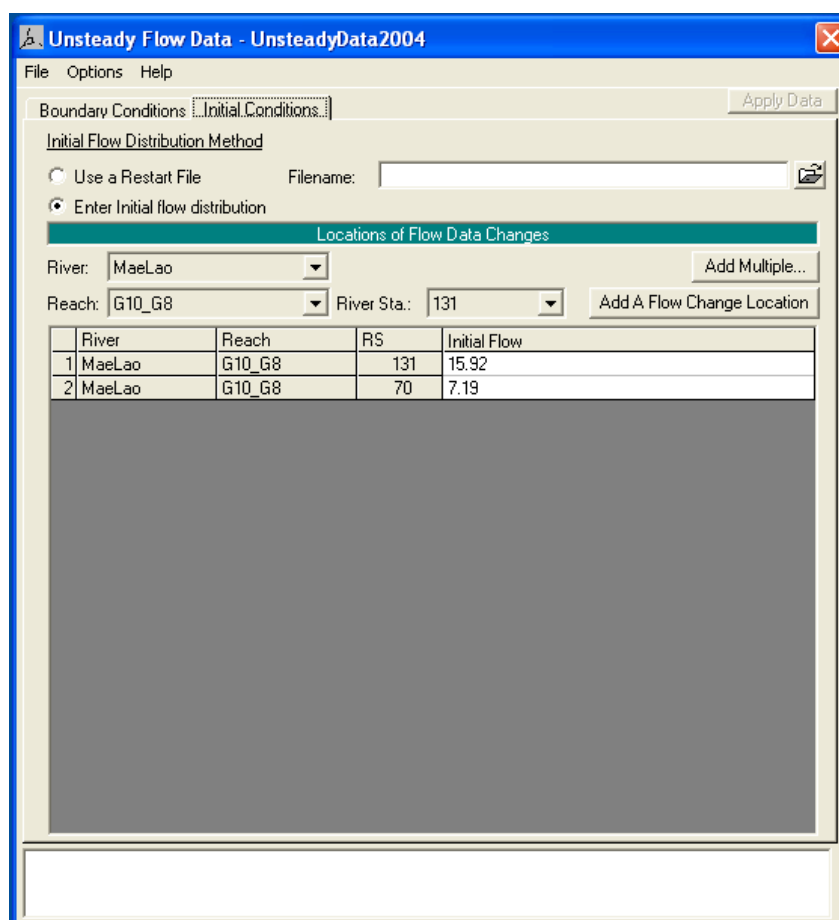
Normal Depth Downstream Boundary

River: MaeLao Reach: G10_G8

Friction Slope: 0.00097

ภาพที่ ก9 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตบริเวณท้ายน้ำ (downstream boundary condition)

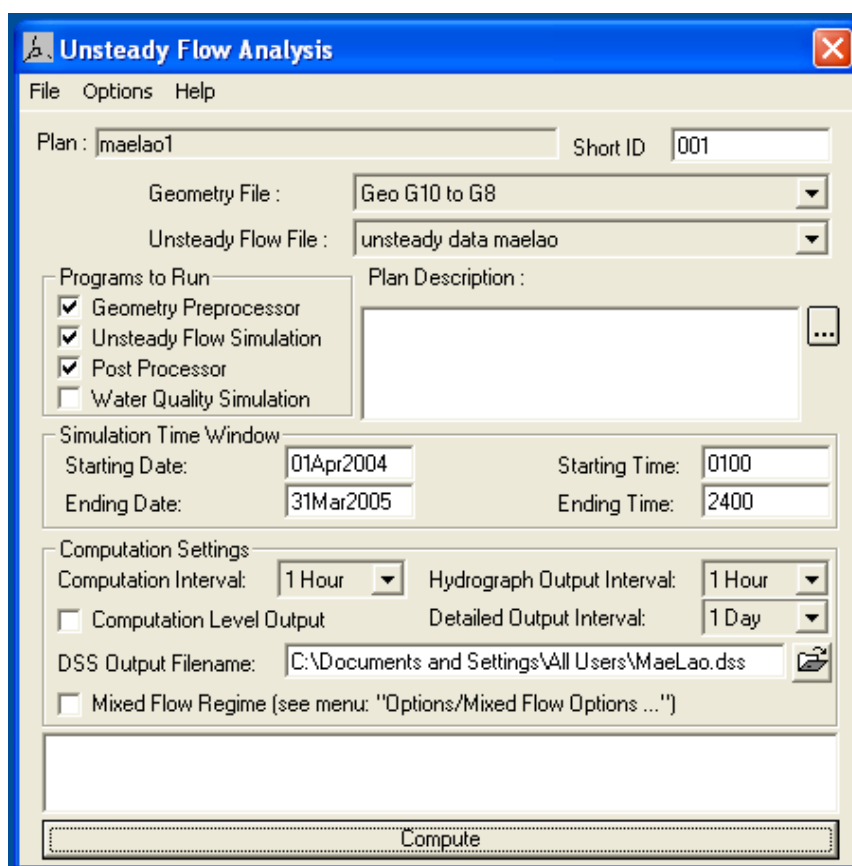
การนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) สามารถกระทำได้โดยการเลือกที่แถบ Initial Conditions (ดูภาพที่ ก10) ช่อง Initial Flow ของตำแหน่งต้นน้ำ (RS 131) กำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำที่ตำแหน่งต้นน้ำ ณ เวลาเริ่มต้นการวิเคราะห์ ซึ่งในการศึกษานี้ที่ปีน้ำ 2547 เท่ากับ 15.92 ลบ.ม./วินาที และที่ช่อง Initial Flow ของตำแหน่งท้ายน้ำ (RS 70) กำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำที่ตำแหน่งท้ายน้ำ ณ เวลาเริ่มต้นการวิเคราะห์ ซึ่งในการศึกษานี้ที่ปีน้ำ 2547 เท่ากับ 7.19 ลบ.ม./วินาที (ดูภาพที่ ก10)



ภาพที่ ก10 หน้าต่างสำหรับนำเข้าข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้นของการวิเคราะห์แบบ unsteady flow

2. การวิเคราะห์การไหลของน้ำแบบไม่ทรงตัว (unsteady flow analysis)

การวิเคราะห์การไหลของน้ำแบบไม่ทรงตัว (unsteady flow) สามารถกระทำได้โดยการเข้าเมนูคำสั่ง Run จากหน้าต่างแรก และเลือกคำสั่ง Unsteady Flow Analysis จะปรากฏหน้าต่าง Unsteady Flow Analysis ขึ้น จากนั้นทำการระบุวันที่และเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในการวิเคราะห์ ทำการกำหนดช่วงเวลาในการคำนวณ (Δt) ที่ช่อง Computation Interval ในการศึกษานี้เท่ากับ 1 ชั่วโมง และกำหนดช่วงเวลาในการเก็บค่าที่ทำการวิเคราะห์ ที่ช่อง Detail Output Interval ในการศึกษานี้เท่ากับ 1 วัน (ดูภาพที่ ก11)



ภาพที่ ก11 หน้าต่างในการวิเคราะห์การไหลของน้ำแบบ unsteady flow

3. ผลจากการวิเคราะห์การไหลของน้ำแบบไม่ทรงตัว

ในการวิเคราะห์การไหลของน้ำแบบไม่ทรงตัว (unsteady flow) ซอฟต์แวร์ HEC-RAS จะทำการคำนวณค่าระดับน้ำในทุก ๆ ตำแหน่งของภาพตัดตามขวาง ทั้งที่เป็นหน้าตัดที่ได้จากการสำรวจ และหน้าตัดที่ประมาณขึ้น ซึ่งค่าระดับน้ำในทุกตำแหน่ง ณ เวลาใด ๆ ที่ทำการวิเคราะห์สามารถนำออกมาได้โดยการเข้าเมนูคำสั่ง View จากหน้าต่างแรก และเลือกคำสั่ง DSS Data จะปรากฏหน้าต่าง DSS Viewer ขึ้น ซึ่งสามารถเลือกแสดงค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากการเลือกข้อมูล LOCATION-ELEV ในช่วงเวลาที่ต้องการ (ภาพที่ ก12)

DSS Viewer

File Utilities

Time Window

Starting Date: 01Apr2004 Starting Time: 0100 Clear Number of paths: 20310
 Ending Date: 31Mar2005 Ending Time: 2400 Plan Time File Size: 38.59MB

DSS File: d:\Mae Lao River Model\Mae Lao River Model_1.dss Update Catalog

Filter	Part A	Part B	Part C	Part D	Part E	Part F
1 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0100	001
2 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0200	001
3 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0300	001
4 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0400	001
5 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0500	001
6 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0600	001
7 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0700	001
8 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0800	001
9 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 0900	001
10 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1000	001
11 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1100	001
12 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1200	001
13 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1300	001
14 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1400	001
15 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1500	001
16 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1600	001
17 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1700	001
18 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1800	001
19 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 1900	001
20 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 2000	001
21 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 2100	001
22 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 2200	001
23 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 2300	001
24 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01APR2004 2400	001
25 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01AUG2004 0100	001
26 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01AUG2004 0200	001
27 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01AUG2004 0300	001
28 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01AUG2004 0400	001
29 MAELAO RIVER REACH1			LOCATION-ELEV		01AUG2004 0500	001

Select entire filtered list Select highlighted DSS Pathname(s) << Previous Next >>

Plot/Tabulate Selected Pathname(s) Clear Selected List Close

ภาพที่ ก12 หน้าต่างในการนำออกค่าระดับน้ำที่วิเคราะห์ได้



ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาว ด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB

1. การนำเข้าข้อมูลในซอฟต์แวร์ MATLAB

แบบจำลองน้ำท่วมบนที่ราบน้ำท่วมถึงของแม่น้ำแม่ลาวนี้ เป็นแบบจำลองที่สามารถสร้างขอบเขตของน้ำท่วมซ้อนทับลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ใน 3 มิติ ซึ่งแบบจำลองเชิงพื้นที่ใน 3 มิตินี้สร้างขึ้นจากข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำที่เป็นชุดข้อมูลจุดบนระนาบ 3 มิติ ซึ่งได้มาจากการนำออกด้วยซอฟต์แวร์ HEC-RAS โดยการนำออกข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำด้วยวิธี Export GIS Data ทำให้ได้ข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำที่เป็นจุดบนระนาบ 3 มิติ (ดูตารางที่ ข1)

ตารางที่ ข1 ตัวอย่างชุดข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำที่เป็นจุดบนระนาบ 3 มิติ

หน้าตัดที่	พิกัด X	พิกัด Y	พิกัด Z
131	565373	2179575	437.84
131	565376	2179565	437.72
131	565378	2179555	437.62
131	565381	2179545	437.86
131	565383	2179536	438.41
131	565385	2179526	438.96
131	565385	2179526	438.96
131	565385	2179526	433.83
131	565386	2179524	433.47
131	565386	2179522	432.92
131	565387	2179520	432.96
131	565387	2179518	432.65

ตารางที่ ๗1 (ต่อ)

หน้าตัดที่	พิกัด X	พิกัด Y	พิกัด Z
131	565388	2179516	432.79
131	565388	2179514	433.34
131	565389	2179512	433.38
131	565389	2179510	433.97
131	565390	2179508	433.67
131	565390	2179506	433.12
131	565390	2179504	433.19
131	565391	2179502	433.45
131	565391	2179500	433.42
131	565392	2179498	433.64
131	565392	2179496	433.60
131	565393	2179494	432.91
131	565393	2179492	432.77
131	565394	2179490	432.86
131	565394	2179488	433.05
131	565395	2179486	433.28
131	565395	2179484	432.83
131	565396	2179482	432.88
131	565396	2179481	432.70
131	565396	2179480	432.52
131	565396	2179478	432.78
131	565397	2179477	433.21
131	565397	2179475	433.58
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
131	565418	2179388	439.37

ตารางที่ ข1 (ต่อ)

หน้าตัดที่	พิกัด X	พิกัด Y	พิกัด Z
130	565541	2179706	433.58
130	565544	2179697	433.39
130	565547	2179687	433.57
130	565551	2179677	433.95
130	565554	2179668	434.16
130	565557	2179658	434.56
130	565560	2179649	435.04
130	565564	2179639	435.29
130	565567	2179630	434.89
130	565570	2179620	434.82
130	565573	2179610	435.06
130	565573	2179610	435.03
130	565576	2179606	434.68
130	565578	2179602	434.01
130	565581	2179597	433.68
130	565583	2179593	433.50
130	565585	2179590	433.88
130	565586	2179588	434.76
130	565588	2179584	435.43
130	565591	2179580	433.25
130	565593	2179575	433.19
130	565596	2179571	436.27
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
130	565621	2179521	436.97

2. การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ (terrain model)

เมื่อได้ชุดข้อมูลจุดบนระนาบใน 3 มิติ ของทุกหน้าตัดแล้วนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์ MATLAB และสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่จากชุดข้อมูลจุดของหน้าตัดนี้โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมดังนี้

```

%%Create terrain model from selected Cross-section
%section_data=coordinate of cross-section in 3D
load('section_data.mat')
upstream=131; %Number of station at upstream;
downstream=130; %Number of section at downstream;
%Clear Current Figure Window for Next Plot
clf('reset',figure(1))
figure(1)
%Select Data for Plot
data_selected=section_data(section_data(:,1)>=downstream & section_data(:,1)<=upstream,:);
%Create Range for Plot Surface
rangeY=floor(min(data_selected(:,3))):1:ceil(max(data_selected(:,3)));
rangeX=floor(min(data_selected(:,2))):1:ceil(max(data_selected(:,2)));
[X,Y]=meshgrid(rangeX,rangeY);
Z=griddata(data_selected(:,2),data_selected(:,3),data_selected(:,4),X,Y);
rangeZ=floor(min(data_selected(:,4))):3:ceil(max(data_selected(:,4)));
%Plot Surface
h_surf=surf(X,Y,Z);
%control axis
grid on
colormap copper;
shading interp;
camlight right;
lighting phong;
axis equal

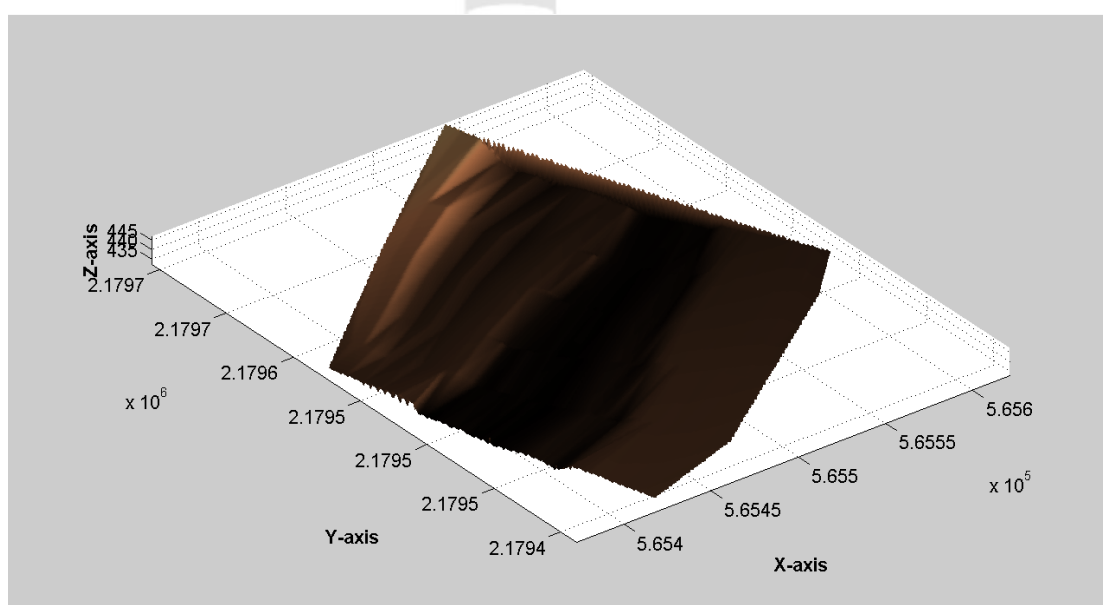
```

```

xlabel('\bfX-axis','fontsize',16);
ylabel('\bfY-axis','fontsize',16);
zlabel('\bfZ-axis','fontsize',16);
set(gca,'fontsize',16)

```

โปรแกรมนี้จะทำการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ ขึ้นมาจากข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำที่เป็นชุดข้อมูลจุดบนระนาบ 3 มิติ ซึ่งแบบจำลองที่ได้เป็นการสร้างพื้นผิว (surface) เชื่อมต่อหน้าตัดตามขวางของลำน้ำจนกลายเป็นแบบจำลองเชิงพื้นที่ของลำน้ำขึ้นมา (ดูภาพที่ ข1)



ภาพที่ ข1 แบบจำลองเชิงพื้นที่ของลำน้ำแม่ลาวจากข้อมูลหน้าตัดที่ 131 - 130

3. การซ้อนทับขอบเขตของน้ำลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่

การสร้างข้อมูลระดับน้ำสำหรับสร้างขอบเขตของน้ำท่วม ใช้ข้อมูลหน้าตัดจากการสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ (ดูตารางที่ ข1) เป็นพื้นฐานโดยการเปลี่ยนจากพิกัด Y เป็นค่าระดับน้ำที่ต้องการแสดงขอบเขต (ดูตารางที่ ข2)

ตารางที่ ข2 ตัวอย่างชุดข้อมูลค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งหน้าตัดตามขวางของลำน้ำ

หน้าตัดที่	พิกัด X	พิกัด Y	ค่าระดับน้ำ
131	565373	2179575	433.79
131	565376	2179565	433.79
131	565378	2179555	433.79
131	565381	2179545	433.79
131	565383	2179536	433.79
131	565385	2179526	433.79
131	565385	2179526	433.79
131	565385	2179526	433.79
131	565386	2179524	433.79
131	565386	2179522	433.79
131	565387	2179520	433.79
131	565387	2179518	433.79
131	565388	2179516	433.79
131	565388	2179514	433.79
131	565389	2179512	433.79
131	565389	2179510	433.79
131	565390	2179508	433.79
131	565390	2179506	433.79
131	565390	2179504	433.79
131	565391	2179502	433.79
131	565391	2179500	433.79
131	565392	2179498	433.79
131	565392	2179496	433.79
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
131	565418	2179388	433.79

ตารางที่ ข2 (ต่อ)

หน้าตัดที่	พิกัด X	พิกัด Y	ค่าระดับน้ำ
130	565541	2179706	433.57
130	565544	2179697	433.57
130	565547	2179687	433.57
130	565551	2179677	433.57
130	565554	2179668	433.57
130	565557	2179658	433.57
130	565560	2179649	433.57
130	565564	2179639	433.57
130	565567	2179630	433.57
130	565570	2179620	433.57
130	565573	2179610	433.57
130	565573	2179610	433.57
130	565576	2179606	433.57
130	565578	2179602	433.57
130	565581	2179597	433.57
130	565583	2179593	433.57
130	565585	2179590	433.57
130	565586	2179588	433.57
130	565588	2179584	433.57
130	565591	2179580	433.57
130	565593	2179575	433.57
130	565596	2179571	433.57
130	565596	2179570	433.57
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
130	565621	2179521	433.57

เมื่อได้ชุดข้อมูลค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งหน้าตัดตามขวางของลำน้ำของทุกหน้าตัดแล้ว ทำการนำเข้าข้อมูลชุดนี้สู่ซอฟต์แวร์ MATLAB และสร้างขอบเขตของน้ำจากค่าระดับน้ำขึ้นทาบลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมดังนี้

```

%%plot water surface on terrain model

%water_level_data=water level at cross-section

load('water_level_data.mat')

figure(1)

set(findobj('Tag','water_elevation'),'FaceAlpha',0);

%%Select Data for Plot

upstream=131; %Number of station at upstream;

downstream=130; %Number of section at downstream;

Z_watersurface=water_level_data(water_level_data(:,1)>=downstream &
water_level_data(:,1)<=upstream,:);

%%Create Range for Plot Surface

rangeY=floor(min(Z_watersurface(:,3))):1:ceil(max(Z_watersurface(:,3)));

rangeX=floor(min(Z_watersurface(:,2))):1:ceil(max(Z_watersurface(:,2)));

[X,Y]=meshgrid(rangeX,rangeY);

Z_water=griddata(Z_watersurface(:,2),Z_watersurface(:,3),Z_watersurface(:,4),X,Y);

%%Check elevation

Z_surface=griddata(Z_watersurface(:,2),Z_watersurface(:,3),Z_watersurface(:,4),X,Y);

%%Plot water surface

hold on

h_water_surf=surf(X,Y,Z_water);

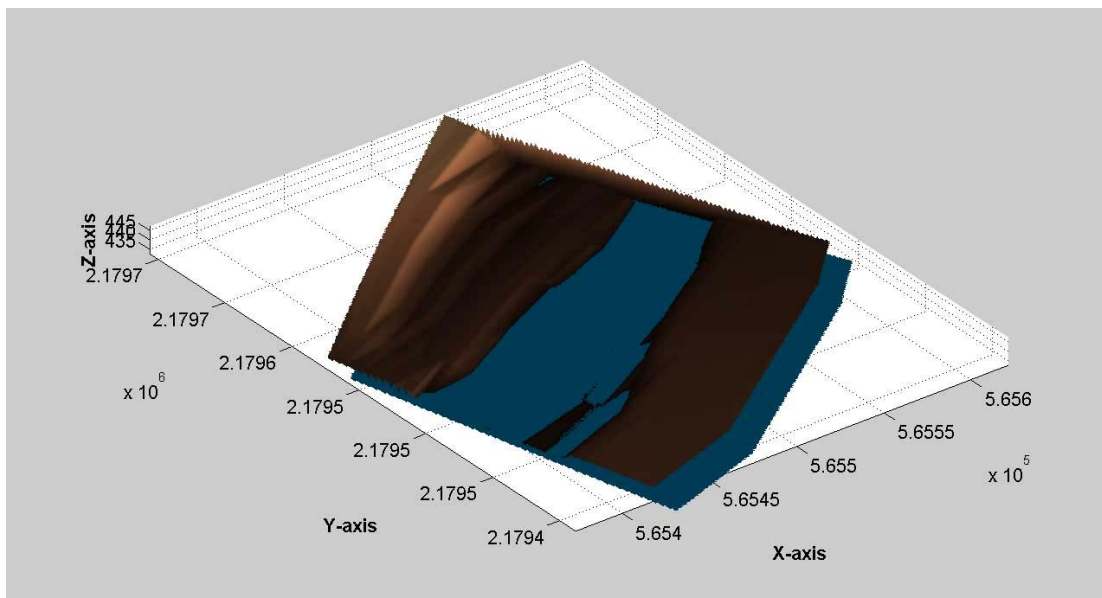
set(h_water_surf,'EdgeColor','none','FaceLighting','phong',...

'FaceColor',[0 0.7 1],'Tag','water_elevation');

hold off

```

โปรแกรมนี้จะทำการสร้างขอบเขตของน้ำขึ้นทาบลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่ ที่สร้างขึ้นมาจากข้อมูลหน้าตัดตามขวางของลำน้ำ ทำให้สามารถแสดงขอบเขตของน้ำลงบนลำน้ำแม่น้ำลาวได้อย่างชัดเจน (ดูภาพที่ ข2)



ภาพที่ ข2 แบบจำลองเชิงพื้นที่ของลำน้ำแม่ลาวที่ซ้อนทับกับข้อมูลระดับน้ำ

4. การแสดงผลด้วยวิธีการ GUI (Graphical User Interface)

ในการแสดงผลขอบเขตของน้ำลงบนแบบจำลองเชิงพื้นที่นั้น เนื่องจากแม่น้ำแม่ลาวที่ทำการศึกษามีความยาวของลำน้ำค่อนข้างมาก ประกอบกับต้องแสดงขอบเขตของน้ำให้ได้ตลอดทั้งปีน้ำ จึงได้นำวิธีการ GUI (Graphical User Interface) ของซอฟต์แวร์ MATLAB มาประยุกต์ใช้เพื่อความสะดวกในการแสดงผล โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมดังนี้

```
function varargout = river_plot(varargin)
% RIVER_PLOT M-file for river_plot.fig
%   RIVER_PLOT, by itself, creates a new RIVER_PLOT or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = RIVER_PLOT returns the handle to a new RIVER_PLOT or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   RIVER_PLOT('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in RIVER_PLOT.M with the given input arguments.
```

```

% RIVER_PLOT('Property','Value',...) creates a new RIVER_PLOT or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before river_plot_OpeningFunction gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to river_plot_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Copyright 2002-2003 The MathWorks, Inc.
% Edit the above text to modify the response to help river_plot
% Last Modified by GUIDE v2.5 04-May-2010 09:19:20
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @river_plot_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @river_plot_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before river_plot is made visible.

```

```

function river_plot_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

% This function has no output args, see OutputFcn.

% hObject    handle to figure

% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% varargin   command line arguments to river_plot (see VARARGIN)

% Choose default command line output for river_plot
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes river_plot wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = river_plot_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% -----
% --- Executes on button press in pusebutton1.
function pusebutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to pusebutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of pusebutton1
%plot_surface(99,98)

popup_plot_index = get(handles.popupmenu1, 'Value');

switch popup_plot_index

    case 1

```

```

    plot_section(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
case 2
    plot_mesh(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
case 3
    plot_wireframe(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
case 4
    plot_contour(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
case 5
    plot_surface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
case 6
    plot_surface_with_contour(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
end
% -----
% -----
% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: contents = get(hObject,'String') returns popupmenu1 contents as cell array
%    contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu1
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%    See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
set(hObject, 'String', {'1. plot cross-section', '2. plot mesh', '3. plot wireframe', '4. plot contour', '5.
plot surface', '6. plot surface with contour'});
```

```
% -----
% -----
```

```
function upstream_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to upstream (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of upstream as text
```

```
%    str2double(get(hObject,'String')) returns contents of upstream as a double
```

```
upstream = str2double(get(hObject, 'String'));
```

```
if isnan(upstream)
```

```
    set(hObject, 'String', 0);
```

```
    errordlg('Input must be a number','Error');
```

```
end
```

```
% Save the new upstream value
```

```
handles.metricdata.upstream = upstream;
```

```
guidata(hObject,handles)
```

```
if (handles.metricdata.upstream>131) | (handles.metricdata.upstream < 71)
```

```
    errordlg('Upstream input interval 131-71');
```

```
end
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function upstream_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to upstream (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
%    See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```

% -----
% -----

function downstream_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to downstream (see GCBO)

% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of downstream as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of downstream as a double
downstream = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(downstream)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end
% Save the new upstream value
handles.metricdata.downstream = downstream;
guidata(hObject,handles)
if (handles.metricdata.downstream>=131) | (handles.metricdata.downstream < 70)
    errordlg('Downstream input interval 130-70');
end
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function downstream_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to downstream (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
% -----
% -----

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton2.

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

popup_plot_index = get(handles.popupmenu1, 'Value');
switch popup_plot_index
    case 1
        plot_section(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
        view(2)
    case 2
        plot_mesh(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
        view(2)
    case 3
        plot_wireframe(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
        view(2)
    case 4
        plot_contour(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
        view(2)
    case 5
        plot_surface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
        view(2)
    case 6
        plot_surface_with_contour(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream);
        view(2)
end

% -----
% -----

% --- Executes on selection change in popupmenu2.

function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to popupmenu2 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = get(hObject,'String') returns popupmenu2 contents as cell array

% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu2

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to popupmenu2 (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.

% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

set(hObject, 'String', {'01 April 2004','02 April 2004','03 April 2004','04 April 2004','05 April
2004','06 April 2004','07 April 2004','08 April 2004','09 April 2004','10 April 2004','11 April
2004','12 April 2004','13 April 2004','14 April 2004','15 April 2004','16 April 2004','17 April
2004','18 April 2004','19 April 2004','20 April 2004','21 April 2004','22 April 2004','23 April
2004','24 April 2004','25 April 2004','26 April 2004','27 April 2004','28 April 2004','29 April
2004','30 April 2004'...
    , '01 May 2004','02 May 2004','03 May 2004','04 May 2004','05 May 2004','06 May 2004','07
May 2004','08 May 2004','09 May 2004','10 May 2004','11 May 2004','12 May 2004','13 May
2004','14 May 2004','15 May 2004','16 May 2004','17 May 2004','18 May 2004','19 May 2004','20
May 2004','21 May 2004','22 May 2004','23 May 2004','24 May 2004','25 May 2004','26 May
2004','27 May 2004','28 May 2004','29 May 2004','30 May 2004','31 May 2004'...
    , '01 June 2004','02 June 2004','03 June 2004','04 June 2004','05 June 2004','06 June 2004','07
June 2004','08 June 2004','09 June 2004','10 June 2004','11 June 2004','12 June 2004','13 June
2004','14 June 2004','15 June 2004','16 June 2004','17 June 2004','18 June 2004','19 June 2004','20
June 2004','21 June 2004','22 June 2004','23 June 2004','24 June 2004','25 June 2004','26 June
2004','27 June 2004','28 June 2004','29 June 2004','30 June 2004'...

```

, '01 July 2004', '02 July 2004', '03 July 2004', '04 July 2004', '05 July 2004', '06 July 2004', '07 July 2004', '08 July 2004', '09 July 2004', '10 July 2004', '11 July 2004', '12 July 2004', '13 July 2004', '14 July 2004', '15 July 2004', '16 July 2004', '17 July 2004', '18 July 2004', '19 July 2004', '20 July 2004', '21 July 2004', '22 July 2004', '23 July 2004', '24 July 2004', '25 July 2004', '26 July 2004', '27 July 2004', '28 July 2004', '29 July 2004', '30 July 2004', '31 July 2004'...

, '01 August 2004', '02 August 2004', '03 August 2004', '04 August 2004', '05 August 2004', '06 August 2004', '07 August 2004', '08 August 2004', '09 August 2004', '10 August 2004', '11 August 2004', '12 August 2004', '13 August 2004', '14 August 2004', '15 August 2004', '16 August 2004', '17 August 2004', '18 August 2004', '19 August 2004', '20 August 2004', '21 August 2004', '22 August 2004', '23 August 2004', '24 August 2004', '25 August 2004', '26 August 2004', '27 August 2004', '28 August 2004', '29 August 2004', '30 August 2004', '31 August 2004'...

, '01 September 2004', '02 September 2004', '03 September 2004', '04 September 2004', '05 September 2004', '06 September 2004', '07 September 2004', '08 September 2004', '09 September 2004', '10 September 2004', '11 September 2004', '12 September 2004', '13 September 2004', '14 September 2004', '15 September 2004', '16 September 2004', '17 September 2004', '18 September 2004', '19 September 2004', '20 September 2004', '21 September 2004', '22 September 2004', '23 September 2004', '24 September 2004', '25 September 2004', '26 September 2004', '27 September 2004', '28 September 2004', '29 September 2004', '30 September 2004'...

, '01 October 2004', '02 October 2004', '03 October 2004', '04 October 2004', '05 October 2004', '06 October 2004', '07 October 2004', '08 October 2004', '09 October 2004', '10 October 2004', '11 October 2004', '12 October 2004', '13 October 2004', '14 October 2004', '15 October 2004', '16 October 2004', '17 October 2004', '18 October 2004', '19 October 2004', '20 October 2004', '21 October 2004', '22 October 2004', '23 October 2004', '24 October 2004', '25 October 2004', '26 October 2004', '27 October 2004', '28 October 2004', '29 October 2004', '30 October 2004', '31 October 2004'...

, '01 November 2004', '02 November 2004', '03 November 2004', '04 November 2004', '05 November 2004', '06 November 2004', '07 November 2004', '08 November 2004', '09 November 2004', '10 November 2004', '11 November 2004', '12 November 2004', '13 November 2004', '14 November 2004', '15 November 2004', '16 November 2004', '17 November 2004', '18 November 2004', '19 November 2004', '20 November 2004', '21 November 2004', '22 November 2004', '23

November 2004','24 November 2004','25 November 2004','26 November 2004','27 November 2004','28 November 2004','29 November 2004','30 November 2004'...

, '01 December 2004','02 December 2004','03 December 2004','04 December 2004','05 December 2004','06 December 2004','07 December 2004','08 December 2004','09 December 2004','10 December 2004','11 December 2004','12 December 2004','13 December 2004','14 December 2004','15 December 2004','16 December 2004','17 December 2004','18 December 2004','19 December 2004','20 December 2004','21 December 2004','22 December 2004','23 December 2004','24 December 2004','25 December 2004','26 December 2004','27 December 2004','28 December 2004','29 December 2004','30 December 2004','31 December 2004'...

, '01 January 2005','02 January 2005','03 January 2005','04 January 2005','05 January 2005','06 January 2005','07 January 2005','08 January 2005','09 January 2005','10 January 2005','11 January 2005','12 January 2005','13 January 2005','14 January 2005','15 January 2005','16 January 2005','17 January 2005','18 January 2005','19 January 2005','20 January 2005','21 January 2005','22 January 2005','23 January 2005','24 January 2005','25 January 2005','26 January 2005','27 January 2005','28 January 2005','29 January 2005','30 January 2005','31 January 2005'...

, '01 February 2005','02 February 2005','03 February 2005','04 February 2005','05 February 2005','06 February 2005','07 February 2005','08 February 2005','09 February 2005','10 February 2005','11 February 2005','12 February 2005','13 February 2005','14 February 2005','15 February 2005','16 February 2005','17 February 2005','18 February 2005','19 February 2005','20 February 2005','21 February 2005','22 February 2005','23 February 2005','24 February 2005','25 February 2005','26 February 2005','27 February 2005','28 February 2005'...

, '01 March 2005','02 March 2005','03 March 2005','04 March 2005','05 March 2005','06 March 2005','07 March 2005','08 March 2005','09 March 2005','10 March 2005','11 March 2005','12 March 2005','13 March 2005','14 March 2005','15 March 2005','16 March 2005','17 March 2005','18 March 2005','19 March 2005','20 March 2005','21 March 2005','22 March 2005','23 March 2005','24 March 2005','25 March 2005','26 March 2005','27 March 2005','28 March 2005','29 March 2005','30 March 2005','31 March 2005'});

% --- Executes on button press in pushbutton3.

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to pushbutton3 (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

popup_plot_index2 = get(handles.popupmenu2, 'Value');
switch popup_plot_index2
    case 1
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,5);
    case 2
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,6);
    case 3
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,7);
    case 4
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,8);
    case 5
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,9);
    case 6
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,10);
    case 7
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,11);
    case 8
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,12);
    case 9
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,13);
    case 10
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,14);
    case 11
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,15);
    case 12
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,16);
    case 13
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,17);
    case 14
        plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,18);

```

case 15

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,19);

case 16

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,20);

case 17

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,21);

case 18

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,22);

case 19

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,23);

case 20

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,24);

case 21

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,25);

case 22

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,26);

case 23

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,27);

case 24

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,28);

case 25

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,29);

case 26

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,30);

case 27

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,31);

case 28

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,32);

case 29

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,33);

case 30

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,34);
case 31
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,35);
case 32
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,36);
case 33
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,37);
case 34
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,38);
case 35
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,39);
case 36
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,40);
case 37
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,41);
case 38
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,42);
case 39
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,43);
case 40
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,44);
case 41
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,45);
case 42
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,46);
case 43
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,47);
case 44
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,48);
case 45
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,49);

case 46

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,50);

case 47

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,51);

case 48

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,52);

case 49

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,53);

case 50

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,54);

case 51

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,55);

case 52

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,56);

case 53

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,57);

case 54

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,58);

case 55

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,59);

case 56

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,60);

case 57

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,61);

case 58

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,62);

case 59

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,63);

case 60

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,64);

case 61

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,65);
case 62
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,66);
case 63
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,67);
case 64
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,68);
case 65
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,69);
case 66
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,70);
case 67
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,71);
case 68
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,72);
case 69
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,73);
case 70
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,74);
case 71
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,75);
case 72
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,76);
case 73
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,77);
case 74
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,78);
case 75
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,79);
case 76
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,80);

case 77

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,81);

case 78

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,82);

case 79

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,83);

case 80

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,84);

case 81

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,85);

case 82

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,86);

case 83

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,87);

case 84

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,88);

case 85

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,89);

case 86

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,90);

case 87

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,91);

case 88

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,92);

case 89

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,93);

case 90

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,94);

case 91

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,95);

case 92

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,96);
case 93
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,97);
case 94
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,98);
case 95
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,99);
case 96
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,100);
case 97
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,101);
case 98
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,102);
case 99
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,103);
case 100
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,104);
case 101
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,105);
case 102
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,106);
case 103
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,107);
case 104
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,108);
case 105
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,109);
case 106
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,110);
case 107
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,111);

case 108

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,112);

case 109

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,113);

case 110

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,114);

case 111

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,115);

case 112

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,116);

case 113

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,117);

case 114

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,118);

case 115

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,119);

case 116

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,120);

case 117

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,121);

case 118

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,122);

case 119

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,123);

case 120

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,124);

case 121

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,125);

case 122

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,126);

case 123

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,127);
case 124
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,128);
case 125
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,129);
case 126
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,130);
case 127
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,131);
case 128
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,132);
case 129
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,133);
case 130
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,134);
case 131
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,135);
case 132
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,136);
case 133
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,137);
case 134
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,138);
case 135
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,139);
case 136
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,140);
case 137
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,141);
case 138
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,142);

case 139

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,143);

case 140

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,144);

case 141

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,145);

case 142

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,146);

case 143

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,147);

case 144

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,148);

case 145

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,149);

case 146

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,150);

case 147

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,151);

case 148

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,152);

case 149

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,153);

case 150

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,154);

case 151

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,155);

case 152

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,156);

case 153

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,157);

case 154

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,158);
case 155
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,159);
case 156
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,160);
case 157
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,161);
case 158
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,162);
case 159
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,163);
case 160
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,164);
case 161
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,165);
case 162
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,166);
case 163
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,167);
case 164
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,168);
case 165
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,169);
case 166
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,170);
case 167
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,171);
case 168
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,172);
case 169
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,173);

case 170

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,174);

case 171

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,175);

case 172

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,176);

case 173

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,177);

case 174

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,178);

case 175

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,179);

case 176

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,180);

case 177

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,181);

case 178

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,182);

case 179

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,183);

case 180

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,184);

case 181

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,185);

case 182

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,186);

case 183

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,187);

case 184

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,188);

case 185

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,189);
case 186
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,190);
case 187
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,191);
case 188
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,192);
case 189
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,193);
case 190
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,194);
case 191
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,195);
case 192
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,196);
case 193
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,197);
case 194
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,198);
case 195
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,199);
case 196
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,200);
case 197
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,201);
case 198
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,202);
case 199
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,203);
case 200
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,204);

case 201

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,205);

case 202

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,206);

case 203

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,207);

case 204

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,208);

case 205

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,209);

case 206

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,210);

case 207

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,211);

case 208

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,212);

case 209

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,213);

case 210

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,214);

case 211

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,215);

case 212

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,216);

case 213

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,217);

case 214

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,218);

case 215

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,219);

case 216

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,220);
case 217
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,221);
case 218
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,222);
case 219
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,223);
case 220
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,224);
case 221
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,225);
case 222
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,226);
case 223
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,227);
case 224
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,228);
case 225
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,229);
case 226
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,230);
case 227
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,231);
case 228
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,232);
case 229
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,233);
case 230
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,234);
case 231
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,235);

case 232

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,236);

case 233

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,237);

case 234

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,238);

case 235

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,239);

case 236

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,240);

case 237

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,241);

case 238

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,242);

case 239

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,243);

case 240

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,244);

case 241

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,245);

case 242

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,246);

case 243

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,247);

case 244

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,248);

case 245

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,249);

case 246

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,250);

case 247

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,251);
case 248
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,252);
case 249
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,253);
case 250
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,254);
case 251
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,255);
case 252
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,256);
case 253
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,257);
case 254
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,258);
case 255
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,259);
case 256
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,260);
case 257
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,261);
case 258
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,262);
case 259
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,263);
case 260
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,264);
case 261
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,265);
case 262
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,266);

case 263

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,267);

case 264

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,268);

case 265

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,269);

case 266

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,270);

case 267

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,271);

case 268

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,272);

case 269

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,273);

case 270

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,274);

case 271

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,275);

case 272

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,276);

case 273

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,277);

case 274

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,278);

case 275

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,279);

case 276

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,280);

case 277

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,281);

case 278

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,282);
case 279
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,283);
case 280
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,284);
case 281
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,285);
case 282
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,286);
case 283
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,287);
case 284
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,288);
case 285
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,289);
case 286
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,290);
case 287
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,291);
case 288
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,292);
case 289
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,293);
case 290
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,294);
case 291
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,295);
case 292
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,296);
case 293
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,297);

case 294

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,298);

case 295

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,299);

case 296

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,300);

case 297

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,301);

case 298

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,302);

case 299

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,303);

case 300

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,304);

case 301

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,305);

case 302

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,306);

case 303

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,307);

case 304

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,308);

case 305

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,309);

case 306

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,310);

case 307

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,311);

case 308

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,312);

case 309

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,313);
case 310
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,314);
case 311
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,315);
case 312
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,316);
case 313
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,317);
case 314
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,318);
case 315
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,319);
case 316
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,320);
case 317
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,321);
case 318
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,322);
case 319
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,323);
case 320
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,324);
case 321
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,325);
case 322
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,326);
case 323
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,327);
case 324
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,328);

case 325

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,329);

case 326

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,330);

case 327

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,331);

case 328

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,332);

case 329

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,333);

case 330

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,334);

case 331

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,335);

case 332

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,336);

case 333

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,337);

case 334

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,338);

case 335

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,339);

case 336

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,340);

case 337

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,341);

case 338

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,342);

case 339

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,343);

case 340

plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,344);
case 341
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,345);
case 342
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,346);
case 343
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,347);
case 344
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,348);
case 345
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,349);
case 346
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,350);
case 347
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,351);
case 348
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,352);
case 349
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,353);
case 350
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,354);
case 351
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,355);
case 352
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,356);
case 353
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,357);
case 354
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,358);
case 355
plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,359);

```
case 356
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,360);
case 357
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,361);
case 358
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,362);
case 359
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,363);
case 360
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,364);
case 361
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,365);
case 362
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,366);
case 363
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,367);
case 364
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,368);
case 365
    plot_watersurface(handles.metricdata.upstream,handles.metricdata.downstream,369);
end
```



ภาคผนวก ก

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าระดับน้ำสูงสุดที่ได้จากการคำนวณและระดับตลิ่ง
ของแม่น้ำแม่ลาวที่ตำแหน่งหน้าตัดต่าง ๆ ในปีน้ำ 2548-2551

ตารางที่ ค1 ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ณ ตำแหน่งหน้าตัดที่ทำการคำนวณ รวมถึงตำแหน่งและวัน
เวลาที่เกิดน้ำท่วม ปีน้ำ 2548

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
131	438.96	438.92	433.571	437.551	-	-	29 ก.ย. 48
130	436.27	436.27	433.371	437.231	✓	✓	29 ก.ย. 48
129	435.96	434.27	432.961	436.981	✓	✓	29 ก.ย. 48
128	435.32	434.64	432.401	435.811	✓	✓	29 ก.ย. 48
127	436.27	434.35	431.831	435.211	-	✓	29 ก.ย. 48
126	434.19	434.10	431.821	435.041	✓	✓	29 ก.ย. 48
125	433.53	433.16	431.811	434.921	✓	✓	29 ก.ย. 48
124	433.49	433.67	431.431	434.301	✓	✓	29 ก.ย. 48
123	432.93	432.76	430.821	434.051	✓	✓	29 ก.ย. 48
122	432.29	431.87	430.491	433.611	✓	✓	29 ก.ย. 48
121	431.60	432.02	429.331	433.231	✓	✓	29 ก.ย. 48
120	430.99	431.18	428.821	432.641	✓	✓	29 ก.ย. 48
119	430.40	430.72	428.611	432.091	✓	✓	29 ก.ย. 48
118	429.46	430.12	428.401	431.441	✓	✓	29 ก.ย. 48
117	430.44	429.91	427.941	430.981	✓	✓	29 ก.ย. 48
116	429.42	429.93	427.601	430.731	✓	✓	29 ก.ย. 48
115	429.26	429.53	427.581	430.051	✓	✓	29 ก.ย. 48

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
114	431.44	431.60	427.581	429.371	-	-	29 ก.ย. 48
113	427.43	427.50	424.751	429.071	✓	✓	29 ก.ย. 48
112	426.66	426.98	424.401	427.731	✓	✓	29 ก.ย. 48
111	427.60	427.89	424.301	427.361	-	-	29 ก.ย. 48
110	426.36	425.93	424.031	427.181	✓	✓	29 ก.ย. 48
109	426.35	425.70	423.201	426.451	✓	✓	29 ก.ย. 48
108	424.55	425.30	422.591	425.961	✓	✓	29 ก.ย. 48
107	424.31	424.50	422.201	425.521	✓	✓	29 ก.ย. 48
106	423.48	423.48	421.791	425.141	✓	✓	29 ก.ย. 48
105	423.66	425.19	421.071	424.261	✓	-	29 ก.ย. 48
104	423.26	421.98	420.561	423.891	✓	✓	29 ก.ย. 48
103	422.16	421.94	420.151	423.501	✓	✓	29 ก.ย. 48
102	423.78	421.65	419.461	423.191	-	✓	29 ก.ย. 48
101	422.03	423.51	418.771	422.661	✓	-	29 ก.ย. 48
100	423.06	421.11	418.391	421.711	-	✓	29 ก.ย. 48
99	421.31	420.91	418.001	421.471	✓	✓	29 ก.ย. 48
98	420.51	418.99	416.841	421.131	✓	✓	29 ก.ย. 48
97	419.76	418.79	415.881	420.991	✓	✓	29 ก.ย. 48
96	420.00	416.41	415.711	420.711	✓	✓	15 ส.ค. 48
95	419.20	419.76	415.241	420.221	✓	✓	15 ส.ค. 48
94	419.09	418.98	415.191	420.161	✓	✓	15 ส.ค. 48
93	418.55	418.68	415.181	420.041	✓	✓	15 ส.ค. 48
92	418.47	418.37	414.971	419.551	✓	✓	15 ส.ค. 48
91	417.51	417.73	414.441	419.171	✓	✓	15 ส.ค. 48
90	417.33	417.47	414.351	418.881	✓	✓	15 ส.ค. 48

ตารางที่ ค1 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
89	416.86	417.12	414.191	418.611	✓	✓	15 ส.ค. 48
88	416.61	417.18	413.701	418.141	✓	✓	15 ส.ค. 48
87	416.05	416.22	413.471	417.721	✓	✓	15 ส.ค. 48
86	416.49	415.40	413.421	417.481	✓	✓	15 ส.ค. 48
85	414.27	415.36	413.291	417.151	✓	✓	15 ส.ค. 48
84	415.24	414.76	413.241	416.341	✓	✓	15 ส.ค. 48
83	414.88	414.63	413.231	415.561	✓	✓	15 ส.ค. 48
82	416.73	414.50	413.231	414.921	-	✓	15 ส.ค. 48
81	412.81	414.50	410.311	414.321	✓	-	15 ส.ค. 48
80	414.07	413.48	409.851	414.041	-	✓	15 ส.ค. 48
79	413.92	412.95	409.281	413.501	-	✓	15 ส.ค. 48
78	412.09	413.18	409.201	413.031	✓	-	15 ส.ค. 48
77	412.52	412.23	409.041	412.561	✓	✓	15 ส.ค. 48
76	410.18	411.26	408.691	411.851	✓	✓	15 ส.ค. 48
75	410.87	410.35	407.951	411.501	✓	✓	15 ส.ค. 48
74	410.37	410.13	407.671	410.871	✓	✓	15 ส.ค. 48
73	409.13	411.42	407.351	410.561	✓	-	15 ส.ค. 48
72	409.61	411.83	407.101	410.331	✓	-	15 ส.ค. 48
71	408.42	410.12	406.121	410.151	✓	✓	15 ส.ค. 48
70	410.59	410.59	405.191	409.711	-	-	15 ส.ค. 48

ตารางที่ ค2 ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ณ ตำแหน่งหน้าตัดที่ทำการคำนวณ รวมถึงตำแหน่งและวันเวลาที่เกิดน้ำท่วม ปีน้ำ 2549

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำสันตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำสันตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
131	438.96	438.92	433.631	436.041	-	-	24 ก.ย. 49
130	436.27	436.27	433.431	435.791	-	-	24 ก.ย. 49
129	435.96	434.27	433.011	435.521	-	✓	24 ก.ย. 49
128	435.32	434.64	432.431	434.471	-	-	24 ก.ย. 49
127	436.27	434.35	431.861	433.981	-	-	24 ก.ย. 49
126	434.19	434.10	431.841	433.851	-	-	24 ก.ย. 49
125	433.53	433.16	431.831	433.691	✓	✓	24 ก.ย. 49
124	433.49	433.67	431.451	433.251	-	-	24 ก.ย. 49
123	432.93	432.76	430.891	432.851	-	✓	24 ก.ย. 49
122	432.29	431.87	430.551	432.411	✓	✓	24 ก.ย. 49
121	431.60	432.02	429.421	432.051	✓	✓	24 ก.ย. 49
120	430.99	431.18	428.921	431.631	✓	✓	24 ก.ย. 49
119	430.40	430.72	428.681	430.991	✓	✓	24 ก.ย. 49
118	429.46	430.12	428.441	430.351	✓	✓	24 ก.ย. 49
117	430.44	429.91	427.971	429.971	-	✓	24 ก.ย. 49
116	429.42	429.93	427.631	429.771	✓	-	24 ก.ย. 49
115	429.26	429.53	427.601	428.771	-	-	24 ก.ย. 49
114	431.44	431.60	427.601	428.651	-	-	24 ก.ย. 49
113	427.43	427.50	424.821	428.231	✓	✓	24 ก.ย. 49
112	426.66	426.98	424.481	426.971	✓	-	24 ก.ย. 49
111	427.60	427.89	424.361	426.451	-	-	24 ก.ย. 49
110	426.36	425.93	424.111	426.321	-	✓	24 ก.ย. 49
109	426.35	425.70	423.291	425.521	-	-	24 ก.ย. 49
108	424.55	425.30	422.681	424.891	✓	-	24 ก.ย. 49

ตารางที่ 2 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
107	424.31	424.50	422.281	424.371	✓	-	24 ก.ย. 49
106	423.48	423.48	421.871	423.891	✓	✓	24 ก.ย. 49
105	423.66	425.19	421.131	423.151	-	-	24 ก.ย. 49
104	423.26	421.98	420.621	422.701	-	✓	24 ก.ย. 49
103	422.16	421.94	420.211	422.271	✓	✓	24 ก.ย. 49
102	423.78	421.65	419.501	421.741	-	✓	24 ก.ย. 49
101	422.03	423.51	418.841	421.241	-	-	24 ก.ย. 49
100	423.06	421.11	418.481	420.371	-	-	24 ก.ย. 49
99	421.31	420.91	418.041	420.001	-	-	24 ก.ย. 49
98	420.51	418.99	416.881	419.611	-	✓	24 ก.ย. 49
97	419.76	418.79	416.001	419.401	-	✓	24 ก.ย. 49
96	420.00	416.41	415.811	419.121	-	✓	24 ก.ย. 49
95	419.20	419.76	415.331	418.631	-	-	24 ก.ย. 49
94	419.09	418.98	415.291	418.651	-	-	24 ก.ย. 49
93	418.55	418.68	415.271	418.541	-	-	24 ก.ย. 49
92	418.47	418.37	415.031	418.101	-	-	24 ก.ย. 49
91	417.51	417.73	414.541	417.681	✓	-	24 ก.ย. 49
90	417.33	417.47	414.451	417.481	✓	✓	24 ก.ย. 49
89	416.86	417.12	414.271	417.231	✓	✓	24 ก.ย. 49
88	416.61	417.18	413.801	416.701	✓	-	24 ก.ย. 49
87	416.05	416.22	413.571	416.291	✓	✓	24 ก.ย. 49
86	416.49	415.40	413.511	416.071	-	✓	24 ก.ย. 49
85	414.27	415.36	413.341	415.801	✓	✓	24 ก.ย. 49
84	415.24	414.76	413.261	415.241	✓	✓	24 ก.ย. 49
83	414.88	414.63	413.251	414.621	-	-	24 ก.ย. 49

ตารางที่ ค2 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำขึ้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำขึ้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
82	416.73	414.50	413.241	414.251	-	-	24 ก.ย. 49
81	412.81	414.50	410.401	413.011	✓	-	24 ก.ย. 49
80	414.07	413.48	409.931	412.761	-	-	24 ก.ย. 49
79	413.92	412.95	409.381	412.151	-	-	24 ก.ย. 49
78	412.09	413.18	409.291	411.831	-	-	24 ก.ย. 49
77	412.52	412.23	409.131	411.411	-	-	24 ก.ย. 49
76	410.18	411.26	408.761	410.871	✓	-	24 ก.ย. 49
75	410.87	410.35	408.051	410.371	-	✓	24 ก.ย. 49
74	410.37	410.13	407.771	409.751	-	-	24 ก.ย. 49
73	409.13	411.42	407.381	409.131	✓	-	24 ก.ย. 49
72	409.61	411.83	407.101	408.721	-	-	24 ก.ย. 49
71	408.42	410.12	406.151	408.221	-	-	24 ก.ย. 49
70	410.59	410.59	405.261	407.691	-	-	24 ก.ย. 49

ตารางที่ ค3 ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ณ ตำแหน่งหน้าตัดที่ทำการคำนวณ รวมถึงตำแหน่งและวันเวลาที่เกิดน้ำท่วม ปีน้ำ 2550

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำสันตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำสันตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
131	438.96	438.92	433.651	436.311	-	-	1 ต.ค. 50
130	436.27	436.27	433.441	436.051	-	-	1 ต.ค. 50
129	435.96	434.27	433.031	435.791	-	✓	1 ต.ค. 50
128	435.32	434.64	432.451	434.661	-	✓	1 ต.ค. 50
127	436.27	434.35	431.871	434.171	-	-	1 ต.ค. 50
126	434.19	434.10	431.841	434.041	-	-	1 ต.ค. 50
125	433.53	433.16	431.841	433.901	✓	✓	1 ต.ค. 50
124	433.49	433.67	431.461	433.431	-	-	1 ต.ค. 50
123	432.93	432.76	430.921	433.041	✓	✓	1 ต.ค. 50
122	432.29	431.87	430.561	432.591	✓	✓	1 ต.ค. 50
121	431.60	432.02	429.451	432.221	✓	✓	1 ต.ค. 50
120	430.99	431.18	428.951	431.801	✓	✓	1 ต.ค. 50
119	430.40	430.72	428.701	431.201	✓	✓	1 ต.ค. 50
118	429.46	430.12	428.461	430.551	✓	✓	1 ต.ค. 50
117	430.44	429.91	427.991	430.171	-	✓	1 ต.ค. 50
116	429.42	429.93	427.641	429.991	✓	✓	1 ต.ค. 50
115	429.26	429.53	427.611	428.911	-	-	1 ต.ค. 50
114	431.44	431.60	427.611	428.771	-	-	1 ต.ค. 50
113	427.43	427.50	424.841	428.371	✓	✓	1 ต.ค. 50
112	426.66	426.98	424.501	427.111	✓	✓	1 ต.ค. 50
111	427.60	427.89	424.381	426.621	-	-	1 ต.ค. 50
110	426.36	425.93	424.131	426.491	✓	✓	1 ต.ค. 50
109	426.35	425.70	423.301	425.671	-	-	1 ต.ค. 50
108	424.55	425.30	422.701	425.061	✓	-	1 ต.ค. 50

ตารางที่ ค3 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
107	424.31	424.50	422.311	424.561	✓	✓	1 ต.ค. 50
106	423.48	423.48	421.891	424.111	✓	✓	1 ต.ค. 50
105	423.66	425.19	421.151	423.341	-	-	1 ต.ค. 50
104	423.26	421.98	420.641	422.891	-	✓	1 ต.ค. 50
103	422.16	421.94	420.231	422.471	✓	✓	1 ต.ค. 50
102	423.78	421.65	419.511	421.991	-	✓	1 ต.ค. 50
101	422.03	423.51	418.861	421.501	-	-	1 ต.ค. 50
100	423.06	421.11	418.511	420.591	-	-	1 ต.ค. 50
99	421.31	420.91	418.041	420.261	-	-	1 ต.ค. 50
98	420.51	418.99	416.891	419.861	-	✓	1 ต.ค. 50
97	419.76	418.79	416.031	419.691	-	✓	1 ต.ค. 50
96	420.00	416.41	415.841	419.421	-	✓	1 ต.ค. 50
95	419.20	419.76	415.361	418.901	-	-	1 ต.ค. 50
94	419.09	418.98	415.321	418.901	-	-	1 ต.ค. 50
93	418.55	418.68	415.301	418.801	✓	✓	1 ต.ค. 50
92	418.47	418.37	415.051	418.351	-	-	1 ต.ค. 50
91	417.51	417.73	414.571	417.911	✓	✓	1 ต.ค. 50
90	417.33	417.47	414.481	417.681	✓	✓	1 ต.ค. 50
89	416.86	417.12	414.301	417.421	✓	✓	1 ต.ค. 50
88	416.61	417.18	413.831	416.911	✓	-	1 ต.ค. 50
87	416.05	416.22	413.601	416.511	✓	✓	1 ต.ค. 50
86	416.49	415.40	413.541	416.281	-	✓	1 ต.ค. 50
85	414.27	415.36	413.361	416.011	✓	✓	1 ต.ค. 50
84	415.24	414.76	413.271	415.421	✓	✓	1 ต.ค. 50
83	414.88	414.63	413.251	414.781	-	✓	1 ต.ค. 50

ตารางที่ ค3 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำขึ้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำขึ้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
82	416.73	414.50	413.251	414.361	-	-	1 ต.ค. 50
81	412.81	414.50	410.421	413.251	✓	-	1 ต.ค. 50
80	414.07	413.48	409.951	413.011	-	-	1 ต.ค. 50
79	413.92	412.95	409.421	412.401	-	-	1 ต.ค. 50
78	412.09	413.18	409.321	412.041	-	-	1 ต.ค. 50
77	412.52	412.23	409.161	411.611	-	-	1 ต.ค. 50
76	410.18	411.26	408.791	411.031	✓	-	1 ต.ค. 50
75	410.87	410.35	408.071	410.561	-	✓	1 ต.ค. 50
74	410.37	410.13	407.801	409.881	-	-	1 ต.ค. 50
73	409.13	411.42	407.401	409.301	✓	-	1 ต.ค. 50
72	409.61	411.83	407.101	408.931	-	-	1 ต.ค. 50
71	408.42	410.12	406.171	408.491	✓	-	1 ต.ค. 50
70	410.59	410.59	405.291	407.981	-	-	1 ต.ค. 50

ตารางที่ ค4 ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุด ณ ตำแหน่งหน้าตัดที่ทำการคำนวณ รวมถึงตำแหน่งและวันเวลาที่เกิดน้ำท่วม ปีน้ำ 2551

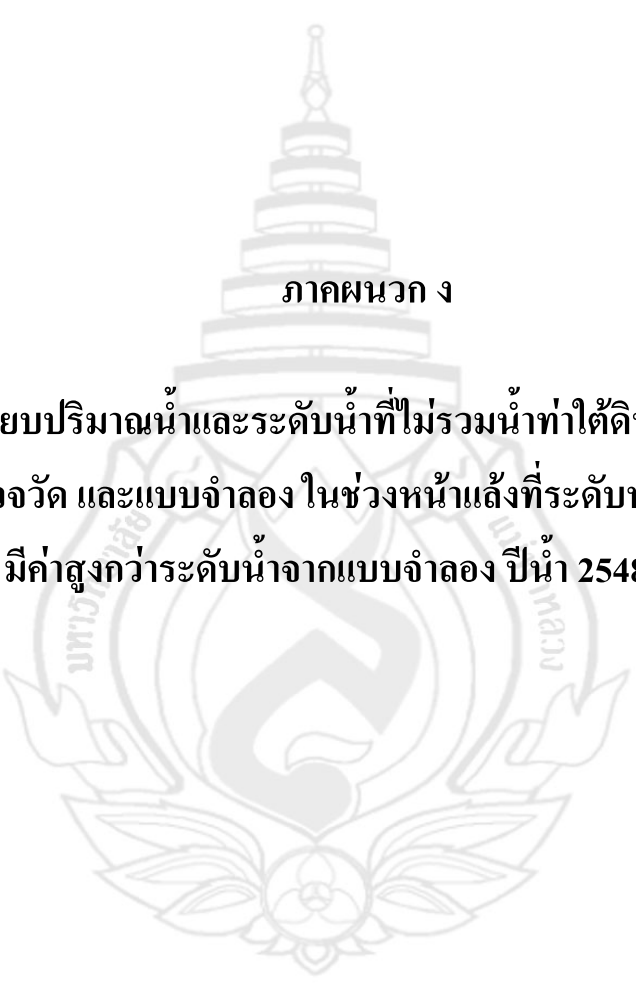
หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
131	438.96	438.92	433.641	435.821	-	-	7 ก.ย. 51
130	436.27	436.27	433.431	435.581	-	-	7 ก.ย. 51
129	435.96	434.27	433.021	435.291	-	✓	7 ก.ย. 51
128	435.32	434.64	432.441	434.301	-	-	7 ก.ย. 51
127	436.27	434.35	431.871	433.811	-	-	7 ก.ย. 51
126	434.19	434.10	431.841	433.691	-	-	7 ก.ย. 51
125	433.53	433.16	431.831	433.521	-	✓	7 ก.ย. 51
124	433.49	433.67	431.461	433.101	-	-	7 ก.ย. 51
123	432.93	432.76	430.911	432.691	-	-	7 ก.ย. 51
122	432.29	431.87	430.551	432.261	-	✓	7 ก.ย. 51
121	431.60	432.02	429.441	431.901	✓	-	7 ก.ย. 51
120	430.99	431.18	428.931	431.501	✓	✓	7 ก.ย. 51
119	430.40	430.72	428.691	430.841	✓	✓	7 ก.ย. 51
118	429.46	430.12	428.451	430.191	✓	✓	7 ก.ย. 51
117	430.44	429.91	427.981	429.801	-	-	7 ก.ย. 51
116	429.42	429.93	427.631	429.591	✓	-	7 ก.ย. 51
115	429.26	429.53	427.611	428.661	-	-	7 ก.ย. 51
114	431.44	431.60	427.601	428.551	-	-	7 ก.ย. 51
113	427.43	427.50	424.831	428.061	✓	✓	7 ก.ย. 51
112	426.66	426.98	424.491	426.811	✓	-	7 ก.ย. 51
111	427.60	427.89	424.381	426.311	-	-	7 ก.ย. 51
110	426.36	425.93	424.121	426.181	-	✓	7 ก.ย. 51
109	426.35	425.70	423.291	425.411	-	-	7 ก.ย. 51
108	424.55	425.30	422.691	424.761	✓	-	7 ก.ย. 51

ตารางที่ ๔ (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำขึ้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำขึ้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
107	424.31	424.50	422.301	424.211	-	-	7 ก.ย. 51
106	423.48	423.48	421.881	423.711	✓	✓	7 ก.ย. 51
105	423.66	425.19	421.141	422.991	-	-	7 ก.ย. 51
104	423.26	421.98	420.631	422.531	-	✓	7 ก.ย. 51
103	422.16	421.94	420.221	422.101	-	✓	7 ก.ย. 51
102	423.78	421.65	419.511	421.541	-	-	7 ก.ย. 51
101	422.03	423.51	418.851	421.041	-	-	7 ก.ย. 51
100	423.06	421.11	418.491	420.191	-	-	7 ก.ย. 51
99	421.31	420.91	418.041	419.791	-	-	7 ก.ย. 51
98	420.51	418.99	416.891	419.411	-	✓	7 ก.ย. 51
97	419.76	418.79	416.021	419.151	-	✓	7 ก.ย. 51
96	420.00	416.41	415.831	418.861	-	✓	7 ก.ย. 51
95	419.20	419.76	415.351	418.391	-	-	7 ก.ย. 51
94	419.09	418.98	415.311	418.411	-	-	7 ก.ย. 51
93	418.55	418.68	415.291	418.301	-	-	7 ก.ย. 51
92	418.47	418.37	415.041	417.871	-	-	7 ก.ย. 51
91	417.51	417.73	414.551	417.481	-	-	7 ก.ย. 51
90	417.33	417.47	414.471	417.311	-	-	7 ก.ย. 51
89	416.86	417.12	414.291	417.051	✓	-	7 ก.ย. 51
88	416.61	417.18	413.811	416.521	-	-	7 ก.ย. 51
87	416.05	416.22	413.581	416.111	✓	-	7 ก.ย. 51
86	416.49	415.40	413.521	415.891	-	✓	7 ก.ย. 51
85	414.27	415.36	413.351	415.631	✓	✓	7 ก.ย. 51
84	415.24	414.76	413.271	415.061	-	✓	7 ก.ย. 51
83	414.88	414.63	413.251	414.471	-	-	7 ก.ย. 51

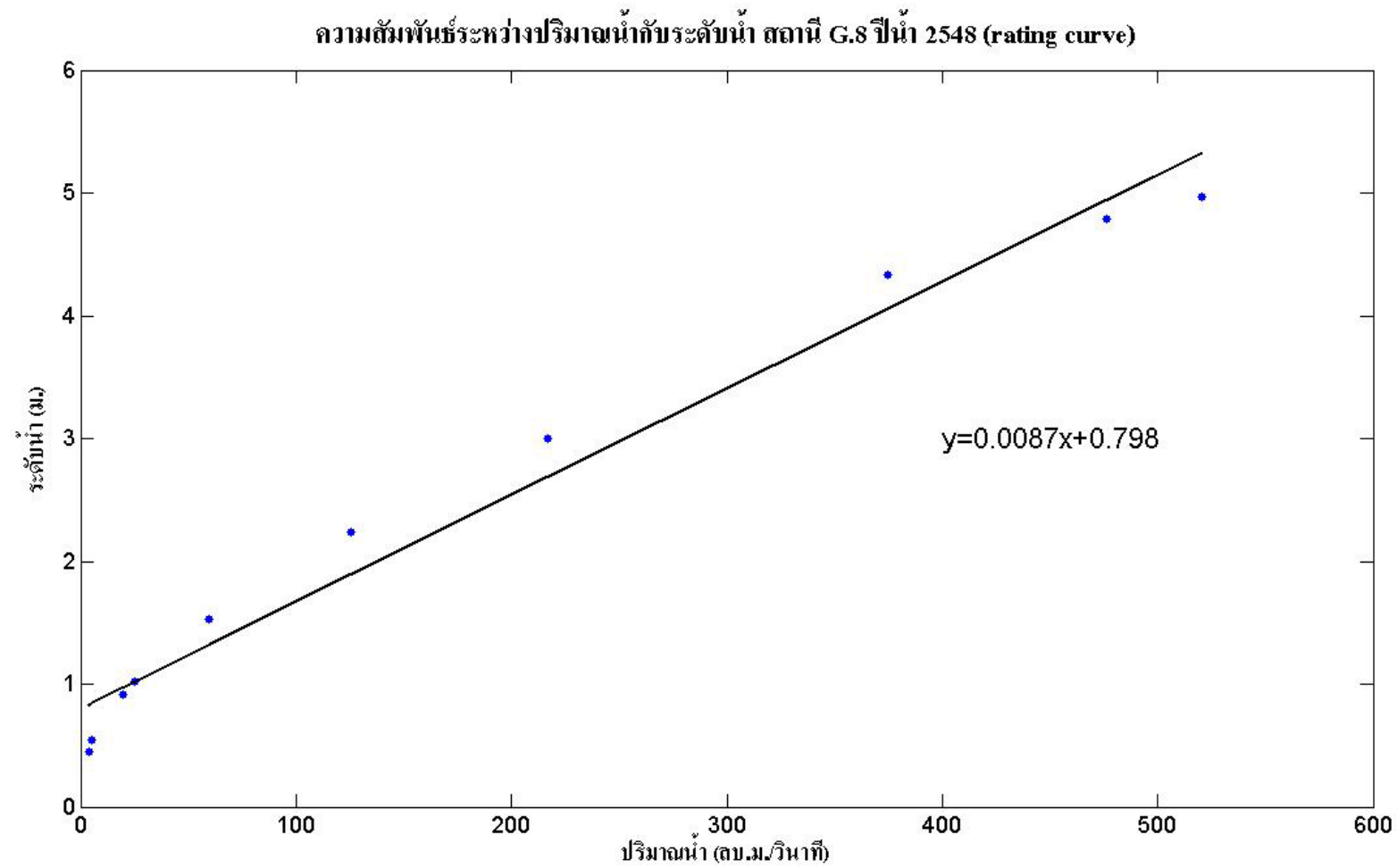
ตารางที่ 4 (ต่อ)

หน้าตัด	ระดับ ตลิ่งซ้าย (ม.รทก.)	ระดับ ตลิ่งขวา (ม.รทก.)	ระดับน้ำ ต่ำสุด (ม.รทก.)	ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก.)	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งซ้าย	น้ำล้นตลิ่ง ฝั่งขวา	วันที่
82	416.73	414.50	413.251	414.151	-	-	7 ก.ย. 51
81	412.81	414.50	410.421	412.781	-	-	7 ก.ย. 51
80	414.07	413.48	409.941	412.521	-	-	7 ก.ย. 51
79	413.92	412.95	409.401	411.941	-	-	7 ก.ย. 51
78	412.09	413.18	409.301	411.641	-	-	7 ก.ย. 51
77	412.52	412.23	409.151	411.221	-	-	7 ก.ย. 51
76	410.18	411.26	408.781	410.711	✓	-	7 ก.ย. 51
75	410.87	410.35	408.061	410.191	-	-	7 ก.ย. 51
74	410.37	410.13	407.781	409.641	-	-	7 ก.ย. 51
73	409.13	411.42	407.391	408.961	-	-	7 ก.ย. 51
72	409.61	411.83	407.101	408.511	-	-	7 ก.ย. 51
71	408.42	410.12	406.161	407.971	-	-	8 ก.ย. 51
70	410.59	410.59	405.281	407.431	-	-	8 ก.ย. 51



ภาคผนวก ง

การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (base flow) ซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลอง ในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัด มีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2548-2551



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับน้ำ สถานี G.8 ปีน้ำ 2548 (rating curve)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดินซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลอง ในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัด มีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2548

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (เมตร)
27 ต.ค. 48	10.586	1.082	0.890	0.807
28 ต.ค. 48	6.506	1.269	0.855	0.809
29 ต.ค. 48	8.349	6.503	0.871	0.855
30 ต.ค. 48	69.479	0.000	1.402	0.798
31 ต.ค. 48	165.703	46.974	2.240	1.207
1 พ.ย. 48	208.260	100.134	2.610	1.669
2 พ.ย. 48	177.382	94.504	2.341	1.620
3 พ.ย. 48	128.532	71.167	1.916	1.417
4 พ.ย. 48	85.700	50.615	1.544	1.238
5 พ.ย. 48	62.384	41.023	1.341	1.155
6 พ.ย. 48	50.781	17.065	1.240	0.946
7 พ.ย. 48	40.059	12.651	1.147	0.908
8 พ.ย. 48	30.193	9.346	1.061	0.879

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
9 พ.ย. 48	33.695	8.371	1.091	0.871
10 พ.ย. 48	51.790	18.181	1.249	0.956
11 พ.ย. 48	72.988	10.318	1.433	0.888
12 พ.ย. 48	45.616	29.128	1.195	1.051
13 พ.ย. 48	34.102	17.348	1.095	0.949
14 พ.ย. 48	27.998	16.250	1.042	0.939
15 พ.ย. 48	19.281	14.408	0.966	0.923
16 พ.ย. 48	15.456	11.226	0.932	0.896
17 พ.ย. 48	11.876	12.768	0.901	0.909
18 พ.ย. 48	11.343	9.928	0.897	0.884
19 พ.ย. 48	15.285	2.513	0.931	0.820
20 พ.ย. 48	14.858	0.709	0.927	0.804
21 พ.ย. 48	18.072	0.069	0.955	0.799
22 พ.ย. 48	16.503	8.848	0.942	0.875

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
23 พ.ย. 48	16.931	6.634	0.945	0.856
24 พ.ย. 48	15.414	6.703	0.932	0.856
25 พ.ย. 48	12.726	6.243	0.909	0.852
26 พ.ย. 48	12.562	5.230	0.907	0.843
27 พ.ย. 48	13.232	4.048	0.913	0.833
28 พ.ย. 48	14.305	3.782	0.922	0.831
29 พ.ย. 48	15.365	3.859	0.932	0.832
30 พ.ย. 48	15.016	4.131	0.929	0.834
1 ธ.ค. 48	15.536	3.785	0.933	0.831
2 ธ.ค. 48	16.048	3.447	0.938	0.828
3 ธ.ค. 48	14.359	3.039	0.923	0.824
4 ธ.ค. 48	12.733	2.589	0.909	0.821
5 ธ.ค. 48	12.520	2.153	0.907	0.817
6 ธ.ค. 48	21.305	2.939	0.983	0.824

ตารางที่ 1 (ต่อ)

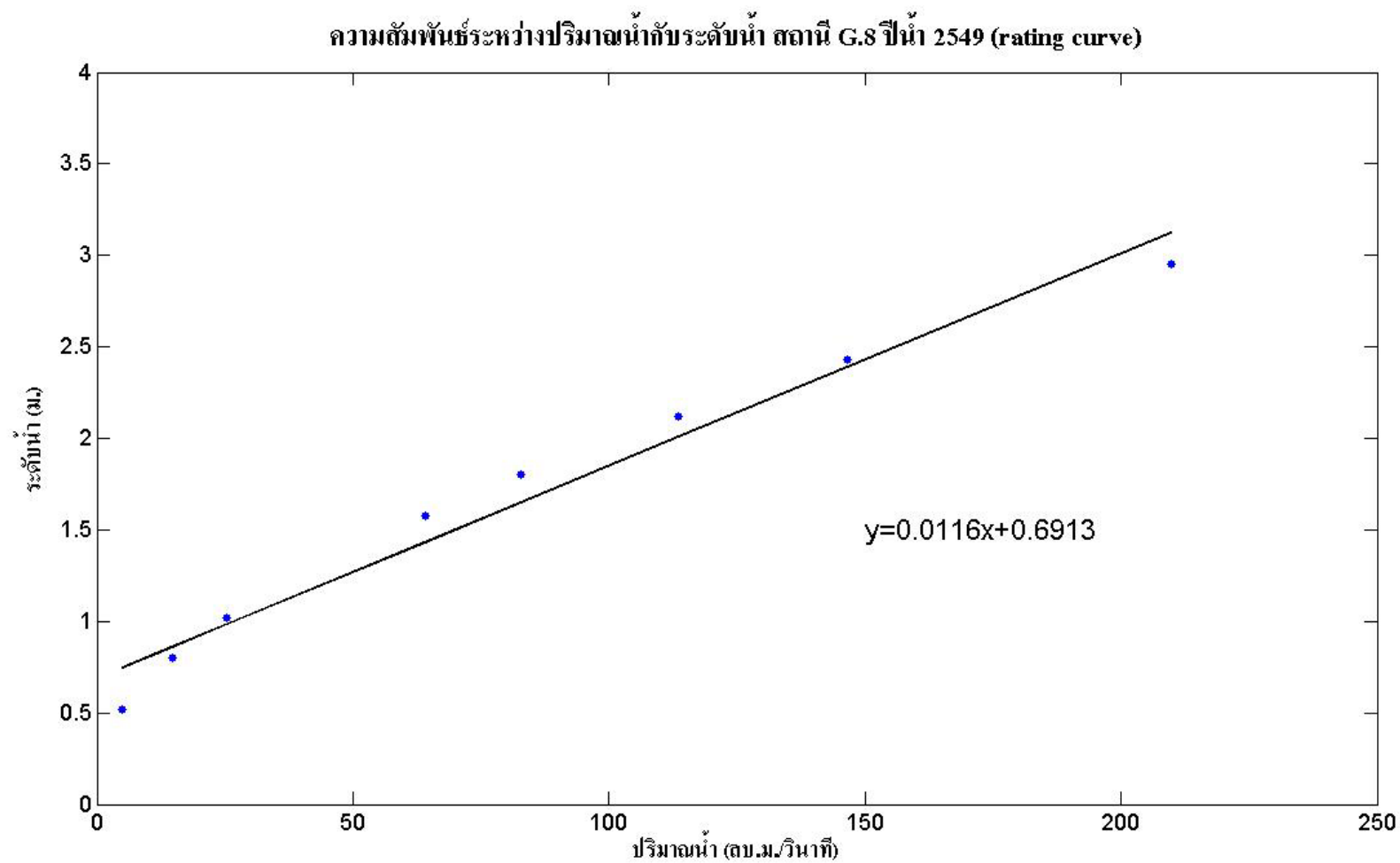
วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
7 ธ.ค. 48	48.303	4.463	1.218	0.837
8 ธ.ค. 48	47.247	4.483	1.209	0.837
9 ธ.ค. 48	38.277	11.380	1.131	0.897
10 ธ.ค. 48	32.992	12.988	1.085	0.911
11 ธ.ค. 48	29.923	10.949	1.058	0.893
12 ธ.ค. 48	28.269	8.216	1.044	0.869
13 ธ.ค. 48	28.418	6.575	1.045	0.855
14 ธ.ค. 48	28.380	5.807	1.045	0.849
15 ธ.ค. 48	29.136	4.853	1.051	0.840
16 ธ.ค. 48	31.498	4.601	1.072	0.838
17 ธ.ค. 48	32.707	4.267	1.083	0.835
18 ธ.ค. 48	34.262	4.560	1.096	0.838
19 ธ.ค. 48	34.499	3.609	1.098	0.829
20 ธ.ค. 48	34.505	3.849	1.098	0.831

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
21 ธ.ค. 48	35.509	3.631	1.107	0.830
22 ธ.ค. 48	37.391	3.925	1.123	0.832
23 ธ.ค. 48	39.028	4.243	1.138	0.835
24 ธ.ค. 48	42.192	3.183	1.165	0.826
25 ธ.ค. 48	45.613	3.285	1.195	0.827
26 ธ.ค. 48	47.368	3.062	1.210	0.825
27 ธ.ค. 48	50.610	3.268	1.238	0.826
28 ธ.ค. 48	52.521	3.533	1.255	0.829
29 ธ.ค. 48	52.594	3.331	1.256	0.827
30 ธ.ค. 48	38.768	3.559	1.135	0.829
31 ธ.ค. 48	34.835	3.848	1.101	0.831
1 ม.ค. 49	29.337	4.190	1.053	0.834
2 ม.ค. 49	16.317	3.977	0.940	0.833
3 ม.ค. 49	15.447	3.769	0.932	0.831

ตารางที่ ง1 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำทำได้ดิน (เมตร)
4 ม.ค. 49	13.361	4.074	0.914	0.833
5 ม.ค. 49	11.953	3.905	0.902	0.832
เฉลี่ย	37.776	11.554	1.127	0.899



ภาพที่ ๖2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับน้ำ สถานี G.8 ปีน้ำ 2549 (rating curve)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดินซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลอง ในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัด มีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2549

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าได้ดิน (เมตร)
27 ต.ค. 49	15.493	6.027	0.871	0.761
28 ต.ค. 49	12.502	3.762	0.836	0.735
29 ต.ค. 49	11.564	17.908	0.825	0.899
30 ต.ค. 49	10.878	13.946	0.817	0.853
31 ต.ค. 49	10.867	8.255	0.817	0.787
1 พ.ย. 49	9.916	8.774	0.806	0.793
2 พ.ย. 49	11.836	6.921	0.829	0.772
3 พ.ย. 49	12.064	4.132	0.831	0.739
4 พ.ย. 49	6.599	3.603	0.768	0.733
5 พ.ย. 49	4.891	3.167	0.748	0.728
6 พ.ย. 49	0.242	2.726	0.694	0.723
7 พ.ย. 49	0.000	2.947	0.691	0.725
8 พ.ย. 49	9.828	3.186	0.805	0.728

ตารางที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
9 พ.ย. 49	23.549	4.747	0.964	0.746
10 พ.ย. 49	22.369	5.104	0.951	0.751
11 พ.ย. 49	19.439	5.392	0.917	0.754
12 พ.ย. 49	17.776	5.072	0.898	0.750
13 พ.ย. 49	16.829	4.771	0.887	0.747
14 พ.ย. 49	15.125	4.450	0.867	0.743
15 พ.ย. 49	13.779	4.135	0.851	0.739
16 พ.ย. 49	13.550	3.783	0.848	0.735
17 พ.ย. 49	12.929	4.079	0.841	0.739
18 พ.ย. 49	11.597	3.880	0.826	0.736
19 พ.ย. 49	11.385	3.674	0.823	0.734
20 พ.ย. 49	11.327	3.441	0.823	0.731
21 พ.ย. 49	10.602	3.210	0.814	0.729
22 พ.ย. 49	10.398	2.950	0.812	0.726

ตารางที่ 2 (ต่อ)

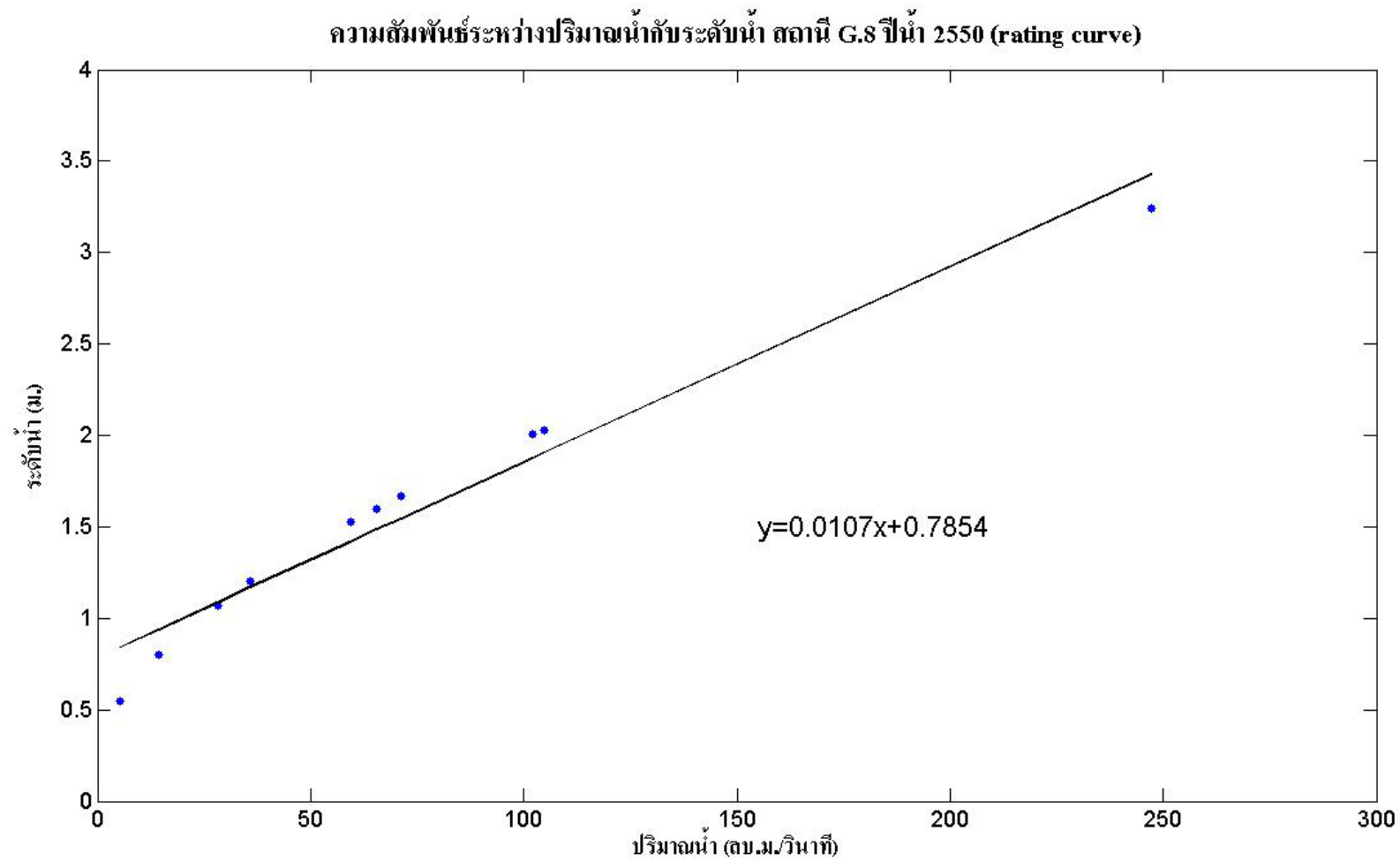
วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
23 พ.ย. 49	10.258	2.648	0.810	0.722
24 พ.ย. 49	11.008	2.863	0.819	0.725
25 พ.ย. 49	10.945	3.095	0.818	0.727
26 พ.ย. 49	10.151	3.346	0.809	0.730
27 พ.ย. 49	9.292	2.566	0.799	0.721
28 พ.ย. 49	9.597	2.275	0.803	0.718
29 พ.ย. 49	8.880	2.459	0.794	0.720
30 พ.ย. 49	9.600	2.659	0.803	0.722
1 ธ.ค. 49	11.241	2.874	0.822	0.725
2 ธ.ค. 49	12.088	3.108	0.832	0.727
3 ธ.ค. 49	13.008	3.359	0.842	0.730
4 ธ.ค. 49	14.008	3.632	0.854	0.733
5 ธ.ค. 49	14.552	3.926	0.860	0.737
6 ธ.ค. 49	14.271	4.245	0.857	0.741

ตารางที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
7 ธ.ค. 49	13.335	4.589	0.846	0.745
8 ธ.ค. 49	13.632	4.961	0.849	0.749
9 ธ.ค. 49	13.653	5.363	0.850	0.754
10 ธ.ค. 49	13.826	5.798	0.852	0.759
11 ธ.ค. 49	14.199	6.268	0.856	0.764
12 ธ.ค. 49	14.678	4.217	0.862	0.740
13 ธ.ค. 49	14.485	4.558	0.859	0.744
14 ธ.ค. 49	14.613	4.928	0.861	0.748
15 ธ.ค. 49	15.648	5.328	0.873	0.753
16 ธ.ค. 49	15.422	5.760	0.870	0.758
17 ธ.ค. 49	16.523	6.227	0.883	0.764
18 ธ.ค. 49	17.862	6.222	0.899	0.763
19 ธ.ค. 49	19.124	6.726	0.913	0.769
20 ธ.ค. 49	19.067	7.271	0.912	0.776

ตารางที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
21 ธ.ค. 49	13.773	7.861	0.851	0.782
22 ธ.ค. 49	12.760	2.286	0.839	0.718
23 ธ.ค. 49	13.794	1.899	0.851	0.713
24 ธ.ค. 49	14.913	1.481	0.864	0.708
25 ธ.ค. 49	16.122	1.039	0.878	0.703
26 ธ.ค. 49	12.122	0.572	0.832	0.698
เฉลี่ย	12.882	4.597	0.841	0.745



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับน้ำ สถานี G.8 ปีน้ำ 2550 (rating curve)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดินซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลอง ในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัด มีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2550

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (เมตร)
31 ต.ค. 50	1.361	2.626	0.800	0.814
1 พ.ย. 50	10.920	1.507	0.902	0.802
2 พ.ย. 50	15.131	4.203	0.947	0.830
3 พ.ย. 50	48.510	4.351	1.304	0.832
4 พ.ย. 50	90.121	30.715	1.750	1.114
5 พ.ย. 50	86.200	16.434	1.708	0.961
6 พ.ย. 50	57.297	31.797	1.398	1.126
7 พ.ย. 50	40.370	22.887	1.217	1.030
8 พ.ย. 50	30.525	16.460	1.112	0.962
9 พ.ย. 50	24.146	14.880	1.044	0.945
10 พ.ย. 50	19.442	15.133	0.993	0.947
11 พ.ย. 50	16.760	9.570	0.965	0.888
12 พ.ย. 50	15.506	10.997	0.951	0.903

ตารางที่ 3 (ต่อ)

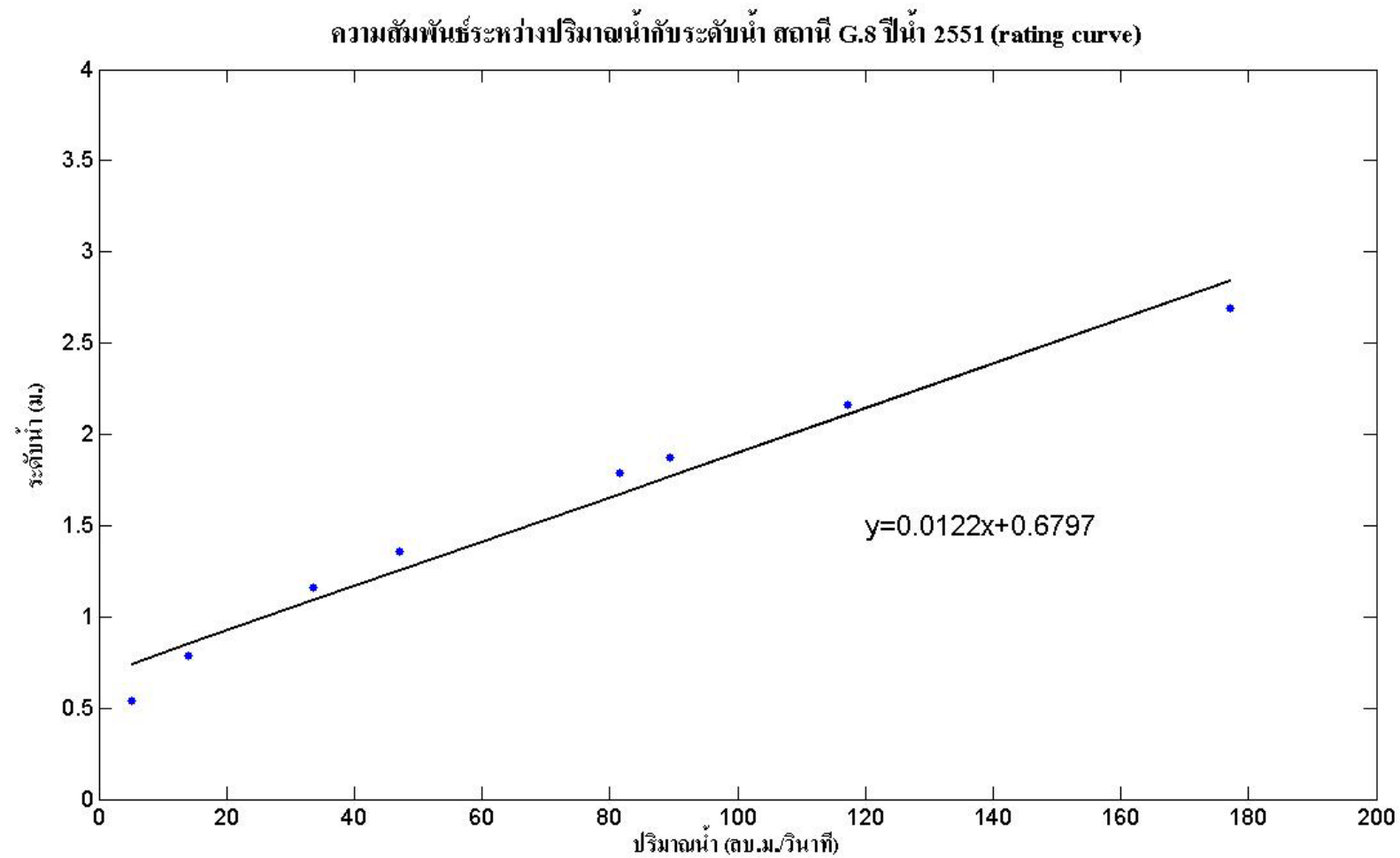
วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
13 พ.ย. 50	13.038	11.186	0.925	0.905
14 พ.ย. 50	12.758	7.536	0.922	0.866
15 พ.ย. 50	10.915	6.305	0.902	0.853
16 พ.ย. 50	11.395	7.157	0.907	0.862
17 พ.ย. 50	15.049	7.722	0.946	0.868
18 พ.ย. 50	15.830	8.323	0.955	0.874
19 พ.ย. 50	14.229	8.976	0.938	0.881
20 พ.ย. 50	13.559	7.653	0.930	0.867
21 พ.ย. 50	13.889	6.931	0.934	0.860
22 พ.ย. 50	14.690	6.297	0.943	0.853
23 พ.ย. 50	15.031	5.923	0.946	0.849
24 พ.ย. 50	16.249	5.206	0.959	0.841
25 พ.ย. 50	16.432	4.754	0.961	0.836
26 พ.ย. 50	9.661	4.599	0.889	0.835

ตารางที่ 3 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
27 พ.ย. 50	8.499	4.982	0.876	0.839
28 พ.ย. 50	7.730	5.886	0.868	0.848
29 พ.ย. 50	10.228	5.812	0.895	0.848
30 พ.ย. 50	11.853	5.233	0.912	0.841
1 ธ.ค. 50	12.614	5.657	0.920	0.846
2 ธ.ค. 50	13.452	5.606	0.929	0.845
3 ธ.ค. 50	12.851	4.687	0.923	0.836
4 ธ.ค. 50	10.668	4.328	0.900	0.832
5 ธ.ค. 50	11.452	3.336	0.908	0.821
6 ธ.ค. 50	12.381	2.587	0.918	0.813
7 ธ.ค. 50	13.385	2.100	0.929	0.808
8 ธ.ค. 50	14.470	5.885	0.940	0.848
9 ธ.ค. 50	16.267	5.921	0.959	0.849
10 ธ.ค. 50	17.852	5.833	0.976	0.848

ตารางที่ 3 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
11 ธ.ค. 50	18.530	5.940	0.984	0.849
12 ธ.ค. 50	17.840	6.254	0.976	0.852
13 ธ.ค. 50	18.273	6.125	0.981	0.851
14 ธ.ค. 50	15.176	6.013	0.948	0.850
15 ธ.ค. 50	10.572	5.937	0.899	0.849
16 ธ.ค. 50	11.819	6.399	0.912	0.854
17 ธ.ค. 50	14.113	5.899	0.936	0.849
18 ธ.ค. 50	15.947	3.849	0.956	0.827
19 ธ.ค. 50	17.059	5.613	0.968	0.845
20 ธ.ค. 50	18.275	5.468	0.981	0.844
21 ธ.ค. 50	15.340	5.357	0.950	0.843
เฉลี่ย	19.147	7.901	0.990	0.870



ภาพที่ ๔4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระดับน้ำ สถานี G.8 ปีน้ำ 2551 (rating curve)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำและระดับน้ำที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดินซึ่งได้จากการตรวจวัด และแบบจำลอง ในช่วงหน้าแล้งที่ระดับน้ำจากการตรวจวัด มีค่าสูงกว่าระดับน้ำจากแบบจำลอง ปีน้ำ 2551

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าที่ดิน (เมตร)
30 ต.ค. 51	58.597	29.862	1.395	1.044
31 ต.ค. 51	53.757	26.582	1.336	1.004
1 พ.ย. 51	64.849	27.092	1.471	1.010
2 พ.ย. 51	90.132	21.268	1.779	0.939
3 พ.ย. 51	125.575	49.344	2.212	1.282
4 พ.ย. 51	99.471	68.350	1.893	1.514
5 พ.ย. 51	76.994	46.755	1.619	1.250
6 พ.ย. 51	71.062	30.073	1.547	1.047
7 พ.ย. 51	64.990	27.293	1.473	1.013
8 พ.ย. 51	58.292	24.825	1.391	0.983
9 พ.ย. 51	57.835	20.093	1.385	0.925
10 พ.ย. 51	47.907	21.906	1.264	0.947

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
11 พ.ย. 51	40.596	27.245	1.175	1.012
12 พ.ย. 51	34.293	9.782	1.098	0.799
13 พ.ย. 51	29.640	6.569	1.041	0.760
14 พ.ย. 51	28.476	8.774	1.027	0.787
15 พ.ย. 51	26.488	14.007	1.003	0.851
16 พ.ย. 51	23.806	10.292	0.970	0.805
17 พ.ย. 51	21.508	8.951	0.942	0.789
18 พ.ย. 51	18.998	6.462	0.911	0.759
19 พ.ย. 51	17.322	6.819	0.891	0.763
20 พ.ย. 51	14.931	6.040	0.862	0.753
21 พ.ย. 51	14.751	6.530	0.860	0.759
22 พ.ย. 51	14.284	5.738	0.854	0.750
23 พ.ย. 51	12.981	5.516	0.838	0.747

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
24 พ.ย. 51	12.040	5.932	0.827	0.752
25 พ.ย. 51	11.879	5.768	0.825	0.750
26 พ.ย. 51	11.278	6.205	0.817	0.755
27 พ.ย. 51	10.878	6.063	0.812	0.754
28 พ.ย. 51	10.125	5.857	0.803	0.751
29 พ.ย. 51	8.956	5.645	0.789	0.749
30 พ.ย. 51	9.540	4.001	0.796	0.729
1 ธ.ค. 51	9.567	4.325	0.796	0.732
2 ธ.ค. 51	8.921	3.303	0.789	0.720
3 ธ.ค. 51	8.970	3.570	0.789	0.723
4 ธ.ค. 51	8.951	3.860	0.789	0.727
5 ธ.ค. 51	8.788	4.173	0.787	0.731
6 ธ.ค. 51	8.150	4.511	0.779	0.735

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
7 ธ.ค. 51	8.313	4.877	0.781	0.739
8 ธ.ค. 51	9.022	4.221	0.790	0.731
9 ธ.ค. 51	9.361	4.033	0.794	0.729
10 ธ.ค. 51	9.125	3.850	0.791	0.727
11 ธ.ค. 51	9.933	3.101	0.801	0.718
12 ธ.ค. 51	11.281	3.352	0.817	0.721
13 ธ.ค. 51	11.425	3.624	0.819	0.724
14 ธ.ค. 51	12.067	3.918	0.827	0.727
15 ธ.ค. 51	13.080	4.235	0.839	0.731
16 ธ.ค. 51	14.032	4.579	0.851	0.736
17 ธ.ค. 51	13.358	3.899	0.843	0.727
18 ธ.ค. 51	12.237	4.215	0.829	0.731
19 ธ.ค. 51	11.240	4.557	0.817	0.735

ตารางที่ 4 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำจากการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ปริมาณน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (ลบ.ม./วินาที)	ระดับน้ำการตรวจวัด ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)	ระดับน้ำจากแบบจำลอง ที่ไม่รวมน้ำท่าใต้ดิน (เมตร)
20 ธ.ค. 51	10.729	4.927	0.811	0.740
21 ธ.ค. 51	10.782	4.827	0.811	0.739
22 ธ.ค. 51	11.793	4.698	0.824	0.737
23 ธ.ค. 51	10.967	4.558	0.813	0.735
เฉลี่ย	26.988	11.834	1.009	0.824



ประวัตินุเจียน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย สุภัทร สายรัตนอินทร์
วัน เดือน ปีเกิด	3 กันยายน 2523
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	72/423 ถ.อุตรกิจ ต.เวียง อ.เมืองเชียงราย จ.เชียงราย 57000
ประวัติการศึกษา	ปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวรวิทยาเขตสารสนเทศพะเยา
2546-2547	
2542-2545	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน